



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

MIKROVÕRGU LABORI ELEKTRIPAIGALDISE PLANEERIMINE JA PROJEKTEERIMINE

PLANNING AND DESIGN OF THE ELECTRICAL INSTALLATION OF THE MICROGRID LABORATORY

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Martin Kesküla

Üliõpilaskood: 183301AAAM

Juhendaja: Argo Rosin, professor

Tallinn, 2020

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.

"....." 202... .

Autor: Martin Kesküla.

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 202... .

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Martin Kesküla (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 22,01,1985)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

"MIKROVÕRGU LABORI ELEKTRIPAIGALDISE PLANEERIMINE JA PROJEKTEERIMINE"

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on professor, Argo Rosin

(*juhendaja nimi*)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh 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 käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (*allkiri*)

_____ (*kuupäev*)

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	6
ABSTRACT	7
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	8
EESSÕNA	11
Lühendite ja tähiste loetelu	12
SISSEJUHATUS	13
1. OLEMASOLEVAD SEADMED	15
1.1 PV süsteem	17
1.2 Kütuseelemendi komplekt	18
1.3 Ülikondensaatorsalvesti	18
1.4 Akusalvesti	19
1.5 Hooratta komplekt	20
1.6 Mootorgeneraator	22
2. ELEKTRI KVALITEET MIKROVÕRKUDES NING HÄIRINGUTE ESILEKUTSUMISE VÕIMALUSED	23
2.1 Võrgusagedus	23
2.2 Toitepinge aeglased muutused	24
2.3 Üksik kiire toitepinge muutus	25
2.4 Toitepinge värelus	26
2.5 Toitepinge asümmeetria	27
2.6 Harmoonikud	28
2.7 Toitepingele pealdate võrgu kommunikatsioonipinged	29
2.8 Toitepinge katkestused	29
3. UUE MIKROVÕRGU ELEKTRIPAIGALDISE PLANEERIMINE	30
3.1 Planeeritava mikrovõrgu struktuur	31
3.2 Planeerimise põhimõtted	33
3.3 Mikrovõrgu peatoiteautomaadi suuruse määramine	35
3.4 Planeeritavad mikrovõrgu omadused	36
4. PLANEERITAVA MIKROVÕRGU SEADMED	38
4.1 Mikrovõrgu siini välisühendustega ühenduses	38
4.1.1 Eraldustrafo	38
4.1.2 Sünkroskoop	40
4.1.3 Liiniemulaator	41
4.2 Akusalvesti	44
4.2.1 Akusalvesti muundur	44
4.2.2 Akude laengute tasakaalustaja	47

4.2.3 Akud	48
4.3 Mootorgeneraator	50
4.3.1 Muundur mootorgeneraatorile	51
4.4 Hooratassalvesti	51
4.5 Ülikondensaatorsalvesti	52
4.5.1 Ülikondensaator salvesti muundurid	53
4.5.2 Ülikondensaator	54
4.6 Päikeseenergia tootmisüksus.....	55
4.7 Vahelduvpinge toiteallikas.....	56
4.8 Koormusemulaator	57
5. PROJEKTEERITUD ELEKTRIPAIGALDIS.....	59
5.1 Mikrovõrgu välisühenduste moodul ja jõutoidet vajavad seadmed	59
5.2 Koormusemulaator ja akusalvesti	63
5.3 Päikeseenergia tootmisüksus, ülikondensaator- ja hooratassalvesti.....	65
5.4 Ühendused mikrovõrgusiiniga	66
5.5 Projekteeritud elektripaigaldise valmistamine	67
5.5.1 Kaabeldus	68
5.5.2 Ilmajaam	69
5.5.3 Mikrovõrgu kilbid	70
6. ETTEPANEKUD MIKROVÕRGU TÄIENDAMISEKS	71
KOKKUVÕTE	73
SUMMARY	74
KASUTATUD KIRJANDUS	75
LISA 1. Analüüsitud seadmete nimekiri	79
LISA 2. Planeeritava mikrovõrgu toitepunkt 7SK01	83
LISA 3. Projekteeritud elektripaigaldise lisad	85
LISA 4. Elektripaigaldise skeem.....	92

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

<i>Autor:</i> Martin Kesküla	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Mikrovõrgu labori elektripaigaldise planeerimine ja projekteerimine	
<i>Kuupäev:</i> 04.05.2020	<i>140 lk (lõputöö lehekülgede arv koos lisadega)</i>
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja(d):</i> professor, Argo Rosin	
<i>Töö konsultant (konsultandid):</i>	
<i>Sisu kirjeldus:</i> <p>Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli planeerida ja projekteerida uus mikrovõrgu laboratoorium Tallinna Tehnikaülikooli olemasoleva mikrovõrgu „Arukas energiasüsteem“ asemele, mis asub energeetikamaja ruumis 102. Töös tutvuti olemasoleva alalisvoolu mikrovõrgu seadmetega, milliseid on võimalik integreerida uude vahelduvvoolu mikrovõrku ja analüüsiti nende uues süsteemis kasutusele võtmise perspektiivsust.</p> <p>Uuriti mikrovõrkudes esinevaid elektrikvaliteedi probleeme ja analüüsiti nende esilekutsumise võimalusi planeeritava labori tingimustes.</p> <p>Magistritöö lõpptulemusena soovitati planeeritavasse mikrovõrgu laborisse kasutuselevõtmiseks sobilikke taastuenergeetikas laialtlevinud seadmeid ja projekteeriti nendest seadmetest lähtuvalt elektriskeem.</p>	
<i>Märksõnad:</i> mikrovõrk, tarkvõrk, labor, elektri kvaliteet	

ABSTRACT

<i>Author:</i> Martin Kesküla	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> Planning and design of the electrical installation of the microgrid laboratory	
<i>Date:</i> 04.05.2020	<i>140 pages (the number of thesis pages including appendices)</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> professor Argo Rosin	
<i>Consultant(s):</i>	
<i>Abstract:</i> <p>The aim of this master's thesis was to plan and design a new AC microgrid laboratory to replace the existing DC microgrid "Arukas energiasüsteem" of Tallinn University of Technology, which is located in room 102 of the Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics. The data of possible devices to be integrated into the new microgrid were examined and the perspective of their integration into the new microgrid was analyzed.</p> <p>The power quality problems in microgrid were studied and the possibilities of their induction in the conditions of the planned laboratory were analyzed.</p> <p>As a final result of the master's thesis, suitable equipment widely used in renewable energy was recommended for integrating into the planned microgrid laboratory and an electrical circuit was designed on the basis of this equipment.</p>	
<i>Keywords:</i> microgrid, smart-grid, laboratory, electricity quality	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Mikrovõrgu labori elektripaigaldise planeerimine ja projekteerimine
Lõputöö teema inglise keeles:	Planning and design of the electrical installation of the microgrid laboratory
Üliõpilane:	Martin Kesküla, 183301 AAAM
Eriala:	Energiamuundus- ja juhtimissüsteemid
Lõputöö liik:	magistritöö
Lõputöö juhendaja:	professor Argo Rosin
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	07.07.2021
Lõputöö esitamise tähtaeg:	07.07.2021

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Antud teema on valitud magistritööks, sest valdkond on aktuaalne ja huvitav. Kui arvestada taastuvenergia allikate osakaalu suurenemist energeetikas, muutub valdkond veelgi aktuaalsemaks. Elektrienergia tootmises pidevalt suurenev juhusliku iseloomuga taastuvenergia ressursside kasutuselevõtmine kasvatab nõudlust nutikate energiasäästu- ja hinnapõhiste juhtimismeetodite järele. Sellest lähtuvalt on oluline kasvatada ka ülikoolis tarkvõrkude õpetamise- ja teadustöö võimekust, mille üks osa on vastava taristu väljatöötamine.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on planeerida TalTechi mikrovõrkude alaseks teadus- ja arendustööks senise alalisvoolusiiniga mikrovõrgu asemele uus kolmefaasilise vahelduvvoolusiiniga mikrovõrk. Seejuures võtta kasutusele endise mikrovõrgu seadmeid võimalikult suures mahus. Uue mikrovõrgu kontseptsioon planeeritakse mahus, mis võimaldab koostada selle ehitamiseks vajalikud täpsustavad tingimused.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu

- Olemasolevate mikrovõrku integreeritavate seadmete seisukorra hindamine.
- Kaardistada mikrovõrkudes esineda võivad elektri kvaliteedi probleemid ja nende uurimiseks vajalike tingimuste loomise võimalused planeeritavas mikrovõrgus.
- Uue mikrovõrgu elektripaigaldise planeerimine.
- Mikrovõrkude alaseks teadus- ja uurimistööks sobilike seadmete analüüs ja valik.

- Teadus- ja uurimistööks uue mikrovrõrgu elektripaigaldise jooniste koostamine.

4. Lähteandmed

- Ehitajate teel 5/10 laboriruumis nr. 102 paikneva mikrovrõrgu "Arukas energiasüsteem" dokumentatsioon
- analüüsitavate seadmete dokumentatsioon
- standardid ja seadusandlus

5. Uurimismeetodid

- dokumentatsiooni, manuaalide ja standardite analüüs
- olemasolevate seadmete vaatlus ja katsetus

6. Graafiline osa

- Planeeritava mikrovrõrgu täielik esialgne skeem hakkab paiknema lissas.
- Elektriskeemide koostamiseks kasutatakse arvutitarkvara CADMATIC.

7. Töö struktuur

- SISUKORD
- LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE
- SISSEJUHATUS
- OLEMASOLEVAD SEADMED
- ELEKTRI KVALITEET MIKROVÕRKUDES NING VÕIMALUSED HÄIRINGUTE ESILEKUTSUMISEKS
- UUE MIKROVÕRGU ELEKTRIPAIGALDISE PLANEERIMINE
- PLANEERITAVA MIKROVÕRGU SEADMED
- PROJEKTEERITUD ELEKTRIPAIGALDIS
- ETTEPANEKUD MIKROVÕRGU TÄIENDAMISEKS
- KOKKUVÕTE
- KASUTATUD KIRJANDUS

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Mikrovrõrgu „Arukas energiasüsteem“ materjalid, Riigiteataja, standardid, seadmete tehniline dokumentatsioon.

9. Töö etapid ja ajakava

- Olemasoleva mikrovrõrgu dokumentatsiooniga tutvumine (31.12.2019)
- olemasoleva mikrovrõrgu seadmete tehnilise seisukorra hindamine (18.02.2020)

- mikrovrkude elektrikvaliteedi probleemide kaardistamine ja nende uurimiseks vajalike tingimuste loomise võimalused planeeritavas mikrovrigus (14.03.2020).
- planeeritavasse mikrovrku integreeritavate seadmete valik (21.03.2020)
- elektripaigaldise jooniste valmimine(10.04.2020)
- kokkuvõtte koostamine (30.04.2020)
- töö esmase versiooni valmimine(05.05.2020)
- juhendajale läbilugemiseks saatmine (05.05.2020)
- paranduste sisseviimine (10.05.2020)
- juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine (15.05.2020)
- töö lõpliku versiooni valmimine(20.05.2020)
- tähtaeg (07.07.2021)

Ettenägematutel põhjustel võivad kirjeldatud ajakava ja tööstruktuur muutuda.

EESSÕNA

Lõputöö teema „Mikrovõrgu labori elektripaigaldise planeerimine ja projekteerimine“ on sõnastatud professori Argo Rosin algatusel, kes kuulub Tallinna Tehnikaülikooli struktuuriüksusesse „Mikrovõrkude ja metroloogia uurimisrühm, sh valgustehnika labor“.

Põhilised andmed lõputöö koostamiseks koguti olemasoleva mikrovõrgu „Arukas energiasüsteem“ dokumentatsioonist, Eesti Standardikeskus MTÜ kodulehelt saadavatest standarditest ja seadusandlusest, mis on avaldatud Riigiteatajas ning taastuvenergeetikas kasutatavate seadmete valmistajate kodulehtedel saadavatest juhenditest. Lõputöö on koostatud Tallinnas.

Käesolevas töös planeeritakse ja projekteeritakse Tallinna Tehnikaülikooli olemasoleva DC mikrovõrgu „Arukasenergiasüsteem“ asemele uut vahelduvvoolu mikrovõrku.

Lühendite ja tähiste loetelu

Esitatud lühendid pärinevad standardist EVS-EN IEC 81346-2:2020 ja need on järjestatud kujul „Lühend – tähendus käesolevas töös“.

BA	elektripotentsiaali tajuv objekt
BC	elektrivoolu tajuv objekt
BT	temperatuuri tajuv objekt, temperatuuri andur
BU	mitut suurust tajuv objekt, voolu, pinget
CA	mahtuvuslik talletav objekt, kondensaator
CAA	kondensaator
CC	elektrokeemiline talletav objekt, aku
F	kaitsev objekt, kaitselüliti, sulavkaitse
GB	keemilisest energiast elektrienergiat genereeriv objekt, kütuseelement
GC	päikeseenergiast elektrienergiat genereeriv objekt
GQ	gaasilist voolu genereeriv objekt, elektrolüüser
KEB	juhtimisüksus, PLC kontrollier
KED	elektrisignaale töötlev objekt, arvutivõrgu switch
Q	objekt voolu ohjamiseks ehk juhtimiseks, kontaktor, lüliti
QA	ohjav objekt, elektrivoolu mõttes, elektriahelast, kontaktor
QB	ohjav objekt, elektriahelate eraldamise abil, koormuslahklüliti
RAB	elektrienergiat piirav objekt, induktiivsus
RAC	elektrienergiat piirav objekt, resistor
RBA	elektrit stabiliseeriv objekt, katkematu toite tagamise abil, UPS
RF	piirav objekt, stabiliseerides signaali
TA	muundav objekt, mis säilitab vahelduvvoolu või alalisvoolu omaduse, AC/AC, DC/DC
TB	teisendav objekt, muundab alalisvoolu vahelduvvooluks ja vastupidi, DC/AC, AC/DC
TC	universaalne toiteallikas
WD	suunav objekt, madalpingelise elektrienergia mõttes
WG	suunav objekt, elektriliste signaalide mõttes
XD	liidestav objekt, madalpingelise elektrivõimsuse mõttes
XDB	madalpingeline tugevvoolupistik
XG	liidestav objekt, elektriliste signaalide mõttes

SISSEJUHATUS

Lõputöö teemaks valisin „Mikrovõrgu labori elektripaigaldise planeerimine ja projekteerimine“, sest valdkond on aktuaalne ja huvitav. Kui arvestada taastuenergia allikate osakaalu suurenemist energeetikas, muutub valdkond veelgi aktuaalsemaks. Elektrienergia tootmises pidevalt suurenev juhusliku iseloomuga taastuenergia ressursside kasutuselevõtmine kasvatab nõudlust nutikate energiasäästu- ja hinnapõhiste juhtimismeetodite järele. Sellest lähtuvalt on oluline kasvatada ka ülikoolis tarkvõrkude õpetamise- ja teadustöö võimekust, mille üks osa on vastava taristu väljatöötamine.

Lõputöös lahendatavaks probleemiks on asjaolu et, Tallinna tehnikaülikooli olemasolevat mikrovõrgusüsteemi nimetusega „Arukas energiasüsteem“ ei saa kasutada õppe-, teadus- ja arendustöös juba aastaid selle kehva tehnilise seisukorra tõttu. See on ehitatud 2012 aastal ja asub aadressile Ehitajate tee 5/10, energeetikamaja esimesel korrusel, laboriruumis nr. 102.

Ülikooli struktuurüksus „Mikrovõrkude ja metroloogia uurimisrühm, sh valgustehnika labor“ vajab oma töös täna kolmefaasilist mikrovõrgu lahendust, sest vahelduvvoolu võrgud on maailmas rohkem levinud, kui alalisvoolu omad. Suurema leviku tõttu puudutavad nendes esinevad elektri kvaliteedi probleemid ka suuremat hulka kasutajaid, kellede jaoks antud teema on aktuaalne. Tarkvõrgu juhtimis lahenduste areng ja laialdasem kasutuselevõtmine mikrovõrkudes põhjustab neist tingitud elektri kvaliteedi probleemide kasvu. Uurimisrühm soovib hakata kasutama uut mikrovõrku praktiliste uurimustööde läbiviimiseks, eesmärgiga arendada tarkvõrkude juhtimissüsteeme nii, et need ei tekitaks lisa probleeme.

Käesolevas töös ei analüüsita olemasoleva mikrovõrgu hetke tehnilist olukorda ega selle tekke põhjuseid. Küll aga kirjeldatakse selle ülesehitust ja seadmeid ning nende tehnilisi parameetreid. Analüüsitakse nende seadmete integreerimise võimalusi uude vahelduvvoolu mikrovõrku ja vajadusel asendamist.

Töös luuakse ka ülevaade mikrovõrkudes esinevatest elektri kvaliteedile probleemidest ja tuuakse näiteid võimalustest nende tekitamiseks laboritingimustest.

Käesoleva magistritöö ülesanne on planeerida ja projekteerida paindlik labori elektriskeem, mikrovõrkudes toimuvate protsesside praktiliseks uurimiseks ja

laboratoorsete uurimustööde läbiviimiseks. Mikroõrgu elektripaigaldise skeemi koostamisel võetakse aluseks töös soovitatud seadmed.

Käesolevas töös käsitletakse peamiselt planeeritava mikroõrgu tugevvoolu osa. Käesolevas töös ei käsitleta planeeritava mikroõrgu maksumust ja selle nõrkvoolusüsteemi ning selle osasid, andureid jne.

Elektriskeemide projekteerimistöös on kasutatud arvutitarkvara „CADMATIC“.

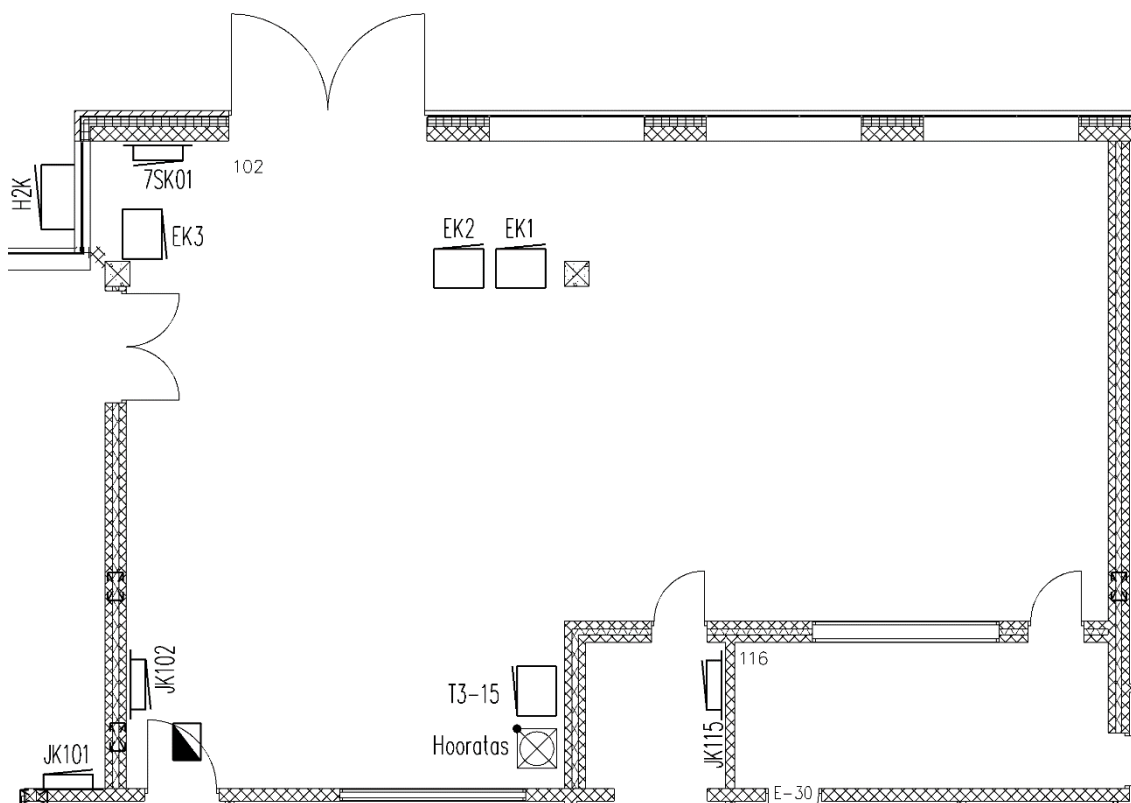
1. OLEMASOLEVAD SEADMED

Arukas energiasüsteemis olevate seadmete integreerimiseks uude planeeritavasse mikrovõrku, tuleb esmalt tutvuda olemasoleva mikrovõrguga ja selles asuvate seadmetega. Tuleb teha kindlaks, missugune on olemasoleva mikrovõrgu lahenduse ülesehitus ja millises seisukorras on selle säilinud seadmed.

TalTechi Mikrovõrk nimetusega „Arukas energiasüsteem“ oli rajatud aadressile Ehitajate tee 5/10. See asus energeetikamaja esimesel korrusel laboriruumis nr 102 ning koosnes järgmistest funktsionaalsetest osadest:

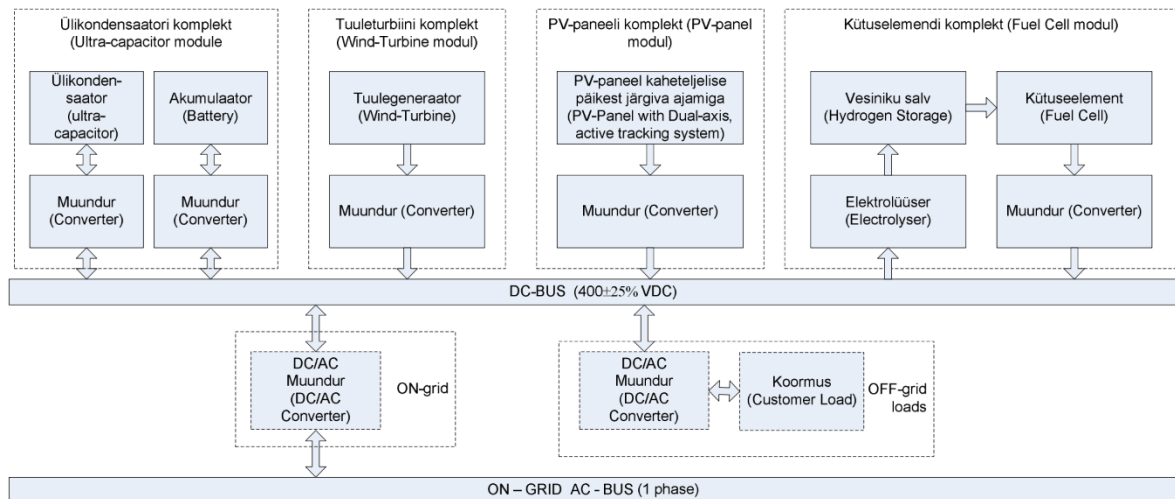
- juhtimise ja analüüsi komplekt asus kilbis EK1 ruumis 102;
- ülikondensaatorikomplekt asus kilbis EK2 ruumis 102;
- kütuseelemendikomplekt asus kilbis EK3 ruumis 102;
- tuuleturbiinikomplekt asus kilbis EK4 tuuliku jalamil õues;
- päikesepaneelide komplekt EK5 paiknes õppehoone katusel.

Aruka energiasüsteemi ruumi planeering laboratooriumis on ära toodud (Joonis 1.1). Tähistega T3-15 on tähistatud hoorattakomplekt, mis integreeritakse loodavas vahelduvvoolusiiniga mikrovõrku. Olemasolevasse mikrovõrku see ei kuulunud.



Joonis 1.1 – Aruka energiasüsteemi kilpide asukohad ruumis 102

Mikrovõrgusüsteemi struktuur on esitatud joonisel (Joonis 1.2). See sisaldas põhimõtteliselt alalisvoolu jaotusvõrku, kuhu olid ühendatud samale 400 Vdc siinile kõik võrgu tootmis-, salvestus- ja tarbimisüksused. Alalisvoolu jaotusvõrgu keskne siin asus kilbis EK2. Välisvõrguga ühendas mikrovõrgusisest alalisvoolu jaotussiini kahesuunaline AC/DC muundur Flexiva PM3AC10, võimsusega 2,3 kW. Sama tüüpi teise muunduri kaudu toideti võrgu *OFF-grid* vahelduvvooluseadmeid ja omatarbeahelaid, et võrk jääks tööle ka siis, kui välisühendus peaks katkema. [1]



Joonis 1.2 – Aruka energiasüsteemi struktuur [1]

Uuest mikrovõrgu projekteerimise ülesandest on tuulegeneraatori süsteem välja jäetud kuna instituut seda enam ei vaja. Seega puudub vajadus selle süsteemi kirjeldamiseks ja olukorra selgitamiseks.

Laboratooriumis aruka energiasüsteemiga tutvumisel selgus, et ühendus õppehoone elektrivõrguga oli teostatud kolmefaasilise 16 A pistikupesaga, milles kasutati ainult üht faasi. Toide saadi mikrovõrgu kilpi EK2 samas ruumis paiknevast kilbist 7SK01 ja selleks kasutati PPJ kaablit 3G1,5. [1]

Etteruttavalt peab ütlema, et kuna puudub olemasoleva mikrovõrgu käidudokumentatsioon, siis ei ole täna enam võimalik teha järeldusi selle kohta, mis võis valesti minna ja mille tõttu olemasoleva mikrovõrgu paigaldis seisma jäi. Seepärast vaatleme olemasolevat mikrovõrku ja selle seadmeid ainult nende parameetritest ja ülesehitusest lähtuvalt laboratooriumis nähtu ja „Aruka energiasüsteemi“ dokumentatsiooni põhjal.

1.1 PV süsteem

Instituudilt saadud informatsiooni alusel ei tule „Aruka energiasüsteemi“ juurde kuulunud päikeseenergia lahendus tervikuna kasutusele. See luuakse uues süsteemis mobiilsena, soovikorral kasutada paigaldatakse paneelid ajutiselt õue. Endisest süsteemist võetakse uues süsteemis kasutusele ainult selle varupaneelide komplekt, neli polükristall-päikesepaneeli. Paneelide koguvõimsus on 900 W ja neid iseloomustav tehniline informatsioon lähtuvalt standardtingimuste testist STC ja normaaltingimuste testist NOCT on esitatud tabelis (Tabel 1.1). Paneelid koosnevad 60 elemendist ja nendesse on tehases integreeritud kolm möödavoolu diodi ehk üks diod iga 20 elemendi kohta. Juhend lubab sellist tüüpi paneele jadamisi ühendada kuni pingeni 1000 V. [2]

Tootja esitatud andmetest selgub, et STC test on läbi viidud tingimustel, kus päikesekiirgus on 1000 W/m² ja paneeli temperatuur 25 °C. [2]

Samuti selgub andmetest, et NOCT test on teostatud tingimustel, kus päikesekiirgus on 800 W/m², keskkonna temperatuur 20 °C, paneeli temperatuur 46 °C ja tuulekiirus 1 m/s. [2]

Tabel 1.1 – Päikesepaneelide andmed [2]

Tootja	Naps Systems Ltd	
Mudel	Naps Saana 225 PBW	
Testi tüüp	STC	NOCT
Maksimaalvõimsus	225 W	161,8 W
Vool maksimaalvõimsusel	7,8 A	6,19 A
Pinge maksimaalvõimsusel	28,9 V	26,1 V
Lühisvool	8,44 A	6,83 A
Avatud ahela pinge	36,9 V	33,8 V
Mooduli efektiivsus	14,1...14,4 %	

Päikeseenergia tootmisüksusest võetakse uues süsteemis kasutusele neli polükristall-päikesepaneeli Naps Saana 225 PBW. Laboris nende paneelide visuaalsel hindamisel, et nad on terved ja välimuse põhjal võib öelda, et ilmselt on neid enamasti siseruumides hoiustatud. Seega pole põhjust arvata, et nad ei peaks olema töökorras, kuna termiline stress on neile vähe mõju avaldada saanud. Päikesepaneelide kasutuselevõtmiseks on vaja leida neile sobiv DC/AC muundur.

1.2 Kütuseelemendi komplekt

Olemasolevas mikrovõrgus oleva vesinikusüsteemi nimiaandmed:

- vesiniku kütuseelement Nexa 1200;
 $P_{out} = 1,2 \text{ kW}; U_{out} = 20...36 \text{ V}_{DC}; I = 60 \text{ A};$
- elektrolüüserist H2 Gas Generator NMH2-1000;
 $P = 790 \text{ W}; U = 230 \text{ V}.$

Vesinikusalvesti süsteemi kohta kogutud informatsiooni ja selle teemalise elektronkirjavahetuse põhjal on teada, et:

- elektrolüüser H2 Gas Generator NMH2-1000 ei suuda toota vesinikku piisava rõhuga, et täita vesinikuballoone;
- kütuseelement NEXA 1200 ei suuda välja anda tootja poolt lubatud nimivõimsust, milleks on 1200 W.

Eelnevalt toodud infost järeldub, et vesinikusalvesti seadmed vajavad remonti. Antud töös gaasiseadmete remontimist, ehitamist ega ümberehitamist ei käsitleta ja seetõttu planeeritavasse uude mikrovõrgulahendusse seda seadet käesolevas töös ei integreerita. Arvestades eelnevat, on mõistlik antud seadme loobuda, sest mikrovõrgu uurimise seisukohalt ei oma tähtsust, millist kütust füüsiliselt kasutavad energiat võrku andvad seadmed. Vajaduse korral on võimalik kasutada emulaatorit, et jäljendada vesiniku kütuseelemendi käitumist, aga see vajaduski on äärmiselt ebatõenäoline.

1.3 Ülikondensaatorsalvesti

Vanas „Aruka energiasüsteemi“ lahenduses kasutati ainult ühte ülikondensaatorpatareid, kuid samade andmetega ülikondensaator mooduleid on laboris teises kilbis veel kolm eksemplari. Süsteemis kasutusel olnud ülikondensaatorpatarei Maxwell BMOD0165 andmed: mahtuvus $C = 165 \text{ F}$; nimipinge $U_n = 48 \text{ V}$; maksimaalne pinge $U_{max} = 51 \text{ V}$; maksimaalne sisetakistus $ESR_{DC} = 6,3 \text{ m}\Omega$; lekkevool $25 \text{ }^\circ\text{C}$ juures $5,2 \text{ mA}$; maksimaalne impulssvool (1 s) 1900 A ; tüüpiline lühisvool 7600 A ; energiamahutvus 53 Wh ; töötemperatuur $-40...65 \text{ }^\circ\text{C}$; eluiga säilitades $25 \text{ }^\circ\text{C}$ juures neli aastat; eluiga säilitades $25 \text{ }^\circ\text{C}$ juures nimipingel 10 aastat; ülikondensaatorpatarei eluiga on üle 1 000 000 laadimis- ja tühjendamistsükli kui hoiustades seda laetult nimipingel 48 V . Lisaks on sellesse integreeritud sisemine NTC termotakistit. [3]

Ülikondensaatorsalvestist saaks uues mikroörgu lahenduses kasutada ainult kondensaatorpatareisid, leides neile sobiv DC/AC muundur. Samade andmetega ülikondensaatorpatareisid on laboris kokku neli ekspempari ja nende kasutusele võtmisega on lubatud käesolevas töös arvestada. Kui võtta kasutusse kõik neli, siis oleks nende koguenergiamahutuvus $4 * 53 \text{ Wh}$ ehk 212 Wh. Sellel juhul saaks mängida kondensaatorpatarei paki nimipingega neid erilülitustesse lülitades kuni pingeni 192 V. Kondensaatorpatarei Maxwelli BMOD0165 tehnilises dokumentatsioonis lubatakse seda mudelit jadalülitusse ühendada kuni pingeni 750 V. [3]

Uude mikroörgulahendusse ei ole mõtet olemasolevaid ülikondensaatorpatareisid rakendada, sest nad on vanad. Kolm ülikondensaatorit, mis lubati süsteemis kasutusele võtta, on seisnud teadmata kaua laadimata olekus. Samuti puudub informatsioon mikroörgu süsteemis oleva kondensaatorpatarei säilitustingimuste kohta. Patarei vanus on probleem sellepärast, et laadimata olekus on tootja andnud sellele mudelile elueaks neli aastat. Kuna laboris olevaid ülikondensaatorpatareisid ei ole säilitatud nimipingel, siis on nad suure tõenäosusega suuremal või vähemal määral erinevalt vananenud. Tulenevalt eelnevast ei ole neid enam ohutu jadaühendusse lülitada, kuna nende parameetrid mahutuvus ja lekkevool on erinevad.

1.4 Akusalvesti

Olemasoleva mikroörgu akusalvestist on tänaseks säilinud ainult akud. Algselt oli „Arukas energiasüsteemis“ kasutusel neli akut. Täna on akusalvesti projekteerimise jaoks kasutada kilbis kuus Victron Energy 12 V ja 220 Ah akut BAT412201084.

Olemasolevad AGM süvatsükli akud tühjenevad 20 °C juures iseeneslikult kuni 2 % kuus. Isetühjenemine kahekordistub temperatuuri tõusul iga 10°C kohta. Juhul kui akusid hoiustatakse *float*- ehk säilituspingel 20 °C juures, lubab tootja akude elueaks 7...10 aastat. Nimetatud akude säilituspinge on 13,5...13,8 V. [4]

Akude seisukorda ja kasutuskõlblikkust tuleb kontrollida, sest nad on seisnud juba pikemat aega laboris ilma rakendusega ja puudub informatsioon, millal ja kes on neid hooldanud, see tähendab mõõtnud perioodiliselt pinget ja vajadusel laadinud. Olenemata sellest, et tegemist on süvatsükli AGM-akudega, ei talu needki tühjajana seismist. Nende akude isetühjenemise kiirus on kuni 2 % kuus. Arvestada tuleb, et laboris ei ole neid akusid hoiustatud säilituspingel: ei ole kasutatud laadijat või muud alalispinge toiteallikat selleks, et hoida akude säilituspinge pidevalt vähemalt 13,5 V.

Seega on akude järelejäänud eluiga juba väiksem kui tootja tagatud eluiga säilituspingel.

1.5 Hooratta komplekt

Kavandatavasse uude mikrovõrku on plaanitud integreerida ka hoorattakomplekt. Endise mikrovõrgulahenduse süsteemi juurde see ei kuulunud.

Hoorattakomplekti tehnilised näitajad on [5]:

- tootja ja mudel: Rosseta Technik GmbH, T3-15;
- energiamahuvus: 300 kW;
- võimsus: 15 kW;
- tühijooksukaod: 0,4 kW;
- kaod maksimumvõimsusel: 2,4 kW;
- pöörlemiskiirus: <6000 p/min.

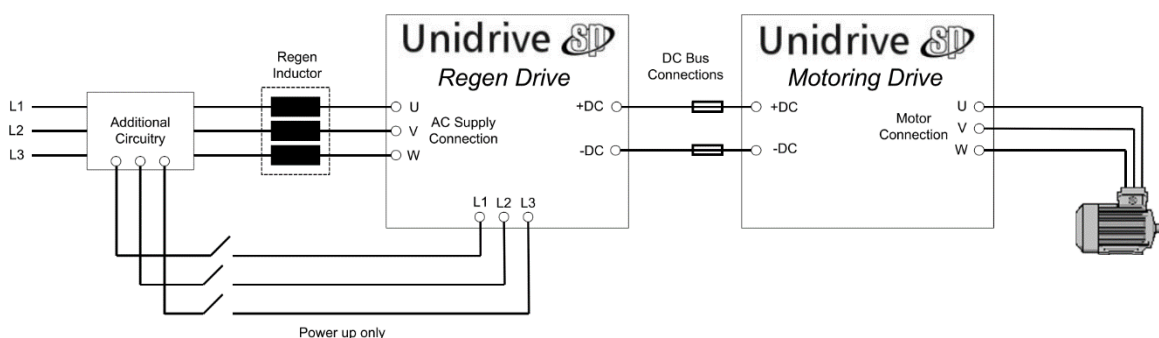
Mootorina kasutatakse lühisrootoriga asünkroonmootorit (VEM WE1R 160 MX2), mille efektiivsusnäitajaid on parandatud. Selle võimsus on 15,0 kW, sisaldab kaht pooluspaari, nimipinge on 400 Vac ja nimivool 27 A. Pöörlemiskiiruse vähenedes vahemikus 6000...3000 p/min. annab hooratas 20 sekundi jooksul energiat 15 kW. Kiiruse langedes alla 3000...500 p/min saab vähem energiat. Kiirusel alla 500 p/min ei anna hooratas enam energiat võrku. [5]

Hoorattasüsteem sisaldab kahte „Control Techniques Unidrive SP2403“ 15 kW DC/AC muundurit. Energia salvestamine hoorattasse toimub järgselt üks muunduritest on ühendatud vahelduvpingevõrku ja töötab energia salvestusrežiimis alaldina, tekitades muundureid omavahel ühendavale alalisvoolusiinile alalispinget. Teine muunduritest käitab elektrimootorit, mis on hoorattaga mehaanilises ühenduses. Kiirendades hooratta pöörlemiskiirust, salvestatakse pöörlevasse massi kineetilist energiat. Hoides pöörlemiskiirust ühtlasena, püsib salvestunud kineetilise energia hulk konstantsena.

Hoorattasüsteemi aeglustades, vähendades hooratust käitava muunduri väljundsagedust madalamaks, kui seda on hooratta hetke pöörlemissagedusele vastav sünkroonkiirus, suunatakse kineetilise energiana salvestunud energia tagasi muundureid ühendavale alalisvoolu siinile ja võrguga ühenduses olev muunduri töötab siis inverterrežiimis ja hooratta mootor asünkroongeneraatori režiimis.

Muundur annab asünkroongeneraatori režiimis töotavale hoorattamootorile magneetimisvoolu, et tekitada staatori pöördmagnetväli. Asünkroongeneraator tarbib muundurist reaktiivenergiat ja annab muundurile tagasi aktiivenergiat, mis saadakse hoorattasse salvestunud kineetilise energia arvelt. See aktiivenergia suundub läbi muunduri paikneva kolmefaasilise sildalaldi, võrgu inverterit ja draivi ühendavale DC-siinile. Võrgu inverter aga püüab DC-siinil pinget ühtlasena hoida ja seetõttu hakkab vaheldi abil energiat elektrivõrku suunama. Sel juhul on hooratta mootor rekuperatiivpidurdus-talitluses ehk töötab generaatorina. Generaatorirežiimis staatorimähistes indutseeritud elektromotoorjõud, voolu suund, libistus ja moment muutuvad vastupidiseks ehk negatiivseks, mistõttu hooratta pöörlemiskiirus hakkab aeglustuma. Hooratta lühisrootoriga asünkroonmootor tarbib generaatorirežiimis muundurist 25...45 % ulatuses reaktiivenergiat oma nimivõimsusest. [6, 7]

Olemasoleva hooratassalvesti ehitus vastab muunduri valmistaja „Control Techniques“ juhendis „Unidrive SP Regen Installation Guide“ toodud standardlahendusele (Joonis 1.3).



Joonis 1.3 – Standardlahendus „Unidrive SP Regen Installation Guide“ juhendist [8]

Hoorattasüsteemi laboris katsetamise tulemusel selgus, et see on töokorras, kuid ei oma hetkel elektrivõrgu automaatseks toetamiseks vastavat funktsionaalsust. Mikrovõrgus hoorattasüsteemi rakendamiseks tuleb sellele lisada võrgu juhtimiseks ja ka võrgu toetamiseks vajalik funktsionaalsus ning automaatika selle funktsionaalsuse realiseerimiseks. Selleks et hoorattakomplekt mikrovõrgus kasutusele võtta, on vaja sellesse integreerida *droop* reguleerimise funktsionaalsus ja juhitavus mikrovõrgu juhtimissüsteemist.

Hooratassalvesti kohta tasub märkida, et kuna ettevõtte Rosseta Technik GmbH T3-15 on lõpetanud oma tegevuse 2013. a. juulis, siis ei ole neilt enam võimalik saada tuge ega varuosi [9]. Põhjalikult on võimalik tutvuda olemasoleva hoorattaga varasema lõputöö vahendusel [5].

1.6 Mootorgeneraator

Instituudi loal on lubatud uues planeeritavas mikrovõrgulahenduses kasutusele võtta ka laboriruumis paiknev kahest lühisrootoriga mootorist koosnev mootorgeneraator. Mootorgeneraatori komplektis on kaks kolmefaasilist lühisrootoriga asünkroonmootorid. Nende andmed on toodud (Tabel 1.2).

Tabel 1.2 – Mootorgeneraatori andmed

Mootor – ABB M3AA 160 L4					
V	Hz	p/min	kW	A	$\cos \varphi$
400 D	50	1460	15	29,0	0,82
690 Y	50	1460	15	16,7	0,82
Generaator – ABB M3AA 132 S					
V	Hz	p/min	kW	A	$\cos \varphi$
380...420 D	50	1460	5,5	11,1	0,84
660...690 Y	50	1460	5,5	6,4	0,84

Toodud andmetest selgub, et nii mootoril kui generaatoril on kaks pooluspaari, sest kahe pooluspaari korral on asünkroonmootori sünkroonkiiruseks 1500 p/min, arvutus on toodud (1.1). See aga vastab toodud mootorite nimikiirustele, mis on sünkroonkiirusest libistuse võrra väiksemad. Asünkroonajami libistuse saab leida valemiga (1.2).

$$n_1 = \frac{f_1 * 60}{p} = \frac{50 \text{ Hz} * 60}{2} = 1500 \text{ p/min} \quad (1.1)[7]$$

kus n_1 - staatori pöördvälja kiirus ehk sünkroonkiirus p/min;
 f_1 - vahelduvvoolu võrgusagedus Hz;
 p - masina pooluspaaride arv.

$$s_n = \frac{n_1 - n_n}{n_1} \quad (1.2)[7]$$

kus s_n - nimilibistus;
 n_n - rootori pöörlemiskiirus p/min.

Asünkroonmootor läheb generaatorirežiimi siis, kui tema rootori pöörlemiskiirus on suurem kui mikrovõrgu tekitatud staatori magnetvälja pöörlemiskiirus. Staatori magnetvälja pöörlemiskiirus sõltub staatori pooluspaaride arvust ja võrgusagedusest. Generaatorirežiimis muutub libistus negatiivseks, samuti muutuvad negatiivseks staatorimähistes indutseeritud elektromotoorjõud, mis indutseeritakse staatorimähistes, ja voolusuund. Selle tulemusena muudab ka elektromagnetiline moment oma suunda ja hakkab rootori sünkroonkiirusest suuremat pöörlemiskiirust pidurdama. Asünkroongeneraatorite puuduseks on nende küllaltki suur reaktiivenergia tarve elektrivõrgust staatorimagnetvälja tekitamiseks, 25...45 % generaatori nimivõimsusest. Eeliseks on aga see, et asünkroongeneraatoritele ei ole ohtlik võrgusageduslikust sünkronismist väljalangemine. [7]

2. ELEKTRI KVALITEET MIKROVÕRKUDES NING HÄIRINGUTE ESILEKUTSUMISE VÕIMALUSED

Eesmärk on luua mikrovõrk, milles saab uurida elektrikvaliteeti mõjutavaid tegureid ja nende mõju praktikas, kasutades reaalseid seadmeid. Tulenevalt energeetikasektori uutest trendidest seoses taastuvenergeetika osakaalu suurenemisega muutuvad võrkude elektri kvaliteedi probleemid üha aktuaalsemaks.

Avalikes võrkudes on elektri kvaliteedi näitajad normeeritud standardist EVS-EN 50160 tulenevate nõuetega. Standardis toodud elektri kvaliteeti näitavate parameetrite alusel saame määrata osaliselt uue planeeritava mikrovõrgu funktsionaalsed vajadused nende uurimiseks.

Õppe ja teadustööde läbiviimise seisukohalt on oluline, et elektri kvaliteedi häireid saaks tekitada juhitult ja oleks võimalik olukordi täpselt taastada.

2.1 Võrgusagedus

Võrgu sagedust mõjutab energia tootmise ja tarbimise vaheline seos ehk võimsusbilanss: kui tarbitav võimsus võrgus hüppeliselt suureneb, hakkab sagedus langema, kui aga koormus hüppeliselt väheneb, siis tõusma. Loomulikult reageerivad sageduse tõusule ja langusele regulaatorid, mis vähendavad või suurendavad generaatorit käitava süsteemi võimsust, et sagedus uuesti ettenähtud vahemikku reguleerida.

Selleks et saaks uurida sünkronismist väljalangemist ja mikrovõrkude nutikaid lahendusi selle ennetamiseks, tuleb planeeritavas mikrovõrgus ette näha võimalus nõrga välisühenduse loomiseks. Samuti tuleb selleks otstarbeks mikrovõrgus ette näha koormuse muutusele tundlikke, genereerivaid allikaid või nende ühendamise võimalust. Reeglina on sellisteks allikateks madala võimsusega generaatorid oma väikese pöörleva massi ehk inertsiga tõttu. Selle probleemi vähendamiseks on võimalik kasutada mitmesuguseid elektrooniliste muunduritega varustatud salvestusseadmeid. Samuti on abiks otse võrku lülitatud suure inertsiga koormamata või vähese koormusega elektrimootorid, sest kui sagedus langeb alla nende hetke pöörlemiskiirusele vastava sünkroonkiiruse, lähevad nad generaatorirežiimi nii kauaks, kuni kineetilise energiana salvestunud pöörlemiskiirus on suurem kui lühiajaliselt langenud võrgu sünkroonkiirus.

Standardist tulenevad nõuded võrgusagedusele. Meil kehtivate nõuete kohaselt on toitepinge sagedus 50 Hz. Võrgu normaaltalitluses peab 10 s vältel mõõdetud sageduse keskväärtus olema [10]:

- võrguga sünkroonselt ühendatud ehk nn *on-grid* võrkudes: aastast 95,5 % ajast vahemikus 50 Hz ± 1 % (49,5...50,5 Hz) ja 0,5 % ajast võib sagedus olla ka vahemikus 50 Hz +4 % / -6 % (47...52 Hz);
- võrguga sünkroonselt ühendamata ehk *off-grid* võrkudes: 95 % ajast nädalas vahemikus 50 Hz ± 2 % (49...51 Hz). Nädala kestel võib sagedus 5 % ajast olla ka vahemikus 50 Hz ± 15 % ehk (42,5...57,5 Hz).

Tuleb lisada, et erakorralistes tingimustes lubab standard sageduse kõikumist ka laiemas vahemikus [10]. Seega oleks soovitatav, kui mikrovrõrku valitavad off-grid talitlust võimaldavad muundurid toetaksid laiemat sageduse vahemikku, kui standard seda enamalt määrab (42,5...57,5 Hz).

2.2 Toitepinge aeglased muutused

Energia tarbimine on suurenenud piirkondades, kus ei osatud elektrivõrkude rajamisel sellist tarbimisekasvu ette näha. Seepärast jäävad nende piirkondade toitevõrgud nõrgaks. See toob kaasa suuremaid pingelangusi, mis võivad piirkonna koormusmaksimumi ajal lubatud piiridest väljuda. Võrku otse lülitatud asünkroonmootorid on pingelangude suhtes väga tundlikud, sest nende arendatav moment on võrdelises seoses pinge ruuduga. Kui mootori koormus on suurem kui arendatav pöördemoment, siis mootori rootor seiskub. Seiskunud asünkroonmootor mõjub võrgus nagu lühis, sest otse võrku lülitatud lühisrootoriga asünkroonmootori käivitusvool on 4,5...8 korda suurem kui nimivool nimikoormusel. Niisamuti nagu väheneb asünkroonmootori mootori maksimaalselt arendatav moment, väheneb ka tema käivitusmoment. Seega otsevõrku lülitatud mootori taas käivitumiseks on vaja standardiga määratud vahemikus toitepinget, kui mootor on käivituse hetkel koormatud nimikoormusega. Asünkroonmootoriga varustatud tähtlülituses käivitavate ajamisüsteemide käivitusmoment on kolm korda väiksem ja pinge vähenedes väheneb see veelgi. Mootorid, mis saavutavad pärast seiskumist siiski ka veidi tõusnud pingega käivitumiseks vajaliku momendi, käivituvad pikema aja vältel ja kuumenevad seetõttu rohkem. Seiskunud rootoriga ja tavapärasest pikema käivitusprotsessiga mootorite mähiste isolatsioon kuumeneb normaalsest suurema voolu tagajärjel ja võib kahjustada mootori mähiste isolatsiooni, mistõttu need riknevad. [7]

Energia liikumise suund on hakanud võrkudes vahelduma. Sest piirkonnad, kus algset oli tegemist ainult energia tarbimisega, on hakanud nüüd elektrit tootma taastuenergia allikatest. Taastuva energia allikate, eriti tuule ja päikeseenergia tootmise miinus on aga nende heitlikkus, sest ühtlast tootmisvõimsust ei ole võimalik tagada. Selline ebastabiilse elektri tootmisvõimsuse osakaalu pidev suurenemine võrkudes toob aga kaasa elektrivõrkude probleeme. Need tekitavad vajaduse üha suurema võimsusega reservelektritootmisüksuste järele. Sellisteks reservvõimsusteks sobivad näiteks pöörlevreserv või salvestusseadmetel baseeruv reserv.

Planeeritavas mikrovõrgus aeglaste pingemuutuste esile kutsumiseks on võimalik kasutada nõrka välisühendust ja mikrovõrgusisest tootmise tugevat ülekaalu või tarbimise tugevat ülekaalu. Sel juhul hakkab mikrovõrgusisene pinge nõrgast välisühendusest tingitult muutuma välisühenduse poolel olevast pingest, sest ühenduslülil tekib pingelang. Kui mikrovõrk aga viia saartalitluse olukorda, siis muutub võrgusisene pingetase võimsusbilansi suhtes oluliselt tundlikumaks. Planeeritavas võrgus tuleb selleks ette näha nii tootmis- kui tarbimisvõimsuste juhtimise võimalused.

Standardist tulenevad nõuded aeglastele pingemuutustele. Toitepinge aeglased muutused ei tohi normaaltalitluses ületada nimipinget U_n 10-minutilisest keskmisest efektiivväärtusest $\pm 10\%$ nädala jooksul. Seega 230-voldise nimipingega võrgu korral on see 207...253 V. Nädala vältel võib see 5% ajast olla ka vahemikus +10 kuni -15% (195,5...253 V). [10]

Kaugel asuvates tarbijate juures ja ülekandevõrkudega mitte ühendatud (*off-grid* ehk saartalitluses) elektrivõrkudes ei tohi toitepinge aeglased muutused nimipingest U_n olla suuremad kui +10% kuni -15% (195,5...253 V). Kusjuures elektrivõrkude kasutajaid, kelle tarbimispunktides toitepinge muutused normaaloludes võivad olla -10% kuni -15%, tuleb sellest teavitada. [10]

2.3 Üksik kiire toitepinge muutus

Sellised pingemuutused tekivad tavaliselt tarbimiskoormuse muutustest tarbijapalgaldistes ja nende suurus sõltub lühisvõimsuse tasemest. Pingemuutusi põhjustavad näiteks üksiku võimsa elektriseadme või mitmete seadmete samaaegne sisse- või väljalülitamine. Võrgus esinevad transientliigpinged on tavaliselt põhjustatud äikese indutseeritud pingest, riketest või suurte võimsuste lüümisest. Madalpinge süsteemi poolel võib teatud tingimustel põhjustada ajutise liigpinge ka eespool trafot

tekinud lühis. Enamasti ei ületa sellised liigpinged madalpingesüsteemides 1,5 kV efektiivväärtust. [10]

Üksikute kiirete toitepinge muutuste esilekutsumiseks planeeritavas mikrovõrgus tuleb samuti ette näha tootmis- ja tarbimisvõimsuste kiire juhtimise võimalus.

Standardi kohaselt liigitatakse ka üksik pingemuutus pingelohuks või muhuks, kui see ületab neile sätestatud piiri [10]:

- Pingelohuks nimetatakse pinge langust rohkem kui 10 % nimipingest. Sageli on selle põhjuseks avalike elektrivõrkude või tarbija elektripaigaldise rikked.
- Pingemuhuks nimetatakse pinge tõusu rohkem kui 10 % nimipingest. Põhjuseks on tavaliselt ümberlülitused võrkudes ja samaaegne suur tarbimiskoormuse vähenemine.

2.4 Toitepinge värelus

Toitepinge värelus põhjustab valgustusseadmete spektraaljaotuse ja valgustugevuse muutusi [10]. Inimese silm tajub neid muutusi ning silmadega tööd tehes võib see põhjustada peavalu ja silmade kiiret. Kõige tundlikumad on toitepinge väreluse suhtes luminofoorvalgustid, sest neil praktiliselt puudub inerts ja seetõttu mõjutab toitepinge värelus nende kiiravat valgust tugevalt. Hõõglambid on toitepinge kiire väreluse suhtes vähem tundlikud, sest nende kiiravat valgusvoogu stabiliseerib hõõgniidi soojuslik materjali inerts. Kaasaegseid Leed-valgusteid toidab enamasti toiteplokk, mis hoiab leedide tarbitava voolu konstantsena ka toitepinge väreluse korral, seega ei ole nad väreluse suhtes tundlikud.

Toitepinge värelust võivad põhjustada jõupooljuhtmuundureid sisaldavate seadmete tekitatud vaheharmonoonilised. Pulseeriva koormusega koormatud elektriseadmed.

Toitepinge väreluse planeeritavas mikrovõrgus kontrollitult esile kutsumiseks on võimalik kasutada näiteks elektroonilist võrgu-, koormusemulaatorit või programmeeritavat vahelduvpinge toiteallikat. Kõik need seadmed seda ei võimalda. Neid saab seadistada võrku tekitama erinevate omadustega võimsuse (aktiivset, reaktiivset), pingeamplituudi ja sagedusega värelevat tootmis- või koormusvõimsust.

2.5 Toitepinge asümmeetria

Toitepinge asümmeetria on olukord, kus faasipingete efektiivväärtused ei ole võrdsed või nende pingevektorite nurgad ei ole võrdsed [10]. Selle põhjusteks kolmefaasilises süsteemis võivad olla võrguelemendid või tarbija koormuste asümmeetria. Koormuste asümmeetriat põhjustavad ühe- ja kahefaasilised tarbijad. Õhuliinid, kus faasid ei paikne võrdsetes tingimustes, on elektrivõrkudes põhiline asümmeetriat tekitav komponent. Sellistes tingimustes on faasijuhtide mahtuvus ja vastastikune induktiivsus erinevad. Pikkade õhuliinide korral kasutatakse selle probleemi leevendamiseks liinijuhtide transponeerimist, see tähendab, et vahetatakse liinijuhtide paiknemist mastil liinilõikude kaupa. Seega paiknevad juhid liini pikkuse ulatuses võrdse distantssi võrdsetes oludes. Asümmeetria kolmefaasilises elektrivõrgus põhjustab võimsuskadusid ja elektrimootorite kasuteguri halvenemist ja ülekuumenemist.

Faasipingete asümmeetria korral võib Kolmandat harmooniku järku genereerida ka maandamata neutraaliga Yy lülituses trafo. [11, 12]

Pöörlevad masinad hakkavad asümmeetriliste voolude toimel tekitama kõrgemaid harmoonikuid. Kui ahelas ei esine mahtuvuslike elemente, väheneb harmooniku amplituud harmooniku järgu kasvades kiiresti. Kui aga ahelas esineb ka mahtuvusi, siis võivad kõrgemat järku harmoonikute pinged resonantsi tõttu kasvada lubatust suuremaks, muutudes seadmetele ohtlikuks. Ideaalselt sümmeetrilise rootori puhul harmoonikaid ei tekiks, kuid selliseid ei ole. Vastujärgnevusvool tekitab asünkroonmootorite staatori mähistes vastupidise suunaga pöörleva magnetvoo, mis pöörleb rootori suhtes suure libistusega. [13]

Toitepinge asümmeetriat mikrovõrgus on võimalik tekitada, ühendades koormused asümmeetriliselt mikrovõrgu siiniga, samuti tootmisvõimsusi asümmeetriliselt juhtides või ühendades. Kui varustada mikrovõrk elektriliini emulaatoriga, siis on võimalik asümmeetria tekitamiseks muuta välisühendustega faasi elektrotehnilisi omadusi. Selleks et mikrovõrgu sees saaks tekitada olukorda, kus pinge oleks faasides asümmeetriline ja erineva tasemega õppehoone elektrivõrgu asümmeetriast, peab ta olema ühendatud läbi nõrga välisühenduse või saartalitluses. Vastasel juhul ei ole võimalik asümmeetriat suurendada ega vähendada õppehoone üldelektrivõrgu omaga võrreldes.

Standardist tulenevad nõuded toitepinge asümmeetriale. Normaalingimustes peab iga nädal mõõdetud põhisagedusliku vastujärgnevuskomponendi 10-minutiline

efektiivväärtus olema 95 % ajast vahemikus 0...2 %. Liitumispunktides, kus osa tarbijajapaigaldisi on ühendatud ühele või kahele faasile, on lubatud vastujärgnevuskomponent kuni 3 %.

2.6 Harmoonikud

Kõrgemad harmoonikud tekitavad energia lisakadusid trafodes ja mootorites, põhjustades nende tavalisest suuremat soojenemist ja mehaanilist stressi mootorite vibratsiooni ja pulseeriva momendina ning suurendades kaablites dielektrilisi ja oomilisi kadusid. Harmoonikute toime vähendab elektrimasinate isolatsiooni tööiga ja tekitab häireid automaatika- ja sidesüsteemides. Võrkude reaktiivvõimsuse kompenseerimiseks ja pingereguleerimiseks kasutatavad kondensaatorpatareid võivad harmoonikute toime tõttu rikneda. Kuna kondensaatorite juhtivus on kõrgematel sagedustel suurem, siis võivad neid läbivad voolud kasvada lubamatult suureks. Selle vältimiseks kasutatakse võrkudes harmoonikute levikut tõkestavaid filtreid ja trafode lülitamist kolmnurktähtlülitusse Dy või Dyz ehk kolmnurk-täht-siksaklülitusse. Harmoonikud võivad põhjustada ka võimsuslülitite soovimatuid väljalülitusi ja inverterite võrguga sünkroniseerimise probleeme. [11]

Kontrollitult, kindlate omaduste ja väärtustega harmoonikute tekitamiseks mikrovõrku on mõistlik kasutada nende loomist võimaldavaid seadmeid, elektroonilist võrgu- ja koormusemulaatorit või vahelduvpinge toiteallikat. Kõik seadmed seda ei võimalda.

Lähtuvalt standardis EVS-EN 50160:2010+A1+A2+A3:2019 "Avalike elektrivõrkude pingetunnussuurused" toodud informatsioonist soovitakse uurida, millised piirnormid tuleks sätestada vaheharmoonilistele (siinuspinge, mille sagedus ei ole põhisageduse täisarvkordne). Täna on vaheharmoonilised pingetaseme väärtused lisakogemuste saamiseni kaalumisel. Vaheharmooniliste pingetaseme võrgus suureneb jõupooljuhtmuunduritega varustatud seadmete hulga kasvu tõttu. On täheldatud, et teatud juhtudel võivad isegi madala tasemega vaheharmoonikud tekitada värelust või häirida madalsageduslike kaugjuhtimissüsteemide tööd. [10]

2.7 Toitepingele pealdatud võrgu kommunikatsioonipinged

Seadmete kommunikatsioonilahendused, mis kasutavad info edastamiseks madalpingevõrgu toitekaableid, tekitavad toitevõrku harmoonilisi häireid. Kui mitte kinni pidada kommunikatsiooniseadmetele kehtestatud informatsiooni ülekantavatest pingeniivodest, võivad need hakata häirima teiste sama liini kasutavate sideseadmete infovahetust. Samuti võivad need põhjustada häireid teiste kaasaegsete seadmete töös nende toite kaudu. Kommunikatsioonisignaalide levimist saab tõkestada filtritega.

Toitepingele pealdatud kommunikatsioonipingetega sarnaste häiringute loomiseks on otstarbekas kasutada elektroonilist võrgu- või koormusemulaatorit või seadistatavat vahelduvpinge toiteallikat, mis seda võimaldavad. Kõik seadmed seda ei võimalda. Konkreetse kommunikatsiooniseadme uurimiseks tuleks see ühendada mikrovõrguga ettenähtudlisaseadmete ühenduskoha kaudu. [10]

2.8 Toitepinge katkestused

Tarbija elektrivarustuse pidevus on ka elektri kvaliteedi parameeter. Mitteplaneeritavate toitekatkestuste põhjuseks on peamiselt rikked elektrisüsteemis. [10]

Väga lühiajalised toitekatkestused mõjutavad teatud seadmeid tugevamini kui pikemad. Näiteks liftikontrollereid peab peale sellist väga lühiajalist toitekatkestust teatud juhtudel käsitsi taaskäivitama, kuna kontrolleri protsessor on teinud vea või muutmälusse salvestatud andmetesse on tekkinud peale toitepinge häiringut viga.

3. UUE MIKROVÕRGU ELEKTRIPAIGALDISE PLANEERIMINE

Uus mikrovõrk planeeritakse samasse asukohta, kus asub hetkel olemasolev mittetöötav mikrovõrgulahendus. Ümberehitatav mikrovõrk „Arukas energiasüsteem“ asub Tallinna Tehnikaülikoolis aadressil Ehitajate tee 5/10 õppehoone esimesel korrusel asuvas laboriruumis nr. 102.

Uue mikrovõrgu planeerimisprotsessi jaoks vajalik sisendinformatsioon saadakse järgmistest allikatest:

- olemasolevate seadmete parameetrid ja juhendid;
- olemasolevate seadmete seisukorra hindamine laboratooriumis visuaalselt ja katseliselt;
- õppejõududel saadud informatsioon olemasolevate seadmete kohta;
- olemasolevate seadmete käidudokumentatsioon;
- elektri kvaliteedinõuded (EVS-EN 50160) ja teised standardid;
- seadusandlus;
- integreeritavate uute seadmete funktsionaalsest võimekus.

Uues kavandatavas mikrovõrgus kaob ära eelmises lahenduses kasutatud seadmeid omavahel elektriliselt ühendav alalisvoolu keskne siin. Mikrovõrgus asuvaid seadmeid omavahel ühendav lüli hakkab olema 3-faasiline vahelduvvoolusiin.

Uue mikrovõrgu siiniks valiti vahelduvvoolusiin järgmistel põhjustel:

- See võimaldab uurida vahelduvvoolu mikrovõrkudes elektrikvaliteedi probleeme ja nende vähendamiseks kasutatavaid meetodeid teadustööde raames.
- See võimaldab täiendada elektriala õppeainete õppekvaliteeti laboratoorsete tööde abil.
- Vahelduvvooluvõrku ühendatavad taastuenergia tootmis- ja salvestusseadmed on laialdasemalt levinud ning nende valik on suurem.
- Võimaldab uurida standardis nimetatud vajadust vaheharmooniliste (siinuspinge, mille sagedus ei ole põhisageduse täisarvkordne) pinge taseme piiride määramiseks ja osaleda nende määramise protsessis teadustööde kaudu. [10]

3.1 Planeeritava mikrovõrgu struktuur

Võrgus hakkavad olema seadmed elektrienergia tootmiseks, salvestamiseks ja tarbimiseks. Eesmärk on integreerida uude mikrovõrgulahendusse olemasolevast lahendusest säilinud toimivad seadmed, mida on võimalik taaskasutada uues mikrovõrgus. Kuna vana mikrovõrgu seadmed olid ühendatud alalisvoolu siinile, siis tuleb need seadmed varustada uute vahelduvpinge võrku ühendatavate sobivate muunduritega. Endises lahenduses eksisteerinud, töökorras mitteolevad seadmed koostatakse uuesti. Uude mikrovõrku on plaan lisada mõned seadmed milliseid endises lahenduses ei olnud (eraldustrafo, liiniemulaator, mootorgeneraator, programmeeritav vahelduvpinge toiteallikas ja elektrooniline koormusemulaator ning olemasolev hooratassalvesti).

Uue mikrovõrgu struktuur moodustatakse järgmistest seadmetest ja osadest:

- endisest mikrovõrgust mitte säilinud, kuid uuesti ehitatav akusalvesti;
- endisest mikrovõrgust mitte säilinud, kuid uuesti ehitatav ülikondensaatorsalvesti;
- uus päikeseenergia tootmisüksus;
- integreeritav hooratassalvesti (uus seade);
- integreeritav, programmeeritav vahelduvpinge toiteallikas (uus seade);
- integreeritav elektrooniline koormus (uus seade);
- integreeritav mootorgeneraator (uus seade);
- integreeritav välisühendusmoodul, millesse kuulub eraldustrafo ja liiniemulaator (uus moodul).

Elektrikvaliteedi ja mikrovõrkude alase teadustöö kontekstis on olulisimad elektrooniline koormusemulaator ja programmeeritav vahelduvpinge toiteallikas, sest need kaks seadet võimaldavad oma nimivõimsuste ulatuses väga paindlikult simuleerida peaaegu ükskõik missuguseid elektrivõrkude tootmis- või tarbimisseadmeid. Selleks on eelnevalt vaja teada vastava jäljendatava seadme elektrilisi omadusi, tootmise või tarbimise profiili, võimsust ja genereeritavate harmoonikute järke ja vastavate järkude väärtusi. Seadistatav koormusemulaator võimaldab emuleerida mittelineaarseid tarbijaid ja nende tekitatavaid mikrovõrgu harmoonilisi häireid. Vahelduvpinge toiteallikas tuleb samuti programmeeritav. See võimaldab töötada toiteallikana ja toitehäirete tekitajana.

Asünkroonse mootorgeneraatori generaatorit saab kasutada nii mootori kui ka generaatorina. Planeeritavasse mikrovõrku asünkroonse mootorgeneraatori integreerimist õigustab asjaolu, et asünkroongeneraatoreid kasutatakse madala võimsusega hüdroelektrijaamades ja tuulegeneraatorites, peamiselt nende odavuse,

lihtsuse ja töökindluse tõttu. Samuti on asünkroonmootorid väga laialdaselt levinud ja neid leidub peaaegu kõigis hoonetes, peamiselt kütte ja ventilatsiooniga seotud seadmetes. See muudab selle kasutamise ka planeeritava mikrovrõrgu kontekstis mootorirežiimis perspektiivseks, võimaldades tekitada mikrovrõrgus asünkroonmootoritele omaseid raskeid käivitusnähte. Samuti lubab see tekitada ülekoormamist ja lühiseolukorda, kus rootor on seiskunud. Mõistagi tuleb kõike seda teha kontrollitult, nii et seadmed üle ei kuumeneks ja staatori mähise isolatsioon ei rikneks.

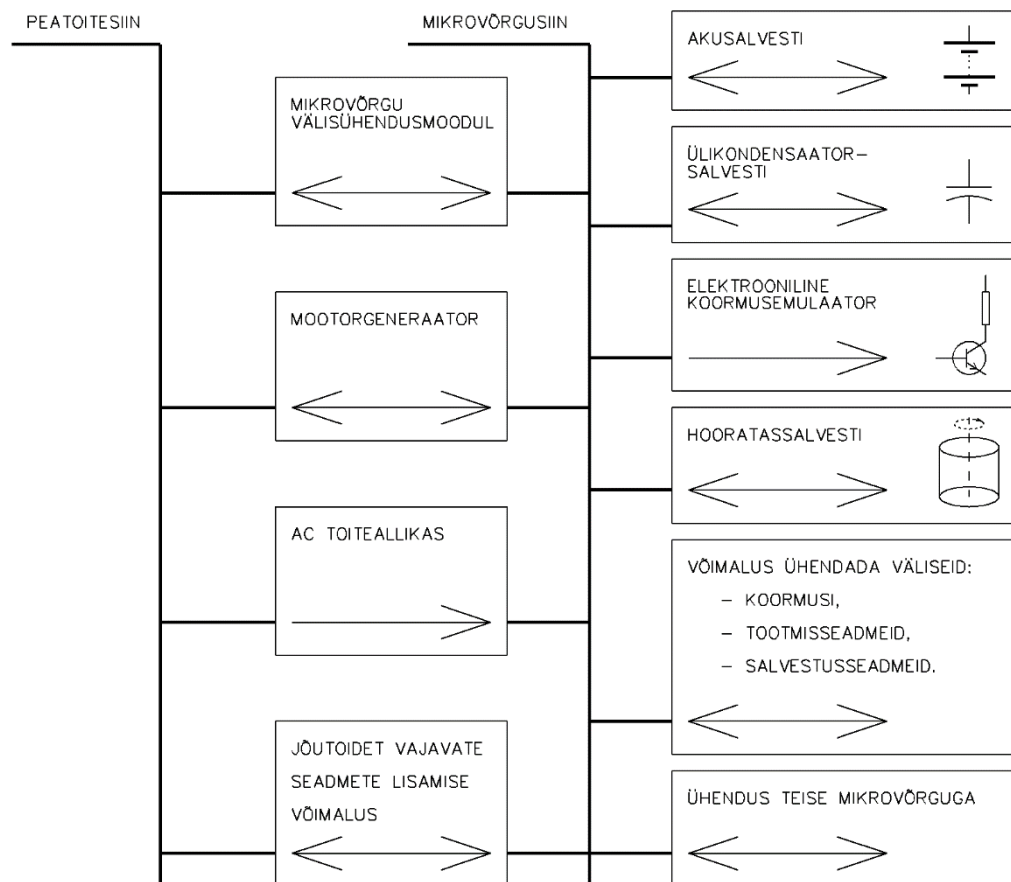
Hooratassalvesti puhul on eesmärk ühendada see mikrovrõrguga. Seda saab kasutada lühiajalise energiasalvestina. Tema eeliseks on võime energiat kiiresti salvestada ja kiiresti tagasi anda, samuti on see suhteliselt odav ja lihtne energia salvestamise viis. Miinuseks on aga tühijooksu kaod ja suhteliselt väike energiasalvestusmaht. Kuna hetkel ei ole hoorattakomplekti võimalik võrku toetavas režiimis kasutada, on eesmärk see funktsionaalsus sinna integreerida.

Välisühendusmooduli eesmärk on ühendada omavahel mikrovrõrgusiin ja õppehoone elektrivõrk. Selles hakkab paiknema eraldustrafo ja passiivsetest komponentidest valmistatud elektriliini emulaator. See on vajalik selleks, et imiteerida reaalse elektriliini ja/või eraldustrafo olemasolu ühenduse vahel.

Struktuurskeemis nähakse ette kohad lisaks mikrovrõrgusiinile ühendatavate välist jõutoidet vajavate seadmete ühendamiseks ja nende ühendamiseks mikrovrõrgu siiniga. Tulevikus on nendesse punktidesse võimalik ühendada lisatav mootorgeneraator, vahelduvpinge toiteallikas, võrguemulaator või koormusemulaator, mis mikrovrõrku koormates annab saadava energia tagasi hoone elektrivõrku. Samuti on sinna võimalik ühendada paralleelne trafo, mis peab olema samas lülitusgrupis, ehk mõlema trafo sekundaarmähise faasipinged peavad olema samas faasis. Alajaamades kasutatakse trafode paralleeltalitlust peamiselt madalatel koormustel tühijooksukadude vähendamise ja võimsusteguri parendamise eesmärgil, lülitades selleks üks trafodest välja.

Planeeritavasse mikrovrõrku nähakse ette võimalike koormus-, salvestus- ja tootmiseseadmete lisamise võimalus. Tulevikus õppehoonesse uute rajatavate mikrovrõrkude ühendamiseks planeeritava võrguga nähakse ette ühenduskoht mikrovrõrgu siiniga. Nendesse punktidesse saab ühendada ka mikrovrõrku elektrikvaliteedi häireid tekitavaid seadmeid.

Planeeritava mikrovõrgu üldine struktuurskeem ja selle osad on esitatud alljärgnevalt (Joonis 3.1).



Joonis 3.1 – Planeeritava mikrovõrgu üldine struktuurskeem

3.2 Planeerimise põhimõtted

Arvestades praeguse koroonaviiruse COVID-19 pandeemiaga maailmas, omab valitud teema elektrivarustuskindluse seisukohalt veelgi suuremat aktuaalsust. Sellest tingitult tuleb pikemaajaliste teadus- ja uurimistöde raames võimalikult palju eelistada kasutatavate süsteemide koostamisel nende kaugtöö võimalust. Pole võimalik täpselt ennustada, kui kaua kestavad epideemiad, mis kogu ühiskonna normaalse toimimise peatavad. Eelnevast järeldub, et edaspidi tuleb uute teadustöoks ette nähtud süsteemide koostamisel teadusobjektiga töötamiseks võimalusel vältida või minimeerida inimeste füüsilise sekkumise vajadust. See võimaldab ka tulevikus analoogsete sündmuste korral jätkata teadlastel oma tööd kodustes tingimustes kaughalduse abil siis, kui ligipääs ülikoolide juures asuvatele laboratoriumidele on piiratud.

Mikrovõrgu elektriskeemi koostamisel tuleb lähtuda põhimõttest, et see peab võimaldama paindlikult ja maksimaalses ulatuses ära kasutada kõikide mikrovõrgu seadmete võimalusi. See on oluline, kuna võimaldab erineva sisuga teadus ja uurimistöode läbiviimist planeeritaval platvormil oluliselt kiirendada. Ajavõitu annab planeeritava mikrovõrgu elektriskeemi korral selle automaatne seadistatavus, selleks kasutatakse ümberlülituskeeme. See tähendab, et teadustöö tegijad ei pea ise füüsiliselt seadmete omavahelisi ühendusskeeme igakord oma töö vajadustest lähtuvalt muutma. Vaid neil on võimalik ühehetkega seadistada mikrovõrk suuremas osas just tööks vajalikku seadesse automaatselt. Suuremas, osas selles mõttes, et alati võib tekkida lisamuudatuste vajadusi, milliseid peab siiski füüsiliselt inimene tegema, sest nende võimaluste vajadust ei ole suudeta täna veel ette näha. Süsteemi edasiarendamisel tulevikus tuleks selliste laialdasemat kasutust leida võivad käsitsi ümberühenduste tegemine võimaldada kaughalduse abil. Teostades selleks muudatuse võimalus ümberlülituskeemiga ja tarkvara täiustustega, ümberlülituse juhtimiseks.

Automaatne mikrovõrgu jõuosa konfiguratsiooni muutmise võimaldab lühema ajaperioodi vältel erinevatel teadlastel teostada erinevaid sisuga mikrovõrkudealaseid uurimustöid planeeritavas võrgus. Sest mikrovõrgu jõuosa konfiguratsiooni muutmiseks kulub senisest kordades vähem aega. Samuti on see ohutum, sest erinevate konfiguratsioonide loomise loogika on juba varasemalt valmis mõeldud ja nende õigsust kontrollitud. Seega ei saa tekkida võimalikku majanduslikku kahju jõuosakonfiguratsiooni muutmisel, kus võivad tekkida inimestele ja seadmetele ohtlikud valeühendused inimlike eksimuste tõttu. Planeeritav paigaldis peab olema ohutu.

Võimaldamaks mikrovõrgu kiiret ümberseadistatavust järgitakse skeemi koostamisel järgmisi peamisi põhimõtteid:

- Ühefaasilisi seadmeid peab saama lülitada planeeritava kolmefaasilise vahelduvpinge võrgu erinevate faaside vahele elektriliselt.
- Kõiki mikrovõrgus olevaid ja sellega ühendatavaid seadmeid saab elektriliselt võrku sisse lülitada ja lahutada.
- Kõiki mikrovõrgus olevaid ja sellega ühendatavaid kolmefaasilisi seadmeid ja välisvõrkusid saab lülitada faasikaupa (iga faasi eraldi).

Ühefaasilisi seadmeid, mis saavad töötada kaskaadselt nii kolmefaasilises režiimis, kui ka paralleeltalitusel ühefaasiliselt. Neid saab ühefaasilises režiimis ühendada paralleeltalitusel korraga erinevatele faasidele. Samuti saab neid kombineerida, ühendades kolmest kaks seadet paralleeltalitusel erinevatele faasidele ja ühe ühele

kahest ühendamata faasist. Kõigi kombinatsioonide korral saab tekitada ka faaside katkestusi.

Kogu mikrovõrgu skeemi ulatuses kontaktorite lülituskombinatsioonid, mis tootsid kaasa lühise süsteemis, välistatud kasutades selleks vastavate ahelate kontaktorite normaalselt suletud kontakte. See tagab lülituste õigsuse ja välistab lühise tekke ohu võimaluse PLC valede, kontaktorite juhtsignaalide korral. Selliselt kaitstud süsteemi eeliseks on veel see, et PLC juhtimisprogrammi koostamisel sinna kogemata tehtud vead ei võimalda tekitada kontaktorite ümberlülituste korral lühise olukorra tekkimist.

Mikrovõrgu uude konfiguratsiooni seadistamist saab teha arvutiga kaughalduse teel või kasutades HMI paneeli laboris. Koostades uue konfiguratsiooni profilli või kasutades selleks juba varasemalt koostatud mikrovõrgu konfiguratsioonifaili.

3.3 Mikrovõrgu peatoiteautomaadi suuruse määramine

Mikrovõrgu ühenduseks energeetikateaduskonna õppehoone elektrisüsteemiga peakaitseautomaadi valiku aluseks on võetud Majandus- ja taristuministri määrus nr. 86 „Auditi kohustusega elektripaigaldised ning nõuded elektripaigaldise auditile ja auditi tulemuste esitamisele“. See määrus kohaldub planeeritavale mikrovõrgule kuna selle nimitoitepingele saab olema üle 50 V ja asub teist liiki elektripaigaldises. Samuti ei ole mikrovõrk teisaldatav seade, mis välistaks selle määrase rakendatavuse. [14]

Standardi EVS-EN 50110-1:2013 kohaselt on elektripaigaldise definitsioon: „kõik elektriseadmed, mis on ettenähtud elektrenergia tootmiseks, edastamiseks, muundamiseks, jaotamiseks ja kasutamiseks“, ka salvestusseadmed nagu kondensaatorid ja akupatareid kuuluvad siia alla. [15] Siit tulenevalt saab mikrovõrku vaadelda eraldi seisva elektripaigaldisena. Kõige otstarbekam on mikrovõrgu peakaitsme nimivooluks valida selle toitepunkti kuni 35 A, sest sel juhul on tegemist kolmandasse liiki kuuluva elektripaigaldisega, kuna see ei kuuluks siis esimesse ega teise liiki. [14]

Kui valida mikrovõrgu peakaitsme nimivooluks vool üle 35 A siis oleks automaatselt tegemist teist liiki elektripaigaldisega. See tooks kaasa erakorralise auditi vajaduse peale iga väiksematki ümberehitus- või seadistustööd. Sellel juhul oleks teadis ja uurimustööde teostamise eesmärgil selle kasutamine väga tülikas, sest tõenäoliselt

tekib tulevikus siiski vaja teostada mingisuguseid ümberseadistusi või skeemi muudatusi.

Positiivne oleks aga asjaolu, et auditiks esitatava seadme dokumentatsioon oleks tegelikkusele vastav ja pidevalt ajakohastatud peale ümberehitusi. Korralikult dokumenteeritud seadmega oleks lihtsam tööle hakata seadet seni mittetundvatel isikutel, kuna võimaldaks seadmest saada tegelikkusele vastav ülevaade ainuüksi selle dokumentatsiooni põhjal. Iseenesest peab ka kolmandaliigi elektripaigaldise dokumentatsioon korras olema, kuid seadusandluse järgi tuleb kolmandaliigi elektripaigaldist korraliseks auditiks esitada kord viieteistkümne aasta jooksul. [14]

Kolmandasse liiki kuuluva elektripaigaldise eelisteks on järgnevad asjaolud, arvestades mikrovrõrgu edasiarendamisega tulevikus [14]:

- Kasutusele võtmisele eelnev audit: Kolmanda liigi madalpingelise ajutise elektripaigaldise puhul ei pea kasutusele võtmisele eelnevat auditit tegema, kui elektripaigaldise ehitaja kinnitab kirjalikult mõõtmis- ja katsetustulemuste, visuaalkontrolli ja dokumentatsiooni alusel elektripaigaldise nõuetele vastavust ja kasutamise ohutust.
- Korralise auditi erandjuhud ja välistused: Kasutuses olevas nõuetekohases madalpingepaigaldise osas, mille toiteliini ees oleva kaitseaparatuuri nimivool on kuni 35 amprit, ei pea seal tehtud elektritööde järgselt kasutusele võtmisele eelnevat auditit teostama, kui elektripaigaldise ehitaja kinnitab kirjalikult mõõtmis- ja katsetustulemuste, visuaalkontrolli ja dokumentatsiooni alusel elektripaigaldise nõuetele vastavust ja kasutamise ohutust. Kirjalik kinnitus koos visuaalkontrolli protokolliga tuleb esitada elektripaigaldise korralise auditi teostamisel.

Eelnevalt toodu põhjal võib öelda, et kolmandasse liiki kuuluvat mikrovrõrgu lahendust võib pidada ajutiseks elektripaigaldiseks, kuna suure tõenäosusega sellesse liiki kuuluvatele seadmetele ettenähtud korralise auditi tähtajaks 15 aasta pärast on see seade täielikult väljavahetatud.

3.4 Planeeritavad mikrovrõrgu omadused

Järgnevalt tuuakse ära planeerimisprotsessi tulemusena ideaaljuhul saavutatavad uue mikrovrõrgu omadused. Võimalusekorral planeeritakse kolmefaasiline 230/400 V mikrovrõrk järgnevalt toodud omadustega:

- Mikrovõrgu sisesele kolmefaasilisele siinile nähakse ette uute elektri tootmis-, tarbimis- ja salvestusseadmete lisamise võimalus ja ühendamise võimalus järgmise lisatava mikrovõrgu siiniga.
- Mikrovõrku välisühendustega ühendamisel nähakse ette järgmised ühendamise võimalused (otse välise elektrivõrguga; läbi eraldustrafo; läbi liiniparameetritega seadmete; läbi eraldustrafo ja liiniparameetritega seade).
- Kõigi mikrovõrgus olevate tootmis-, salvestus- ja tarbimisüksuste omatoide teostatakse sõltumatuna.
- Skeem varustatakse mõõteseadmetega tootmis-, tarbimis ja salvestusseadmete ees, ning teistes mõõtmisesuhtes huvipakkuvates punktides.
- Luuakse saartalitluses mikrovõrgu sünkroniseerimise võimalus välisühendustega.
- Kolme faasilise süsteemi faasijärgnevuse kontroll (mikrovõrgu välisühendusele; mikrovõrguga ühendatavale välise mikrovõrgu ühenduse ette; mikrovõrguga ühendatavate tootmisseadmete sisendi ette).
- Mikrovõrgu välisühendusega kolmefaasilise süsteemi sünkroniseerimise võimalust ühe faasi kaupa.
- Ühefaasiliste katkestuste tekitamise võimalus kolmefaasilises süsteemis iga faasikaupa eraldi, seda nii ühendusel välisühendusega ja kõigi võrgus olevate kolmefaasiliste püsivalt ja mittepüsivalt (pistikühendused) ühendatavate seadmete puhul. Faaside lahutamise ja ühendamise võimalus ühekaupa teostada elektriliselt juhitavalt.
- Kõigi mikrovõrguga ühendatud tootmis-, tarbimis- ja salvestusseadmete sisse- ja väljalülitamist mikrovõrgust saab teostada elektriliselt juhitavalt.

Võimalusekorral valitakse mikrovõrku järgmiste omadustega muundurid:

- Võimaldavad toota mikrovõrku nii aktiiv, kui reaktiivenergiat.
- Aktiiv ja reaktiivvõimsuse reguleerimise võimalus muunduri tööajal.
- Omavad sisseehitatud võimsuse ja sageduse põhiseadmed ning reaktiivenergia- ja pingepõhise „droop“ reguleerimise funktsionaalsust.
- On võimelised käivitama kustunud elektrivõrku ja hoidma sagedust.
- Akuinverter koostatakse kolmest ühefaasilisest muundurist.
- Omavad etherneti põhiseadmed liidest andmete edastamiseks.

Võimalusekorral valitakse mikrovõrku järgmiste omadustega mõõteseadmed:

- Võimaldavad mõõta pinget, voolu, võimsust, energiatarvet, energiavoo suunda, sagedust ja pinget ning voolu vahelist faasinurka.
- Võimaldavad mõõta vaheharmoonilisi. [10]
- Omavad etherneti põhiseadmed liidest andmete edastamiseks.
- Mõõdavad harmoonikuid vähemalt järguni kuni 40.
- Võimaldavad tuvastada väreid ja kiireid pingemuutusi.

4. PLANEERITAVA MIKROVÕRGU SEADMED

Käesolevas peatükis vaadeldakse olulisemaid mikrovrõrku integreeritavaid seadmeid. Andmaks aimu, milliseid seadmeid turul pakutavatest võiks uue mikrovrõrgu valmistamisel kasutada. Samuti kirjeldatakse lühidalt seadmetele seatud ootusi ja funktsioone ning nende parameetreid. Mikrovrõrgu ehitamisel tuleks kasutada vähemalt samade parameetrite ja omadustega seadmeid või paremaid.

Nimekiri seadmetest, milliseid analüüsiti on esitatud (LISA 1). Mõõteaparaatide- ja neile vajalike liseseadmete valik volutrafad, pingejagurid ja mõõteahelate kaitseseadmed mikrovrõrgu sõlmedesse ei kuulu käesolevatöö koosseisu. Ootused valitavatele mõõteaparaatidele on kirjeldatud peatükis „Planeeritava mikrovrõrgu omadused“.

4.1 Mikrovrõrgu siini välisühendustega ühenduses

Paindlike, hoone elektrivõrguga ühendusvõimaluste loomiseks on planeeritavasse mikrovrõrku ettenähtud järgmised variandid:

- otseühendus välise elektrivõrguga;
- ühendus läbi eraldustrafo välise võrguga;
- ühendus läbi passiivsete liinielementide välise võrguga;
- ühendus välise võrguga läbi eraldustrafo ja passiivsete liinielementide.

Statistilistele andmetele tuginedes on vahelduvvoolu võrkusid omavahel ühendava liini, trafo minimaalse läbilaskevõimsus määratav valemiga (4.1).

$$P_{tie} = 0,43 \sqrt{\frac{P_1 * P_2}{P_1 + P_2}} \quad (4.1)[16]$$

kus P_{tie} - süsteemi ühendava ühendusliini läbilaskevõime;
 P_1, P_2 - omavahel ühendatavate süsteemide võimsus.

Välisühenduste moodulis on eraldustrafo moodul jadamisi ühendatud liiniemulaatori mooduliga. Skeemi on lisatud võimalus kummagi elemendi eraldi väljajätmiseks ahelast.

4.1.1 Eraldustrafo

Trafo valikul süsteemi tuleks lähtuda sellest, et seda saaks ka üle koormata. Selline otsus on tehtud tuginedes tulevikutrendidele, kus suurenevad võimsused piirkondades,

samas nende välisühendused jäävad nõrkadeks. Trafo lülitusgrupiks on võetud kolmnurk-täht lülitus Dyn, järgmistel põhjustel. See on levinud lülitusgrupi tüüp madalpinge jaotusvõrkudes ehk annab võimaluse teadustöid teostada reaalsele oludele lähedastes tingimustes. Antud lülitusgruppi populaarsus võrkudes tuleneb peamiselt kahest asjaolust. Esiteks see vähendab faaside asümmeetrilisel koormamisel primaarpoole vastavatest faasidest tarbitava koormusvoolu asümmeetriat. Teiseks takistab Dyn lülitus harmoonikute levikut läbi trafo. [12]

Omavahel võrdlesin ABB, SIEMENS ja Shnideri pakutavaid kuiv tüüpi eraldustrafosid. Kuiv trafod on ohutumad võrreldes õlitrafodega. Shnider pakub eraldustrafosi alates 15 kVA. Üle koormatavuse seisukohalt eelistan aga väiksema nimivõimsusega trafot. ABB ja SIEMENS pakuvad ka 10 kVA trafosid. ABB eraldustrafode kataloogis ei ole aga viidet, et neil oleks sekundaarpinge reguleerimiseks mähise väljavõtteid. Seega jääb sõelale SIEMENSI toode (Tabel 4.1). [17, 18, 19]

Tabel 4.1 – Turul pakutava eraldustrafo andmed

Nimivõimsus	10 kVA
Lülitusgrupp	Dyn
Primaarpinge	400 D
Sekundaarpinge	400/231 Y
Mähistest väljavõtteid	6 x 2,5 %
Ehitus	kuivtrafo
Kaetud	metallist kaitsekestaga

Eraldus trafo mähistele tuleb paigaldada temperatuuri andurid. Trafo mähiste temperatuuri jälgimine on oluline, kuna mikroörgus teostatavate uurimustööde käigus on arvestatud, et võib töötada rasketes oludes (ülekoormus, tugevalt asümmeetriline koormus ja suur harmoonikute osakaal, mis suurendab kadusid trafos). Trafo ülekuumenemisel peab PLC juhtsüsteem andma ennetava hoiatuse enne ohtlikku temperatuurini kuumenemist ja võtma kasutusele meetmed trafo kaitsmiseks. Elektrivõrgus on trafosid lubatud avarijärgsel talitlusel ülekoormata kuni $k = 1,4$ korda 6 tunni vältel, viie ööpäevakohta. [12]

Trafo mähistele paigaldatavaid temperatuuri andureid BT1, BT2, BT3, mis on toodud (LISA 4) paiknevas skeemis, käesolevas töös välja ei valita. Trafo tellimisel tuleks uurida võimalusi valmistada trafo juba mähistesse eelnevalt paigaldatud temperatuuri anduritega. Sel juhul on anduritest saadav mõõtetulemus täpsem ja annab paremad võimalused trafot ennetavalt kaitsta.

4.1.2 Sünkrooskoop

Saartalitluses mikrovõrgu toite ühendamiseks hoone elektrivõrguga tuleb kaks võrku omavahel ohutult sünkroniseerida. Kahe võrgu omavaheliseks sünkroniseerimiseks tuleb tähelepanu pöörata järgmistele parameetritele:

- pinged peavad olema võrdsed;
- sagedused peavad olema võrdsed;
- kolmefaasiliste süsteemide ühendamisel peab nende sünkroniseeritavate faaside faasijärgnevus olema sama;
- ühendatavate süsteemide pingefaas peab olema sama;
- ühendatavate süsteemide faas ja sagedus peavad olema stabiilsed.

Lihtsamad odavamad sünkrooskoobid, millised on ettenähtud kasutamiseks ka kolmefaasiliste võrkude omavaheliseks ühendamiseks mõõdavad pinget ja selle faasi ning sagedust ainult kummagi sünkroniseeritava võrgu ühest faasist. Selliste sünkrooskoopide miinuseks on, et juhul, kui elektri tööde käigus on faasijärgnevust ekslikult muudetud, siis sellised seadmed üksi sellest aru ei saa ja toovad kaasa (loodetavasti õigesti valitud) kaitseseadmete rakendumise. Tulenevalt sellest peaks kasutatav sünkrooskoop mõõtma pingete faase minimaalselt kummagi sünkroniseeritava võrgu kahest faasist.

Planeeritavasse mikrovõrku valitakse sünkrooskoop, mis:

- mõõdab pinget ja selle faasi kõigist mõlema võrgu kolmest faasist;
- mõõdab voolu kõigis kolmes faasis;
- võimaldab digitaalselt lugeda mõõteandmeid, lahutada pooluseid ühekaupa ja anda korraldus nende ühendamiseks;
- võimaldab sünkroniseerida kolmefaasilisi võrke omavahel;
- võimaldab kaitsta kolmefaasilisi võrkusid ja seadistada rikketingimusi;
- võimaldab faase ühekaupa sünkroniseerida;
- võimaldab faase ühekaupa lähtuvalt seadistatud rikketingimustest lahutada.

Sellistele tingimustele vastavaid sünkrooskoobe valmistavad ABB ja SIEMENS. Mõlemad ühendatakse skeemi mõõtes kuuest punktist pinget ja kolmest faasist voolu. Kuna teoreetiline vajadus on mõõta välisühenduste moodulis trafot ja liiniemulaatorit omavahel ühendavast punktist ka harmoonikute järke siis seda võimaldab SIEMENSI toode 7SR224. [20, 21, 22]

SIEMENS 7SR224 mudel VT 6 andmed [20]:

- Pinget ja voolu mõõdetakse sagedusega 1600 Hz ehk 32 mõõtmist 50 Hz perioodi kohta. Tuvastab harmoonikuid kuni järguni 32;
- V1, V2, V3 pingemõõte sisendit taluvad pinget kuni 270 V RMS;
- V4, V5, V6 pingesisendid taluvad pinget kuni 132 V RMS;
- 6 voolutrafo sisendit, iga faasi jaoks üks (1 A ja 5 A);
- Releeväljundid 5 A ja 300 V RMS. Lülitatav induktiivkoormus max. 250 VA;
- Omab ethernet andmesideliidest.

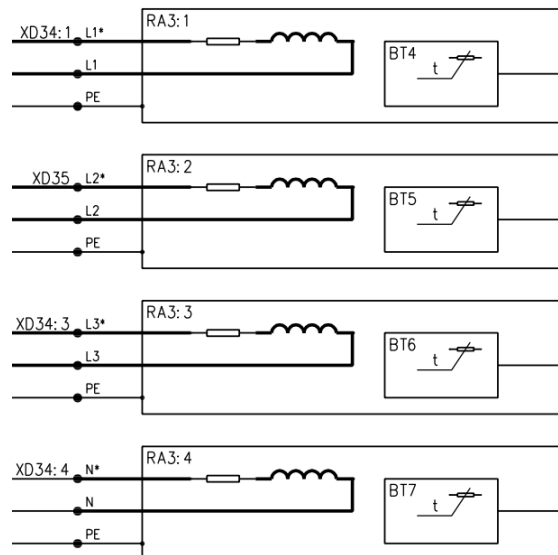
Antud töös ei käsitleta 7SR224 pingesisenditele vajalike pingejagureid ega voolutrafosid täpsemalt!

Antud seadmel on kõik releeväljundid programmeeritavad lähtuvalt soovitud funktsioonist. Mikroörgu jaoks programmeeritakse kolm releeväljundit juhtima sünkroniseerimiseks ettenähtud kontaktoreid QA4, QA5 ja QA6. Need on toodud LISA 4 asuvas skeemis. Neid kontakte saab ka PLC abil käsitsi sisse lülitada, see on vajalik pingevaba mikroörgu pingestamiseks, juhul, kui see seade peaks asendatama sellisega, mis seda ei võimalda.

Seade 7SR224 sisaldab peale võrkude sünkroniseerimise võimekuse veel mitmesuguseid kaitsefunktsioone ja rikke lokaliseerimise funktsioone. Tegemist on väga võimeka ning paindlikult kasutatava seadmega, seetõttu on ta mikroörgu laborisse eriti sobilik. Võimaldades kaitsta mikrovrku otseselt ja kaudselt, katsetades teisi seadmesse integreeritud kaitsevõtteid, mis võiksid olla teoreetiliselt rakendatavad ka mikrovrkudes. [20]

4.1.3 Liiniemulaator

Passiivsetest komponentidest koostatav liiniparameetritega seade moodustatakse esialgu aktiivtakistusest ja induktiivsusest. Neid valmistatakse 4 tükki, iga faasi- ja neutraaljuhi jaoks, need on märgitud (Joonis 4.1) tähisega RA3:1, RA3:2, RA3:3 ja RA3:4. Neutraali ahelasse selle seadme ühendamine on oluline tegelikkusele lähedaste tulemuste saamiseks juhtumil, kus faasid on koormatud mikroörgus asümmeetriliselt. Sellel juhul avaldavad neutraaljuhi parameetrid tasandusvooludele reaalse olukorraga võrreldes sarnast mõju. Igale liiniemulaatorile on ette nähtud ka temperatuurianduri juhuks, kui koormusetõttu peaks moodul sedavõrd kuumenema, et tekib oht induktiivpooli mähise isolatsiooni riknemiseks ja ümbritsevatele seadmetele riknemiseks.



Joonis 4.1 – Liiniemulaatorid RA ja nende temperatuuri andurid BT

Kaugeim klient madalpinge alajaamast 1,6 % juhtudest asub keskmiselt 2,63 km kaugusel. Rikkesilmuse näivtakistus nendes punktides on keskmiselt 2,51 Ω [23]. Selle teadmise põhjal saab määrata ligikaudselt taoliste kaugete klientide liitumispunktidele vastavad elektrotehnilised andmed. Kaablile AMKA 3x70+95 vastab faasisoone vahelduvvoolu takistus 0,53 Ω /km ja kandetrossi alalisvoolu maksimaalne takistus 0,363 Ω /km. Seega võib öelda, et $(0,53 + 0,363) * 2,63 \text{ km} = 2,35 \Omega$ on lähedane keskmisele rikkesilmuse takistusele 2,63 km kaugusel asuvale tarbimispunktile.

Pikkusega 2,61 km kaabli AMKA 3x70+95 korral oleks selle kogu [24]:

- kaabli induktiivsus $2,63 \text{ km} * 0,31 \text{ mH/km} = 0,82 \text{ mH}$;
- kaabli ühe faasisoone aktiivtakistuse $2,63 \text{ km} * 0,443 \Omega/\text{km} = 1,17 \Omega$.

Koostatavat liiniemulaatorit läbivaks arvestuslikuks vooluks on 32 A. Seega aktiivtakistusliku elemendi võimsus peab olema vähemalt $32^2 \text{ A} * 1,17 \Omega = 1,2 \text{ kW}$. Aktiivtakistus valitakse ahelasse käsitsi seadistatav. Konstrueeritava liiniemulaatori igasse faasi ja neutraali ahelasse lisatakse induktiivsus, ligikaudu 0,82 mH.

Üks liiniemulaator, mis on ühendatud ühte faasi sisaldab kahte paralleelselt ühendatud reostaati ja nendega jadamisi ühendatud induktiivpooli. Turul pakutav sobiliku reostaadi andmed [25]:

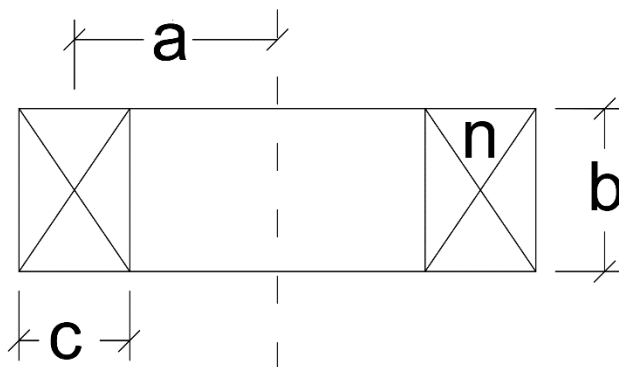
- tootja ja mudel: VISHAY, GBS 60/375, WM10;
- võimsus: 1000 W;
- takistus: 0,91...3,9 Ω ;
- takistuse tolerants: $\pm 5 \%$, $\pm 10 \%$.

Sobivate parameetritega induktiiv pooli turult ei leidunud. See tuleb kohapeal projekteerida ja valmistada. Induktiivpool valmistada mähisest vahe väljavõtetega induktiivsuse reguleerimiseks. Samuti ei leidunud sobivate andmetega elektriajamiga reguleeritavat reostaati. Planeeritava mikrovõrgu kaughalduse võimalikkuse seisukohalt ideaaljuhul peaks olema induktiivsus ja aktiivtakistus muudetavad, elektriliselt juhitavad PLC kontrolleri kaudu. Kui mikrovõrgu laboratooriumi valmistamise hetkel peetakse vajalikuks liiniemulaatori parameetrite elektriliselt muudetavust siis tuleb need seadmed spetsiaalselt eraldi lasta projekteerida.

Õhksüdamikuga induktiivpooli saab välja arvutada valemiga (4.2) ja valemis toodud suurused on esitatud (Joonis 4.2). Induktiivpooli mõõtmeid saab aga vähendada, kui valmistada südamikuga pool. Sellel juhul tuleb aga silmas pidada, et see ei küllastuks. Kui see juhtub siis hakkavad need häiringuid tekitama ning võivad muuta teadustöö tulemused ebatäpseks. Samuti tuleb arvestada lisakadudega südamikus.

$$L = \frac{0,8 * a^2 * n^2}{6a + 9b + 10c} \quad (4.2)[26]$$

- kus L - induktiivsus μH ;
 n - keerdude arv;
 a - raadius mähise tsentrist pooli tsentrisse in;
 b - mähise pikkus in;
 c - mähise paksus in.



Joonis 4.2 – Induktiivpooli parameetreid selgitav joonis

Liiniemulaatori täpset ehitust antud töös ei vaadelda, kuid ettepanek on see kujundada järgmiselt. Iga faasi ja neutraali juurde kuuluvad seadmed (aktiivtakistus ja induktiivpool) paiknevad eraldi metallist vaheseinaga eraldatud sektsioonis kilbi seinal selle ülemises osas. Iga vaheseinaga eraldatud sektsioonile käib ette ka kaas. Mooduli sisemuses all otsas asetseb induktiivpool ja selle kohal suurema aktiivtakistusega reostaat vertikaalselt. Reostaat paigutatakse üles, kuna temast eralduv soojusehulk on oluliselt suurem. Induktiivpool aga allapoole, sest selle mähis on temperatuurisuhtes

tundlikum. Iga mooduli alla paigutatakse ventilaator, mis puhub mooduli alt otsast sisse ruumi õhku. Kilbi lakke tehakse ventilatsiooni ava kust soe õhk moodulist välja puhutakse. Ava peale tugivarrastega kinnitatakse horisontaalne kate ja ava servadesse paigaldatakse vertikaalne piire, et tolmu ja võimalik praht moodulisse sisse ei kukuks ega seda sinna sisse lükata ei saaks. Temperatuuri andur paigutatakse moodulisse aktiivtakistuse ja induktiivpooli vahelisest ruumist temperatuuri mõõtmaks. See asukoht võimaldab ventilaatori töötamist kontrollida. Võrreldes mõõdetud temperatuuri ruumi sisetemperatuuriga.

Käesolevas töös liiniemulaatoritele paigaldatavaid temperatuuri andureid RA3:1, RA3:2, RA3:3 ja RA3:4 välja ei valita.

4.2 Akusalvesti

Mikrovõrgus akusalvesti eesmärgiks on võrgu toetamine on-griid või ülalhooldmine off-griid talitluses. Akusalvesti koosneb järgmistest osadest:

- Kahesuunaline muundur energia võrku andmiseks ja akude laadimiseks.
- Akusalvesti võib olla koostatud ka eraldi seisvatest kahest muundurist, millistest üks on ettenähtud energia võrku andmiseks ja teine akude laadimiseks.
- Akusalvestites kasutatakse erineva ehitusega ja keemilise tööpõhimõttega akutüüpe. Levinuimad neist on plii-happe akud ja liitiumioon akud.
- Laengute võrdsustajad, need on vajalikud jadamisi ühendatud akupatareide laengute tasakaalustamiseks. Eriti olulised on need seadmed liitiumioonakude puhul, sest need ei talu ülelaadimist. Pliiakude puhul aga kasutataksegi perioodilist ülelaadimist (tarkadel laadijatel režiim "Equalizing") akuelementide laengute võrdsustamiseks. Sellel juhul puudub vajadus tasakaalustamiseseadmete järele.
- Temperatuuri andurid akupatareide üksikute elementide jälgimiseks. Liitiumioonakude temperatuuri monitoring on aga ülimalt oluline, sest nende ülekuumenemine on ohtlik ja võib sageli lõppeda tulekahjuga.

4.2.1 Akusalvesti muundur

Akusalvesti muunduri valiku kriteeriumiteks olid järgmised tingimused:

- akumuundur peab sisaldama vajalikke seadmeid akude võrgust- laadimiseks ja tühjendamiseks;
- muundureid peab olema võimalik ühendada paralleeltöösse ühele faasile ja ühefaasilisel paralleeltööl olevaid ka kaskaadselt kolme faasilisse talitlusesse;

- peab saama kasutada plii-happe akusid;
- peavad võimaldama töötada nii on-griid, kui ka off-griid režiimis;
- võimaldab toota nii aktiiv, kui reaktiivenergiat;
- võimaldab andmesidet üle etherneti.

Kriteeriumiks plii-happeakudega töötava muunduri valik tuleneb sellest, et need on ohutumad kui liitiumioon akud. Plii-happe akudega töötavaid muundureid on turul pakkuda peamiselt 48 V akupinge. Väiksem on valik 24 V akupingega muundurite osas. Kõrgematele pingetele, kui 48 V plii-happe akude kasutamiseks ette nähtud muundurite valik sisuliselt puudub. Suurema akupingega, kui 48 V muundurid on enamalt ettenähtud liitiumioon akude kasutamiseks ja neil puudub valik plii-happe akude kasutamiseks. Lisaks nõuavad nad ühendust BMS ehk akude monitoorimise süsteemiga, mida ei saa välja lülitada.

Akumuunduritest jäid sõelale lähtuvalt eelnevalt seatud tingimustest järgmised tooted:

- Victron energy MultiPlus II GX – $P = 2,4 \text{ kW}$, $P_{max} = 5,5 \text{ kW}$; $U_{aku} = 48 \text{ V}$; $\eta_{max} = 95 \%$; [27]
- SMA Sunny Island 6.0H – $P = 4,6 \text{ kW}$, $P_{max} = 11 \text{ kW}$ (3 s); $U_{aku} = 48 \text{ V}$; $\eta_{max} = 95,8 \%$. [28]

Mõlemat toodet saab kasutada on-griid ja off-griid režiimis, ka ühendusskeemide põhimõtted on nendel seadmetel sarnased. Off-griid režiimis toetavad mõlemad ka „frequency shift“ funktsiooni. See tähendab, et vahelduvpinge võrku, kus akumuundur hoiab sagedust ning sinna on ühendatud PV muundur, millelt saadava energiaga laetakse akusid, siis akude täissaamisel suurendab akumuundur võrgu sagedust. PV inverteerid reageerivad sageduse tõusule väljundvõimsuse piiramisega, see tagab, et võrgus pingetõusmise ärahoidmiseks ei laeta akusid üle juhul, kui ei suudeta PV muundurite toodangut ära tarbida. [29]

Käesolevasse süsteemis sobiks SMA Sunny Island 6.0H (Tabel 4.2), sest antud toode võimaldab konfigureerida muundureid paralleeltöösse ühele faasile ja ühefaasilises paralleeltöös muundureid kaskaadi kolmefaasilisele tööle [29]. Lähtuvalt eeltoodust on SMA toodetest seatud tingimustele vastav ainult Sunny Island 6.0H. Lisaks on SMA seade võrreldes Victroni omaga oluliselt paindlikumalt seadistatav ja juhitud üle etherneti mistõttu on see sobilikum toode laboratooriumi. Näiteks võimaldab SMA muundur üksikasjalikult seadistada võrgu- ja aku laadimisega seotud parameetreid vastupidiselt Victroni tootele. Seadistus võimalustega saab tutvuda mõlema seadme ModBUS TCP listide abil. Mõlemad tootjad seadmete võrguga seotud parameetrid on

kaitstud, liigipääsuks on vaja osta pääsukood. ModBUS kaudu ligipääsetavate parameetritega saab tutvuda viidatud allikate abil. [30, 31]

SMA liigitab oma inverteerite püsivara järgmiselt. Madalam versiooninumber, kui $\leq 2.99.99.R$ on sobilik off-griis süsteemisele ja ei ole mõeldud Euroopasse. Suurem, kui $3.00.00.R$ on ettenähtud Euroopa turule ja töötab ainult paralleelselt jaotusvõrguga. Siit järeldub, et laboratooriumisse paigaldatavatel inverteritel vajame püsivara, mis on $\leq 2.99.99.R$. Suhtlusest SMA-ga selgus, et nad on valmis jagama off-griid talitlust võimaldavat püsivara.

SMA muunduritel on ettenähtud akutemperatuuri kontroll ka plii-happe akudele. [32]

Tabel 4.2 – SMA Sunny Island 6.0H andmed [28]

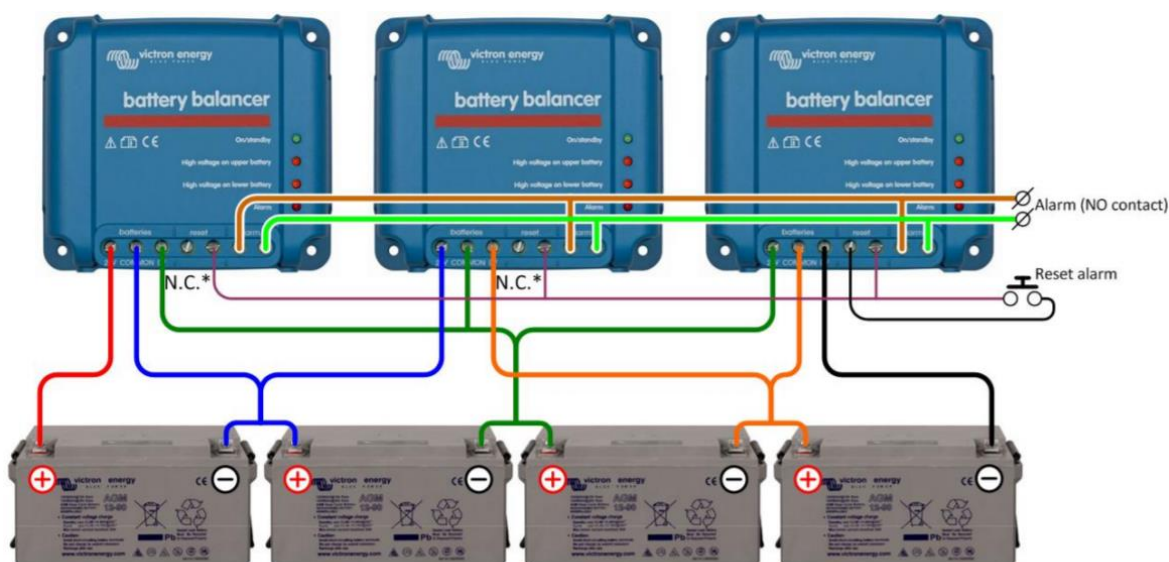
Nimipinge	230 V
Nimisagedus	50 Hz
Off-griid väljund AC1	
Pingevahemik	202...253 V
Nimivõimsus	4600 W
Võimsus 30 min. 25 °C	6000 W
Võimsus 5 min. 25 °C	6800 W
Võimsus 1 min. 25 °C	7500 W
Võimsus 3 S 25 °C	11000 W
Maksimaalne ühendatavate PV inverteerite võimsus	9200 W
Sagedusvahemik	45...65 Hz
Sagedusvahemik seadistatud väärtusest	± 10 Hz
Nimivool	20 A
THD	<4 %
Maksimaalne väljundvool 60 ms	120 A
$\cos \varphi$	-1...1
Lühisvõimsus	27,6 kW
On-griid sisend AC2	
Pingevahemik	172,5...264,5 V
Lubatud sagedusvahemik	40...70 Hz
Off-griidis maksimaalne vool	50 A
Akupatarei	
Nimipinge	48 V
Pingevahemik	41...63 V
Nimi laadimisvool	90 A
Nimi tühjendus vool	103 A
Maksimaalne laadimisvool	110 A
Sobivad akud	FLA, VRLA ja liitium-ioon
Pliiakude mahtuvus	100...10000 Ah
Akudele ettenähtud kaitse	160 A
Juhtme ristlõige sisenditele AC1, AC2	9...18 mm ²
Aku juhtme ristlõige	50...95 mm ²
Muunduri mõõtmed	435 mm X 600 mm X 242 mm
Muunduri kaitseaste	IP 54

Käesolevas töös ei käsitleta akumuunduri juhtimist ega kõiki võimalikke juhtimise viise detailselt.

4.2.2 Akude laengute tasakaalustaja

Algselt jadamisi ühendatud identsete võrdselt täislaetud akude laengud muutuvad ajajooksul erinevaks. Selle põhjuseks on akude pisikesed erinevused, mis väljendub selles, et nende isetühjenemine on natukene erinev. Kõiki aku režiime mõjutab ka nende temperatuur. Taastuenergia rakenduses, kus on akud asetatud lähestikku üksteise kõrvale, soojenevad keskele jäävad akud rohkem, kuna nendel on halvemad jahutustingimused kui äärmistel. Laengute tasakaalustajat on vaja selleks, et võrdsustada jadamisi ühendatud akude laenguid. Kui seda mitte teha, siis muutuvad jadas akude laetustasemed erinevaks. See aga toob kaasa ohu jadas täislaetud akude ülelaadimiseks ja tühjade akude pinge langemiseks alla kriitilise piiri 10,5 V, millest alates hakkab plii-happe akudes intensiivne sulfatiseerumise protsess. Selle tagajärjel akuplaadid kaetakse sulfaadikihiga, mistõttu väheneb aku elektrootide aktiivne pindala. See toob kaasa aga aku sisetakistuse suurenemise, mis omakorda vähendab selle maksimaalset väljundvoolu ja suurendab laadimise ja tühjendamise kadusid.

Plii-happe akudele sobivate laengute võrdsustamiseks ettenähtud seadmete valik on turul väike. Turult leitud seadmetest on Victron Energy ainuke tuntud nimega ettevõtte, kes selliseid seadmeid pliiakudele valmistab. Victron Energy poolt pakutav seade ja selle ühendusskeem on esitatud (Joonis 4.3) ning andmed (Tabel 4.3).



* Do not connect this terminal. The left reset terminal should only be connected on the battery balancer nearest to system ground.

Joonis 4.3 – Victron Energy akude laengute tasakaalustamis süsteemi ühendusskeem nelja aku korral (48 V) [33]

Tabel 4.3 – Victron Energy akude laengute tasakaalustaja andmed [33]

Sisendpinge vahemik	kuni 18 V aku, kokku 36 V
Lülitub tööle	27,3 V ±1 %
Lülitub välja	26,6 V ±1 %
Väljalülitatult omatarve	0,7 mA
Lülitub sisse, kui akude pinge erineb	50 mV
Maksimaalne tasakaalustamis vool	0,7 A (pinge erinevus > 100 mV)
Alarm lülitub sisse	200 mV
Alarmi saab resettida	140 mV
Alarmi relee	60 V /1 A normaalselt avatud.
Mõõtmed	114 mm X 110 mm X 47 mm
Kaitseklass	IP22

4.2.3 Akud

Akusalvesti valmistamisel on ettenähtud, et kõik ühefaasilised akumuundurid saavad töötada ka iseseisvate salvestus üksustena. Sellest tulenevalt on igale akumuundurile ette nähtud oma 48 V akupatarei, mis koosneb neljast 12 V akust.

Laboriruumis olemasolevad 6 akud vahetatakse välja uute vastu. Igale akumuundurile nähakse ette neli 12 V akut. Tulenevalt planeeritud akude kogusest 12 tk on ruumi säästmise eesmärgil akude mahtuvuse määramisel lähtutud minimaalsest soovituslik mahtuvus, milleks on SMA Sunny Island 6.0H korral 100 Ah [32]. Teiselt küljest on eeldatavasti ka laboris tulevikus läbiviidavad katsed suhteliselt lühiajalised, seega ei vajata suurt akude mahtuvust.

Akutüüpide omavahelise võrreldavuse huvides tuleks paigaldada akumuundurile erinevat tüüpi akud. Kaks akumuundurit võiks varustada süvatsükli AGM tüüpi akudega ja ühele akumuundurile võiks paigaldada süvatsükli geel akud. Eelnevalt toodu põhjal sobiksid süsteemi turul pakutavatest akudes, akude andmed (Tabel 4.4). Akude säilitus- ja laadimisrežiimide pinged on esitatud (Tabel 4.5).

Tabel 4.4 – Victron Energy akud [4]

Kogus	Tootekood	Ah	V	Aku tüüp	Mõõtmed	kg
4	BAT412101084	110	12	Deep Cycle AGM	330 X 171 X 220	32
8	BAT412101104	110	12	Deep Cycle GEL	330 X 171 X 220	33

Akude mahtuvus on antud 25 °C juures. Antud VRLA akude isetühjenemine on 2 % kuus 20 °C juures [4].

Tabel 4.5 - Victron Energy akudele ette nähtud säilitus- ja laadimispinged [4]

Režiim	Laengu hoidmine (V)	Laadimine (V)	Kiirlaadimine (V)
Victron AGM Deep Cycle			
Absorbation		14,2...14,6	14,6...14,9
Laengu hoidmine	13,5...13,8	13,5...13,8	13,5...13,8
Säilitamine	13,2...13,5	13,2...13,5	13,2...13,5
Victron Gel Deep Cycle			
Absorbation		14,1...14,4	ei ole ette nähtud
Laengu hoidmine	13,5...13,8	13,5...13,8	
Säilitamine	13,2...13,5	13,2...13,5	

Režiimis „Absorbation“ võrdsustatakse akudes sees olevad üksteisega jadamisi ühendatud osade laengud. Sisuliselt laetakse osasid madalama laetusega ehk suurema lekkevooluga elemente, samal ajal laetakse üle juba täis laetud aku elemente, milliste lekkevool on väiksem.

Süvatsükli AGM akude eluiga, hoiustades neid säilituspingel 20 °C juures on 7...10 aastat. Eluiga AGM akudel sõltuvalt tsükli sügavusest on [4]:

- 400 tsüklit tühjendamisel kuni 80 %;
- 600 tsüklit tühjendamisel kuni 50 %;
- 1500 tsüklit tühjendamisel kuni 30 %.

Süvatsükli geel akude eluiga hoiustades neid säilituspingel 20 °C juures on 12 aastat. Eluiga geelakudel sõltuvalt tsükli sügavusest on [4]:

- 500 tsüklit tühjendamisel kuni 80 %;
- 750 tsüklit tühjendamisel kuni 50 %;
- 1800 tsüklit tühjendamisel kuni 30 %.

Saavutamaks akudele pikimat eluiga tuleb muundurid seadistada [4]:

- Neid säilitama selleks akutootja poolt ettenähtud pingetel 13,2...13,5 V.
- Akude laadimis vool ei tohi ületada mahtuvusest 20 % ehk 22 A.
- mitte laadima akusid kõrgema pingega, kui 14,34 V ehk ühe aku elemendi kohta 2,34 V. Alates sellest pingest hakkab elektrolüüt gaasi eraldama.
- AGM süvatsükli akude tühjendamis vool ei tohi ületada 8 kordset mahtuvust Ah. Selle voolukorral tuleb tühjendamine lõpetada ühe aku jääkpingel 9,6 V.
Geel süvatsükli akude tühjendamis vool ei tohi ületada 7 kordset mahtuvust Ah. Selle voolukorral tuleb tühjendamine lõpetada ühe aku jääkpingel 9,6 V. Madalamate voolude korral tuleb tühjendamine lõpetada 10,8 V juures.
- Peale akude tühjaks laadimist tuleb need võimalikult ruttu uuesti täis laadida.

Need akud on suletud ehitusega ehk VRLA tüüpi. Ohutus on tagatud sellega, et kui aku siserõhk suureneb siis pääsevad gaasid ülerõhklapi kaudu välja. Akudes ülerõhu tekkepõhjused on keskkonna temperatuuri tõus, pinge 14,34 V ületamine laadimisel ja aku sisemine rike (elektroodide vaheline lühis). [4]

Jadamisi ühendatud akude korral (110 Ah, 48 V) tühjendades neid 80 % ulatuses ja arvestades akude tühjendamise kasuteguriks 90 % saab muundur töötada 4,6 kW nimivõimsusel 47,12 minutit. Muunduri kasutegur on umbes 95 % seega tarbib muundur ligikaudu 5 % rohkem energiat, kui välja annab. Akudest tarbitakse voolu sellise koormuse korral umbes 100 A. Arvutus on teostatud järgnevalt:

$$A_{eg} (h)_{4,6 \text{ kW}} = \frac{110 \text{ Ah} * 0,8 * 0,9 * 0,95}{\frac{4600 \text{ W}}{48 \text{ V}}} = 0,79 \text{ tundi ehk } 47,11 \text{ minutit}$$

4.3 Mootorgeneraator

Olemasolev kahest asünkroonmootorist koosnev mootorgeneraatori komplekt (Tabel 4.6) on mikrovõrgus ettenähtud talitlema nii mootori kui ka generaatorina. Seetõttu valitakse mootorgeneraatori käitamiseks kahesuunaline muundur. See võimaldab rekuperatiiv pidurdusest saadava energia võrku tagasi juhtida.

Tabel 4.6 – Mootorgeneraatori andmed

Mootor – ABB M3AA 160 L4					
V	Hz	p/min	kW	A	cos φ
400 D	50	1460	15	29,0	0,82
Generaator – ABB M3AA 132 S					
V	Hz	p/min	kW	A	cos φ
400 D	50	1460	5,5	11,1	0,84

Mootorgeneraatori 15 kW mootorile sobiva muunduri võimsuse leiame järgmiselt:

$$P_{el} = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi = \sqrt{3} * 400 * 29 * 0,82 = 16,48 \text{ kW} \quad [34]$$

Nüüd saame leida mootori kasuteguri:

$$\eta = \frac{P_{meh}}{P_{el}} = \frac{15 \text{ kW}}{16,48 \text{ kW}} = 0,91 \quad [34]$$

Leiame generaatori kasuteguri analoogselt:

$$P_{el} = \sqrt{3} * 400 * 11,1 * 0,84 = 6,46 \text{ kW} \quad [34]$$

$$\eta = \frac{5,5 \text{ kW}}{6,46 \text{ kW}} = 0,85 \quad [34]$$

Olemasoleva mootorgeneraatori komplekti kogu kasutegur on $\eta = 0,91 * 0,85 = 0,77$

4.3.1 Muundur mootorgeneraatorile

Mootorgeneraatorile sobiva muunduri leidmiseks on kasutatud Siemensi kodulehel asuvat tööriista „Drives Technology Configurator“, millesse tuli sisestada mootori parameetrid ja valida kahesuunaline muundur, et pidurdusenergia elektrivõrku tagasi suunata (Tabel 4.7) [35]. Nimetatud muundur sisaldab ka integreeritud võrguhäirete filtrit. Mootorgeneraatori juhtimist käesolevas töös ei käsitleta.

Tabel 4.7 – Sobilik Siemensi muunduri andmed [36]

SINAMICS G120 Power Module PM250			
Sisend parameetrid		Üldandmed	
Faaside arv	3	Võimsustegur	0,90
Pinge	380...480 v ± 10 %	$\cos \varphi$	0,95
Sagedus	47...63 Hz	Kasutegur η	0,95
Nimivool	32 A	Võimsuskadu	0,31 kW
		Jahutus	õhk
Väljund parameetrid			
Faaside arv	3		
Nimipinge	400 V		
Nimivool	32 A		
Maksimaalne vool	52 A		
Väljund parameetrid			
Nimivõimsus	15,00 kW		
Modulatsioonisagedus	4 kHz		
Väljundsagedus vektorjuhtimisel	0...200 Hz		
väljundsagedus V/f juhtimisel	0...550 Hz		

4.4 Hooratassalvesti

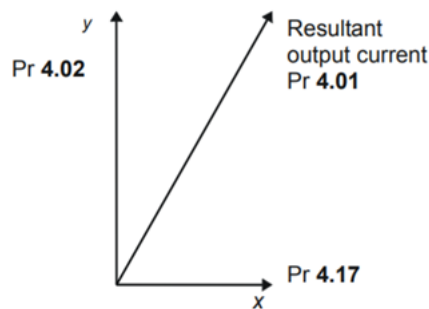
Olemasoleva hooratassalvesti integreerimiseks loodavasse mikrovõrku tuleb sellele lisada järgmised funktsionaalsused.

Mikrovõrgu juhtimissüsteem peab saama tellida hooratassalvestist tootmis- ja tarbimisvõimsust maksimaalselt 15 kW ja kestusega kuni 20 s. Võimsuse tellimisel peab olema määratav viide 0 mS kuni 60 s, mis hetkest alates tootmis- või tarbimisvõimsust võrku vajatakse ning, kui kauaks ja kuidas muutub see selle tellitud aja vältel. See võimaldaks näiteks arendada targa võrgu juhtimise ja side lahendusi, kus võrku lisanduva koormuse jaoks tellitakse selle tavatalitlusvoolust suurema käivitusvoolu katmiseks lisaenergiat kiiretoimelistest võimsatest energiasalvestitest. Samuti võimaldab selline juhtimine leevendada aeglasemini reageerivate võimsate tootmisüksuste mõju elektri kvaliteedi näitajatele.

Lähtudes artiklist, mis ütleb, et hooratassalvestites salvestite puhul leiab kasutust nii sageduse ja aktiivvõimsuse ning ka pingele ja reaktiivvõimsuse põhised reguleerimise

põhimõtted [37]. Tuleb hooratassalvestisse integreerida lisaks juhtimissüsteem, mis võimaldab sellel töötada ka autonoomselt võrgus droop kontrolli põhimõtetel. Lähtuvalt juhendist „Unidrive SP Regen Installation Guide“ võimaldab hooratassalvestis olev energiat tagasiandev muundur Unidrive SP, genereerida nii aktiiv- kui ka reaktiivenergiat. Seda tõendab järgmiste parameetrite olemasolu nii juhendis kui ka laboratooriumis oleval seadmel (Joonis 4.4) [8]:

- 4.01 Current magnitude 0 to DRIVE_CURRENT_MAX A;
- 4.02 Active current \pm DRIVE_CURRENT_MAX A;
- 4.08 Reactive current reference \pm REGEN_REACTIVE_MAX %;
- 4.17 Reactive current \pm DRIVE_CURRENT_MAX A.



Joonis 4.4 – Unidrive SP2403 parameetrite selgitus [8]

Muunduri valmistaja „Control Techniques“ esindajaga Soomest suheldes jäi siiski vastuseta küsimus, kas antud seade võimaldab inverteri töötamise ajal muuta genereeritava aktiiv- ja reaktiivenergiaga seotud parameetreid. Seega tuleb see jooksvalt hooratta juhtimissüsteemi valmistamise käigus selgeks teha. Kui selgub, et parameetreid muunduri töötamise vältel ei ole võimalik muuta, siis saab hooratta süsteemi kasutada fikseeritud väärtusega seadistatult sellistes režiimides.

Droop reguleerimise teostamiseks tuleb hooratta kilpi paigaldada PLC kontrolleri ja mõõteseade, mis mõõdab võrgu pinget ja sagedust ning mõlemas suunas aktiiv- ja reaktiivenergiat. PLC kontrolleri kogutud mõõteandmete ja juhtimissüsteemi korralduste põhjal muudab analoog väljundi väärtust, millega juhitakse hooratta mootorit käitava draivi töös. Kiirendades hooratast energia salvestamiseks, hoides kiirust salvestatud energia säilitamiseks ja aeglustades hooratast energia võrku genereerimiseks.

4.5 Ülikondensaatorsalvesti

See salvesti on kasutatav samadel eesmärkidel nagu hooratassalvestigi. Tulenevalt sellest, et selleks rakenduseks sobilikke DC/AC kahesuunalisi muundureid sisuliselt

saadaval ei ole, tuleb selle salvesti jõuosa kombineerida jadamisi ühendatud DC/DC ja DC/AC muunduritest. Ülikondensaatori efektiivseks kasutamiseks peab muundur toetama oluliselt laiemat alalispinge vahemikku, kui turul pakutavad akumuundurid seda võimaldavad. Ülikondensaator salvesti võib koosneda ka kahest ühesuunalisest paralleelselt ühendatud muundurist (ülikondensaatorpatarei laadijast ja seda võtku tühjendavast muundurist).

4.5.1 Ülikondensaator salvesti muundurid

Kasutatakse sama akusalvesti osas juba kirjeldatud AC/DC muundurit SMA Sunny Island 6.0H. Mõistlik on selle sama muunduri kasutamine, kuna see on juba juhtimissüsteemi valmistajale tuttav ja lihtsustab selle võrra tema tööd. Antud muunduriga saab laadida ülikondensaatoreid ja anda võrku tagasi energiat.

Ülikondensaator salvestisse on soovitatav ettenäha veel lisaks üks kahe-suunaline DC/DC muundur, mis võimaldab jadaühenduses kondensaatorpatarei pinget kogu ulatuses ära kasutada. Sobivat muundurit selleks otstarbeks otsides selgus, et valik turul on suhteliselt kesine. Leida õnnestus siiski üks sobiv toode (SIEMENS 30 kW DCP) (Tabel 4.8). Arvestades seda, et akumuunduri SMA Sunny Island 6.0H lühisvõimsus on 27,6 kW sobib 30 kW võimsusega muundur sellesse sõlme väga hästi. Selle muunduri ülesandeks on imiteerida akumuunduri akusisendis akupinget sõltuvalt ülikondensaatorite laetusest. Tühja ülikondensaatori korral tühjale akule vastav pinge ja vastupidi.

Tabel 4.8 – SIEMENS 30 kW DCP andmed [38]

Sisend / väljund pinge	30...800 Vdc
Maksimaalne sisendpinge	1000 V, $I_{max} = 5 \text{ A}$ (30 s iga 5 minuti kohta)
Vool / pinge / võimsus	$I_{max} = 50 \text{ A}$ @ $U_{in} = U_{out} = 600 \text{ V}$, $P = 30 \text{ kW}$
Toide	24 Vdc (18...30V), $I = 5 \text{ A}$
Voolu pulsatsioon	<3 %
Paralleelitalitus	4 seadet
Efektiivsus	>98 %
Kommunikatsiooni võimalused	PROFIBUS, PROFINET, DriveCLiQ (OALINK)
Tagasiside	voolu tagasiside
Mõõtmed	600 mm X 155 mm X 545 mm

Selleks, et sellist jadamisi ühendatud muunduri süsteemi käivitada, tuleb eelnevalt ülikondensaatorpatareid laadida konstantse vooluga. See vajadus tuleneb sellest, et tõenäoliselt akumuunduri väljundisse akude laadimiseks ettenähtud pinget ei teki enne, kui muundur tuvastab aku olemasolu selle pinge järgi. Kui ülikondensaatorid on laetud, saab DCP muundur tekitada akumuunduri sisendisse akupinge.

4.5.2 Ülikondensaator

Turul on kaks peamist ülikondensaatorpatareide valmistajat „Maxwell technologies, inc“ ja Skeleton Technologies. Antud mikrovõrgus võiks kasutusele võtta, viimasena nimetatud ettevõtte ülikondensaatorpatarei (Tabel 4.9), sest nende toode omab ka CAN bus liidest, mis on kaasaegsem lahendus. Soovituslik on mikrovõrgus kasutada nelja omavahel jadamisi ühendatud ülikondensaatorpatareid. Konstrueerides neist plokki kogumahtuvusega 177 F ja tööpingevahemikuga 96...204 V. [39]

Tabel 4.9 – Süsteemi sobiva ülikondensaatorpatarei andmed [39]

Elektrilised andmed		Eluiga	
Nimipinge	51 V	Tööpinge 51 V ja temperatuur 65 °C	1500 h
Läbilöögi pinge	54 V	Tööpinge 48 V ja temperatuur 65 °C	2500 h
Miinimum monitooritav pinge	9 V	Tööpinge vahemik 25,5...51 V	1 000 000 tsükli
Nimi mahtuvus	177 F	Tööpinge vahemik 24...48 V	2 000 000 tsükli
Energia mahtuvus	63,9 Wh		
Lühisvool	11,6 kA	NB! Eluea täitumiseks loetakse olukorda, kus mahtuvus on vähenenud 20 % ja sisetakistus suurenenud 100 %.	
DC 10 ms (AC 100 Hz)	3,3 mΩ		
DC 1 s ESR (AC 0,1 Hz)	4,0 mΩ	Töötemperatuur -40 °C...+65 °C	
Haldussüsteem			
Juhitud takistuslik elementide võrdsustamise süsteem			
Temperatuuri andurid 4 tk NTC			
Monitooritakse eraldi iga elemendi pinget ja võrdsustamist			
Suhtlusliides CANbus 2.0B			
Monitoorimissüsteemi väline toide 24 V (16...33 V) ja 0,02 A			
Mõõtmed: 418 mm X 194 mm X 188 mm			

Lähtuvalt valemist (4.3) saame leida ülikondensaatorisse salvestunud energia.

$$E_{\text{stored}} = \frac{1}{2} * C * U^2 \quad (4.3)[39]$$

kus E_{stored} - salvestunud energia W;
 C - kondensaatori mahtuvus F;
 U - pinge kondensaatori klemmidel V.

Akumuunduri kasutegur 95 % ja DC muunduri (30 kW DCP) kasutegur 98 %. Kuna akumuunduri akude DC pinge on määratud vahemikuga 41...63 V ning ühele kondensaatorpatareile lubatud pinge on vahemikus 24...51 V oleks järgmiste ühendusskeemide ja muunduri lahenduse korral tulemused järgmised (Tabel 4.10).

Järgnevalt on toodud arvutusnäide leidmaks akumuunduri tööaega nimivõimsusel sekundites juhul, kui kondensaatorpatareid on ühendatud jadamisi 4 tk ja kasutatakse ainult SMA akumuundurit:

$$A_{eg}(s)_{4,6 kW} = \frac{\left(\left(\frac{1}{2} * 177 * 51^2 * 4\right) - \left(\frac{1}{2} * 177 * 24^2 * 4\right)\right) * 0,95 * 0,98}{4600} = 148,42 s \quad [39]$$

Tabel 4.10 – Ülikondensaatorsalvesti väljaantava võimsuse kestus

Ülikondensaatorite lülitus	Tööpinge U, V	E, Wh	Akumuunduri talitlus režiimi kestvus s				
			4,6 kW	30 min. 25 °C 6,0 kW	5 min. 25 °C 6,8 kW	1 min. 25 °C 7,5 kW	3 s 11 kW
Paralleelselt (*)	41...51	90,47	65,92	50,54	44,59	40,43	27,56
Jadamisi 2 ja paralleelselt 2 (*)	48...63	81,86	59,65	45,73	40,35	36,58	24,94
Jadamisi 2 ja paralleelselt 2 (**)	48...102	398,25	290,17	222,46	196,29	177,97	112,34
Jadamisi 4 (**)	96...204	765,5	580,37	444,93	392,58	355,94	242,69
(*) – kasutatakse ainult SMA akumuundurit							
(**) – kasutatakse jadamisi ühendatud SMA muundurit ja SIEMENS DCP muundurit							

Nagu esitatud tabelist selgub, siis antud seadmeid kasutades on kõige efektiivsem kasutada ülikondensaatorite jadaühendust koos kahesuunalise DC/DC muunduriga, mis võimaldab ära kasutada kogu kondensaatorpatarei normaal tööpingetsooni.

4.6 Päikeseenergia tootmisüksus

Tulenevalt sellest, et eesmärgiks on luua võimalus erinevate tootjate päikesepaneelide mobiilseks katsetamiseks. Otsustati loodavas mikrovõrgus kasutusele võtta PV mikroinverterid. Võib soovitada näiteks mikroinverterit Enphase IQ7PLUS-72-2-INT (Tabel 4.11). Antud toode sobib kasutamiseks 60 ja 72 elemendist koosnevatele PV paneelidele võimsusega 235...440 W. See muundur sobib kasutamiseks ka olemasoleva süsteemi varu PV paneelidega (Naps Saana 225 PBW). Muundureid on planeeritud süsteemi 4 tükki vastavalt olemasoleva süsteemi varupaneelide arvule. Võrreldes tava PV muunduriga on mikroinverteri eeliseks see, et saab katsetada samal ajal erineva võimsusega ja erinevat tüüpi PV paneele. Vaadeldav muundur võimaldab genereerida võrku nii aktiiv- kui reaktiivenergiat.

See muundur toetab ka toitepingele pealdatud kommunikatsiooni. Andmeside jaoks tuleb PV muundurid ja suhtlusmodem Enphase IQ Envoy paigaldada samale faasile. Selleks, et kommunikatsiooni häired mikrorovõrku laiali ei kanduks, on ette nähtud kasutada võrgufiltrit nende seadmete avalikku elektrivõrku ühendamiseks. Suhtlus toimub sagedusel 144 kHz ning on kooskõlas võrgukasutaja jaoks ettenähtud toitepinge pealdatud side sagedusvahemikuga 95 kHz kuni 148,5 kHz. [10, 40]

Tabel 4.11 – Enphase IQ7PLUS-72-2-INT muunduri andmed [41]

DC sisendi andmed	
Sobivad PV paneelide võimsus	235...440 W
Sobivad PV paneelid	60 ja 72 elementi
Maksimaalne DC pinge	60 V
MPPT	27...45 V
Tööpinge	16...60 V
Min. / max. start pinge	22 V / 60 V
AC väljundi andmed	
Võimsus	290 VA
Pingevahemik	230 V / (184...276 V)
Maksimaalne pidev vool	1.26 A
Sagedus	50 Hz (45...55 Hz)
Max. muundurite kogus vahelduvvoolu harule	13 (230 VAC)
Muudetav $\cos \varphi$	-0,8...0,8
Efektiivsus	96,5 %
Mõõtmed	212 mm X 175 mm X 30.2 mm

Soovituslikud seadmed päikeseenergia tootmisüksuse moodustamiseks mikrovõrgus:

- PV microinverter: Enphase IQ7PLUS-72-2-INT;
- AC230 võrgu modem: Enphase IQ Envoy;
- Võrgufilter: Enphase RP230-30-10-S, 30 A.

Enphase ei paku madalama vooluga võrgufiltrit oma seadmetele.

Käesolevas töös ei käsitleta muundurite paigaldamist olemasolevatele paneelide ega selleks vajalikke lisatarvikuid. Ei vaadelda ka mehaanilist lahendust paneelide paigutamisel õue.

4.7 Vahelduvpinge toiteallikas

Universaalse toiteallikana võiks soovitada mikrovõrgus kasutada programmeeritavat vahelduvpinge toiteallikat Chroma 61509 (Tabel 4.12). Sellega saab emuleerida peaaegu ükskõik missuguste omadustega toiteallikat kuni antud seadme nimivõimsuse ulatuseni. Nimetatud seadet saab juhtida näiteks nagu virtuaalset PV või tuuleelektrijaama, samuti võimaldab see genereerida mikrovõrku harmoonikaid. See saab töötada nii kolme-, kui ka ühefaasilises režiimis ehk väljundid sillatakse ja need hakkavad tööle samas faasis. [42]

Planeeritavasse kolmefaasilisse 230/400 V mikrovõrku ühendamisel tuleb selle seadme sisend ja väljund ühendada tähtlülitusse, sest ühe öla sisendpinge on kuni 240 V +10 % ja samuti väljund kuni 350 V. Nii seadme sisendis kui ka väljundis peab kasutusel

olema neutraaljuhe selleks, et pingete sümmeetria säiliks sõltumata seadme faaside asümmeetrilisest tööst. [42]

Tabel 4.12 – Vahelduvpinge toiteallika andmed [42]

Seadme üldandmed	
Režiimid	üks faas, paralleeltöö ja 3 faasi
3 faasilises režiimis	6 kVA
Võimsus faasikohta	2 kVA
Sisend	
Pinge U_{LN}	220...240 V $\pm 10\%$ V
Sagedus	47...63 Hz
Vool I_{MAX}	25 A faasikohta
Väljund	
Pinge U_{LN}	0...350 V
Sagedus	15...2000 Hz
Resolutsioon	0,01 Hz
Faasinurk	
Vahemik	0...359,9°
Resolutsioon	0,1°
Harmonikute funktsioon	
Harmonikute järk (2...50)	1 % (<1kHz); 0,2 % (1...2 kHz)
Kommunikatsioon	RS-232C / ethernet
Mõõtmed	221 mm X 430 mm X 661 mm

Antud seadme õhk-jahutussüsteem on ehitatud horisontaalsena. Eest võetakse õhku sisse ja tagant puhutakse välja. Ventilaatori kiirust reguleeritakse automaatselt. Seade tuleb paigaldada hea õhuvahetusega kohta. [42]

4.8 Koormusemulaator

Mitmesuguste koormuste universaalseks emuleerimiseks on planeeritavasse mikrovõrku ette nähtud integreerida programmeeritav koormusemulaator. Koormusemulaatorile esitatavad tingimused, mikrovõrkude alaste uurimustööde läbiviimise seisukohalt:

- Peab võimaldama emuleerida ühe- ja kolmefaasilisi koormuseid.
- Peab võimaldama emuleerida aktiivse, mahtuvusliku ja induktiivse iseloomuga koormuseid.
- Peab toetama konstantse voolu-, takistuse- ja võimsuse režiime.

Võib soovitada planeeritavasse mikrovõrku integreerimiseks näitena seadet Chroma 63802 (Tabel 4.13). Tegemist on ühefaasilise programmeeritavad elektroonilist koormusemulaatoriga. Analoogete seadmeid valmistavad mitmed elektrotehnika laboratooriumidele seadmeid tootvad ettevõtted.

Tabel 4.13 – Koormusemulaatori Chroma 63802 andmed [43]

Seadme üldandmed	
Võimsus	1800 W
Vool	0...18 A _{RMS} (54 A _{PIIK})
Pinge	50...350 V _{RMS} (500 V _{PIIK})
Sagedus	45...450 Hz
AC režiimid	
Konstantne vool (CC)	0...18 A _{RMS}
Konstantne takistus (CR)	2,77...2,5 kΩ
konstantne võimsus (CP)	1800 W
Võimsustegur $\cos \varphi$	-1...+1
Alaldi režiim	
Töösagedus	45...70 Hz
Konstantse võimsuse režiim (RLC)	200...1,800 W, PF = 0,4...0,75
R _S	0... 9,999 Ω
L _S	0...9999 μH
C	100...9999 μF
R _L	2,77...9999,99 Ω
Maksimaalne voolu	80 A _{PIIK}
Omatoide	
Pinge	230 V
Sisseehitatud kaitse	2 A, 250 V
Töösagedus	47...63 Hz
Näivvõimsus max.	150 VA
Kommunikatsiooniliides	RS-232C
Mõõtmed	144 mm X 440 mm X 595 mm

See seade ei võimalda harmoonikuid otseselt tekitada, kuid võimaldab simuleerida erinevates režiimides laias vahemikus erineva iseloomuga koormusi ja muuta RLC parameetrite väärtusi jooksvalt. Samuti on olemas režiim „Inrush Current Mode“ millega saab tekitada häireid alaldirežiimis ajastades siinuse poolaine sisse muudetava asukohaga voolupiiki kuni 80 A. Vaadeldud seadmeid saab lülitada paralleeltalitusse samale faasile ja simuleerida ka kolmefaasilisi koormusi, selleks ühendatakse sünkroontöoks omavahel nende System BUS pordid jadamisi ning esimese ja viimase seadme pordid lõppevad lõputakistitega. Mikrovõrku tuleks selliseid seadmeid integreerida minimaalselt 3, et simuleerida kolmefaasiliste seadmete tööd. Antud seadmed kolmefaasiliseks tööks tuleb ühendada mikrovõrguga tähtlülituses, sest neile lubatud pingele efektiivväärtus on kuni 350 V. [43]

Antud seadme õhkjahutussüsteem on ehitatud horisontaalsena. Eest võetakse õhku sisse ja tagant puhutakse välja. Ventilaatori kiirust reguleeritakse automaatselt. Seade tuleb paigaldada hea õhuvahetusega kohta. [43]

5. PROJEKTEERITUD ELEKTRIPAIGALDIS

Uue mikrovõrgu elektripaigaldise jooniste koostamisel on juhitud eelnevatest peatükkidest ja planeeritud uude mikrovõrku sobilike seadmete juhenditest. Lisaks on arvestatud põhimõtet, et vaadeldud sobilikke seadmeid saab ühendada võrku erinevates konfiguratsioonides, mida nad võimaldavad, samuti seda, et konfiguratsiooni muutmist saab teostada elektriliselt juhitavalt. See on tähtis, sest võimaldab erinevatel teadustöö tegijatel muuta mikrovõrgu seadistuse kiiresti suures osas nende soovitud tingimustele vastavaks. Nii saab mitu teadurit töötada sama mikrovõrgu lahendusega efektiivsemalt, erinevates konfiguratsioonides „paralleelselt“, sest viimase muutmiseks kulub vähem aega.

Koostatud skeemides juhitakse kontaktoreid PLC kontrollritega. Skeemis kõik kontaktorid omavad normaalselt kinniseid abikontakte, millistega on takistatud seadmetele ja inimestele ohtlikud lülituste kombinatsioonid, mis muidu tooksid kaasa lühise võimaluse süsteemis. Samuti on kõigil kontaktoritel PLC kontrollritele tagasisideks ettenähtud üks lisa normaalselt kinnine abikontakt.

Elektriskeemi tööpõhimõtte paremaks selgitamiseks on koostatud paralleelselt lisas (LISA 4) toodud mikrovõrgu skeemidele vastavad üldised ühejooneskeemid.

Skeemides kasutatud tähised vastavad standardile EVS-EN IEC 81346-2:2020 ning kasutatud sümbolid vastavad EVS-EN 60617-7:2000 ja EVS-EN 60617-3:2000. Tõsi, need kaks viimast standardit on täna kehtetuks tunnistatud ja uuemat versiooni Eesti standardikeskus ei paku.

5.1 Mikrovõrgu välisühenduste moodul ja jõutoidet vajavad seadmed

Mikrovõrgusiini ühendamiseks õppehoone elektrivõrguga on neli võimalust. Selleks, et saada erinevate omadustega elektrilisi ühendusi: otseühendus, ühendus läbi eraldustrafo, ühendus läbi liiniparameetritega seadme, ühendus läbi eraldustrafo ja ühendus liiniparameetritega seadme.

Välisühenduste mooduli saab jagada koostatud skeemis omavahel jadamisi ühendatud sektsioonideks (Joonis 5.1):

- trafo ja möödaviik sellest, kontaktorite juhtimine on selgitatud tabelis (Tabel 5.1);
- välisühenduse ja mikrovõrgusiini sünkroniseerimise plokk;
- välisühenduse faasikatkestuste esilekutsumise plokk;
- liiniparameetritega seade ehk liiniemulaator ja möödaviik sellest.

Jõutoidet vajavate lisaseadmete ühendamiseks on skeemis ette nähtud vabad reservkohad kaitseseadmetele F7, F8, F9 ja F10. Nende seadmete mikrovõrgusiiniga ühendamiseks on samuti ette nähtud vabad reservkohad kaitseseadmetele F25, F26, F27 ja F28. Kilpi jäetakse ainult vaba ruum nende seadmete paigaldamiseks.

Skeemis on ette nähtud mootorgeneraatori ühendamine süsteemi. Lüliti QB1 on ette nähtud mootorgeneraatori turvalülitiks, selle abikontaktide kaudu saadud informatsioonist lähtuvalt blokeeritakse ka muunduri TA2 töötamine. Mootorikaitselüliti FC1 on reguleeritava sättevooluga ja see täidab ka turvalüliti funktsiooni.

Trafo TA1 (Dyn 10 kVA) kaudu mikrovõrgu ühendamine ja mitte ühendamine välisvõrguga on selgitatud tabeli (Tabel 5.1) abil. Kui on valitud kontaktoritega möödaviik trafost ja liiniemulaatorist RA3:1...4, siis on mikrovõrk ühendatud otse hoone elektrivõrguga. Ülejäänud juhtudel toimub ühendus läbi trafo, liiniemulaatori või läbi mõlema seadme.

NB! Järgnevalt esitatud tabelites: „-“ – kontaktor ei ole tõmmanud, „1“ – kontaktor on tõmmanud ja „na“ – olek ei oma tähtsust.

Tabel 5.1 – Välisühenduse ahela seaded

Moodulid	Eraldustrafo			Liiniemulaator		
	QA1	QA2	QA3	QA10	QA11	QA12:1
Kontaktorid	QA1	QA2	QA3	QA10	QA11	QA12:1
Kõik ahelad lahutatud	-	-	-	-	-	-
Otsetoide	1	-	-	-	1	-
Läbi eraldustrafo	-	1	1	-	1	-
Läbi liiniemulaatori	1	-	-	1	-	1
Keelatud olek (ohtlik Dyn lülituses eraldustrafole)	1	1	1	na	na	na
Eraldustrafo mooduli kontaktorite funktsioonid: QA1 – Möödaviik trafost / otsetoide QA2 – Trafo primaarmähis QA3 – Trafo sekundaarmähis Liiniemulaatori mooduli kontaktorite funktsioonid: QA10 – Liiniemulaatori sisend QA11 – Möödaviik liiniemulaatorist QA12:1 – Liiniemulaatori väljund QA12:2 – tõmbab peale QA12:1 rakendumist						

Skeemis on neutraal alati ühendatud, kui liiniemulaator on välja lülitatud. Kui liiniemulaator lülitatakse sisse QA12:1 kontaktoriga, siis selle normaalselt avatud abikontakti kaudu juhitakse kontaktorit QA12:2. Selle tulemusena hakkab neutraaliahela vool samuti kulgema läbi neutraaliahelasse paigaldatud liiniemulaatori RA3:4.

Mikrovõrgu faaside sünkroniseerimine hoone elektrivõrguga toimub kontaktorite QA4 (L1), QA5 (L2) ja QA6 (L3) abil, neid juhib sünkroskoop BU2. Lisaks on skeemis ette nähtud võimalus nende lülitamiseks PLC kontrollieriga juhul, kui seade peaks asendatama sellise sünkroskoobiga, mis ei võimalda seda funktsiooni üle andmeside. See on vajalik külma võrgu käivitamiseks. Kasutades soovitud seadet, puudub vajadus nende kontaktorite juhtimisvõimaluse väljaehitamiseks PLC-ga. Faasikatkestuste plokk on ette nähtud mikrovõrgu välisühenduse ja mikrovõrgu vahelise kolmefaasilise ühenduse faaside ühekaupa katkestamiseks, et sel moel tekitada elektrikvaliteedi häireid. Faasi L1 lülitab ja katkestab QA7, faasi L2 QA8 ja faasi L3 QA9.

Mootorgeneraatorit, mis on mikrovõrku planeeritud käitab muundur TA2 (G120, PM250) see. Selles plokis asuvad kontaktorid QA13, QA14 ja QA15, mis lülitavad vastavalt faasi L1, L2 ja L3, ning võimaldavad tekitada rikkeolukordi, jättes kontrollitult asünkroonmootori või generaatori režiimis töötav mootorgeneraator mikrovõrgus kahe faasi peale. Kontrollitult tähendab, et rikke kestust piiratakse ajaliselt ja jälgitakse ka temperatuuri vältimaks seadme rikkemist.

Programmeeritavat AC toiteallikat TA3 (soovitatav seade Chroma 61509) on võimalik kasutada kolmefaasilises režiimis ja paralleelitalitluses, kavandatud skeem võimaldab kasutada mõlemat töörežiimi. Paralleelitalitluses võimaldab skeem seda seadet lülitada kõigile faasidele, režiime selgitav info on esitatud tabelis (Tabel 5.2).

Tabel 5.2 – Võrguemulaator

Kontaktorid	QA34	QA35	QA36	QA37
Lülitab võrguemulaatori kõik 3 faasi eri faasidele (töötab kolmefaasilises režiimis)	1	-	-	-
Lülitab võrguemulaatori kõik kolm faasi paralleelitalitlusse faasile L1 (töötab paralleeltöö režiimis)	-	1	-	-
Lülitab võrguemulaatori kõik kolm faasi paralleelitalitlusse faasile L2 (töötab paralleeltöö režiimis)	-	-	1	-
Lülitab võrguemulaatori kõik kolm faasi paralleelitalitlusse faasile L3 (töötab paralleeltöö režiimis)	-	-	-	1
Võrguemulaator lahti ühendatud mikrovõrgust	-	-	-	-
Kõik muud kontaktorite olekud on keelatud!				

Selle toiteallika paigaldamisel tuleb arvestada seadme jahutussüsteemi ehitusega. Antud seadme jahutus on horisontaalne, esiküljelt tõmmatakse õhku sisse ja tagant puhutakse välja. Seadme ette ja taha peab jääma vaba ruum. [42]

5.2 Koormusemulaator ja akusalvesti

Elektroonilises koormusemulaatoris on soovitatav kasutada kolme Chroma 63802 seadet (AA1...3), need saavad töötada järgmistes režiimides: iseseisvalt, samal faasil paralleelitalitluses; kolmefaasilises režiimis; ja kombineeritult kaks koormust ühele faasile kolmest ja üks ülejäänule kahest (Tabel 5.3) (Joonis 5.2).

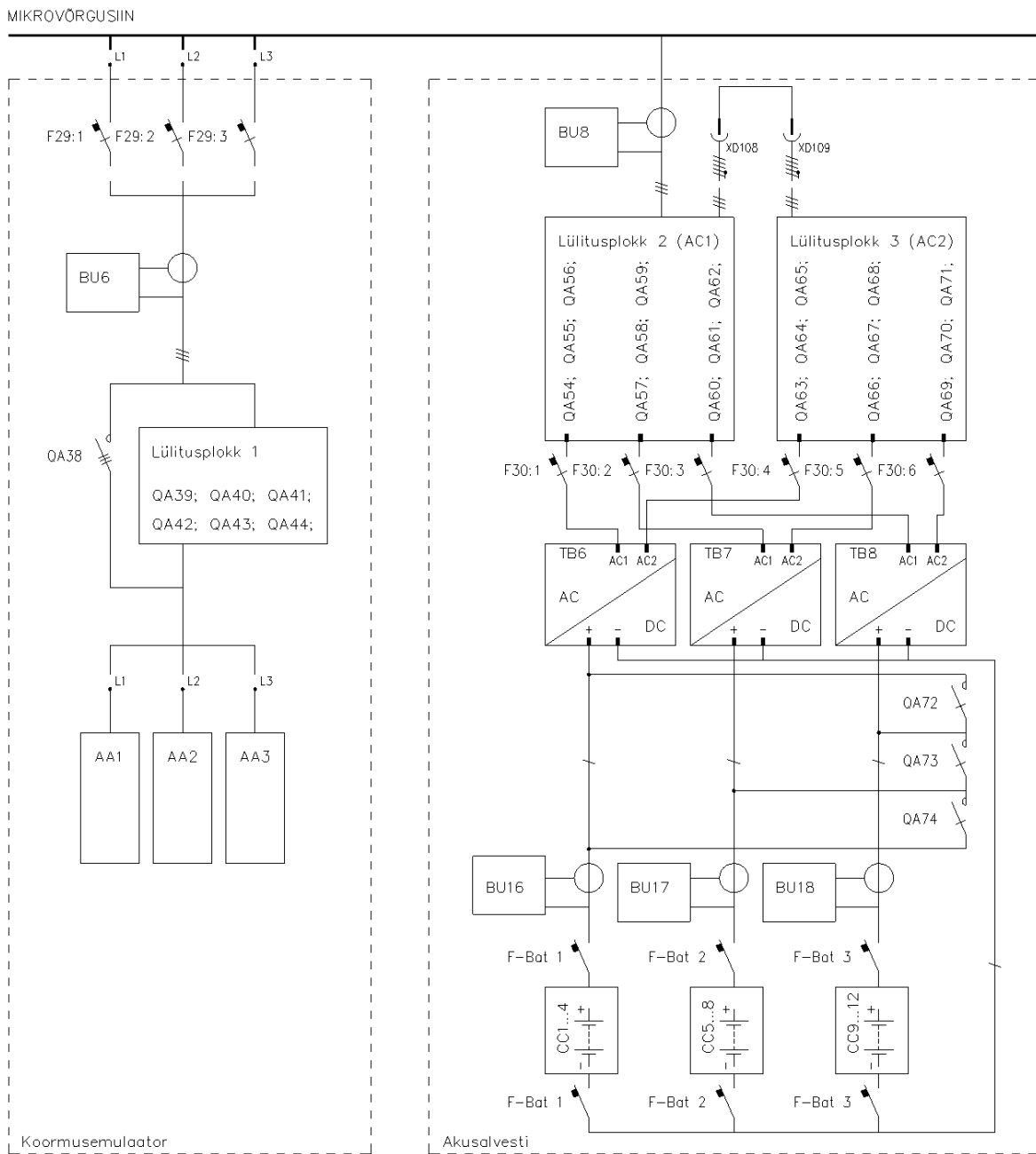
Tabel 5.3 – Koormuste lülitusskeemi tööpõhimõte

Kontaktorid	QA38	QA39	QA40	QA41	QA42	QA43	QA44
Kõik elektroonilised koormused on lahutatud mikroörgust	-	-	-	-	-	-	-
Iga koormus eraldi faasil	1	-	-	-	-	-	-
Kaks koormust L1 ja üks koormus L2	-	-	1	-	1	-	-
Kaks koormust L1 ja üks koormus L3	-	-	-	1	1	-	-
Kaks koormust L2 ja üks koormus L1	-	1	-	-	-	1	-
Kaks koormust L2 ja üks koormus L3	-	-	-	1	-	1	-
Kaks koormust L3 ja üks koormus L1	-	1	-	-	-	-	1
Kaks koormust L3 ja üks koormus L2	-	-	1	-	-	-	1
Kõik koormused faasile L1	-	1	-	-	1	-	-
Kõik koormused faasile L2	-	-	1	-	-	1	-
Kõik koormused faasile L3	-	-	-	1	-	-	1
NB! Kõik muud olekud on keelatud!							

Akusalvestis on soovitatav kasutada muundureid Sunny Island 6.0H. Neid muundureid saab lülitada paralleelitalitluses samale faasile ja ka kaskaaditalitluses genereerima kolmefaasilist pinget. Lülitusskeemidega (lülitusplokk 2) ja (lülitusplokk 3) saab lülitada muunduri sisendeid ükskõik millistele faasidele (Joonis 5.2). Sama muunduri AC1 ja AC2 sisendid peavad olema lülitatud samale faasile. Muunduri AC1 väljund on ette nähtud saartalitluses võrgu toitmiseks ja käivitamiseks. Muunduri sisend AC2 on ise sünkroniseeruv sellega ühendatud võrgu või generaatoriga. Generaatori ühendamiseks AC2 sisendiga on ette nähtud pistik XD109. Sel juhul tuleb eemaldada pistikutest XD108 ja XD109 kaabel.

Kontseptsionaalselt lülitatakse peale saartalitluses mikroörgu sünkroniseerimist avaliku elektrivõrguga muundurid AC1 väljunditelt ringi AC2 sisenditele. Seda tehakse vahetult peale edukat sünkroniseerimisprotsessi lõppu. Samamoodi lülitatakse

akumuundur AC2 sisendilt AC1 väljundile ringi kohe, kui on tuvastatud välisühenduse katkestus. Käesolevas töös ei käsitleta, kuidas kirjeldatud juhtimine teostatakse.



Joonis 5.2 – Koormusemulaatorid ja akusalvesti

Soovitava akumuunduri juhendis on öeldud, et ükskõik millise muundurite omavahel sünkroniseeritud paralleeltöö korral peavad muundurid toite saama samadelt akudelt. Selleks on koostatud skeemis ette nähtud kontaktorid QA72, QA73 ja QA74. Nendega on võimalik omavahel ühendada ükskõik milliste muundurite TB6, TB7 või TB8 akud.

Igal akusalvestil on oma akud kogupingega 48 V ja mahtuvusega 110 Ah. Kahele akumuundurile on plaanitud paigaldada 12 AGM (CCA1...8) ja ühele neli geelakut (CCA9...12).

Iga akumuundur mõõdab ka ühe temperatuurianduriga akude temperatuuri. Valmistaja nägemuse järgi peaksid 4 akut asetsema ruudukujuliselt üksteise kõrval kahes reas ja veerus ning temperatuuriandur nende keskel.

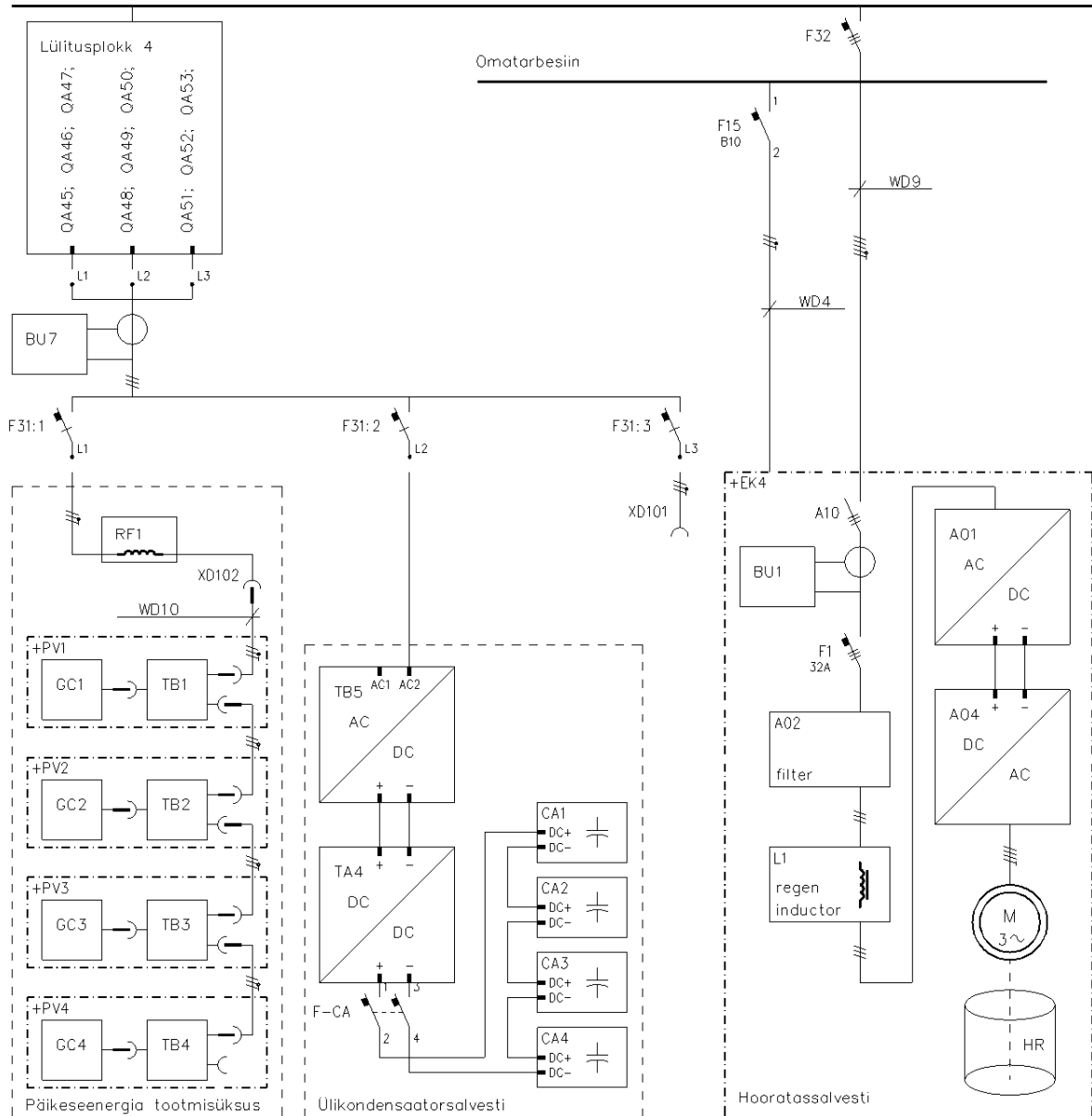
SMA muunduri paigaldamisel tuleb arvestada vastavalt nende juhendile, et külgedele ja üles peab jääma vaba ruumi 300 mm ning alla tuleb jätta vaba ruumi 500 mm.

5.3 Päikeseenergia tootmisüksus, ülikondensaator- ja hooratassalvesti

PV tootmisüksust, ülikondensaator salvestit ja pistikupesa XD101 on võimalik lülitada ükskõik millisele faasile kolmest (Lülitusplokk 4) abiga (Joonis 5.3). Kuna eeldatavasti mõõteaparaat BU7 hakkab olema kolmefaasiline ja suudab mõõta voolu ja pinget kõigist kolmest faasist eraldi, siis on planeeritava mikrovõrgu skeemis ära kasutatud ka kolmas faas, kuhu ühendatakse 16 A pistikupesa XD101 lisaseadmete ühendamiseks.

PV muundureid TB1, TB2, TB3, TB4 ühendatakse mikrovõrguga pistikupesa X102 abil. Selle pistiku ees on võrgufilter RF1 toitepingepealdatud kommunikatsioonihäirete tõkestamiseks, kuna PV muundurite modem ja muundurid suhtlevad omavahel seda meetodit kasutades. Mikrovõrgu ja muundurite omavaheliseks ühendamiseks kasutatakse pikendusjuhet WD10. Arvestades, et 1,5 mm² kaablile on lubatud voolu kõige halvemates oludes ligikaudu 14 A, siis on skeemi soovitatud nelja muunduriga, millest igaühe võimsus on 440 W ja koguvõimsus 1760 W, vool kaablis 7,65 A. Sellest tulenevalt sobib ka sellise ristlõikega pikendusjuhe ahelas kasutamiseks. See ahel on varustatud ka rikkevoolukaitselülitiga, sest PV-paneelidele koos muunduritega on ette nähtud nende liigutamise võimalus laboriruumist õue.

Hooratassalvesti ühendatakse mikrovõrgu siiniga kaabli WD9 abil ning selle omatoide teostatakse WD4 abil. Need kaablid ühendatakse uue planeeritava mikrovõrgu kilbiga EK1 ja hooratta kilbiga EK4. Kaablid veetakse mööda olemasolevaid kaabliredeleid.



Joonis 5.3 – Päikeseenergiatootmisüksus, ülikondensaator-, hooratas- ja vesinikusalvesti

5.4 Ühendused mikro võrgusiiiniga

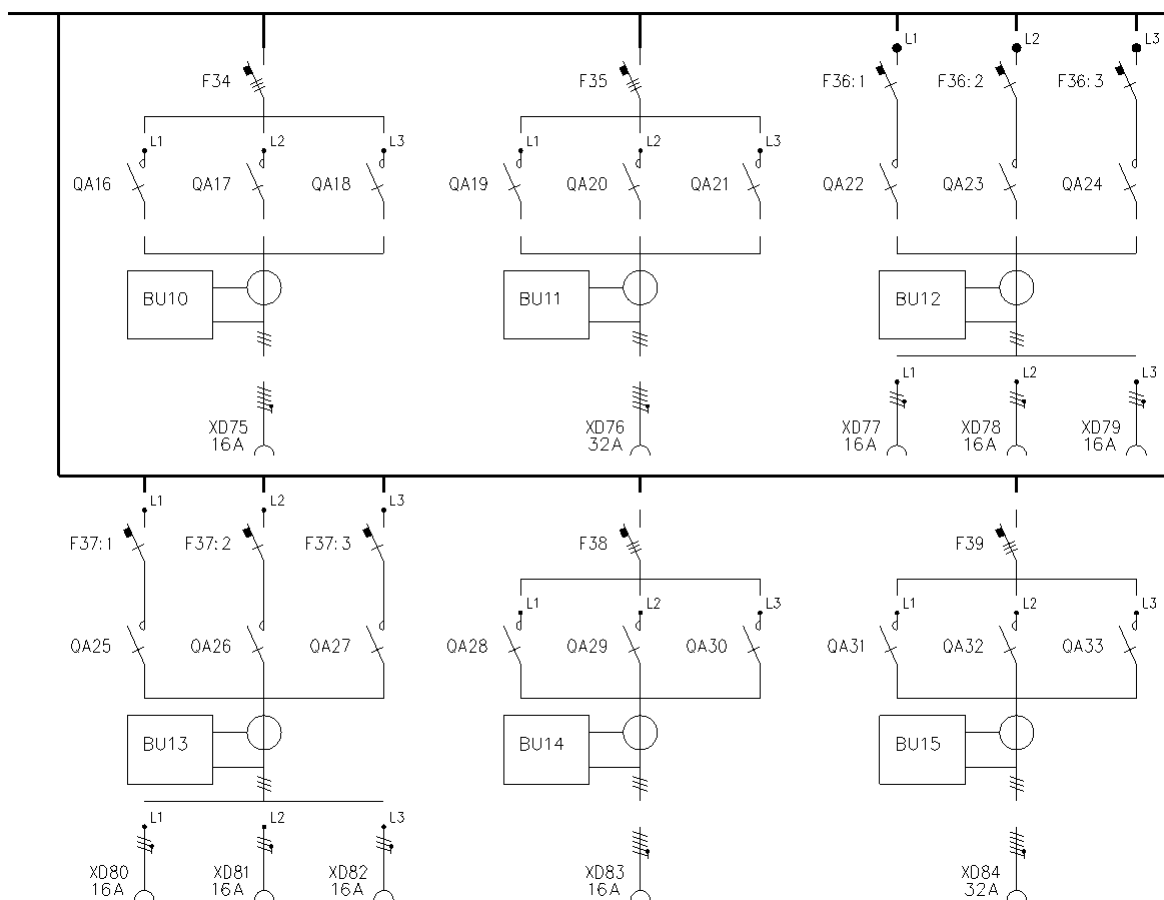
Liseseadmete ühendamiseks mikro võrgu siiniga on ette nähtud kilbile paigaldatavad pinnapealsed pistikupesad. Kõik väljuvad ahelad on varustatud ka mõõteaparaatidega voolu, pinget ja harmoonikute mõõtmiseks (BU). Kõik kolmefaasilised välise seadmete ja mikro võrkudega ühendamiseks ette nähtud pistikuahelad on varustatud kontaktoritega nende iga faasi iseseisvaks lülitamiseks ja katkestamiseks (Joonis 5.4).

Kolmefaasiliste koormuste ühendamiseks on ettenähtud pistikud XD75 ja XD76.

Kolmefaasiliste välise mikrovõrkude ja tootmiseseadmetega ühendamiseks on ette nähtud kolmefaasilised pistikupesad XD83 ja XD84; need ahelad on varustatud ka faasikontrolli releedega, mis annavad PLC-le enne ühenduse loomist tagasiside, kas ühendatava võrgu faasijärgnevus vastab mikrovõrgu omale. Faasikontrollireleede eesmärk on nendes ahelates ainult informatiivne.

Ühefaasiliste koormuste, salvestus- ja tootmiseseadmete ühendamiseks on ette nähtud pistikud XD77, XD78, XD79, XD80, XD81 ja XD82.

MIKROVÕRGUSIIN



Joonis 5.4 – Ühendus mikrovõrgusiiniga

5.5 Projekteeritud elektripaigaldise valmistamine

Käesolev töö on mikrovõrkude teaduslikeks uurimustöödeks ettenähtud laboratooriumi valmistamise esialgne versioon ning lõputöö koostamisel on puudunud ligipääs analoogsetele laboratooriumi sisseade elektriprojektidele, millest eeskuju võtta. Seepärast peab laboratooriumi ehitamiseks esmalt töö tellija ja seejärel võimalik

töövõtja põhjalikult analüüsima koostatud tööd ning tegema vajadusel omapoolsed parandusettepanekud skeemi muutmiseks ja seadmete valikuks.

Kogu uue mikrovõrgu elektripaigaldise valmistamise ulatuses tuleb lähtuda Riigi Kinnisvara AS poolt koostatud tehnilistest nõuetest, „Tehnilised nõuded mitteeluhoonetele 2020“, ja seal toodud juhistest [44]. Juhised on kättesaadavad internetiaadressilt „<https://nouded.rkas.ee/>“. Samuti peab antud töö teostus vastama kõikidele asjakohastele standarditele. Kuna tegemist on mikrovõrkude uurimiseks ette nähtud laboratooriumi elektripaigaldisega, siis ei ole kõik eelnevalt nimetatud allikanõuded asjakohased ega täidetavad. Tingimusi, mille täitmist ei pea valmistaja antud kontekstis asjakohaseks, tuleb kooskõlastada tellijaga, et nende täitmist vältida. Kooskõlastusprotsessi käigus otsustatakse, kuidas tingimus täidetakse, selleks muudetakse kas skeemi, sõlme või ignoreeritakse nõuet. Kõigil juhtudel peab lõplik paigaldis olema ohutu.

Mikrovõrkude laboratooriumi ehitustöö tellija peab eelnevalt analüüsima põhjalikult antud tööd soovitavate teadus- ja uurimustööde teostatavuse seisukohalt ning vajadusel sisse viima omapoolsed täiendused soovitud eesmärkide saavutamiseks.

Mikrovõrgu laboratooriumi valmistaja peab antud tööd põhjalikult analüüsima selle nõuetele vastavuse seisukohalt ja kooskõlastama mittevastavad osad hilisemate erimeelsuste vältimiseks töö tellijaga.

5.5.1 Kaabeldus

Vastavalt siseministri määrusele tuleb õppeasutuste hoonetes kasutada halogeenivabu kaableid tuletundlikkusklassiga Cca-s1,d1,a2. Tähisted: s1 – suitsu eraldub eriti vähesel määral; d1 – põlevad tilgad või tükid kustuvad kiiresti; a2 – ei ole tuletundlik, suitsu eraldub eriti vähesel määral. [45, 46]

Kõik kaablid valitakse süsteemi värskeima kehtiva standardi „EVS-HD 60364-5-52“ Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 5-52: Elektriseadmete valik ja paigaldamine. Juhistikud“ järgi. [47]

Mikrovõrgu toite jaoks on kilpi 7SK01 lisatud kaks kaitseautomaati C32 – F4 ja C20 – F5. Seda kilpi toidetakse kaabliga 5G16 ja selle nimivool on 63 A (LISA 2).

Mikrovõrgu toide kilbist 7SK01 kipli EK1 (kaabli pikkus ~15 m) on projekteeritud skeemis teostatud kaheosalisena. Kaabel WD1 toidab mikrovõrgu peatoitesiini ja kaabel WD2 mikrovõrgu seadmete omatoiteahelaid. Neid ahelaid toidetakse eraldi selleks, et tagada juhtimissüsteemi tõrgeteta töö.

Tulenevalt sellest, et energia võib liikuda mõlemas suunas, nii mikrovõrku kui ka sellest välja, tuleb kaablit WD1 kaitsta mõlemalt poolt. Hoone elektrivõrgu poolelt kaitstakse kaablit kaitseautomaadiga F4 - C32 ja mikrovõrgu poolelt kaitseautomaadiga F1 C32 kilbis EK1. Samamoodi tuleb mõlemalt poolt kaitsta ka hooratta kaablit WD9, selle pikkus on samuti ~15 m.

Käesolevas töös kaablite lõplikke ristlõikevalikuid ei kontrollita: need võivad muutuda, sest kavandatav süsteem on alles uue labori mikrovõrgu elektripaigaldise esialgne versioon. Kavas on kasutada mikrovõrgutoiteks selle kaitseautomaadi nimivoolu 32 A suhtes soovitatavalt varuga valitud kaablit MCCMK 4x6/6 HF 1kV EMC-Line WD1, võttes arvesse tulevikus võimalikku mikrovõrgu koormuse suurendamise vajadust. Sellele kaablile on kolme koormatud soone korral paigaldusviisi E või F korral lubatud kestev koormusvool 51 A. Sama kaablit kasutatakse ka hooratta toiteks WD9. See kaabel vähendab mikrovõrgu siinil uuritavate elektrikvaliteedi probleemide mõju teistele kaabliredelil asuvatele kaablitele. Mikrovõrgu ja hooratta omatoiteahelate toiteks on soovitatav kasutada kaablit XPK-HF C Pro 3G2,5, sellele ristlõikele lubatud koormusvooluks kaabliredelil kahe koormatud soone korral on 33 A. Loomulikult tuleb täpsete kaabliristlõigete valikul arvesse võtta ka teiste samadel kaabliredelitel kõrvuti kulgevate kaablite koormusi ja vajadusekorral ristlõiget suurendada arvestades kehtivat lubatava voolu vähendustegurit. [47]

Kõigi mitte kõrvuti asuvate kilpide vaheline uue mikrovõrgu kaabeldus veetakse mööda kaabliredelid.

5.5.2 Ilmajaam

Tulenevalt sellest, et instituut soovib saada mikrovõrgu süsteemi kohaliku ilma meteoroloogilisi näituseid, mille alusel juhtida näiteks programmeeritavat vahelduvpinge toiteallikat taastuvenergia tootmisseadmete emuleerimiseks, lisatakse süsteemi ilmajaam. See saab toite vana mikrovõrgu PV-süsteemi juurde kuuluvast kilbist EK5, mis asub TalTechi NRG õppehoone katusel. Antud kilp saab toite juhtme W3, NYM-O 3G1,5 kaudu laboriruumis 102 asuvast kilbist EK1.

5.5.3 Mikrovõrgu kilbid

Kilpidesse tuleb kaitseautomaatide paigaldamiseks ette näha reservruumi. Minimaalse reservi nõude aluseks on Riigi Kinnisvara AS-i „Tehnilised nõuded mittelehoonetele 2020“. Tulenevalt sellest, et mikrovõrgu kilp sisaldab palju erinevaid seadmeid ning ei ole mõtet jätta tühjaks 30 % kilbi kogu siseruumist, kohaldame reservinõuet üksnes reservkaitseautomaatide paigalduskohtadena. Mikrovõrgu kilpidesse peab kasutusel olevatest automaatidest jääma 30 % reservruumi lisaseadmete paigaldamiseks. [44]

Vastavalt standardile EN60364 peab iga sissetuleva ja väljuva juhtme neutraalile ja kaitsejuhile olema kilbis nende klemmliistudel iseseisev koht.

Kõigis mikrovõrgu kilpides tuleb markeerida sisenevad ja väljuvad kaablid.

Peakilbi ja selle kohta, kas planeeritava mikrovõrgu seadmed paigaldatakse olemasolevatesse kilpidesse või uude, võtab lõpliku otsuse vastu kogemustega ehitaja. See on kõige mõistlikum, kuna varasemate tehtud tööde baasil oskab ta kõige paremini hinnata, milline lahendus on antud kontekstis parim seadmete kilpidesse paigaldamiseks ja mahutamiseks.

Ainult üht faasi lülitavate kontaktorite jõukontaktid ühendatakse paralleelselt. See annab võimaluse kasutada väiksema võimsusega kontakteid, kuna vool jaguneb kontaktide vahel enamvähem võrdselt. Seda võtet kasutatakse koostatud skeemis korduvalt! Projekteeritud elektriskeemi sobivate kontaktorite valikuks on informatsioon toodud lisas (LISA 3).

Kogu mikrovõrgu kilpide sisene osa (peatoitesiin, välisühenduste moodul ja mikrovõrgusiin) valmistatakse 16 mm² ristlõikega vask juhtidest, mis kannatavad kestvut voolu 69 A. Ülejäänud kilpide sisene jõukaabeldus valmistatakse 6 mm² ristlõikega vask juhtidest, mis kannatavad kestvut voolu 38 A. [12, 47]

Käesolevas töös mikrovõrgu kilpidesse esialgu valitud kaitseautomaatide andmed on toodud (LISA 3). Lõplik kaitseautomaatide valik määratakse mikrovõrgu valmistaja poolt koos täiendavate kontroll arvutustega kaitseautomaatidele ettenähtud rakendumisaja kontrollimiseks pingel -10 % nimipingest. Lõppahelates peab kaitseautomaat rakenduma kuni 0,4 s vältel, kilpidevaheliste ühenduste kaitseks kuni 5 s vältel. Samuti tuleb kontrollida kaitseautomaadi lahusvõimet suurimat kolmefaasilise lühisvoolu korral, pingel +10 %. [48]

6. ETTEPANEKUD MIKROVÕRGU TÄIENDAMISEKS

Antud peatükk sisaldab ideid, mida võiks rakendada planeeritava vahelduvvoolu mikrovõrgu täiendamiseks.

Aktiivne võimsuse kompensaator ja harmooniliste filter. Delta Electronic, inc - Active POWER harmonic filter, lühend – APF. See seade kompenseerib harmoonilisi voolukomponente, kuid vähendab ka harmooniliste pingekomponentide osakaalu. Lisaks tasakaalustab see faaside asümmeetrilist koormust ja kompenseerib reaktiivenergiat. APF ühendatakse paralleelselt mittelineaarse koormusega ja voolutraford CT paigaldatakse koormuse toiteliini ette, et tuvastada koormuse tarbitavat voolu.

Seejärel arvutab digitaalne signaaliprotsessor DSP välja harmooniliste voolukomponendid, kasutades selleks FFT algoritmi. Ja genereerib harmoonilised kompensatsioonivoolud nende summutamiseks, need voolud on sama amplituudväärtusega, kuid vastandfaasis. [49]

Delta Electronics valmistab selliseid seadmeid alates voolust 50 A ja reaktiivvõimsusest 50 kVA. Ühtlasi valmistatakse neid nii faasi- kui ka liinipingele, andmed on toodud tabelis (Tabel 6.1).

Tabel 6.1 – Delta PQC seeria 50 kVA APF andmed

Sisendpinge	308...480 Vac
Nimisagedus	50(60) Hz ± 10 %
Elektriühendus	3P3W/3P4W
Harmooniliste komponentide filtreerimine	2...50-nes harmooniline (valitav)
Harmooniliste filtreerimis sügavus	0...100 % programmeeritav eraldi igale harmoonilisele
Filtreerimise jõudlus	filtreerib 98 % ulatuses nimikoormusel, THD <3 % peale filtreerimist
Reaktiivvõimsuse kompensatsioon	induktiiv ja mahtuvuslik, peale kompenseerimist $\cos \varphi \geq 0,99$
Asümmeetrilise koormuse tasakaalustamine	vaba ressursi ulatuses
Reaktsioonikiirus	100 μ S
Soojuskaod nimivõimsusel	≤ 3 %
Modulatsioonisagedus	60 kHz
Kommunikatsiooniliides	Modbus, RS232/485

Eraldustrafot, mida on soovitatud planeeritavasse mikrovõrku, võiks täiendada selle mähiste pinge reguleerimiseks ettenähtud väljavõtete automaatse lülitamise võimalusega.

Võrguemulaatori ehk neljakvadrantise vahelduvvoolu allika integreerimine süsteemi suurendaks samuti selle paindlikkust ja avardaks uurimustööde teostamise võimalusi. Võrreldes programmeeritava vahelduvpinge toiteallikaga on võrguemulaatori eeliseks ka asjaolu, et see saab olla energiat mikrovrõrku andev ja ka tarbiv seade ehk näiliselt emuleerida teist vörku, mida toidetakse mikrovrõrgust või mis toidab mikrovrõrku. Selliseid seadmeid toodavad mitmed elektrotehnika laboriseadmeid valmistavad ettevõtted.

Sünkroon mootorgeneraator võimaldaks mikrovrõrgus uurida selle süsteemi stabiilsust eri vaatenurkadest. Planeeritava mikrovrõrgu skeemi (LISA 4) saab selle ühendada kolmefaasiliste pistikute 32 A, XD42 ja XD43 abil, kontaktoreid QA13, QA14 ja QA15 saab kasutada sel juhul generaatori sünkroniseerimiseks mikrovrõrguga. Kontaktorite juhtimiseks, sünkroniseerimiseks tuleb signaal saada vastavalt ühendatud sünkroskoobilt, samuti vajab sünkroongeneraator ergutusvoolu regulaatorit.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärk oli uue kolmefaasilise vahelduvvoolu siiniga mikrovõrgu labori planeerimine ja selle elektripaigaldise võimaliku lahenduse elektriskeemi projekteerimine. Selleks analüüsiti olemasolevast mikrovõrgust „Arukas energiasüsteem“ säilinud seadmeid ja nende tehnilist seisukorda. Selle põhjal tehti järeldusi, milliseid seniste seadmete komponente saab kasutada uues planeeritavas mikrovõrgus.

Tutvuti mikrovõrkudes esinevate elektri kvaliteedi häiringute ja nende esilekutsumise võimalustega. Eeltoodu põhjal planeeriti mikrovõrkude alaseks teadus- ja uurimustööde läbiviimiseks sobilik paindlik laborilahendus, milles saab uurida mikrovõrkudes esinevaid elektri kvaliteedi probleeme ja arendada uusi tarkade võrkude juhtimiselahendusi nende probleemide leevendamiseks.

Olemasolevas mikrovõrgus eksisteerinud seadmetest integreeriti uude mikrovõrku ülikondensaator- ja akusalvesti. Salvastuselemendid neisse salvastitesse planeeriti uued tehtud analüüsi järelduste põhjal. Samuti jõuti järeldusele, et vesinikusalvestit ei ole mõtet uude mikrovõrgu lahendusse integreerida. Olemasolevat päikeseenergia tootmisüksust ei võetud uues mikrovõrgus kasutusele. Selle asemele planeeriti uus PV-süsteem, millega saab katseid läbi viia eri paneelidega korraga. Selleks otstarbeks nähti uues kavandatavas PV-süsteemis iga testitava paneeli kohta ette eraldi mikroinverter. Lisaks integreeriti uude mikrovõrgu süsteemi hooratassalvesti.

Lähtuvalt töös planeeritava mikrovõrgu seadmeteks soovitatud toodetest on projekteeritud mikrovõrgu elektripaigaldise skeem. Skeem on koostatud nii, et selles on võimalik maksimaalselt ära kasutada mikrovõrku planeeritud seadmete funktsionaalsust.

Töös käsitleti ka ettepanekuid planeeritud mikrovõrgu labori elektripaigaldise täiendamiseks tulevikus.

Käesoleva magistritöö raames püstitatud eesmärgid ka saavutati, sest eesmärgiks oli võtta olemasoleva mikrovõrgu seadmed kasutusele uues planeeritavas mikrovõrgus ja uue mikrovõrgu kontseptsioon planeerida mahus, mis võimaldab koostada selle ehitamiseks vajalikud täpsustavad tingimused mikrovõrgu hankeks.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was planning a new three-phase AC-bus microgrid and designing the circuit diagram of the possible solution of the electrical installation. For that purpose, the existing devices of the previous microgrid "Smart Energy System" were analysed and their technical condition was assessed. Based on that analysis conclusions were drawn as to which components of the present devices could be used in the new planned microgrid.

Disturbances of electric power quality in microgrids and possibilities of their induction were examined. Based on the abovementioned a flexible lab solution suitable for scientific research on microgrids was designed.

Of the devices in the existing microgrid, an electric double-layer capacitor and an accumulating battery were integrated into the new microgrid. The accumulating elements of these batteries were designed new, based on the conclusions of the analysis. It was also concluded that there is no point in integrating the hydrogen tank into the new microgrid solution. The existing solar power unit was not used in the new microgrid. Instead, a new Photo Voltaic system was designed, which can be used to perform tests with different panels at the same time. For this purpose, a separate microinverter was provided for each panel to be tested in the new proposed Photo Voltaic system. In addition, a flywheel accumulator was integrated into the new microgrid system.

Based on the products recommended for use in microgrid devices, a schematic diagram of the microgrid's electrical installation has been designed. The schematic is designed to enable the maximum use of the functionality of the devices planned for the microgrid. The work also addressed proposals for the future improvement of the electrical installation of the planned microgrid laboratory.

The goals set in the thesis were achieved as the aim was to employ the existing microgrid equipment in the designed new microgrid and to plan the concept of the new microgrid to the extent necessary for the preparation of the necessary conditions for its construction.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] „Arukas energiasüsteem (dokumentatsioon)“, *OÜ Energiatehnika*. 2012.
- [2] „Specifications: Naps Saana 225 - 235G PBW“, *Naps Systems Ltd*.
<https://www.yumpu.com/de/document/read/4109892/spezifikationen-naps-saana-225-235g-pbw-reimann-solar-gmbh> (vaadatud apr 12, 2020).
- [3] „Maxwell BMOD0165“, *Maxwell Technologies*, 2013.
http://www.maxwell.com/images/documents/hq_48v_ds10162013.pdf
(vaadatud apr 12, 2020).
- [4] „Gel and AGM Battery Datasheet“, *Victron Energy B.V.*, 2014.
<https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-EN.pdf> (vaadatud apr 12, 2020).
- [5] H. Kaeval, „Hooratas-energiasalvesti täiustamine ja laboratoorsete tööde väljatöötamine“, 2013.
https://www.ttu.ee/public/e/energeetikateaduskond/Instituudid/elektrotehnika_instituut/smartgrid/hooratas_ver5.pdf (vaadatud jaan 02, 2020).
- [6] T. Lehtla, *Jõuelektronika ja elektriamid*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Elektriaramite ja jõuelektronika instituut, 2003.
- [7] M. Katsman, *Elektrimasinad ja transformaatorid*. Tallinn: Kirjastus „Valgus“, 1971.
- [8] „Unidrive SP Regen Installation Guide“, *Control Techniques*.
<http://www.controltechniques.com/CTDownloads/SharePoint/Download.aspx?SiteId=15&ProductId=43> (vaadatud mai 05, 2020).
- [9] „Rosseta Technik GmbH“, 2016. <http://www.rosseta.de/> (vaadatud apr 12, 2020).
- [10] „Avalike elektrivõrkude pinge tunnussuurused, EVS-EN 50160:2010+A1+A2+A3:2019“, *EESTI STANDARD*, 2019.
<https://www.evs.ee/et/search?query=EVS-EN50160&languages=41&languages=42&languages=43&organisations=1&organisations=2&organisations=3&statuses=1&statuses=2&page=1&filtertype=filter&committeeoption=1&onlysuggestedproducts=false> (vaadatud mai 04, 2020).
- [11] E. Tiigimägi, *Elektrivõrgud*. Tallinn: Tallinna tehnikaülikool, Elektroenergeetika instituut, 1997.
- [12] M. Melforf, H. Tammoja, T. Ülo, ja J. Kilter, *Jaotusvõrgud*. Tallinn: TTÜ kirjastus, 2007.
- [13] Ü. Treufeldt, *Lühised elektrisüsteemides*. Tallinn: Tallinna tehnikaülikool, Elektroenergeetika instituut, 2002.
- [14] „Auditi kohustusega elektripaigaldised ning nõuded elektripaigaldise auditile ja

- auditi tulemuste esitamisele, (RT I, 08.07.2015, 14)", *Riigi Teataja*, 2015. <https://www.riigiteataja.ee/akt/108072015014> (vaadatud apr 12, 2020).
- [15] „ELEKTRIPAIGALDISTE KÄIT, EVS-EN 50110-1:2013“, *EESTI STANDARD*, 2013. <https://www.evs.ee/et/search?query=50110&languages=41&languages=42&languages=43&organisations=1&organisations=2&organisations=3&statuses=1&statuses=2&page=1&filtertype=filter&committeeoption=1&onlysuggestedproducts=false> (vaadatud mai 05, 2020).
- [16] M. J. G. Polonyi, *Power & process control systems*. New York: McGraw-Hill, 1991.
- [17] „Transformers SPEEDFAXTM 2017“, *Siemens*, 2017. <https://new.siemens.com/us/en/products/energy/low-voltage/speedfax.html> (vaadatud mai 05, 2020).
- [18] „Square D™ Brand EX Low Voltage Distribution Transformers“, *Shnider*, 2016. <https://www.se.com/us/en/product-range-download/63362-low-voltage-distribution-transformers%2C-three-phase/#/documents-tab> (vaadatud mai 05, 2020).
- [19] „Low voltage transformers T3P - Three phase power transformer“, *ABB*, 2014. <https://new.abb.com/products/transformers/dry-type/low-voltage> (vaadatud mai 05, 2020).
- [20] „7SR224 Recloser Controller“, *Siemens*. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/291/109747291/att_918710/v1/7SR224_Argus_Complete_Technical_Manual.pdf (vaadatud märts 03, 2020).
- [21] „SYNCHROACT® 5 Datasheet Synchronizing devices and systems“, *ABB*, 2016. <https://new.abb.com/power-electronics/excitation-and-synchronization/synchronizing-equipment> (vaadatud mai 05, 2020).
- [22] „SYNCHROACT® 6 Datasheet Synchronizing devices and systems“, *ABB*, 2016. <https://new.abb.com/power-electronics/excitation-and-synchronization/synchronizing-equipment> (vaadatud mai 05, 2020).
- [23] A. Rosin (projektijuht), „Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut Alternatiivsete tehniliste lahenduste kasutamine pingeprobleemide“, *Tallinna Tehnikaülikool*, 2017. https://www.elektrilevi.ee/-/doc/8644141/ettevottest/tutvustus/failid/pingeprobleemid_madalpingevorgus.pdf.
- [24] „Draka Keila Cables Kaetud õhuliinijuhtmed AMKA“, *Draka Prysmian Group*, 2018. http://media.drakakeila.ee/2018/04/AMKA-06_112-kV_EST.pdf (vaadatud mai 05, 2020).
- [25] „Vitreous Wirewound Resistors with Corrugated Ribbon“, *Vishay Draloric*, 2019. <http://www.vishay.com/docs/21004/gbs.pdf> (vaadatud mai 01, 2020).
- [26] H. A. Wheeler, „Simple inductance formulas for radio coils“, *IEEE Xplore*, 1928. .

- [27] „MultiPlus-II GX“, *Victron Energy B. V.*
https://www.victronenergy.com/inverters-chargers/multiplus-ii_gx#manuals
 (vaadatud mai 05, 2020).
- [28] „SMA Sunny Island 3.0M / 4.4M / 6.0H / 8.0H Installation Manual Version 3.3“, *SMA, Solar Technology AG.* <https://files.sma.de/dl/17632/SI30M-44M-60H-80H-IA-en-33W.pdf> (vaadatud apr 30, 2020).
- [29] „Design of Off-Grid Systems with Sunny Island 4.4M / 6.0H / 8.0H Devices“, *SMA, Solar Technology AG.* <https://files.sma.de/downloads/Designing-OffGridSystem-PL-en-24.pdf> (vaadatud mai 05, 2020).
- [30] „SMA Sunny Island ModBUS list“, *SMA, Solar Technology AG.*
<https://www.sma.de/en/products/battery-inverters/sunny-island-44m-60h-80h.html> (vaadatud mai 05, 2020).
- [31] „GX ModbusTCP Manual“, *Victron Energy B.V.*
https://www.victronenergy.com/live/ccgx:modbustcp_faq (vaadatud mai 04, 2020).
- [32] J. Henry, „SMA Operating manual“, *SMA, Solar Technology AG*, 2016.
<https://files.sma.de/downloads/SI44M-80H-13-BE-en-11.pdf> (vaadatud mai 05, 2020).
- [33] „Victron Battery Balancer“, *Victron Energy B.V.*
<https://www.victronenergy.com/battery-monitors/battery-balancer#enclosure-dimensions> (vaadatud mai 05, 2020).
- [34] R. Kask, *Elektriamid*. Tallinn: Tallina Polütehnikum, 2009.
- [35] „Drives Technology Configurator“, *Siemens.*
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10034285>
 (vaadatud mai 05, 2020).
- [36] „Data sheet for SINAMICS G120 Power Module PM250“, *Siemens*, 2015.
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/Product/6SL3225-0BE31-1AA1> (vaadatud veebr 04, 2020).
- [37] A. Elkomy, A. Huzayyin, T. M. Abdo, A. A. Adly, ja H. M. Yassin, „Enhancement of Wind Energy Conversion Systems Active and Reactive Power Control via Flywheel Energy Storage Systems Integration“, *IEEE Xplore*, 2017.
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8301327>
 (vaadatud mai 12, 2020).
- [38] „SINAMICS DCP – the innovative DC-DC converter for industry and the smart grid“, *Siemens.*
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:ed0774ef-c041-40ff-9b63-eec1ca20dcd7/version:1568034048/sinamics-dcp-brochure.pdf> (vaadatud märts 03, 2020).

- [39] „SkelMod 51V“, *SKELETON*, 2019. <https://www.skeletontech.com/skelmod-51v-ultracapacitor-module> (vaadatud mai 05, 2020).
- [40] „Power Line Filter Solutions for Single-Phase Applications“, *Enphase Energy Inc*, 2016. https://enphase.com/sites/default/files/Power_Line_Filter_Single-Phase_TechBrief.pdf (vaadatud veebr 02, 2020).
- [41] „Microinverters IQ7“, *Enphase Energy Inc*, 2019. <https://enphase.com/sites/default/files/downloads/support/IQ7-data-sheet-INTL-AU.pdf> (vaadatud mai 05, 2020).
- [42] „Programmable AC Power Source - 61509“, *Chroma AET inc*. <https://www.chromausa.com/product/programmable-ac-power/#Overview> (vaadatud mai 05, 2020).
- [43] „Programmable AC Electronic Load - 63800“, *Chroma AET inc*. <https://www.chromausa.com/product/programmable-ac-electronic-load-63800/> (vaadatud mai 05, 2020).
- [44] „Tehnilised nõuded mitteeluhoonetele 2020“, *Riigi Kinnisvara AS*, 2020. <https://nouded.rkas.ee/tugevpool> (vaadatud apr 12, 2020).
- [45] „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded ja nõuded tuletõrje veevarustusele, (RT I, 30.11.2018, 12)“, *Riigi Teataja*, 2018. <https://www.riigiteataja.ee/akt/104042017014?leiaKehtiv> (vaadatud apr 01, 2020).
- [46] „KAABLITE TULETUNDLIKKUSE NÕUDED, Siseministri 30.03.2017 määrusega nr 1-1/17 (Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded ja nõuded tuletõrje veevarustusele) LISA 10 (siseministri 21.11.2018 määruse nr 1-1/29 LISA 3 sõnastuses)“, *Riigi Teataja*, 2018. https://www.riigiteataja.ee/akt/1301/1201/8012/LISA_10_21112018.pdf (vaadatud apr 01, 2020).
- [47] „Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 5-52: Elektriseadmete valik ja paigaldamine. Juhistikud, EVS-HD 60364-5-52:2011+A11:2017“, *EESTI STANDARD*, 2017. <https://www.evs.ee/et/evs-hd-60364-5-52-2011+a11-2017> (vaadatud apr 12, 2020).
- [48] „Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 4-41: Kaitseviisid. Kaitse elektrilöögi eest, EVS-HD 60364-4-41:2017+A12:2019“, *EESTI STANDARD*, 2019. <https://www.evs.ee/et/evs-hd-60364-4-41-2017+a12-2019> (vaadatud mai 05, 2020).
- [49] „Delta PQC Series Active Power Filter, datasheet“, *Delta Electronics, Inc*. [https://www.deltaww.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=2004&PID=4907&hl=en-US&Name=Active+Harmonic+\(Power\)+Filter](https://www.deltaww.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=2004&PID=4907&hl=en-US&Name=Active+Harmonic+(Power)+Filter) (vaadatud mai 05, 2020).

Analüüsitud seadmete nimekiri

Regeneratiivsed muundurid

Muunduri valmistaja	Tüüp	Faase	P , kW	U , V _{AC}	$\cos \varphi$	U , V _{DC}	Märkus
AMTECH, AXPERT-i-Sine	AFC	3	45...2100	300...480		600...720	
Control Techniques, Unidrive M		3	22...149	460			
Control Techniques		3	0.75...315	380...480 ±10 %			
SHNIDER	AFC	3	120...240	400			
VACON® NXA Grid Converter	AFC	3f vaja 3tk	114...	380...500		333...911	
Gefran AFE200	AFC	3	22...355	380...480 ±10 %	>0,99		
SIEMENS G120 PM250		3	15	380...480 ±10 %	0,95		
Delta Active Front, AFE2000	AFC	3	7,5; 15; 22; 37	170...250	0.95...0.99	300...370	Tootja poolt mainitud sobilikkus taastuenergia rakendusteks
KEB - COMBIVERT R6	AFC	3	17; 42; 140; 330	180...550	0,5...1		
OPDE ENERGY OPDE S 70	AFC	3	56	400 +10 % /-15 %	-0.9...0.9	630...881	
OPDE ENERGY OPDE S 90	AFC	3	72	400 +10 % /-15 %	-0.9...0.9	630...882	
OPDE ENERGY OPDE S 110	AFC	3	77	400 +10 % /-15 %	-0.9...0.9	630...883	
OPDE ENERGY OPDE S 150	AFC	3	107	400 +10 % /-15 %	-0.9...0.9	630...884	

Ülikondensaatorid

Tootja	Mudel	C, F	U, V	I_{MAX} , A	$I_{LÜHIS}$, kA	E, Wh	U_{MAX} , V jadamisi	(BAL)	I/O
Maxwell	BMOD0165 P048 C01	165	48	1,900	8,1	53	750	AB	
	BMOD0500 P016 B01	500	16	1,900	7,6	18	750	RB või AB	TÜ
	BMOD0500 P016 B02	500	16	1,900	7,6	18	750	RB või AB	TÜ
SKELETON	SMA102V88F AF	88	102	2689	16,5	127,1	1260	IUMS	C
	SMA51V177F AF	177	51	2643	11,6	63,9	850	IUMS	C
	SMA170V53F AF	53	170	2693	12,2	212,7	920	IUMS	C
	SkelMod 17V	533	17	2676	15,3	21,3	700	IUMS	TÜ
Laengute tasakaalustamis süsteem (BAL); Takistuslik balantseerimine (RB); Aktiivne balantseerimine (AB); Integreeritud ülikondensaatori haldussüsteem (IUMS); Andmesideliides CAN BUS (C), Analoo liides temperatuur ja ülepinge (TÜ).									

Sagedusmuundurid

Muundur	Tüüp	Faase	P, kW	U, V _{AC}
KEB - COMBIVERT F5	15R6_1E-900A	3	17	400V(180...550)
KEB - COMBIVERT H6		3	30	400V(180...550)

Ühefaasilised PV muundurid 230 V, 50 Hz

Muundur	P, kW	I_{OUT} , A	Efektiivsus %	$\cos \varphi$	U_{MPPT} , V	PV U_{DC_MAX}	PV I_{DC_MAX}
GoodWe GW1000-XS	1	4,8	96,4 %	± 0.8	40...450	500 V	12,5 A
ABB UNO-DM-6.0-TL-PLUS	6		97 %	± 0.8	160...480	600 V	31,5 A
Delta H5A_222	5	23	96,8 %	± 0.8	30...550	600 V	22 A
Enphase IQ7PLUS-72-2-INT	0,35...0,44	1,26	96,5 %	± 0.8	27...45	60 V	15 A

Kahesuunalised DC/DC muundurid

Muundur	P , kW	U_{LVDC} , V	I_{LVDC} , A	U_{HVDC} , V	I_{HVDC} , A	Efektiivsus %	Tootja on maininud ülikondensaatori rakendust	Sisend ja väljund isoleeritud
MSC 80DCDC750DE		35...700	80	200...800V		97	Yes	
MSC 3x40DCDC750DE		3 x 35...700	3 x 40	200...800		97	Yes	
MSC 200DCDC750DE		35...700	180	200...800		97	Yes	
EPC EPC-2k2-324	2.2	21...29	7.5	330...450	100	98	Yes	Yes
EPC EPC-2k2-624	2.2	21...29	4	600...800	100	98	Yes	Yes
EPC EPC-3k5-648 E	3.5	42...58	7.5	600...800	110	98	Yes	Yes
EPC EPC-5k5-648	5.5	42...58	12	600...800	180	98	Yes	Yes
EPC EPC-4k8-6125	4.8	110...165	9	600...800	45	98	Yes	Yes
TDK EZA2500-32048 Series	2,496	48 (36...60)	52	320 (300...380)	7.8	94		Yes
TDK EZA11K	11	240 (150...300)	45,8	320 (240...400)	34,4	95		Yes
SIEMENS SINAMIC 30 kW DCP	30	30...800	50	30...800	50	98	Yes	NO
SIEMENS SINAMIC 120 kW DCP	120	30...800	200	30...800	200	98	Yes	NO
VACON® NXP	180...1100	380...500		100...800				

Kahesuunalised 230 V_{AC}/48 V_{DC} akumuundurid


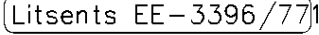

Muundur	Võimalused	P või Q	Efektivsus %	U _{VÖRK_AC} , V	f, Hz	cos φ	Bat.Type	I _{Charger} , A	U _{BAT} , V
Outback Power GS7048E; 1 faas	1f-3tk, 3f-3*3tk	16,3 kVA	92	230 (210...250)	45...55	-1...1	Flooded, gel, AGM, lithium-ion and flow chemistry	100	40...64
Outback Power GS3548E; 1 faas	1f-3tk, 3f-3*3tk	8,2 kVA	92	230(210...250)	45...55	-1...1		100	40...64
Outback Power FXR2348E; 1 faas	1f-3tk, 3f-3*3tk	2,3 kVA	93	208...252	45...55	-1...1		35	40...68
Outback Power VFXR3048E ; 1 faas	1f-3tk, 3f-3*3tk	3 kVA	93	208...252	45...55	-1...1		40	40...68
Outback Power GS8048A; 1 faas	1f-10tk	8 kVA	93	240	50/ 60	-1...1	Geel, AGM	115	40...68
Outback Power GS4048A; 1 faas	1f-10tk	4 kVA	93	240	50/ 60	-1...1	Geel, AGM	57.5	40...68
Shnider Conext™ SW 4048 230; 1 faas		3,8 kW	92	170...270	na	na	FLA, Gel, AGM, Custom	45	40...68
Sunny Island 4.4M; 1 faas	1f-4tk, 3f-1*3tk	3,3 kW	95,8	230(172.5...264.5)	40...70		FLA, VRLA	74	41...63
SMA Sunny Island 6.0H; 1 faas	1f-4tk, 3f-3*3tk, võimalik laiend.	4,6 kVA	95,8	230(172.5...264.5)	40...70		FLA, VRLA	103	41...63
StorEdge SE5K-RWS; 1 faas	32tk	5 kVA		230/ 400	50/ 60 ±5	±0,9		130	40...62
Victron Energy MultiPlus-II; 3 faasi	1f-6tk, 3f-3*6tk	2,4 kW	95	187...265	45...65		Flooded (default), Gel, AGM,	35	51.34...57,6
Victron Energy MultiPlus-II GX; 1 faas	1f-6tk, 3f-3*6tk	2,4 kW	95	187...265	45...65		Flooded (default), Gel, AGM,	35	51.34...57,6

Planeeritava mikrovõrgu toitepunkt 7SK01

1. ELEKTROTEHNILISED ANDMED	
1.1 NIMIPINGE	U_n 230/400 V; 133/230 V; 400/650 V 230 V DC; 250 V DC
1.2 NIMIVOOL	I_n 63 A
1.3 VASTUPIDAVUS LÜHISELE	I_l 6 kA
1.4 INSTALLEERITUD VÕIMSUS	P_l 20/10/45/5/8 kW
1.5 ARVUTUSLIK VÕIMSUS	P_o 16/8/35/4/6 kW
1.6 JAOTUSSÜSTEEM	L1,L2,L3,N,PE L+, L-
2. EHITUSLIKUD ANDMED	
2.1 KESKUSE TÜÜP	KILP
2.2 KAITSEASTE	IP30, AVATUD UKSE KORRAL IP20
2.3 PAIGALDUSVIIS	PINNAPEALNE
2.4 KINNITUSVIIS	SEINALE
2.5 APARAATIDE LIIK	KOHTKINDEL
2.6 UKSE TÜÜP	LUKUSTATAV
2.7 TEENINDUSVIIS	1-PPOOLNE
2.8 PINNAKATE	PULBERVÄRV
3. KAABLIÜHENDUSTE TEOSTUS	
3.1 TOIDE	ÜLEVALT
3.2 VÄLJUUVAD KAABLIID	ÜLEVALT
4. TUNNUSSILT JA TÄHISTUSED	
	VASTAVALT STANDARDILE
5. ELEKTRIENERGIA MÕÖTESÜSTEEM	
5.1 AKTIIVENERGIA	-
5.2 ARVELDUSE LIIK	-
5.3 VOOLUTRAFOD	-

MÄRKUSED

- ERIPINGETE JUHTIMISAUTOMAATIKA EI KUULU ANTUD PROJEKTI MAHTU. KILPI JÄTTA RUUMI JUHTIMISSÜSTEEMI PAIGALDAMISEKS.
 - ENNE KILBI VALMISTAMIST KOOSKÖLASTADA KILBI KOOSTEJOONISED PROJEKTEERIJAGA.
- * - PÕHIMÖTTESKEEME VAATA KAUST 3

Töö nimi Energeetikateaduskonna hoone.		Tellija TTÜ	
Elektripaigaldis. Album 01. Tugevvool			
Objekti asukoht Ehitajate tee 5, Tallinn		Joonise nr 1463.00. E.01. 2307	
Joonise nimi Stendi kilp 7SK01. Grupivõrgu skeem		Mõõtkaava	Lehti 1
			Lehti 5
 Tel +372-666 3090 Faks+372-666 3099		Koostaja K. Mark	Staadium TPR
		Kontrollija R. Sepaste	Muudatus
		Kinnitaja M. Leoste	Kuupäev 18.04.2002
		c:\17\022\1463\2307.dwg	

Projekteeritud elektripaigaldise lisad

Kontaktorid välisühenduste ahelas (trafo / liiniemulaatori / otsetoide)

Maksimaalne kestev vool ahelas 3 x 32 A								
	Tähis	Arvestuslikud maksimaalsed väärtused ahelas			Mähis U	Peakontaktide arv	Peakontaktide ühendus skeemis	Abikontaktide arv
		$I_{max} @ U$	P, kW	I (1 pea-kontakti kohta)				
1	QA1	32 A @ 400 V	22,17 kW	32 A	24 Vdc	3 NO		2NC
2	QA2	20,21 A @ 400 V	10 kVA * 1,4	20,21 A	24 Vdc	3 NO		2NC
3	QA3	20,21 A @ 400 V	10 kVA * 1,4	20,21 A	24 Vdc	3 NO		1NC
4	QA4	32 A @ 400 V	7,36 kW	10,67 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
5	QA5	32 A @ 400 V	7,36 kW	10,67 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
6	QA6	32 A @ 400 V	7,36 kW	10,67 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
7	QA7	32 A @ 400 V	7,36 kW	10,67 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
8	QA8	32 A @ 400 V	7,36 kW	10,67 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
9	QA9	32 A @ 400 V	7,36 kW	10,67 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
10	QA10	32 A @ 400 V	22,17 kW	32 A	24 Vdc	3 NO		2NC
11	QA11	32 A @ 400 V	22,17 kW	32 A	24 Vdc	3 NO		2NC
12	QA12:1	32 A @ 400 V	22,17 kW	32 A	24 Vdc	3 NO		2NC
13	QA12:2	32 A @ 400 V	22,17 kW	16 A	24 Vdc	2 NC		1NC

Kontaktorid mootorgeneraatori moodulis 15 kW

	Tähis	Arvestuslikud maksimaalsed väärtused ahelas			Mähis U	Peakontaktide arv	Peakontaktide ühendus skeemis	Abikontaktide arv
		$I_{max} @ U$	P, kW	I (1 pea-kontakti kohta)				
1	QA13	21,65 A @ 400 V		25 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
2	QA14	21,65 A @ 400 V		25 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
3	QA15	21,65 A @ 400 V		25 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC

Kontaktorid väliste seadmete liidestus moodulis (koormustele, salvestitele, tootmiseseadmetele ja teise mikrovõrguga ühendamiseks)

	Tähis	Arvestuslikud maksimaalsed väärtused ahelas			Mähis U	Peakontaktide arv	Peakontaktide ühendus skeemis	Abikontaktide arv
		$I_{max} @ U$	P, kW	I (1 pea-kontakti kohta)				
1	QA16	16 A @ 400 V	11,06 kW	16 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
2	QA17	16 A @ 400 V	11,06 kW	16 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
3	QA18	16 A @ 400 V	11,06 kW	16 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
4	QA19	32 A @ 400 V	22,17 kW	32 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
5	QA20	32 A @ 400 V	22,17 kW	32 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
6	QA21	32 A @ 400 V	22,17 kW	32 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
7	QA22	16 A @ 230 V	3,68 kW	16 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
8	QA23	16 A @ 230 V	3,68 kW	16 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
9	QA24	16 A @ 230 V	3,68 kW	16 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
10	QA25	16 A @ 230 V	3,68 kW	16 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
11	QA26	16 A @ 230 V	3,68 kW	16 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
12	QA27	16 A @ 230 V	3,68 kW	16 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
13	QA28	16 A @ 400 V	11,06 kW	16 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
14	QA29	16 A @ 400 V	11,06 kW	16 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
15	QA30	16 A @ 400 V	11,06 kW	16 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
16	QA31	32 A @ 400 V	22,17 kW	32 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
17	QA32	32 A @ 400 V	22,17 kW	32 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC
18	QA33	32 A @ 400 V	22,17 kW	32 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1NC

Kontaktorid vahelduvpinge toiteallika moodulis 6 kW

	Tähis	Arvestuslikud maksimaalsed väärtused ahelas			Mähis U	Peakontaktide arv	Peakontaktide ühendus skeemis	Abikontaktide arv
		$I_{max} @ U$	P, kW	I (1 pea-kontakti kohta)				
1	QA34	20 A @ 400 V		RMS 20 A	24 Vdc	3 NO		2NC
2	QA35	60 A @ 230 V		RMS 20 A	24 Vdc	3 NO		4NC
3	QA36	60 A @ 230 V		RMS 20 A	24 Vdc	3 NO		4NC
4	QA37	60 A @ 230 V		RMS 20 A	24 Vdc	3 NO		4NC

Kontaktorid koormusemulaatori moodulis 3 x 1,8 kW

	Tähis	Arvestuslikud maksimaalsed väärtused ahelas			Mähis U	Peakontaktide arv	Peakontaktide ühendus skeemis	Abikontaktide arv
		$I_{max} @ U$	P, kW	I (1 pea-kontakti kohta)				
1	QA38	18 A @ 230 V		RMS 18 A	24 Vdc	3 NO		2NC
2	QA39	18 A @ 230 V		RMS 18 A	24 Vdc	3 NO		4NC
3	QA40	18 A @ 230 V		RMS 18 A	24 Vdc	3 NO		4NC
4	QA41	18 A @ 230 V		RMS 18 A	24 Vdc	3 NO		4NC
5	QA42	18 A @ 230 V		RMS 18 A	24 Vdc	3 NO		4NC
6	QA43	18 A @ 230 V		RMS 18 A	24 Vdc	3 NO		4NC
7	QA44	18 A @ 230 V		RMS 18 A	24 Vdc	3 NO		4NC

PV ja ülikondensaatorsalvesti moodil

	Tähis	Arvestuslikud maksimaalsed väärtused ahelas			Mähis U	Peakontaktide arv	Peakontaktide ühendus skeemis	Abikontaktide arv
		$I_{max} @ U$	P, kW	I (1 pea-kontakti kohta)				
1	QA45	7,65 A @ 230 V	1,76 kW	2,55 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
2	QA46	7,65 A @ 230V	1,76 kW	2,55 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
3	QA47	7,65 A @ 230V	1,76 kW	2,55 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
4	QA48	32,61 A @ 230 V	7,5 kW (1 min)	32,61 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
5	QA49	32,61 A @ 230 V	7,5 kW (1 min)	32,61 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
6	QA50	32,61 A @ 230 V	7,5 kW (1 min)	32,61 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
7	QA51	16 A @ 230 V	3,68 kW	16 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
8	QA52	16 A @ 230 V	3,68 kW	16 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
9	QA53	16 A @ 230 V	3,68 kW	16 A	24 Vdc	3 NO		3 NC

PV mooduli võimsuse arvestusel on lähtutud muundurite maksimaalsest võimsusest.

Kontaktorid akusalvesti moodulis 3 x 4600 W

	Tähis	Arvestuslikud maksimaalsed väärtused ahelas			Mähis U	Peakontaktide arv	Peakontaktide ühendus skeemis	Abikontaktide arv
		$I_{max} @ U$	P, kW	I (1 pea-kontakti kohta)				
1	QA54	32,61 A @ 230 V	7,5 kW (1 min)	32,61 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
2	QA55	32,61 A @ 230 V	7,5 kW (1 min)	32,61 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
3	QA56	32,61 A @ 230 V	7,5 kW (1 min)	32,61 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
4	QA57	32,61 A @ 230 V	7,5 kW (1 min)	32,61 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
5	QA58	32,61 A @ 230 V	7,5 kW (1 min)	32,61 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
6	QA59	32,61 A @ 230 V	7,5 kW (1 min)	32,61 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
7	QA60	32,61 A @ 230 V	7,5 kW (1 min)	32,61 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
8	QA61	32,61 A @ 230 V	7,5 kW (1 min)	32,61 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
9	QA62	32,61 A @ 230 V	7,5 kW (1 min)	32,61 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
10	QA63	32 A @ 230V	7,36 kW	32 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
11	QA64	32 A @ 230V	7,36 kW	32 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
12	QA65	32 A @ 230V	7,36 kW	32 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
13	QA66	32 A @ 230V	7,36 kW	32 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
14	QA67	32 A @ 230V	7,36 kW	32 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
15	QA68	32 A @ 230V	7,36 kW	32 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
16	QA69	32 A @ 230V	7,36 kW	32 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
17	QA70	32 A @ 230V	7,36 kW	32 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
18	QA71	32 A @ 230V	7,36 kW	32 A	24 Vdc	3 NO		3 NC
19	QA72	156,25 A @ 48V	7,5 kW	52,08 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1 NC
20	QA73	156,25 A @ 48V	7,5 kW	52,08 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1 NC
21	QA74	156,25 A @ 48V	7,5 kW	52,08 A	24 Vdc	3 NO	paralleelselt	1 NC

Elektripaigaldisse määratud kaitseeademid

Mooduli asukoht	Ahela tüüp	Tähis skeemis	Lülitatav seade või ahel	Kaitseadmete valikul, teadaolevad ja arvatud surused		Kaitseadme tüüp	Märkus
				<i>P_{max}</i>	<i>I_{max}</i>		
7SK01	Jõuahel	F4	Mikrovõrgu jõutoide	21,17 kW	32 A	3P C32	
7SK01	Omatarve	F5	Mikrovõrgu omatoide	5,75 kW	25 A	1P C25	
EK1	Jõuahel	F1	Mikrovõrgu jõutoide	21,17 kW	32 A	3P C32	
EK1	Jõuahel	F2	Mikrovõrgu omatoide	5,75 kW	25 A	1P C25	
EK1	Jõuahel	F3	Mikrovõrgu otsetoide	21,17 kW	32 A	3P C32	
EK1	Jõuahel	F4	Eraldustrafo sisend	10 kVA *1,4 + kaod	20,21 A	3P C25	
EK1	Jõuahel	F5	Mootorgeneraatori muundur toide	15 kW		3P C25	
EK1	Jõuahel	F6	Võrguemulaatori toide	6 kVA		3P C32	
EK1	Jõuahel	F7	Lisaseadme 1 toite-reserv 3 kohta	x	x	3P määratakse vajadusekorral tulevikus	
EK1	Jõuahel	F8	Lisaseadme 2 toite-reserv 3 kohta	x	x		
EK1	Jõuahel	F9	Lisaseadme 3 toite-reserv 3 kohta	x	x		
EK1	Jõuahel	F10	Lisaseadme 4 toite-reserv 3 kohta	x	x		
EK1	Omatarve	F11	Ilmajaama toide	1,38 kW	6 A	1P B6	
EK1	Omatarve	F12	Koormusemulaatorite 1, 2, 3 omatoide	1,38 kW	6 A	1P B6	
EK1	Omatarve	F13	Liiniemulaatorit jahutusventilaatorid	x	x	määratakse vajadusekorral tulevikus	
EK1	Omatarve	F14	Omatoite reserv 1 koht	x	x	määratakse vajadusekorral tulevikus	
EK1	Omatarve	F15	Hoorattassalvesti omatoide	1,38 kW	6 A	1P B6	
EK1	Omatarve	F16	Serveri toide - UPS RBA1	1 kW	4,35A	1P B6	
EK1	Jõuahel	F20	Eraldustrafo sekundaarmähis	10 kVA *1,4	20,21 A	3P C25	
EK1	Jõuahel	F21	Liiniemulaatori sisend	21,17 kW	32 A	3P C32	
EK1	Jõuahel	F22	Liiniemulaatori väljund	21,17 kW	32 A	3P C32	
EK1	Jõuahel	F23	Välisühenduste ahela ühendamine mikrovõrguga	21,17 kW	32 A	3P C32	

Elektripaigaldisse määratud kaitseseadmed

Mooduli asukoht	Ahela tüüp	Tähis skeemis	Lülitatav seade või ahel	Kaitseseadmete valikul, teadaolevad ja arvutatud surused		Kaitseseadme tüüp	Märkus
				<i>P_{max}</i>	<i>I_{max}</i>		
EK1	Jõuahel	F25	Jõutoidet vajava lisaseadme 1 ühendus mikrovõrgu siinile, 3 kohta	x	x	3P määratakse vajadusekorral tulevikus	
EK1	Jõuahel	F26	Jõutoidet vajava lisaseadme 2 ühendus mikrovõrgu siinile, 3 kohta	x	x		
EK1	Jõuahel	F27	Jõutoidet vajava lisaseadme 3 ühendus mikrovõrgu siinile, 3 kohta	x	x		
EK1	Jõuahel	F28	Jõutoidet vajava lisaseadme 4 ühendus mikrovõrgu siinile, 3 kohta	x	x		
EK1	Jõuahel	QB1	Mootorgeneraatori ühendamine sagedusmuunduriga	15 kW	21,7 A	3P Türalüliti 25A	1NO ja 1NC abikontakt
EK1	Jõuahel	FC1	Mootorgeneraatori ühendamine mikrovõrgu siiniga	15 kW	21,7 A	3P Mootorikaitselüliti reguleeritava sättevooluga 1...25A	1NO ja 1NC abikontakt
EK1	Jõuahel	F29:1	Elekttroniline koormusemulaator 1	1,8 kVA	7,83 A	1P C25	
EK1	Jõuahel	F29:2	Elekttroniline koormusemulaator 2	1,8 kVA	7,83 A	1P C25	
EK1	Jõuahel	F29:3	Elekttroniline koormusemulaator 3	1,8 kVA	7,83 A	1P C25	
EK1	Jõuahel	F30:1	Akusalvesti I AC2	7,36 kW	32 A	1P C32	
EK1	Jõuahel	F30:2	Akusalvesti II AC2	7,36 kW	32 A	1P C32	
EK1	Jõuahel	F30:3	Akusalvesti II AC2	7,36 kW	32 A	1P C32	
EK1	Jõuahel	F30:4	Akusalvesti I AC1	7,5 kW (1 min.)	32,61 A (1 min.)	1P C32	
EK1	Jõuahel	F30:5	Akusalvesti II AC1	7,5 kW (1 min.)	32,61 A (1 min.)	1P C32	
EK1	Jõuahel	F30:6	Akusalvesti II AC1	7,5 kW (1 min.)	32,61 A (1 min.)	1P C32	
EK1	Jõuahel	F31:1	Päikeseenergia tootmisüksus	1,76 kW	7,65 A	1P C10	
EK1	Jõuahel	F31:1*	Päikeseenergia tootmisüksus	1,76 kW	7,65 A	2P Rikkevoolu K. 16 A , 30 mA	
EK1	Jõuahel	F31:2	Ülikondensaatorsalvesti	7,5 kW (1 min.)	32,61 A	1P C32	
EK1	Jõuahel	F31:3	Pistik XD101 lisaseadmetele	3,68 kW	16 A	1P C16	
EK1	Jõuahel	F32	Hooratassalvesti	15 kW	32 A	3P C32	
EK1	Jõuahel	F34	3f pistik XD75 välistele seadmetele	11,06 kW	16 A	3P C16	
EK1	Jõuahel	F35	3f pistik XD76 välistele seadmetele	22,17 kW	32 A	3P C32	

Elektripaigaldisse määratud kaitseesemed

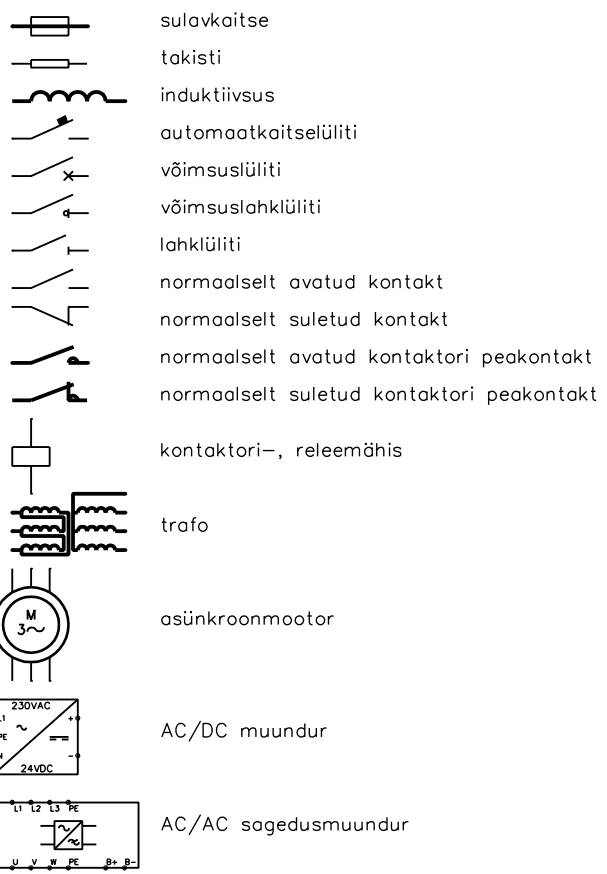
Mooduli asukoht	Ahela tüüp	Tähis skeemis	Lülitatav seade või ahel	Kaitseesemete valikul, teadaolevad ja arvutatud surused		Kaitseesemete tüüp	Märkus
				<i>P_{max}</i>	<i>I_{max}</i>		
EK1	Jõuahel	F36:1	1f pistik XD77 välisele seadmetele	3,68 kW	16 A	1P C16	
EK1	Jõuahel	F36:2	1f pistik XD78 välisele seadmetele	3,68 kW	16 A	1P C16	
EK1	Jõuahel	F36:3	1f pistik XD79 välisele seadmetele	3,68 kW	16 A	1P C16	
EK1	Jõuahel	F37:1	1f pistik XD80 välisele seadmetele	3,68 kW	16 A	1P C16	
EK1	Jõuahel	F37:2	1f pistik XD81 välisele seadmetele	3,68 kW	16 A	1P C16	
EK1	Jõuahel	F37:3	1f pistik XD82 välisele seadmetele	3,68 kW	16 A	1P C16	
EK1	Jõuahel	F38	3f pistik XD83 välise mikrovõrgu või 3f tootmiseseadmega ühendamiseks	11,06 kW	16 A	3P C16	
EK1	Jõuahel	F39	3f pistik XD84 välise mikrovõrgu või 3f tootmiseseadmega ühendamiseks	22,17 kW	32 A	3P C32	
EK1	Jõuahel	F40	Võrguemulaator mikrovõrku (3f režiim)	6 kW	8,66 A	3P C10	
EK1	Jõuahel	F40:1	Võrguemulaator paralleeltöös faasil L1	6 kW	26,09 A	1P B32	
EK1	Jõuahel	F40:2	Võrguemulaator paralleeltöös faasil L2	6 kW	26,09 A	1P B32	
EK1	Jõuahel	F40:3	Võrguemulaator paralleeltöös faasil L3	6 kW	26,09 A	1P B32	
EK3	Jõuahel	F-CA	Ülikondensaatorite kaitseautomaat	7,68 kW	160 A	2P 160 A	
EK2	Jõuahel	F-BAT1	Akupakk 1 kaitse	7,68 kW	160 A	2P 160 A	
EK2	Jõuahel	F-BAT2	Akupakk 2 kaitse	7,68 kW	160 A	2P 160 A	
EK2	Jõuahel	F-BAT3	Akupakk 3 kaitse	7,68 kW	160 A	2P 160 A	
EK1	Omatarve	F10:1	Toiteploki TC1 toide	1,38 kW	6 A	1P C10	
EK1	Omatarve	F10:2	Toiteploki TC2 toide	1,38 kW	6 A	1P C10	
EK1	Omatarve	F10:3	Toiteploki TC3 toide	1,38 kW	6 A	1P C10	
EK1	Omatarve	F10:4	Toiteploki TC4 toide	1,38 kW	6 A	1P C10	
EK1	Omatarve	F10:5	Toiteploki TC5 toide	1,38 kW	6 A	1P C10	
EK1	Omatarve	F10:6	Toiteploki TC6 toide	1,38 kW	6 A	1P C10	
EK1	Omatarve	F10:7	Toiteploki TC7 toide	1,38 kW	6 A	1P C10	
EK4	Omatarve	F2:1	Omatoiteahel +EK4-KEB1	1,38 kW	6 A	1P C10	

Elektripaigaldise skeem

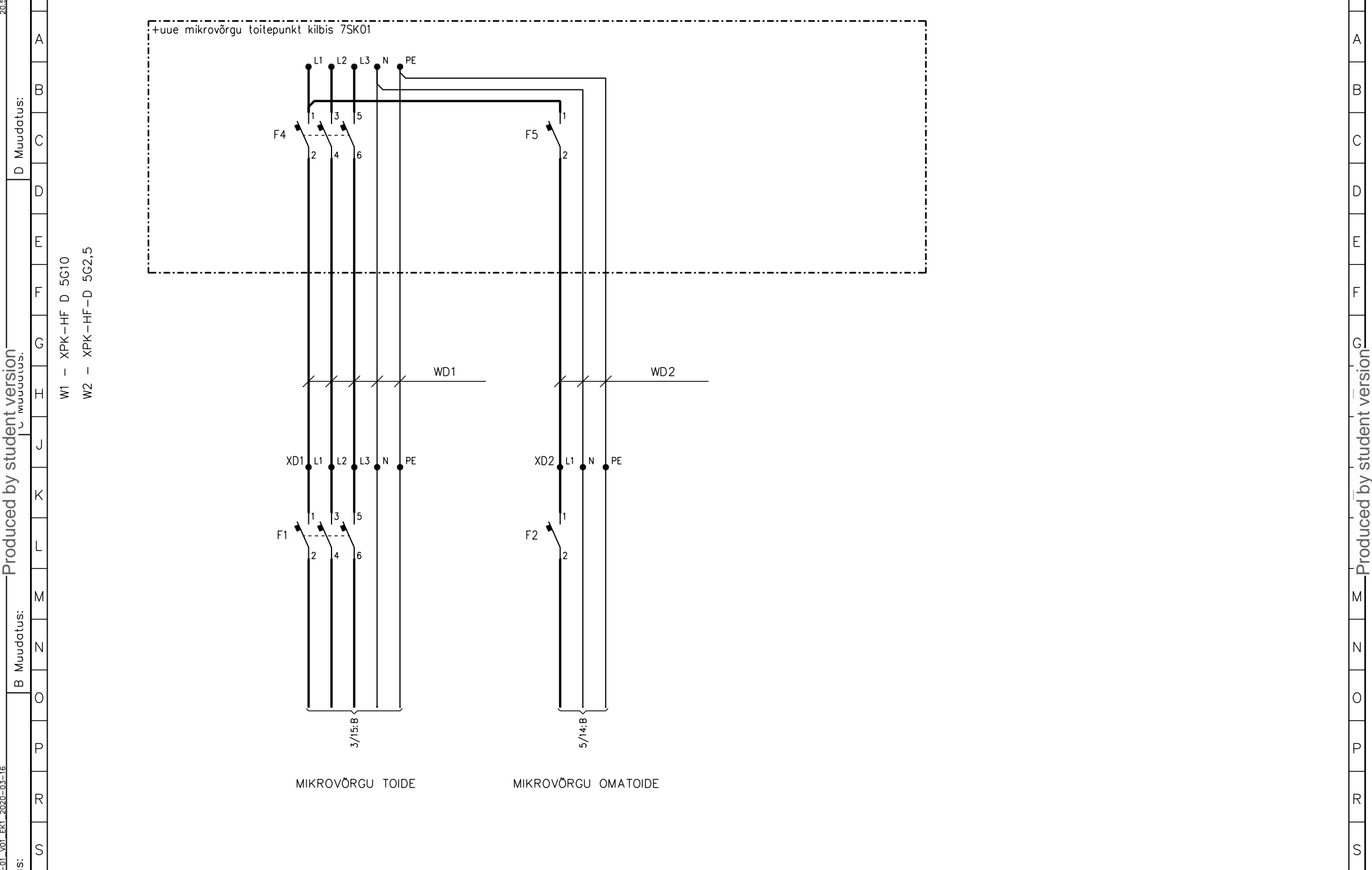
A Muudatus: B Muudatus: C Muudatus: D Muudatus: E Muudatus: F Muudatus: G Muudatus: H Muudatus: J Muudatus: K Muudatus: L Muudatus: M Muudatus: N Muudatus: O Muudatus: P Muudatus: R Muudatus: S Muudatus:

Skeemis kasutatud lühendid vastavad standardile EVS-EN IEC 81346-2:2020

BA	elektripotentsiaali tajuv objekt
BC	elektrivoolu tajuv objekt
BU	mitut suurust tajuv objekt, voolu, pinget
CA	mahtuvuslik talletav objekt, kondensaator
CAA	kondensaator
CC	elektrokeemiline talletav objekt, aku
F	kaitsev objekt, kaitseülili, sulavkaitse
GB	keemilisest energiast elektrienergiat genereeriv objekt, kütuseelement
GC	päikeseenergiast elektrienergiat genereeriv objekt
GQ	gaasilist voolu genereeriv objekt, elektrolüüser
KEB	juhtimisüksus, PLC kontrollid
KED	elektrisignaale töötlev objekt, arvutivõrgu switch
Q	objekt voolu ohjamiseks ehk juhtimiseks, kontaktor, lüli
RAB	elektrienergiat piirav objekt, induktiivsus
RAC	elektrienergiat piirav objekt, resistor
RBA	elektrit stabiliseeriv objekt, katkematu toite tagamise abil, UPS
RF	piirav objekt, stabiliseerides signaali
TA	muundav objekt, mis säilitab vahelduvvoolu või alalisvoolu omaduse, AC/AC, DC/DC
TB	teisendav objekt, muundab alalisvoolu vahelduvvooluks ja vastupidi, DC/AC, AC/DC
TC	universaalne toiteallikas
WD	suunav objekt, madalpingelise elektrienergia mõttes
WG	suunav objekt, elektriliste signaalide mõttes
XD	liidestav objekt, madalpingelise elektrivõimsuse mõttes
XG	liidestav objekt, elektriliste signaalide mõttes
BT	temperatuuri tajuv objekt, temperatuuri andur
QB	ohjav objekt, elektriahelate eraldamise abil, koormuslahklüli
QA	ohjav objekt, elektrivoolu mõttes, elektriahelast, kontaktor
XDB	madalpingeline tugevvoolupistik



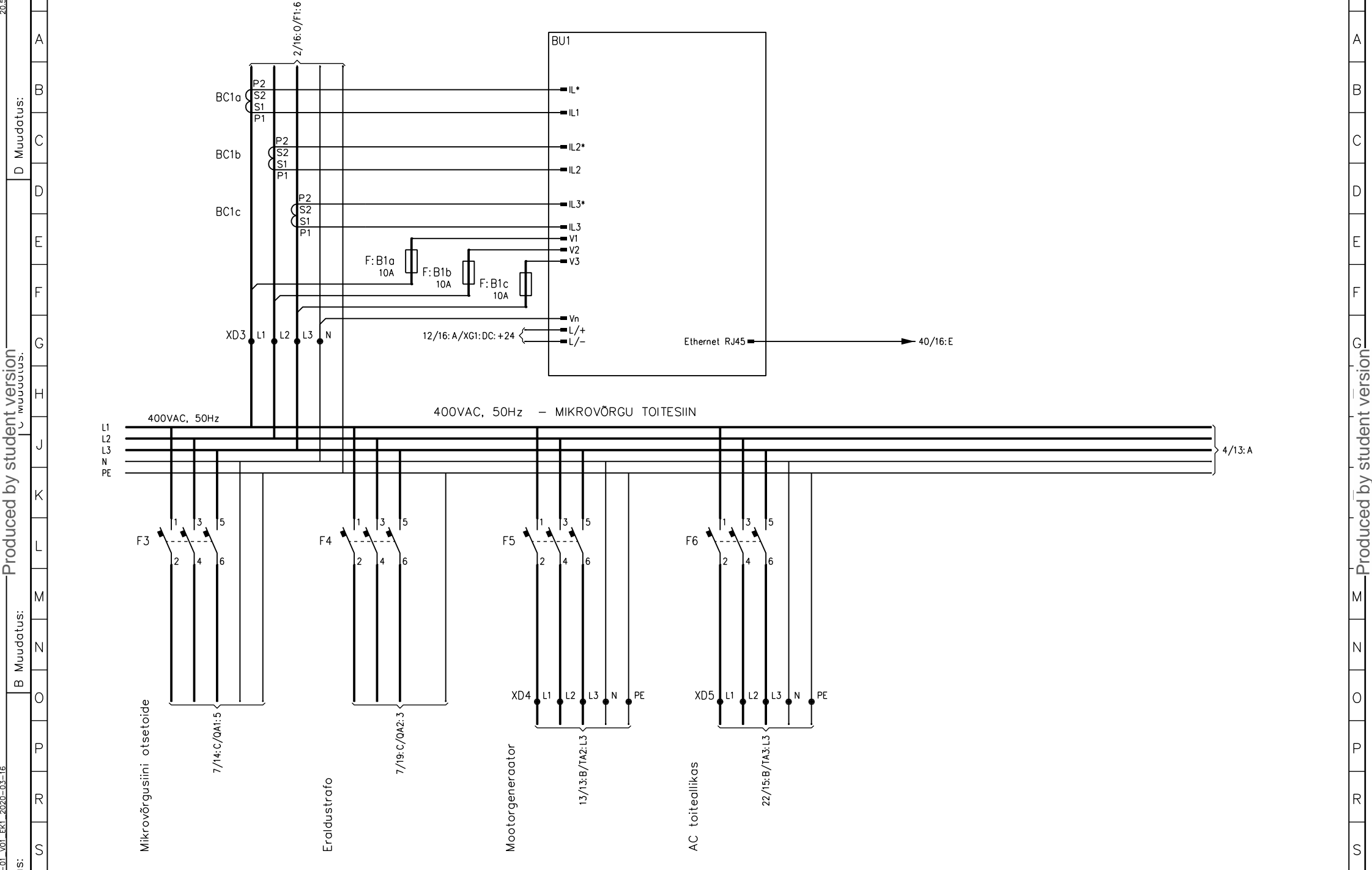
Mikrovõrk	Info	Projekteeris	Ahela nr.	Keskuse nr.	Töö nr.
		/20.3.2020			0001
		Kontrollis	Leht	Joonise nr.	
Taltech, NRG 102	M Keskiöla ja Illinõh	Kinnitas	1/41		



A Muudatus:	Mikrovõrk	Toide	Projekteeris /7.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
	Taltech, NRG 102	M Keskiila	Kontrollis	Leht 2/41	Joonise nr.	. EL+EN-5
			Kinnitas			

Produced by student version

Produced by student version



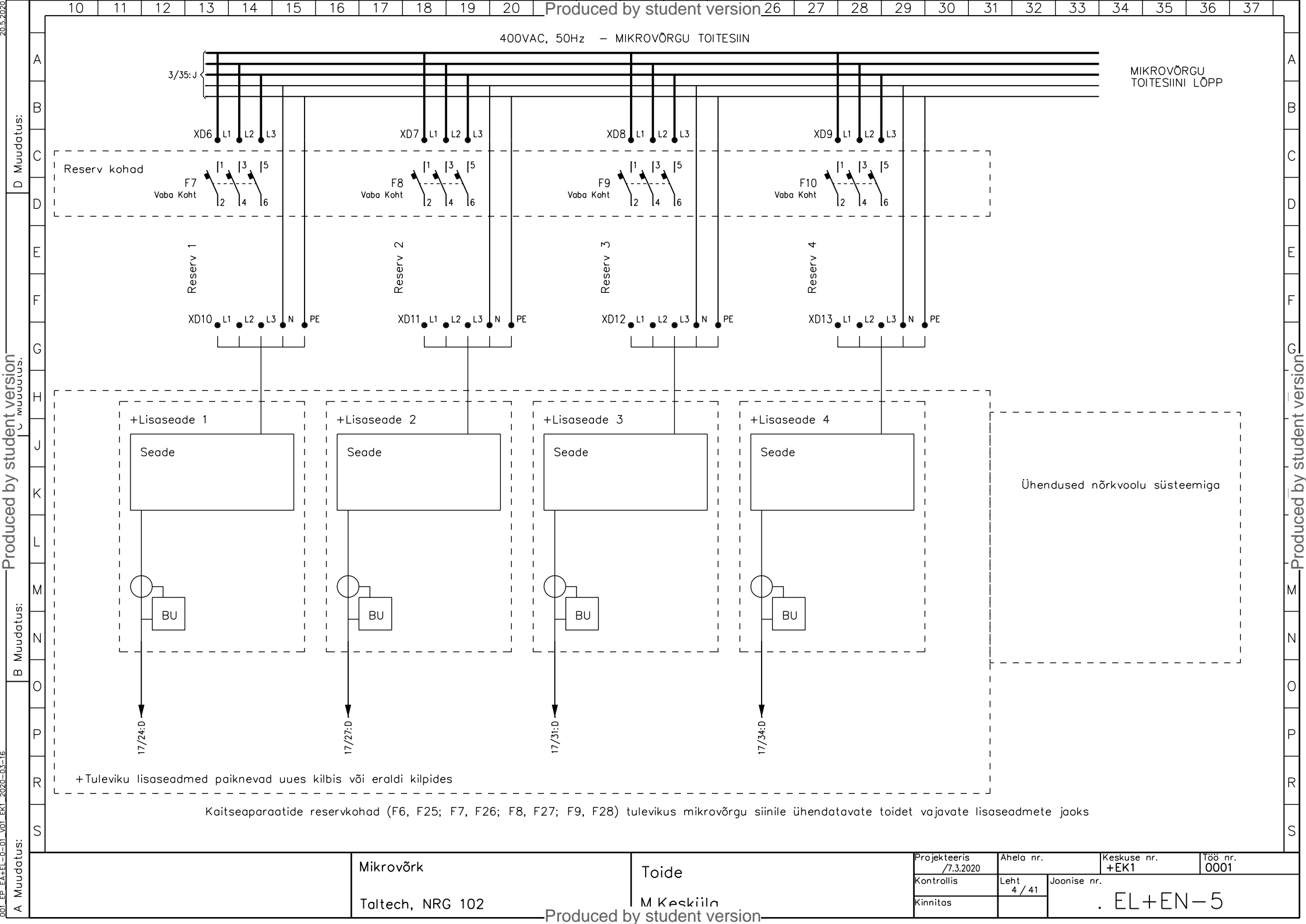
Produced by student version

Produced by student version

Produced by student version

Produced by student version

A Muudatus:	Mikrovõrk	Toide	Projekteeris /7.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
	Taltech, NRG 102	M Keskiöla ja Illinõh	Kontrollis	Leht 3/41	Joonis nr.	
			Kinnitas			. EL+EN-5



400VAC, 50Hz - MIKROVÕRGU TOITESIIN

MIKROVÕRGU TOITESIINI LÕPP

Reserv kohad
F7
Vaba Koht

F8
Vaba Koht

F9
Vaba Koht

F10
Vaba Koht

Reserv 1

Reserv 2

Reserv 3

Reserv 4

XD10 L1 L2 L3 N PE

XD11 L1 L2 L3 N PE

XD12 L1 L2 L3 N PE

XD13 L1 L2 L3 N PE

+Lisaseade 1
Seade

+Lisaseade 2
Seade

+Lisaseade 3
Seade

+Lisaseade 4
Seade

Ühendused nõrkvoolu süsteemiga

BU

BU

BU

BU

17/24:0

17/27:0

17/31:0

17/34:0

+Tuleviku lisaseadmed paiknevad uues kilbis või eraldi kilpides

Kaitseaparatuuride reservkohad (F6, F25; F7, F26; F8, F27; F9, F28) tulevikus mikrovõrgu siinile ühendatavate toidet vajavate lisaseadmete jaoks

Mikrovõrk

Toide

Taltech, NRG 102

M Keskiila

Projekteeris /7.3.2020

Ahela nr.

Keskuse nr. +EK1

Töö nr. 0001

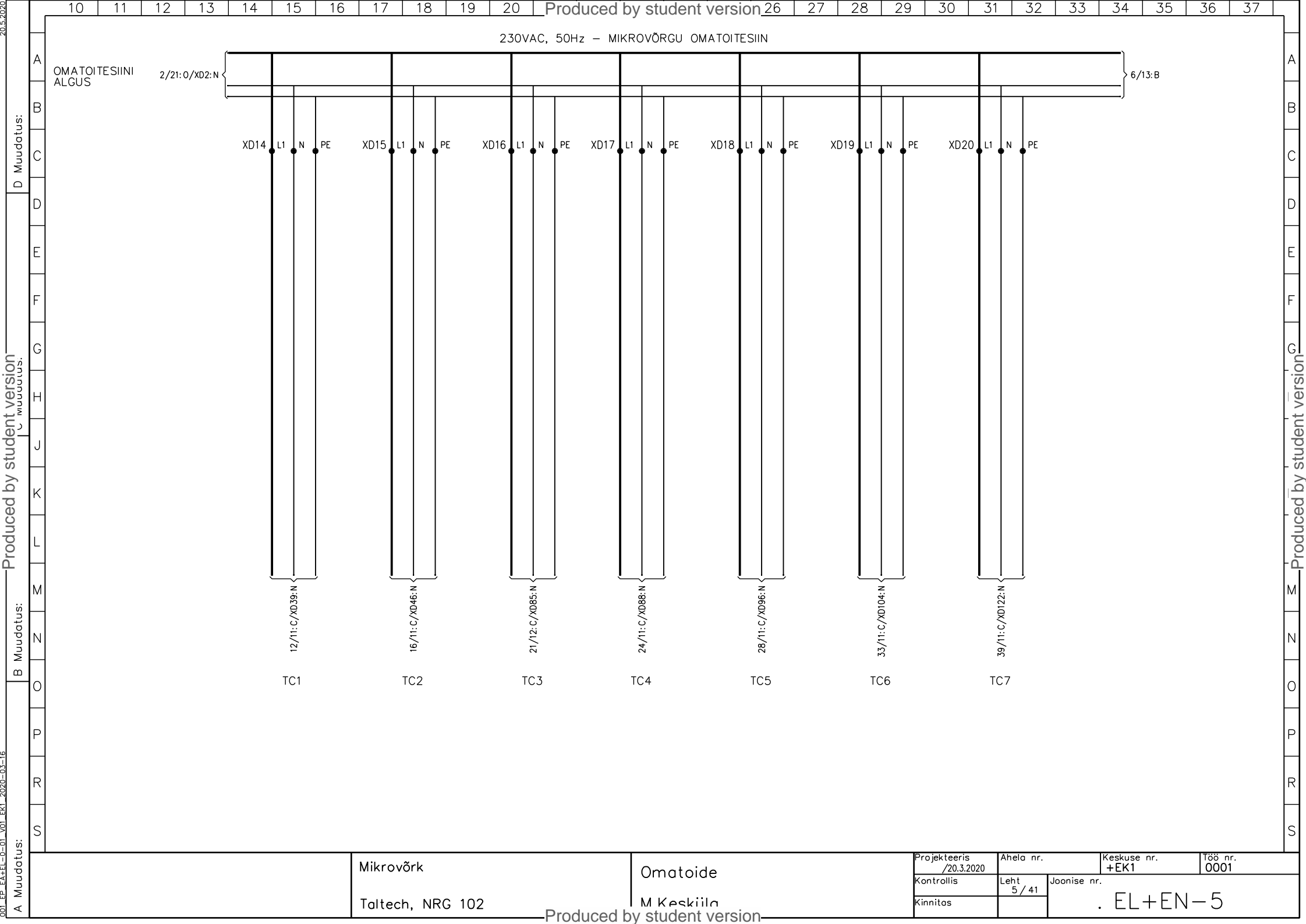
Kontrollis

Leht 4 / 41

Joonise nr.

Kinnitas

. EL+EN-5



230VAC, 50Hz - MIKROVÕRGU OMATOITESIINI

OMATOITESIINI
ALGUS

2/21:0/XD2:N

6/13:B

XD14 L1 N PE

XD15 L1 N PE

XD16 L1 N PE

XD17 L1 N PE

XD18 L1 N PE

XD19 L1 N PE

XD20 L1 N PE

12/11:C/XD39:N

TC1

16/11:C/XD46:N

TC2

21/12:C/XD85:N

TC3

24/11:C/XD88:N

TC4

28/11:C/XD96:N

TC5

33/11:C/XD104:N

TC6

39/11:C/XD122:N

TC7

Mikrovõrk

Taltech, NRG 102

Omatoide

M Keskiõla

Projekteeris

/20.3.2020

Kontrollis

Kinnitas

Ahela nr.

Leht

5/41

Keskuse nr.

+EK1

Joonise nr.

Tõõ nr.

0001

. EL+EN-5

Produced by student version

Produced by student version

Produced by student version

Produced by student version

Produced by student version

001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16

20.5.2020

D Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:

C Muudatus:

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

R

S

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

R

S

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

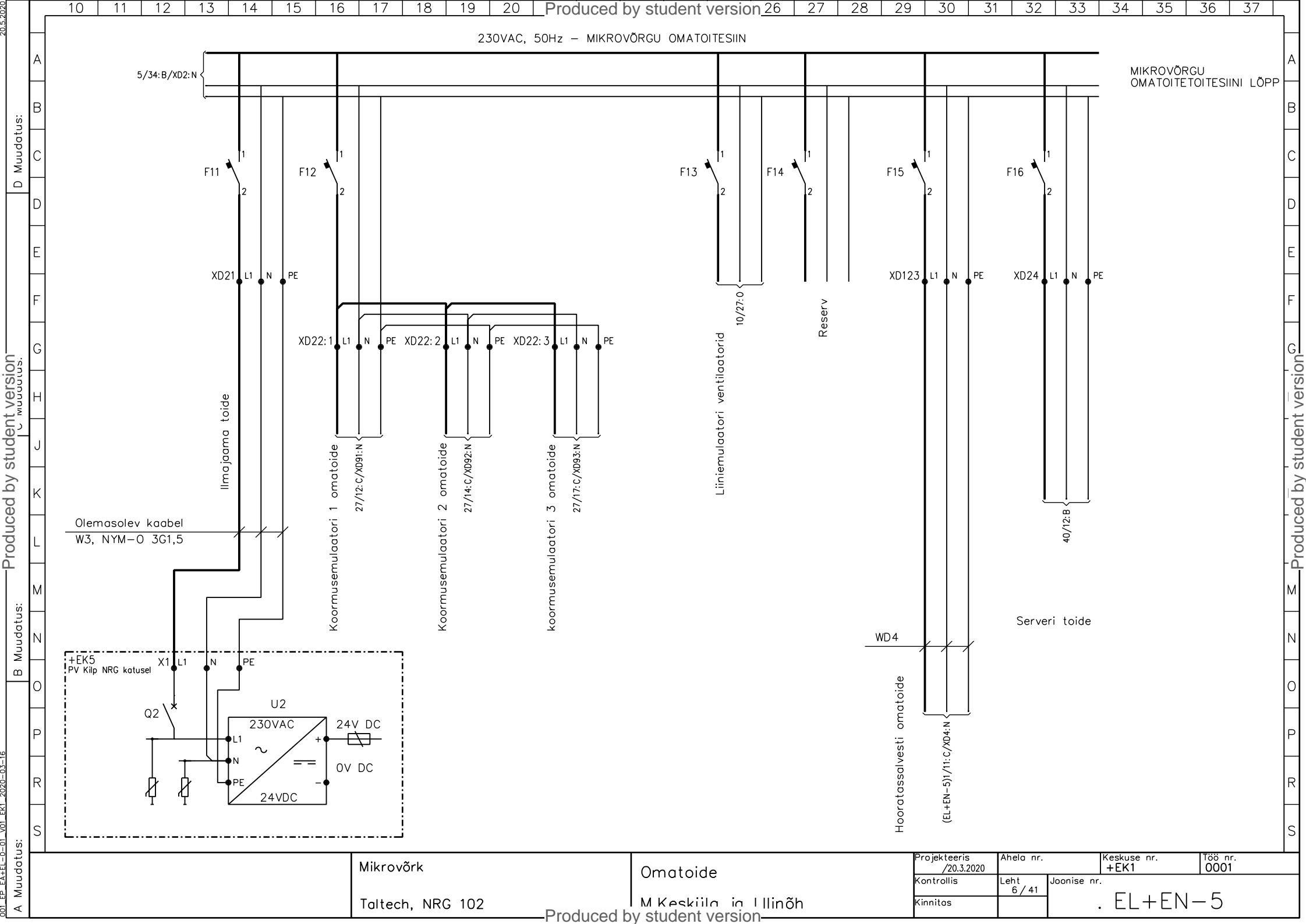
33

34

35

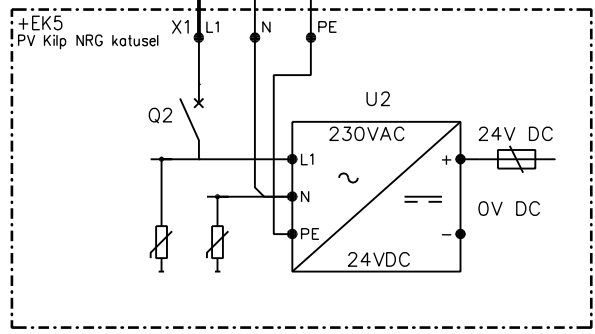
36

37



230VAC, 50Hz – MIKROVÕRGU OMATOITESIIN

MIKROVÕRGU OMATOITETOTESIINI LÕPP



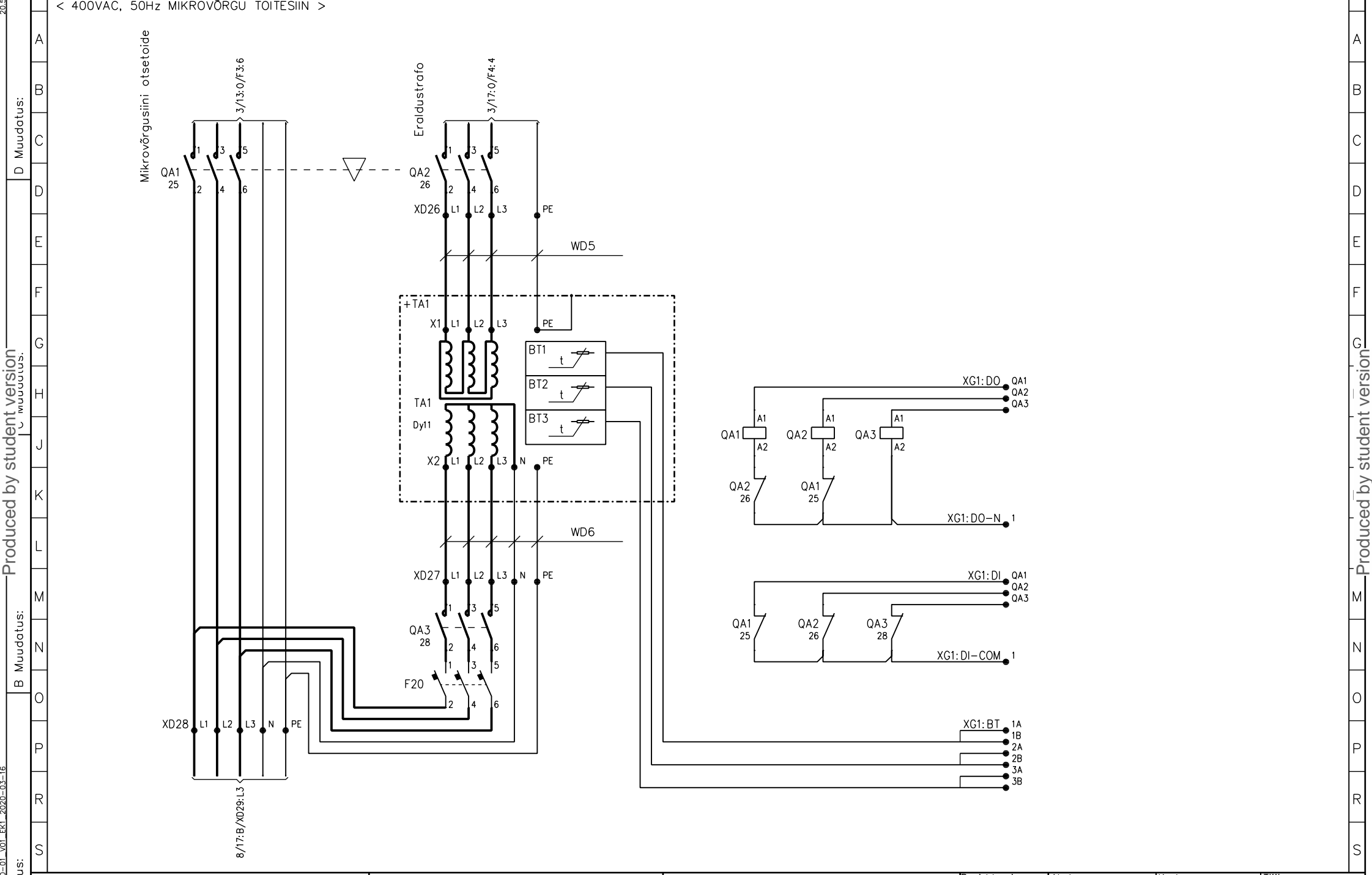
Mikrovõrk

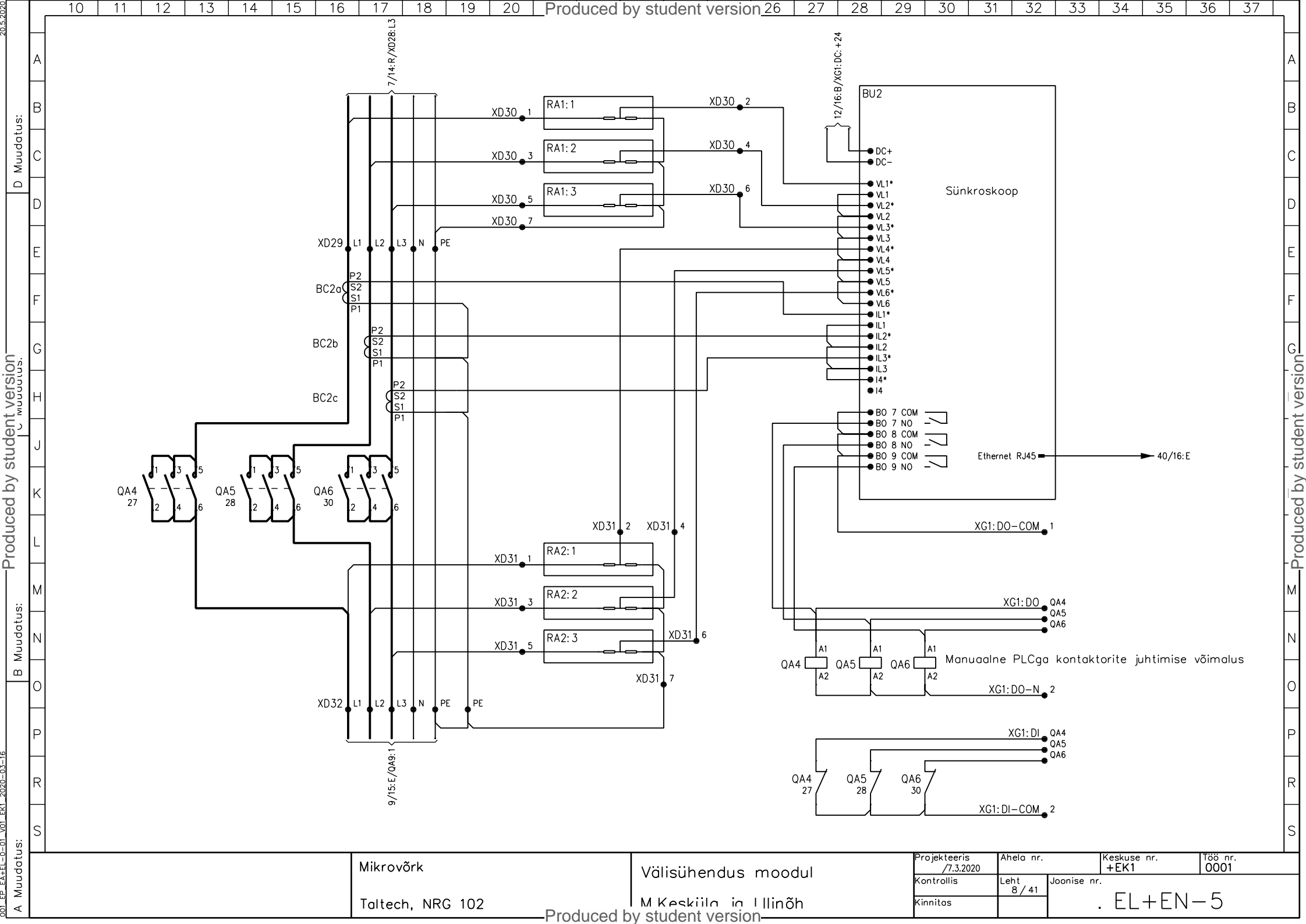
Omatoide

Taltech, NRG 102

M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 6/41	Joonise nr.	
Kinnitas	. EL+EN-5		





D Muudatus:

Produced by student version

B Muudatus:

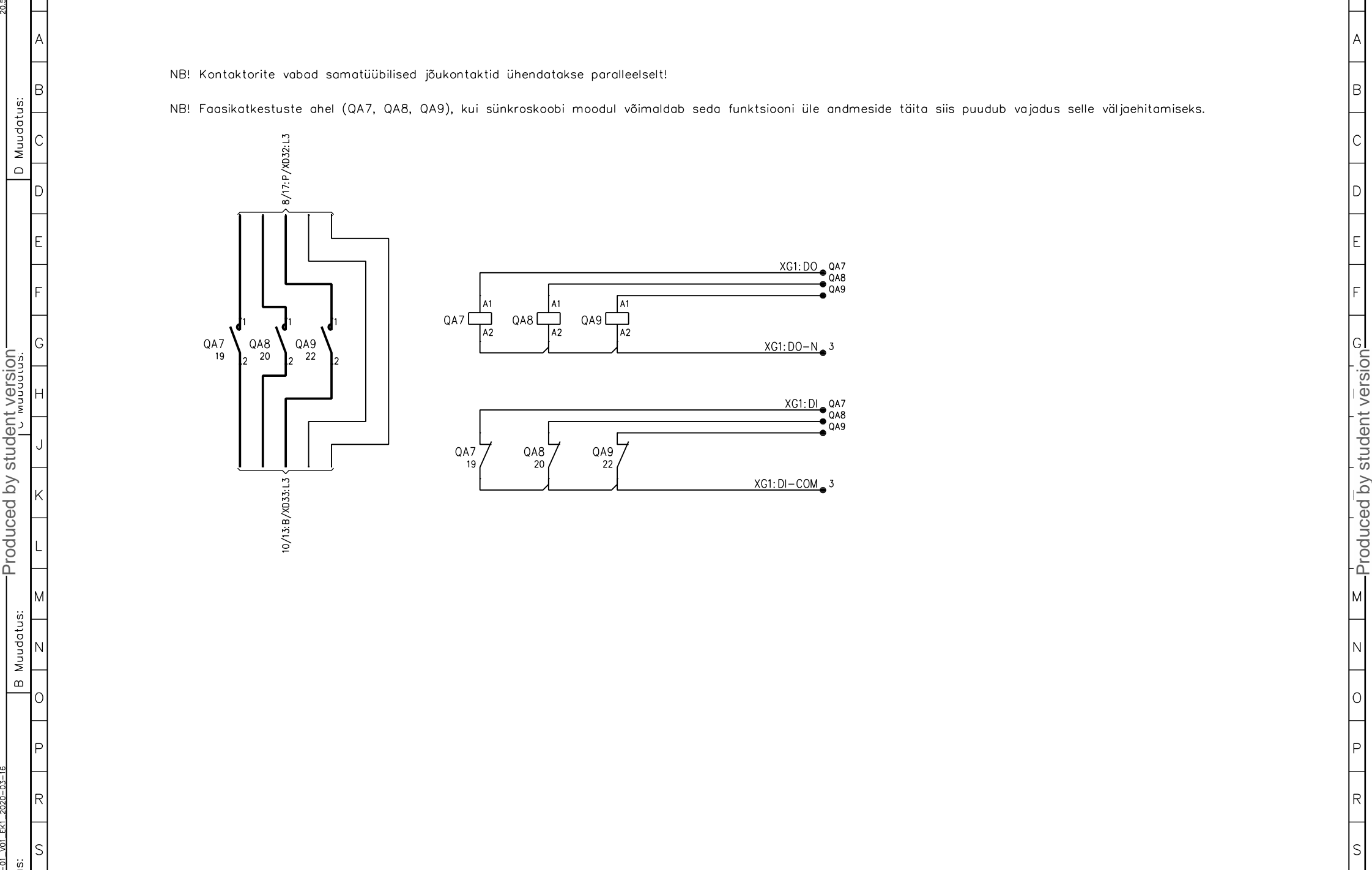
A Muudatus:

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Välisühendus moodul
M Keskiäla ja Illinõh

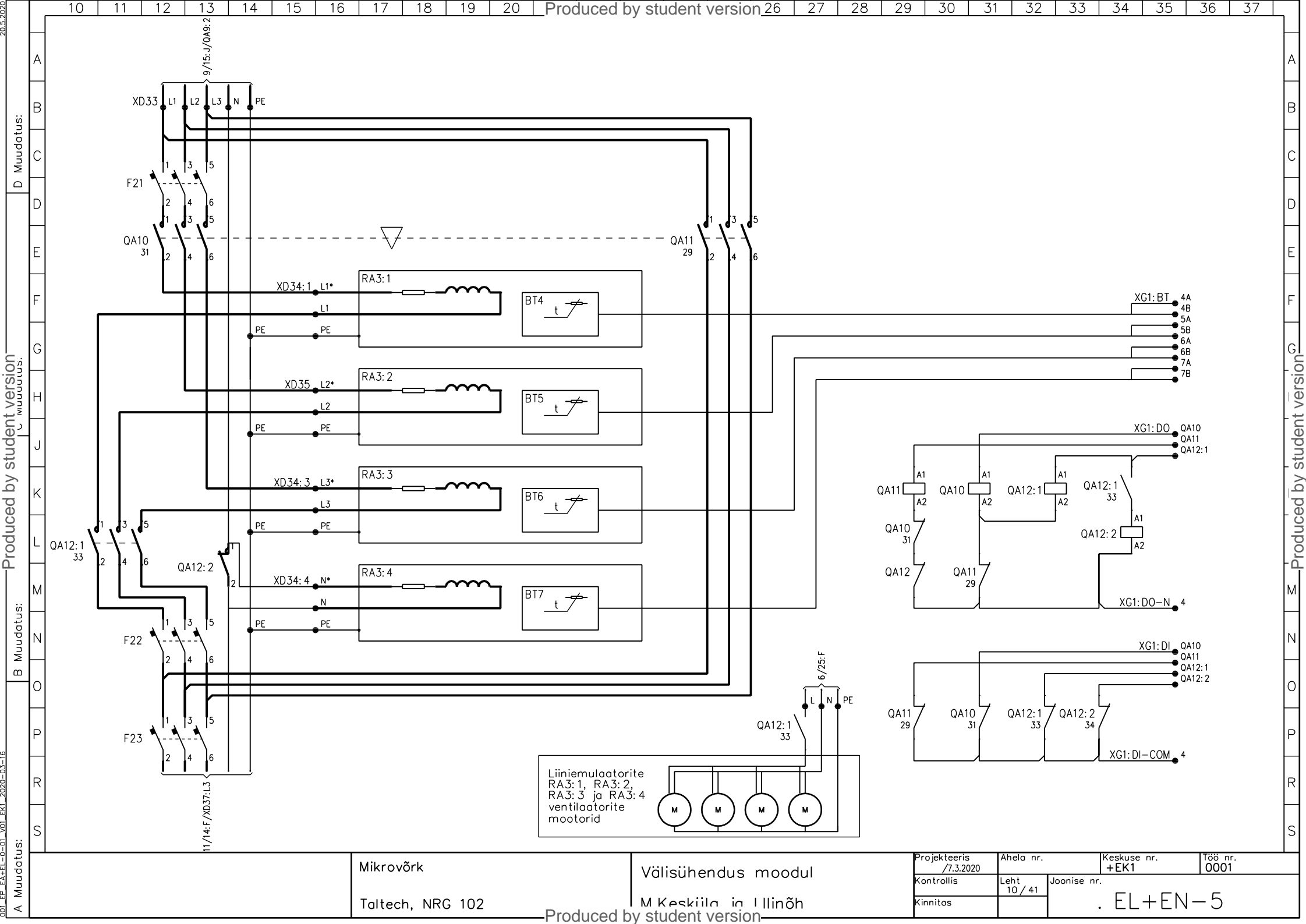
Projekteeris /7.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 8/41	Joonise nr.	
Kinnitas		. EL+EN-5	

Produced by student version



Produced by student version

Produced by student version



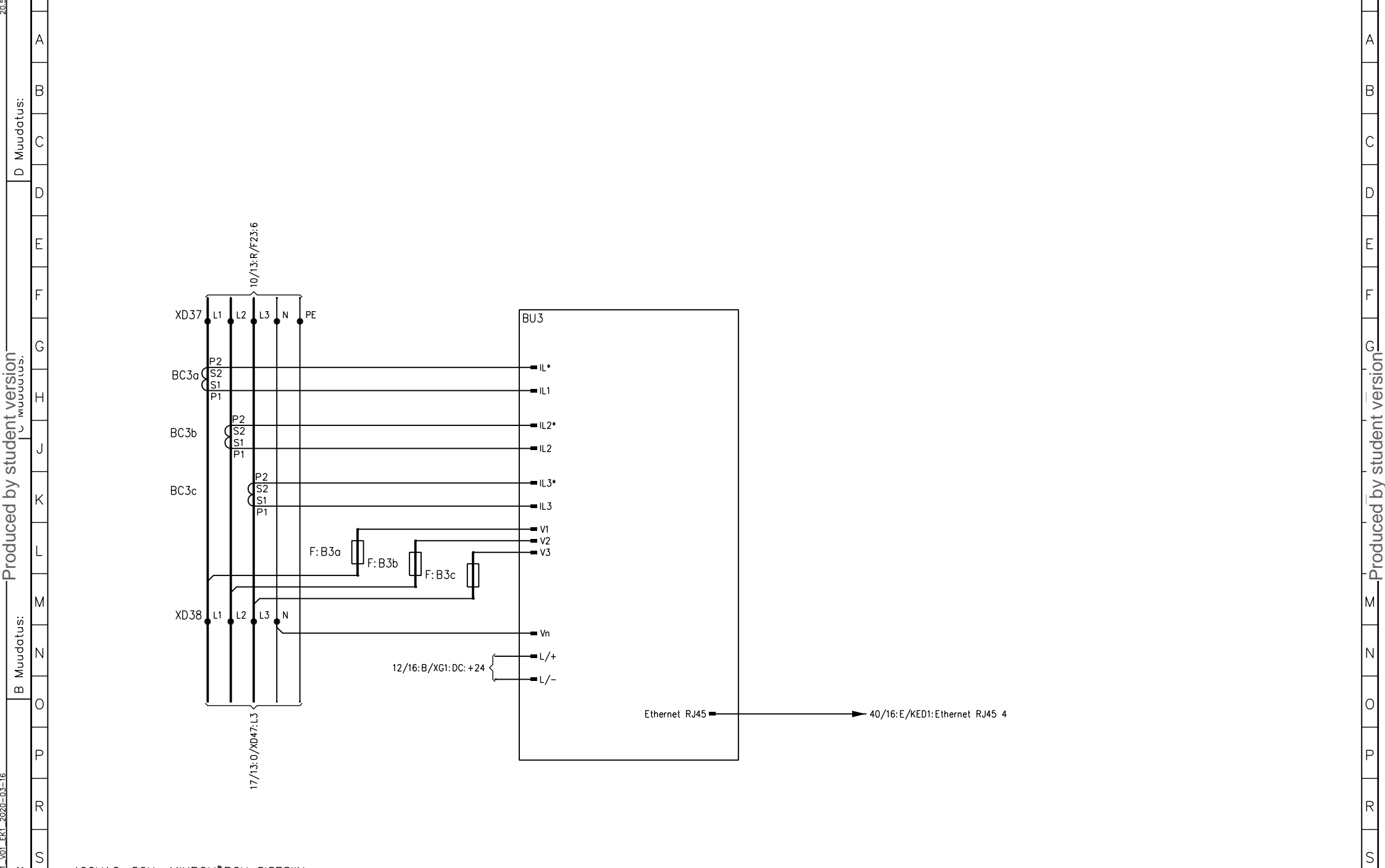
20.5.2020
 A Muudatus: Taltech, NRG 102
 B Muudatus: Mikrovõrk
 C Muudatus: Välisühendus moodul
 D Muudatus:

A
 B
 C
 D
 E
 F
 G
 H
 J
 K
 L
 M
 N
 O
 P
 R
 S

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Välisühendus moodul
M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /7.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 10 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas			. EL+EN-5



Produced by student version

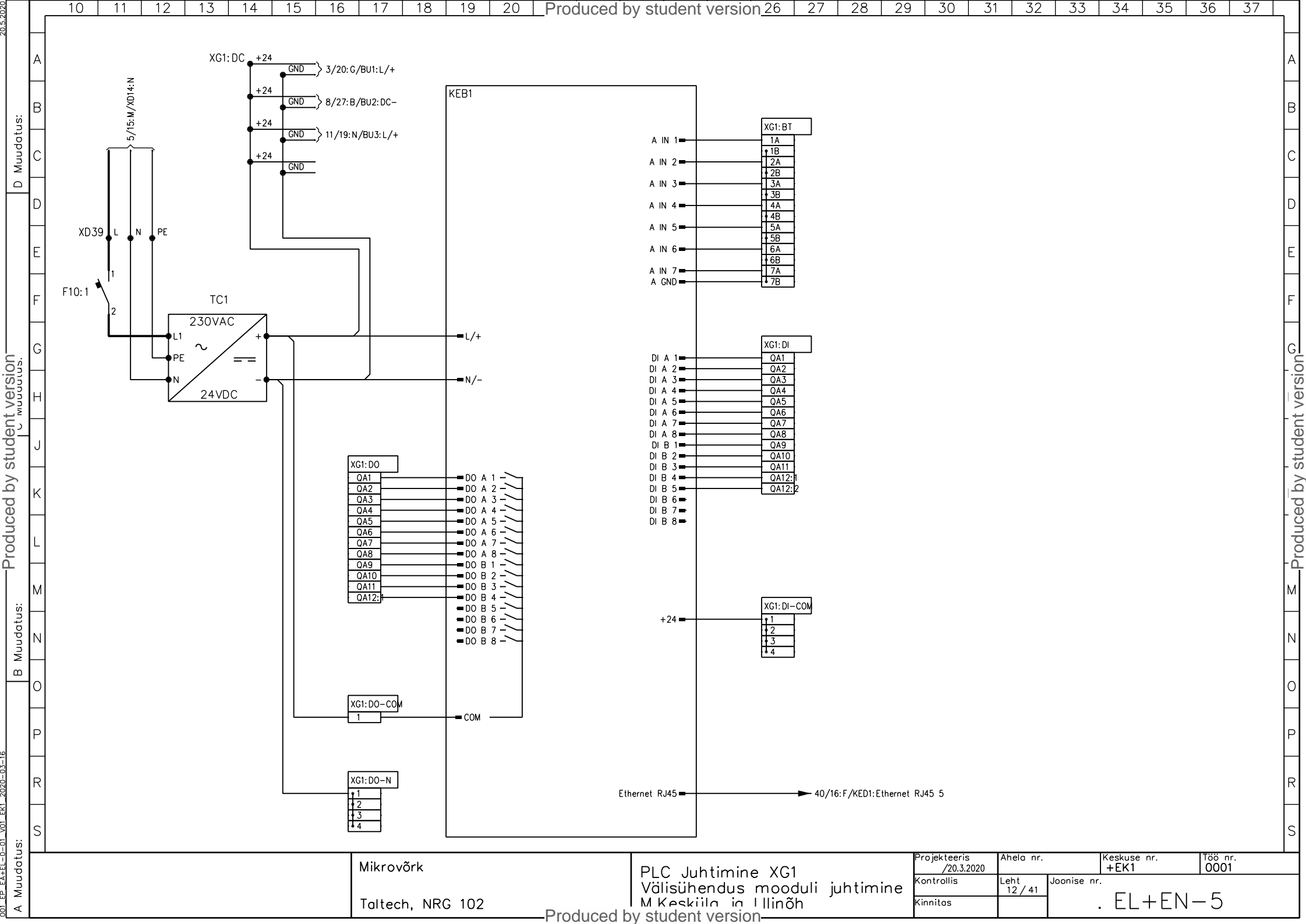
Produced by student version

< 400VAC, 50Hz MIKROVÖRGU SISESIIN >

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Välisühendus moodul
M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /7.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	Tõõ nr. 0001
Kontrollis	Leht 11/41	Joonise nr.	
Kinnitas	. EL+EN-5		



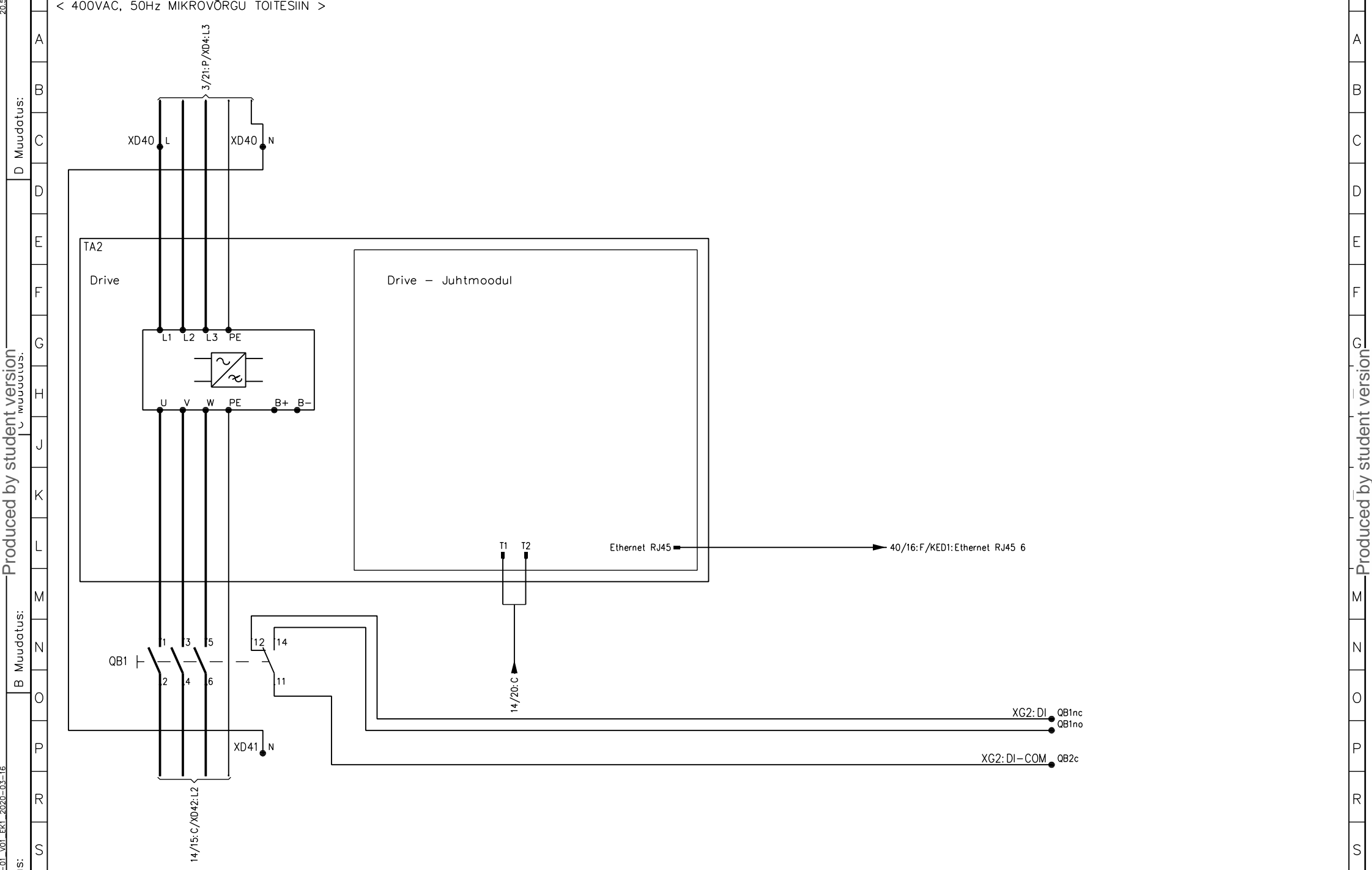
A Muudatus: 20.5.2020
 B Muudatus: 20.5.2020
 C Muudatus: 20.5.2020
 D Muudatus: 20.5.2020
 E Muudatus: 20.5.2020
 F Muudatus: 20.5.2020
 G Muudatus: 20.5.2020
 H Muudatus: 20.5.2020
 I Muudatus: 20.5.2020
 J Muudatus: 20.5.2020
 K Muudatus: 20.5.2020
 L Muudatus: 20.5.2020
 M Muudatus: 20.5.2020
 N Muudatus: 20.5.2020
 O Muudatus: 20.5.2020
 P Muudatus: 20.5.2020
 R Muudatus: 20.5.2020
 S Muudatus: 20.5.2020

A Muudatus: 20.5.2020
 B Muudatus: 20.5.2020
 C Muudatus: 20.5.2020
 D Muudatus: 20.5.2020
 E Muudatus: 20.5.2020
 F Muudatus: 20.5.2020
 G Muudatus: 20.5.2020
 H Muudatus: 20.5.2020
 I Muudatus: 20.5.2020
 J Muudatus: 20.5.2020
 K Muudatus: 20.5.2020
 L Muudatus: 20.5.2020
 M Muudatus: 20.5.2020
 N Muudatus: 20.5.2020
 O Muudatus: 20.5.2020
 P Muudatus: 20.5.2020
 R Muudatus: 20.5.2020
 S Muudatus: 20.5.2020

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

PLC Juhtimine XG1
Välisühendus mooduli juhtimine
M Keskiila ja Illinõh

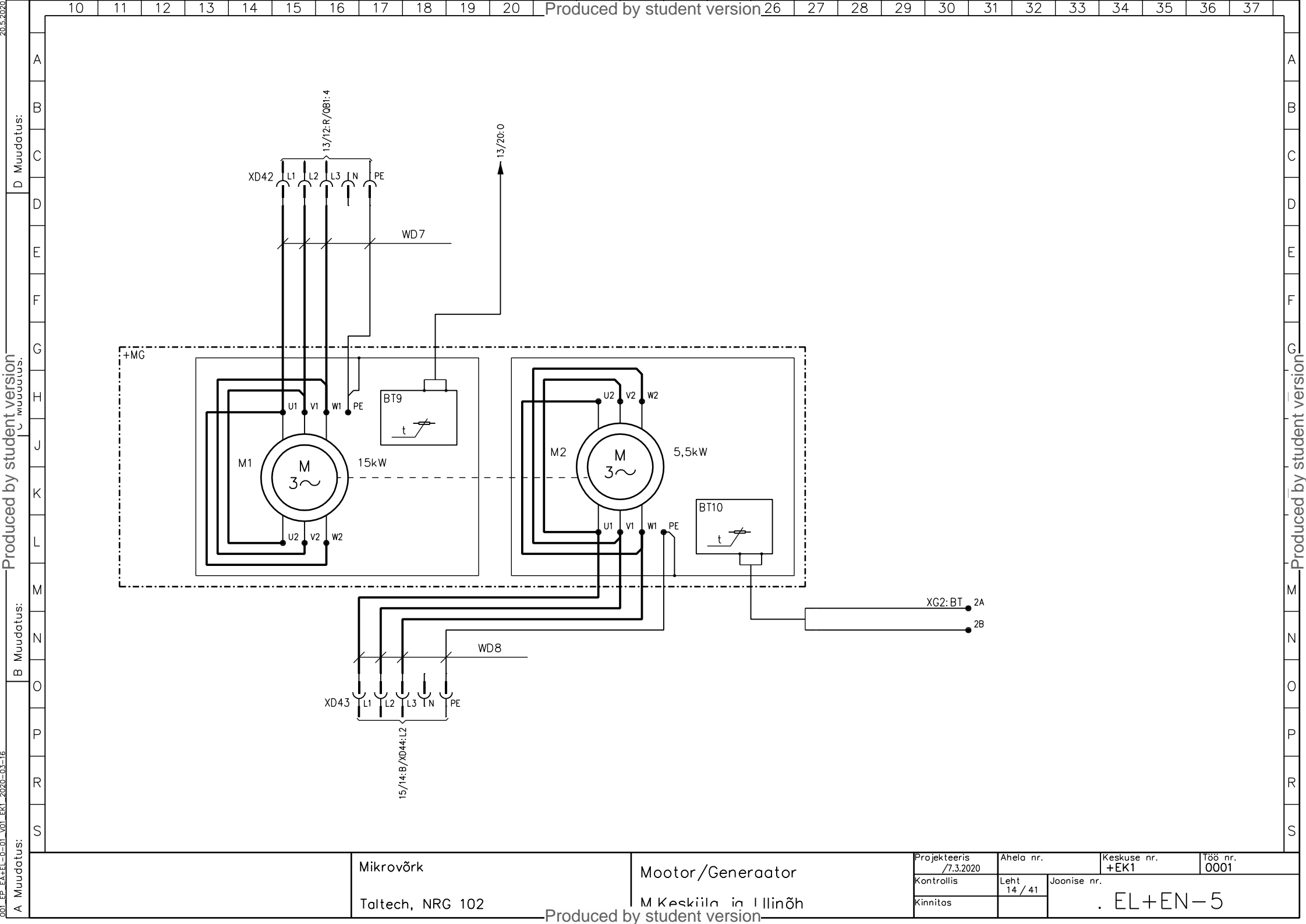
Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 12 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas	. EL+EN-5		



Produced by student version

Produced by student version

A Muudatus:	Mikrovõrk	Mootor/Generaator	Projekteeris /7.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
	Taltech, NRG 102	M Keskiöla ja Illinõh	Kontrollis	Leht 13 / 41	Joonise nr.	
			Kinnitas			. EL+EN-5



Produced by student version

D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:

Mikrovõrk

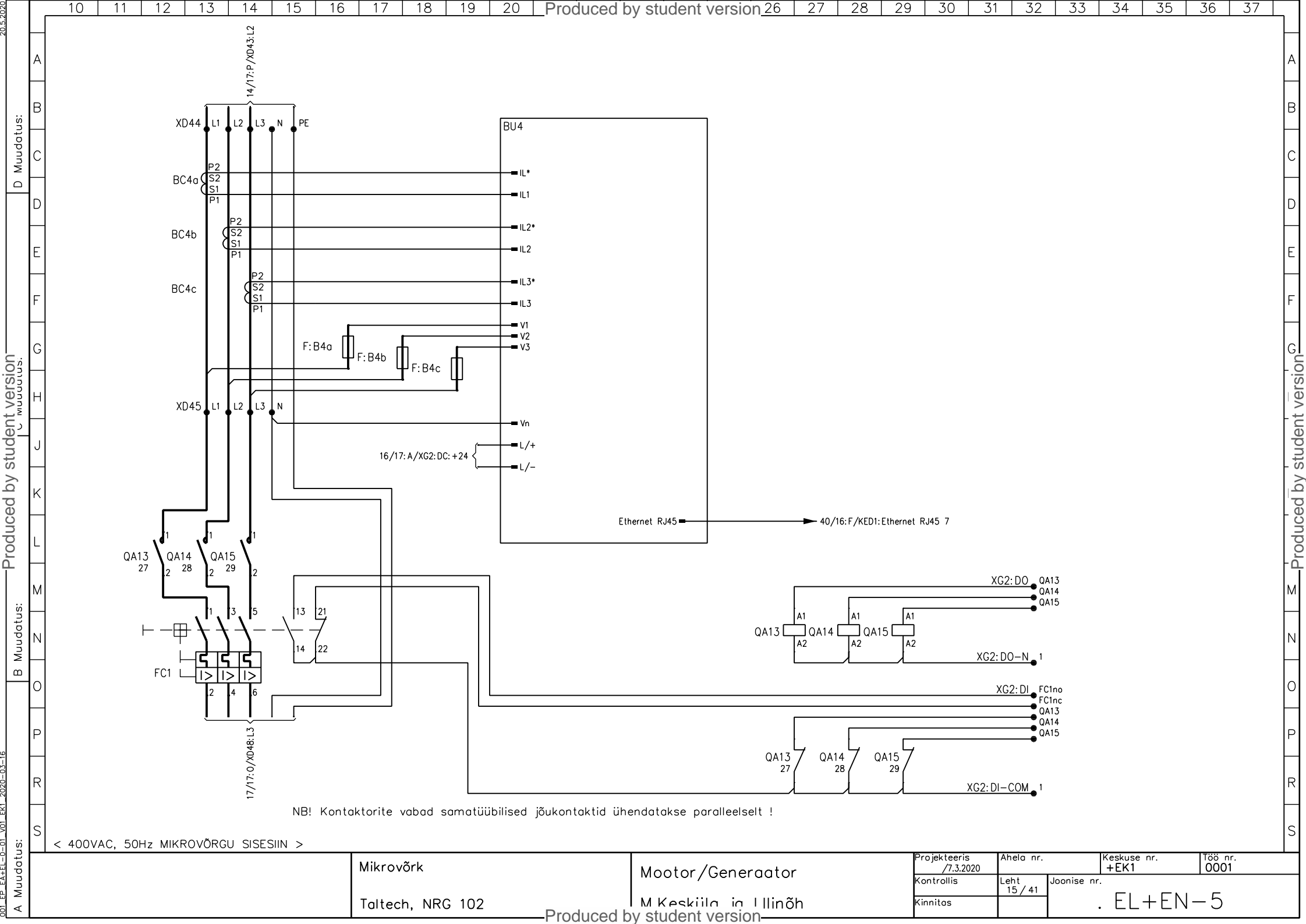
Taltech, NRG 102

Mootor/Generaator

M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /7.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	Tõõ nr. 0001
Kontrollis	Leht 14 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas			. EL+EN-5

Produced by student version



20.5.2020
 A Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01_EK1_2020-03-16
 B Muudatus:
 C Muudatus:
 D Muudatus:
 E Muudatus:
 F Muudatus:
 G Muudatus:
 H Muudatus:
 I Muudatus:
 J Muudatus:
 K Muudatus:
 L Muudatus:
 M Muudatus:
 N Muudatus:
 O Muudatus:
 P Muudatus:
 R Muudatus:
 S Muudatus:

A
 B
 C
 D
 E
 F
 G
 H
 I
 J
 K
 L
 M
 N
 O
 P
 R
 S

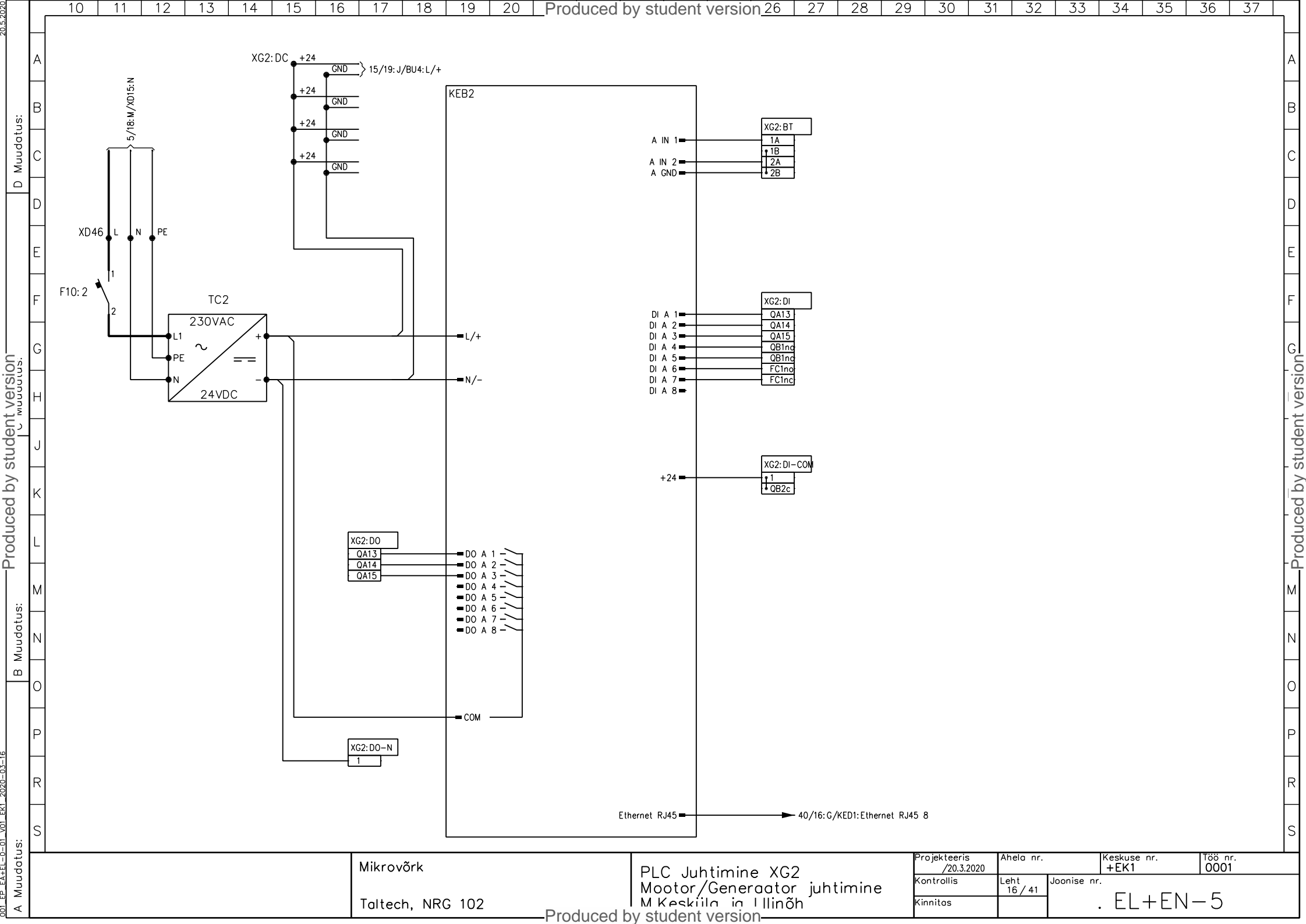
< 400VAC, 50Hz MIKROVÕRGU SISESIIN >

NB! Kontaktorite vabad samatüübilised jõukontaktid ühendatakse paralleelselt !

Mikrovõrk
 Taltech, NRG 102

Mootor/Generaator
 M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /7.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 15 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas		. EL+EN-5	



D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

PLC Juhtimine XG2
Mootor/Generaator juhtimine
M Keskiila ja Illinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 16 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas	. EL+EN-5		

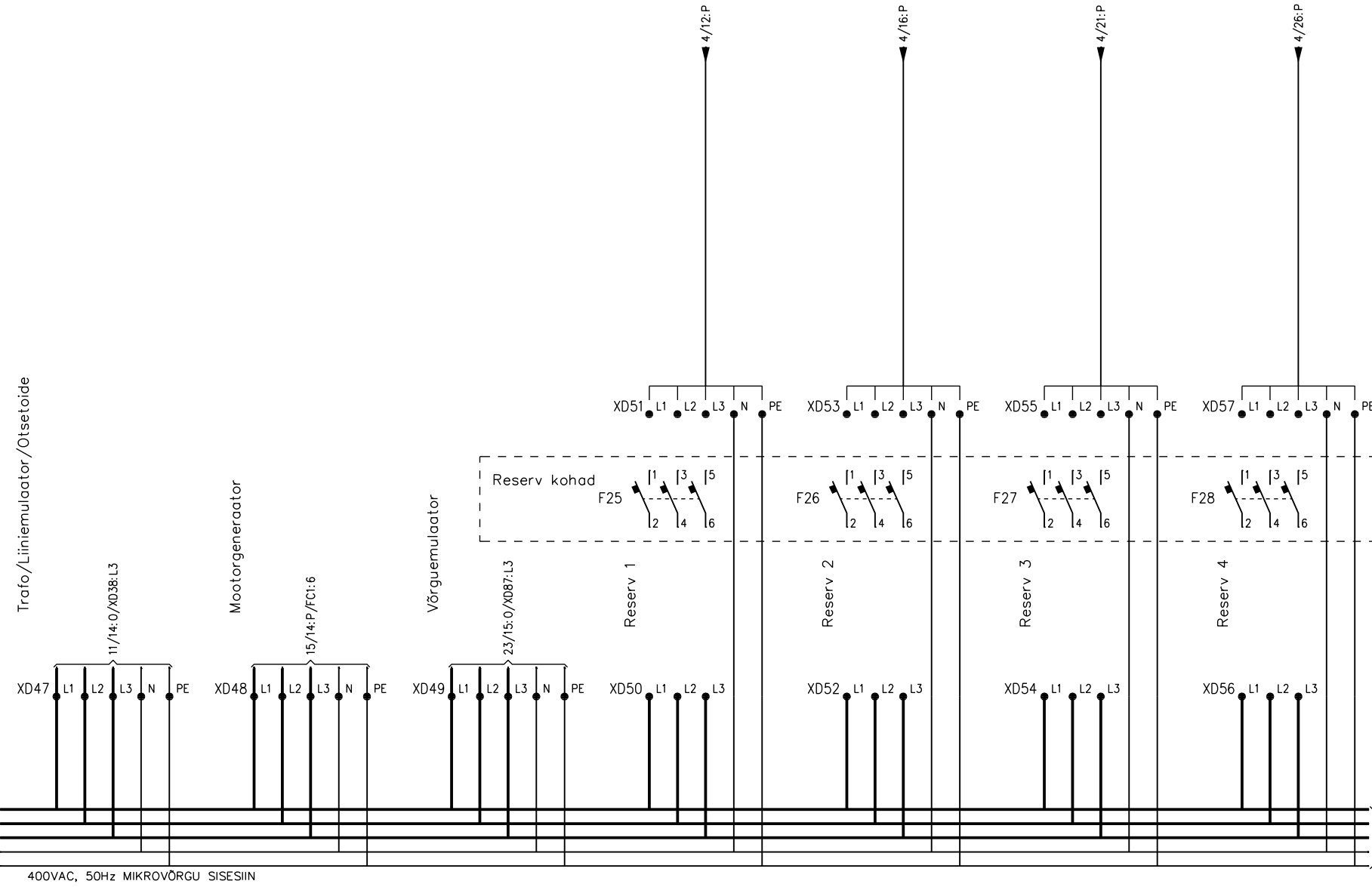
Kaitseaparatuuride reservkohad (F6, F25; F7, F26; F8, F27; F9, F28) tulevikus mikrovõrgu siinile ühendatavate toidet vajavate lisaseadmete jaoks.

D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:



A Muudatus:

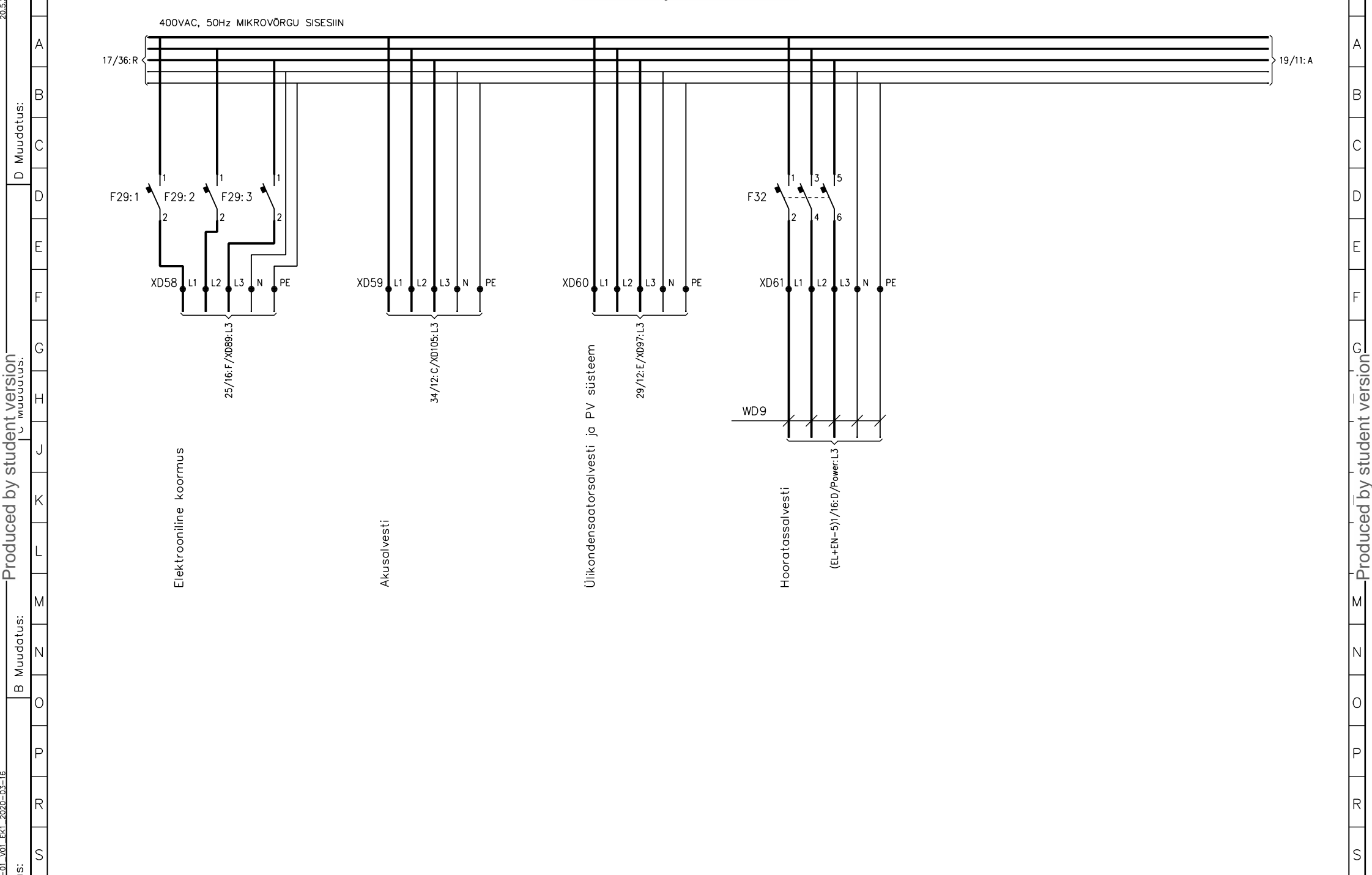
Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Mikrovõrgusiin, välisühendused A
M Keskiila

Projekteeris /19.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 17 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas	. EL+EN-5		

Produced by student version

Produced by student version



Produced by student version

Produced by student version

A Muudatus:	
B Muudatus:	
C Muudatus:	
D Muudatus:	
E Muudatus:	
F Muudatus:	
G Muudatus:	
H Muudatus:	
I Muudatus:	
J Muudatus:	
K Muudatus:	
L Muudatus:	
M Muudatus:	
N Muudatus:	
O Muudatus:	
P Muudatus:	
R Muudatus:	
S Muudatus:	

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Mikrovõrgusiiin, seadmed
M Keskiilja

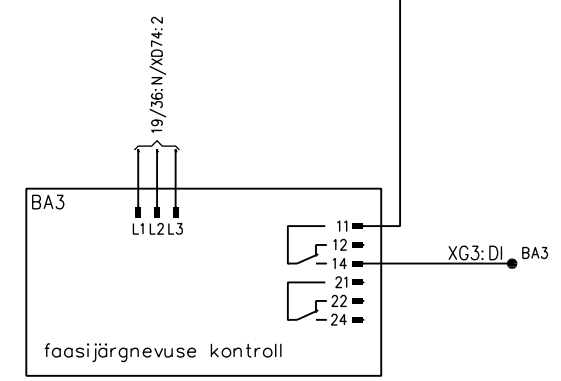
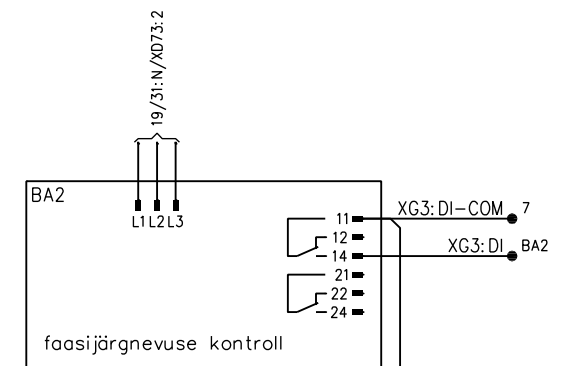
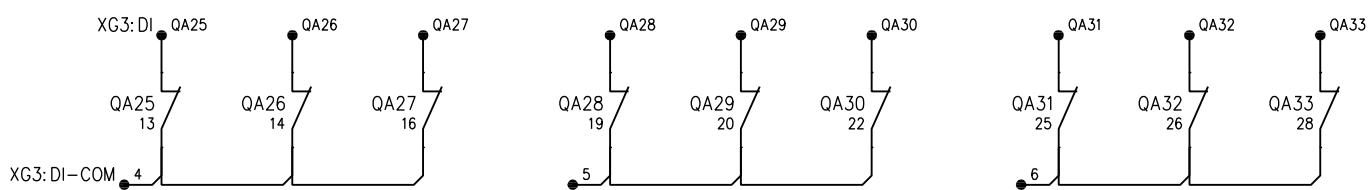
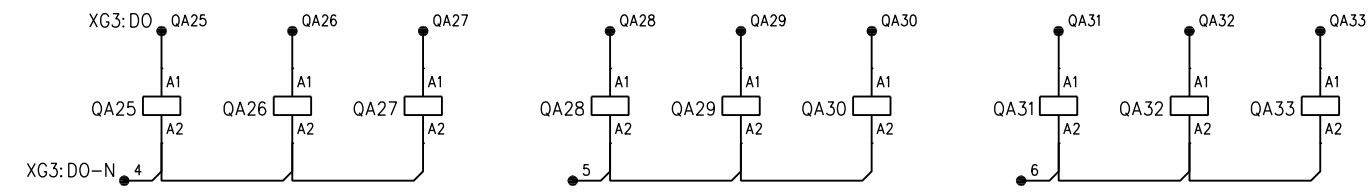
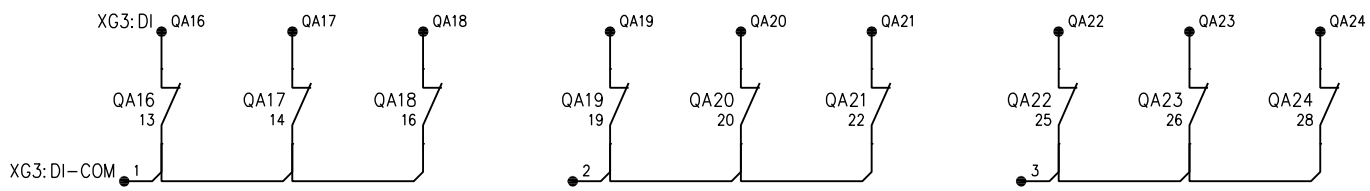
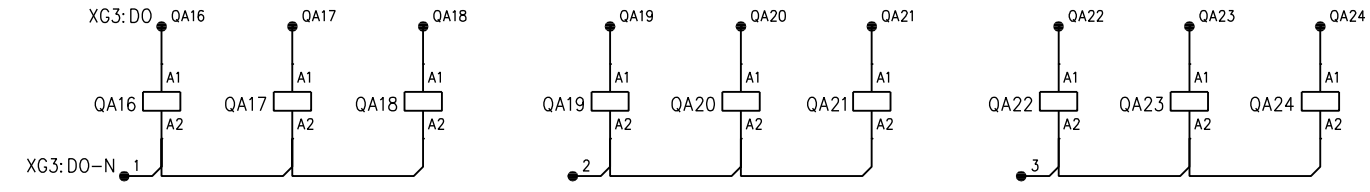
Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 18 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas	. EL+EN-5		

D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

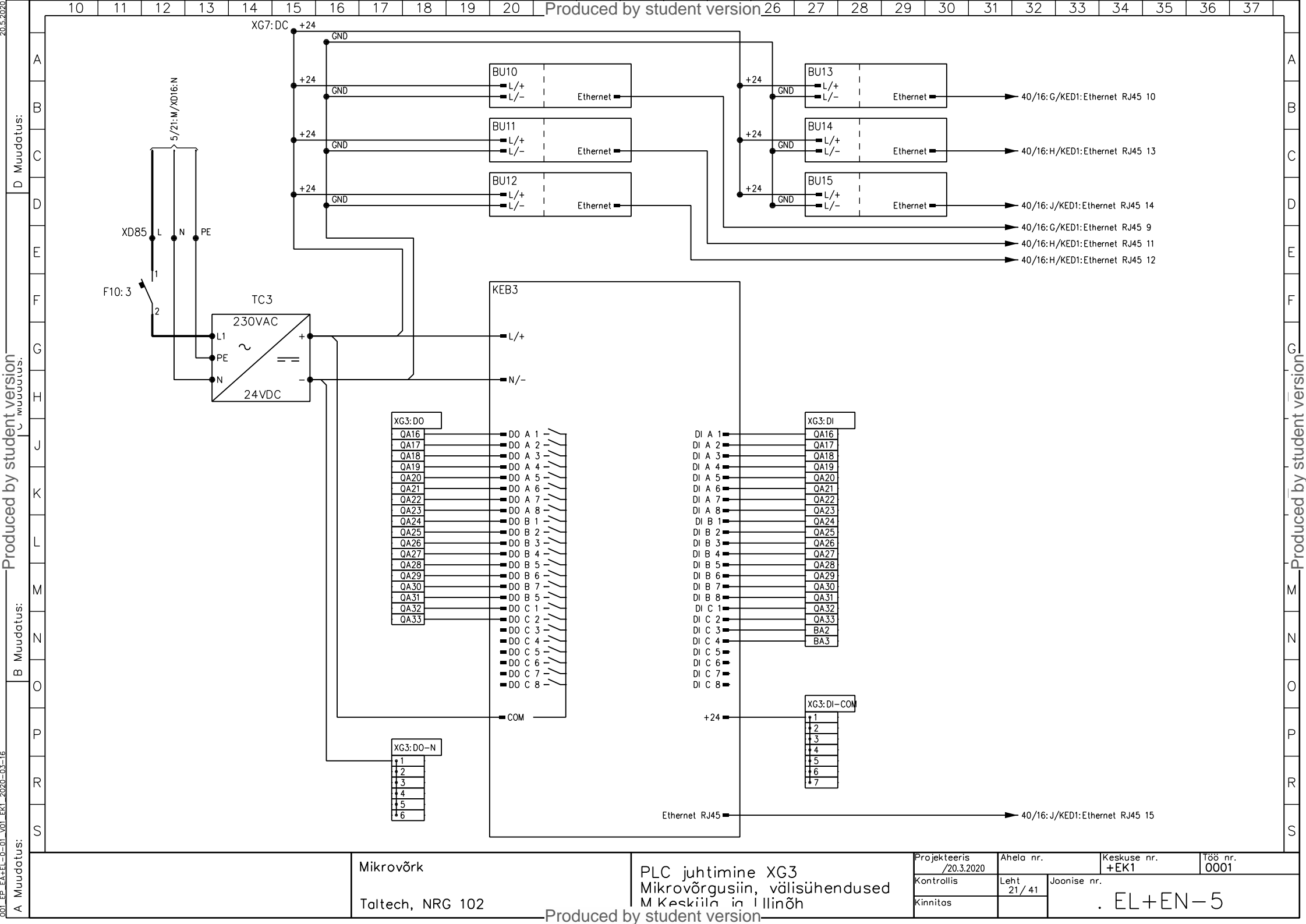
A Muudatus:



Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Mikrovõrgusiiin, välisühendused B
juhtimine
M Keskiila

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 20 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas			. EL+EN-5



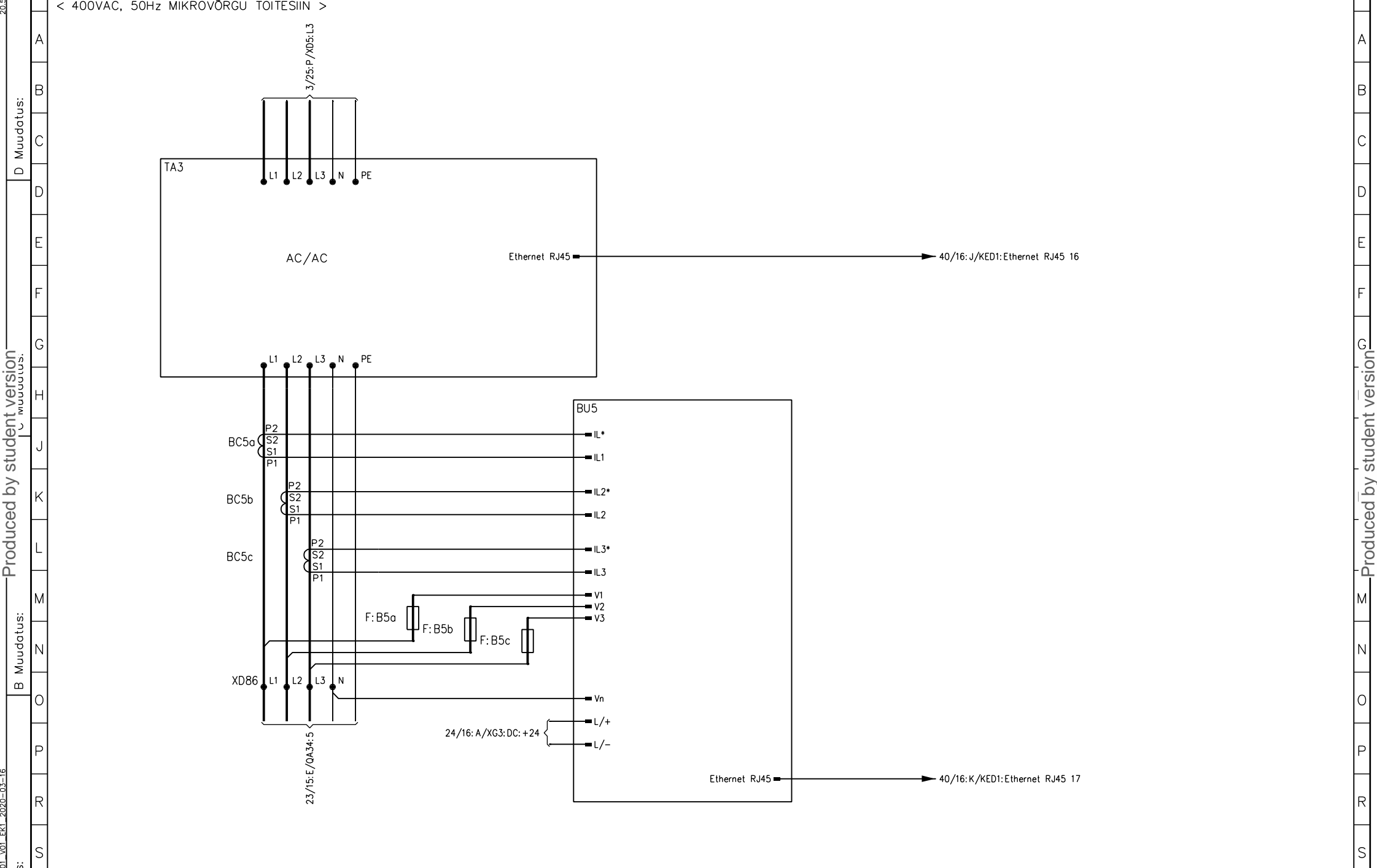
20.5.2020
 A Muudatus: / B Muudatus: / C Muudatus: / D Muudatus: / E / F / G / H / J / K / L / M / N / O / P / R / S

A / B / C / D / E / F / G / H / J / K / L / M / N / O / P / R / S

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

PLC juhtimine XG3
Mikrovõrgusini, välisühendused
M Keskiõla ja Ilinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 21/41	Joonise nr.	
Kinnitas			. EL+EN-5



D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

AC toiteallikas
M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris
/19.3.2020
Kontrollis
Kinnitas

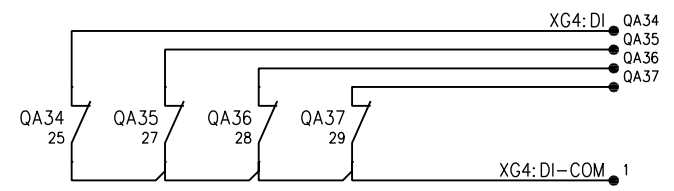
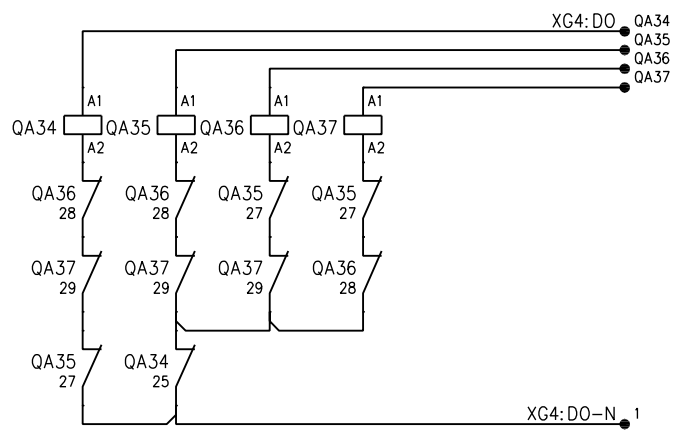
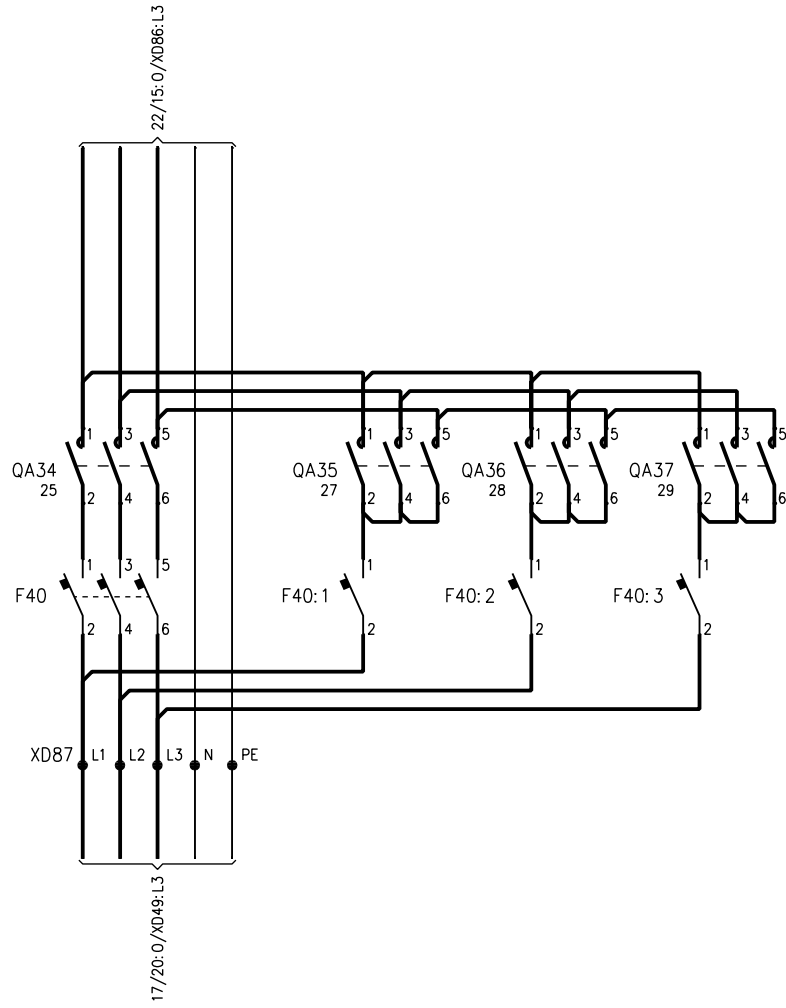
Ahela nr.
Leht
22 / 41

Keskuse nr.
+EK1
Joonise nr.

Tõõ nr.
0001
. EL+EN-5

Produced by student version

Produced by student version

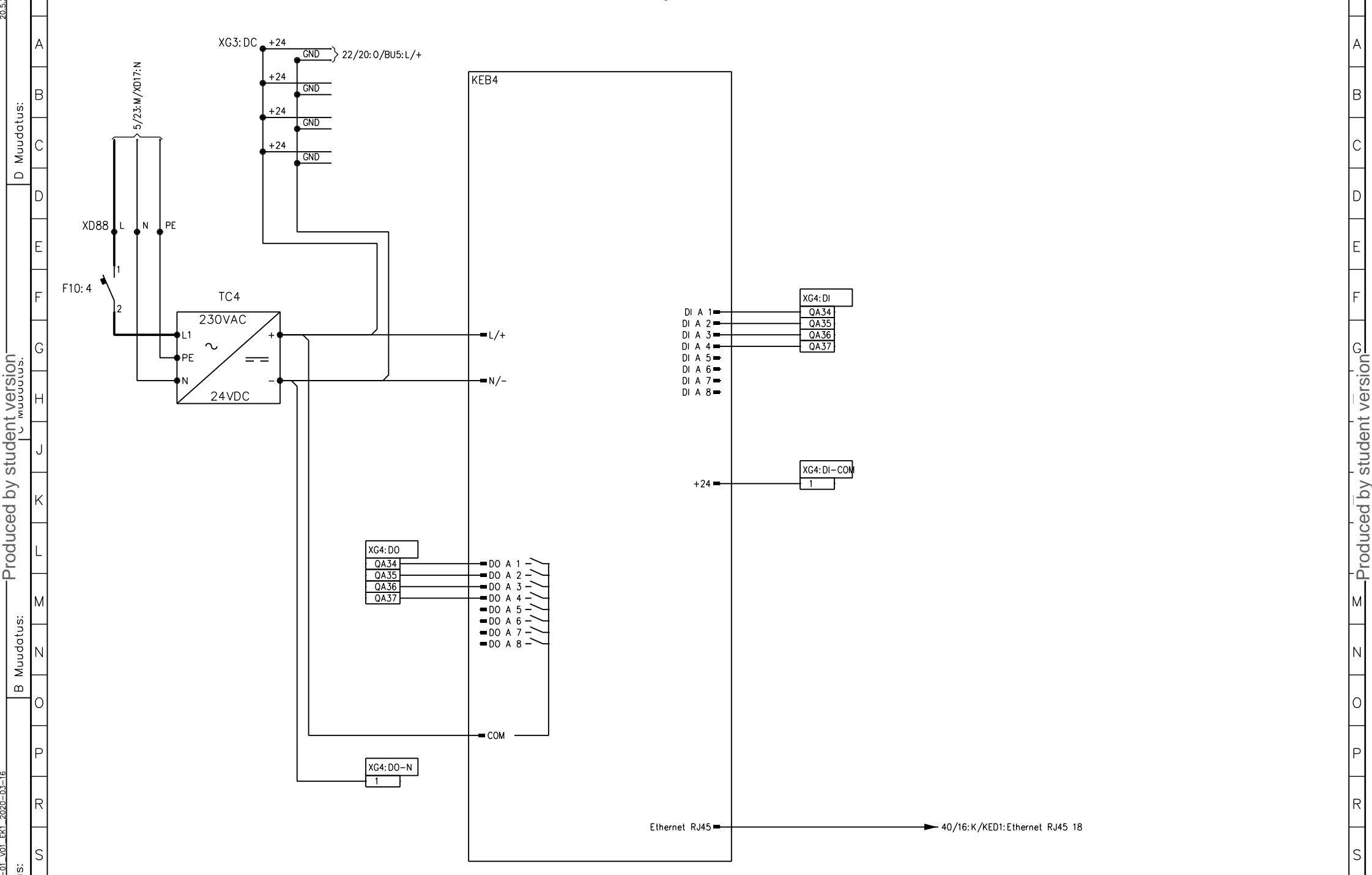


< 400VAC, 50Hz MIKROVÖRGU SISESIIN >

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

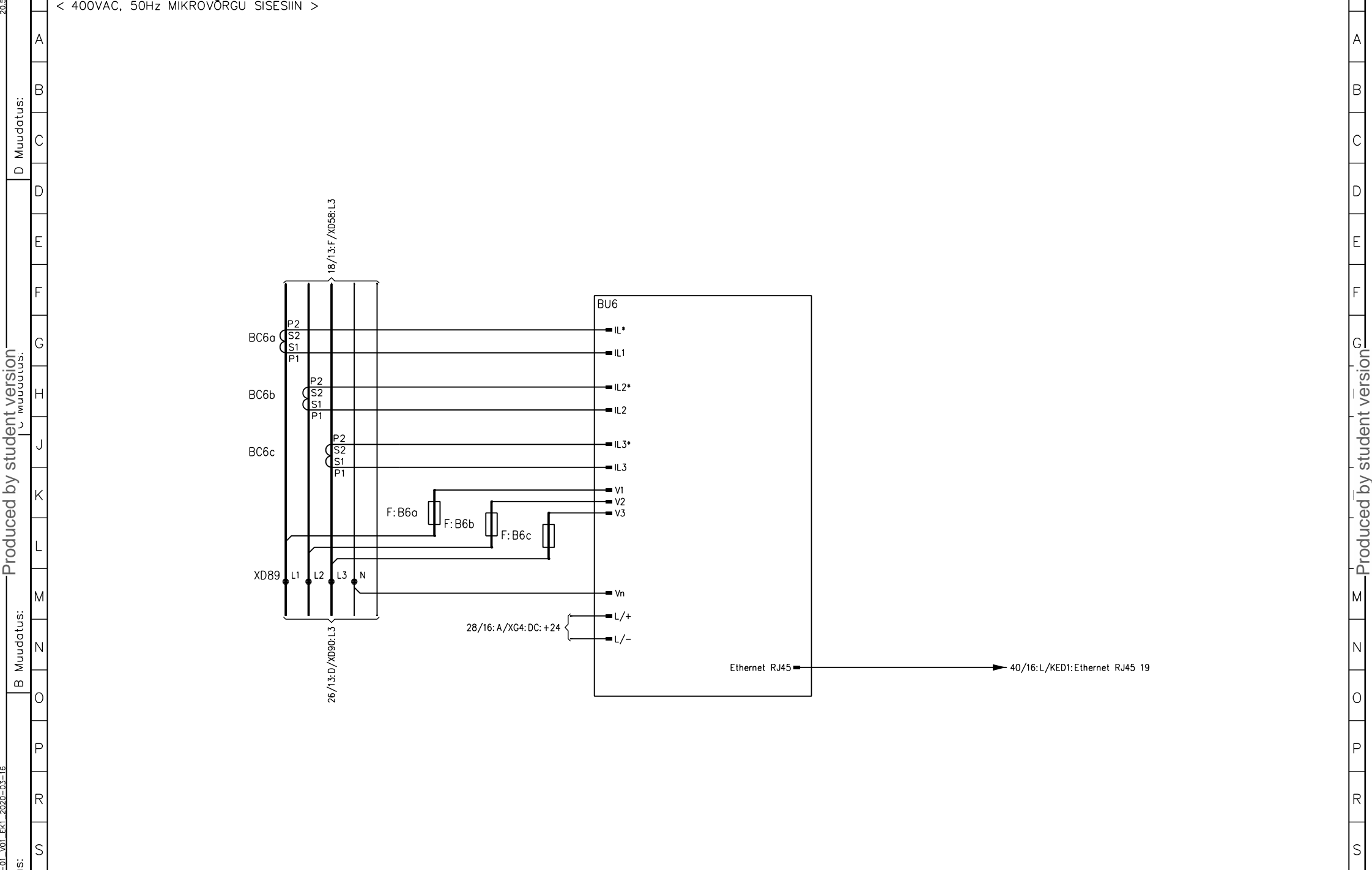
AC toiteallikas
M Keskiöla

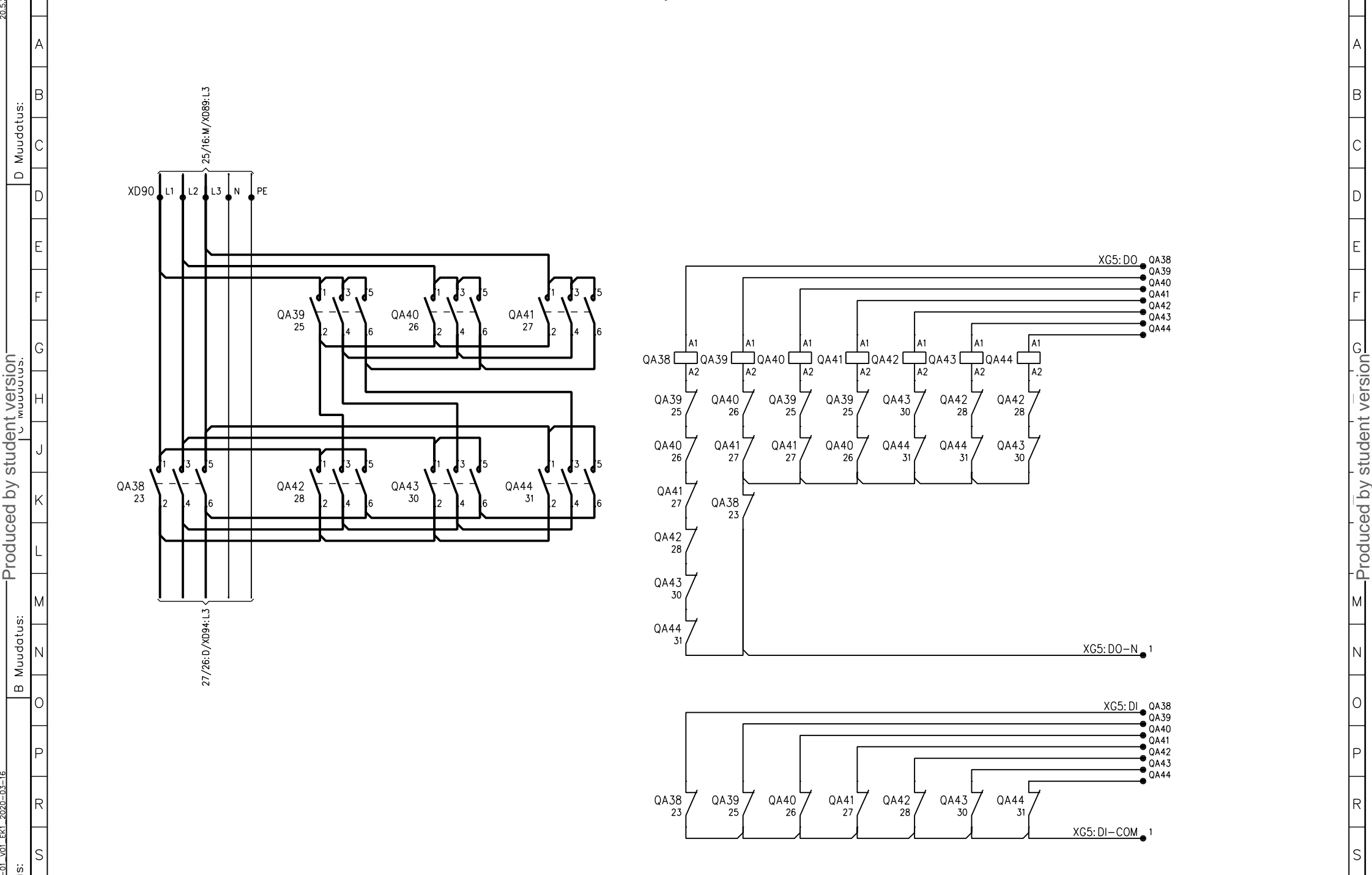
Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 23 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas			. EL+EN-5

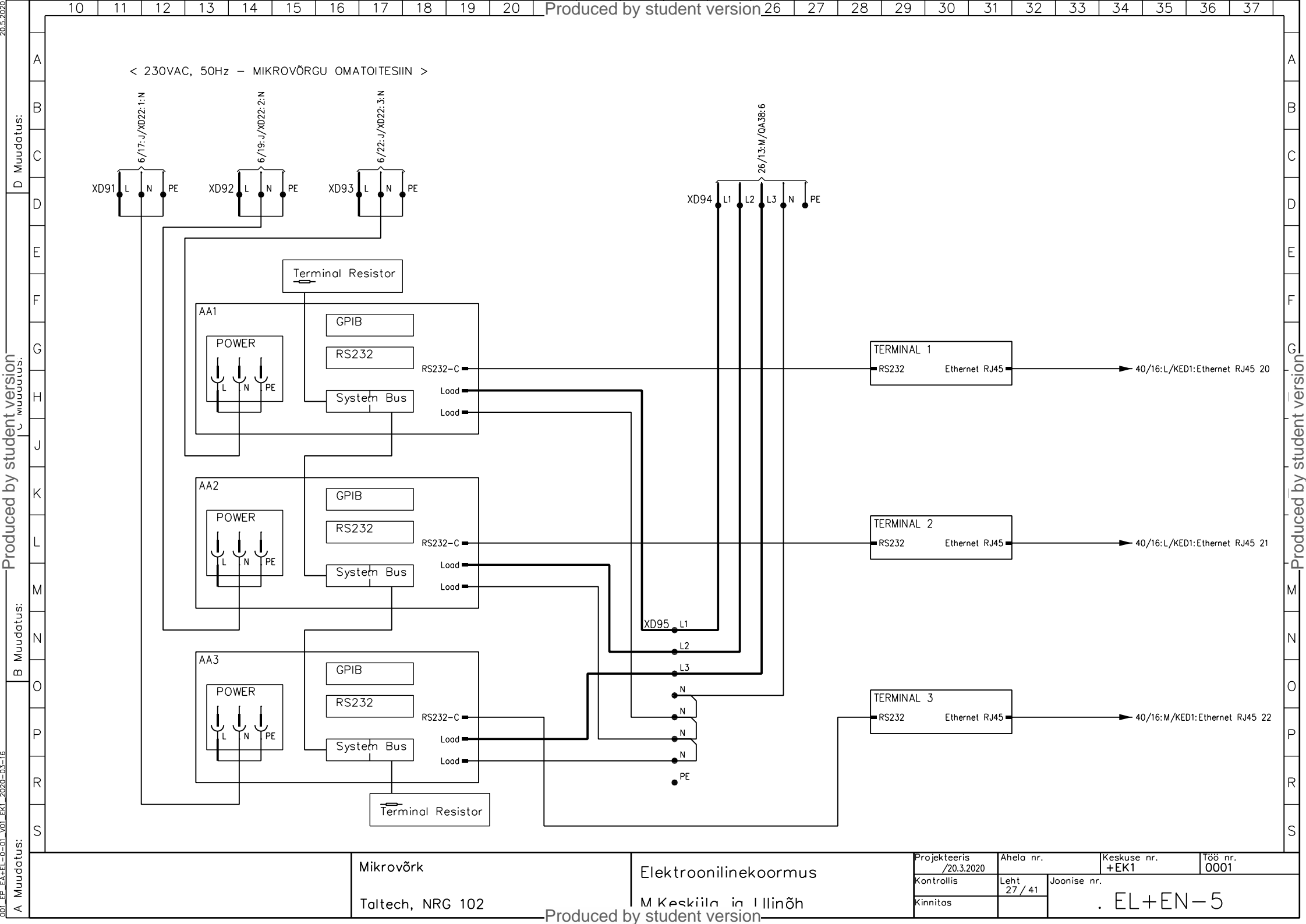


Produced by student version

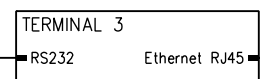
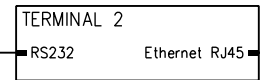
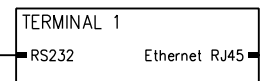
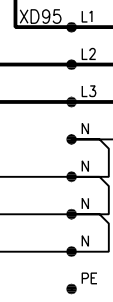
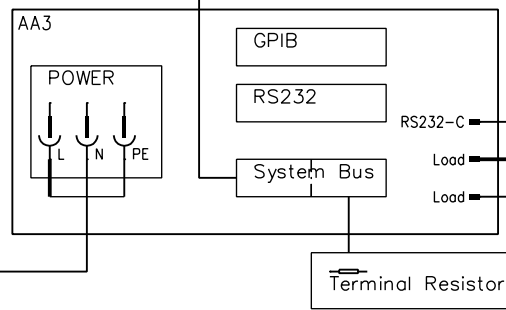
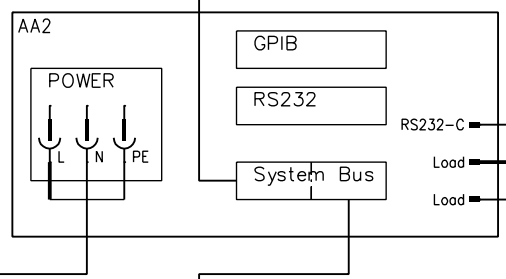
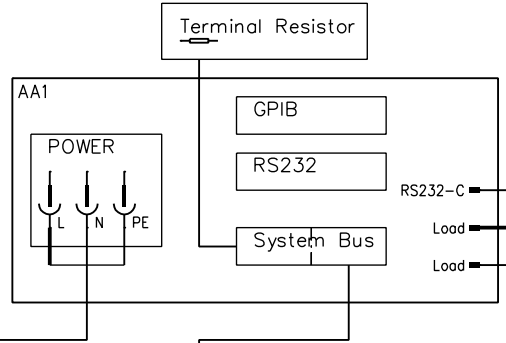
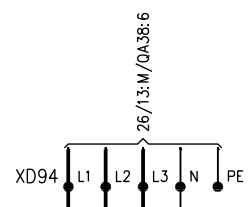
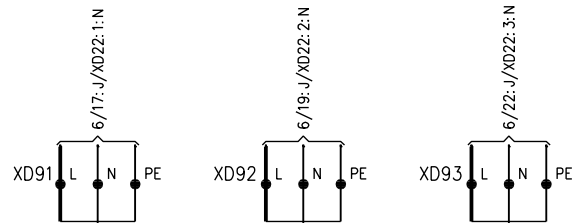
Produced by student version







< 230VAC, 50Hz - MIKROVÖRGU OMATOITESIIN >



40/16:L/KED1:Ethernet RJ45 20

40/16:L/KED1:Ethernet RJ45 21

40/16:M/KED1:Ethernet RJ45 22

Mikrovõrk

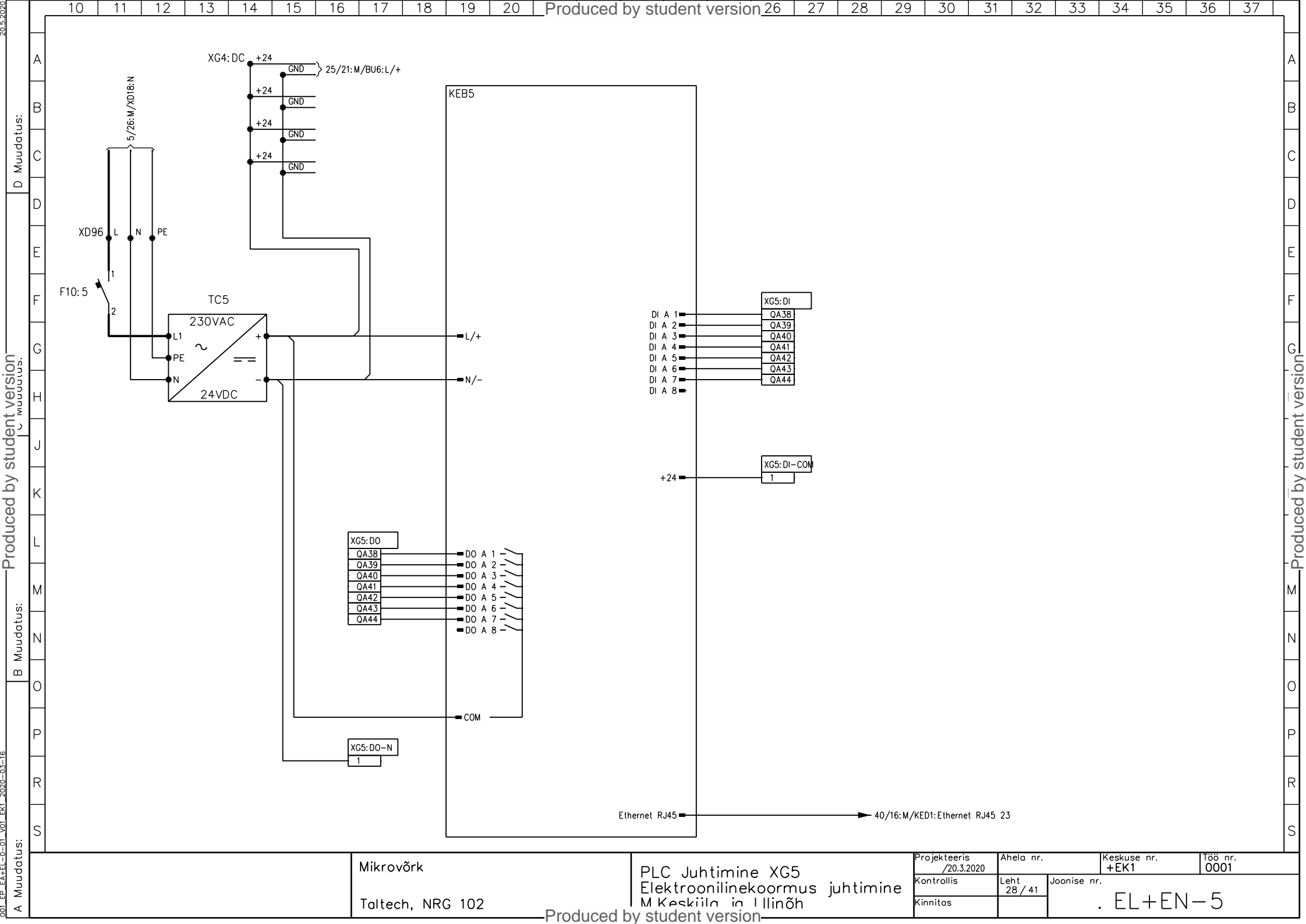
Taltech, NRG 102

Elektroonilinekoormus

M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	Tõõ nr. 0001
Kontrollis	Leht 27 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas			

. EL+EN-5



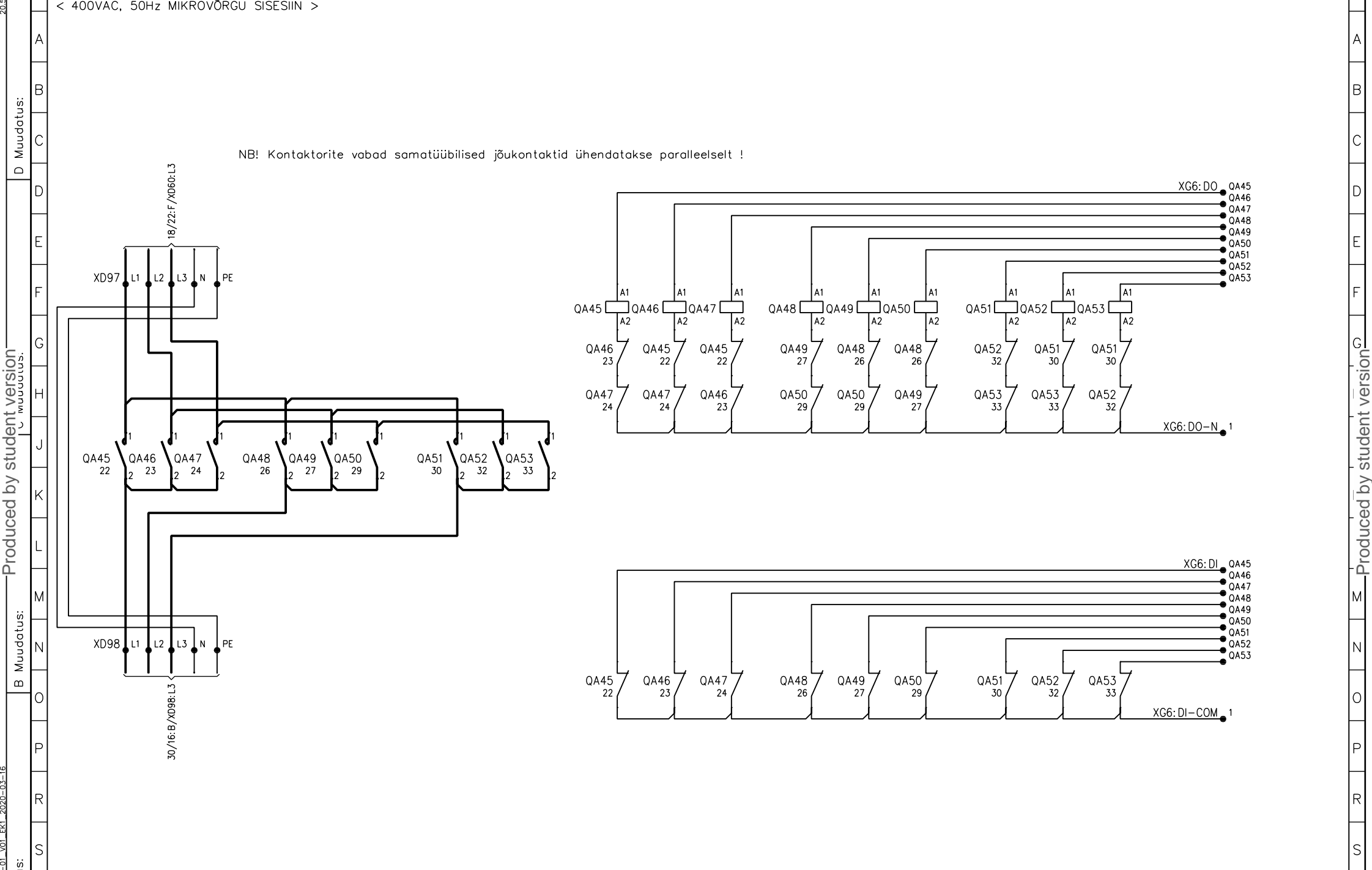
A Muudatus: 20.5.2020
 B Muudatus: 20.5.2020
 C Muudatus: 20.5.2020
 D Muudatus: 20.5.2020
 E Muudatus: 20.5.2020
 F Muudatus: 20.5.2020
 G Muudatus: 20.5.2020
 H Muudatus: 20.5.2020
 I Muudatus: 20.5.2020
 J Muudatus: 20.5.2020
 K Muudatus: 20.5.2020
 L Muudatus: 20.5.2020
 M Muudatus: 20.5.2020
 N Muudatus: 20.5.2020
 O Muudatus: 20.5.2020
 P Muudatus: 20.5.2020
 R Muudatus: 20.5.2020
 S Muudatus: 20.5.2020

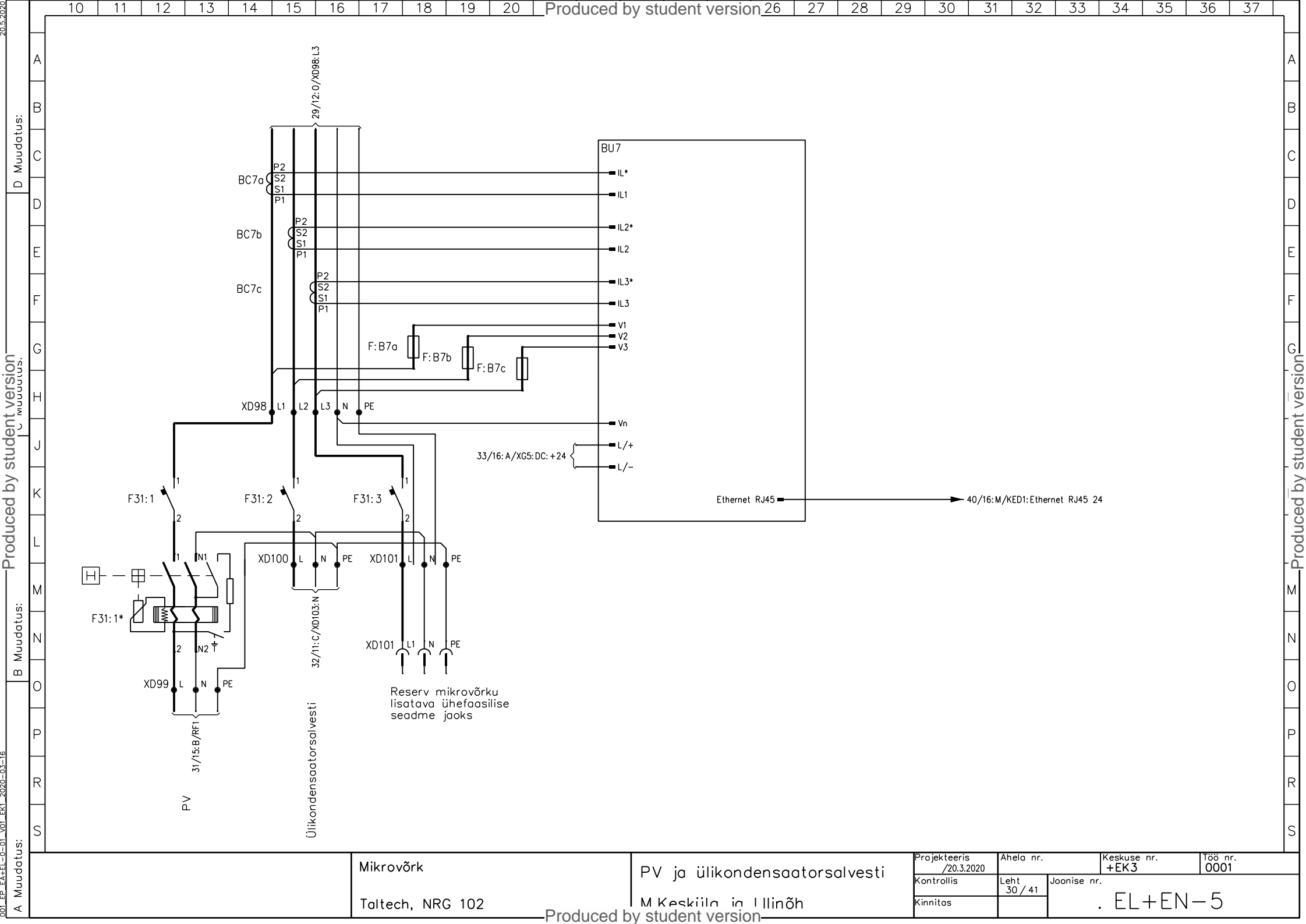
A Muudatus: 20.5.2020
 B Muudatus: 20.5.2020
 C Muudatus: 20.5.2020
 D Muudatus: 20.5.2020
 E Muudatus: 20.5.2020
 F Muudatus: 20.5.2020
 G Muudatus: 20.5.2020
 H Muudatus: 20.5.2020
 I Muudatus: 20.5.2020
 J Muudatus: 20.5.2020
 K Muudatus: 20.5.2020
 L Muudatus: 20.5.2020
 M Muudatus: 20.5.2020
 N Muudatus: 20.5.2020
 O Muudatus: 20.5.2020
 P Muudatus: 20.5.2020
 R Muudatus: 20.5.2020
 S Muudatus: 20.5.2020

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

PLC Juhtimine XG5
Elektroonilinekoormus juhtimine
M Keskiila ja Illinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	Tõõ nr. 0001
Kontrollis	Leht 28 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas			. EL+EN-5





D Muudatus:

Produced by student version

B Muudatus:

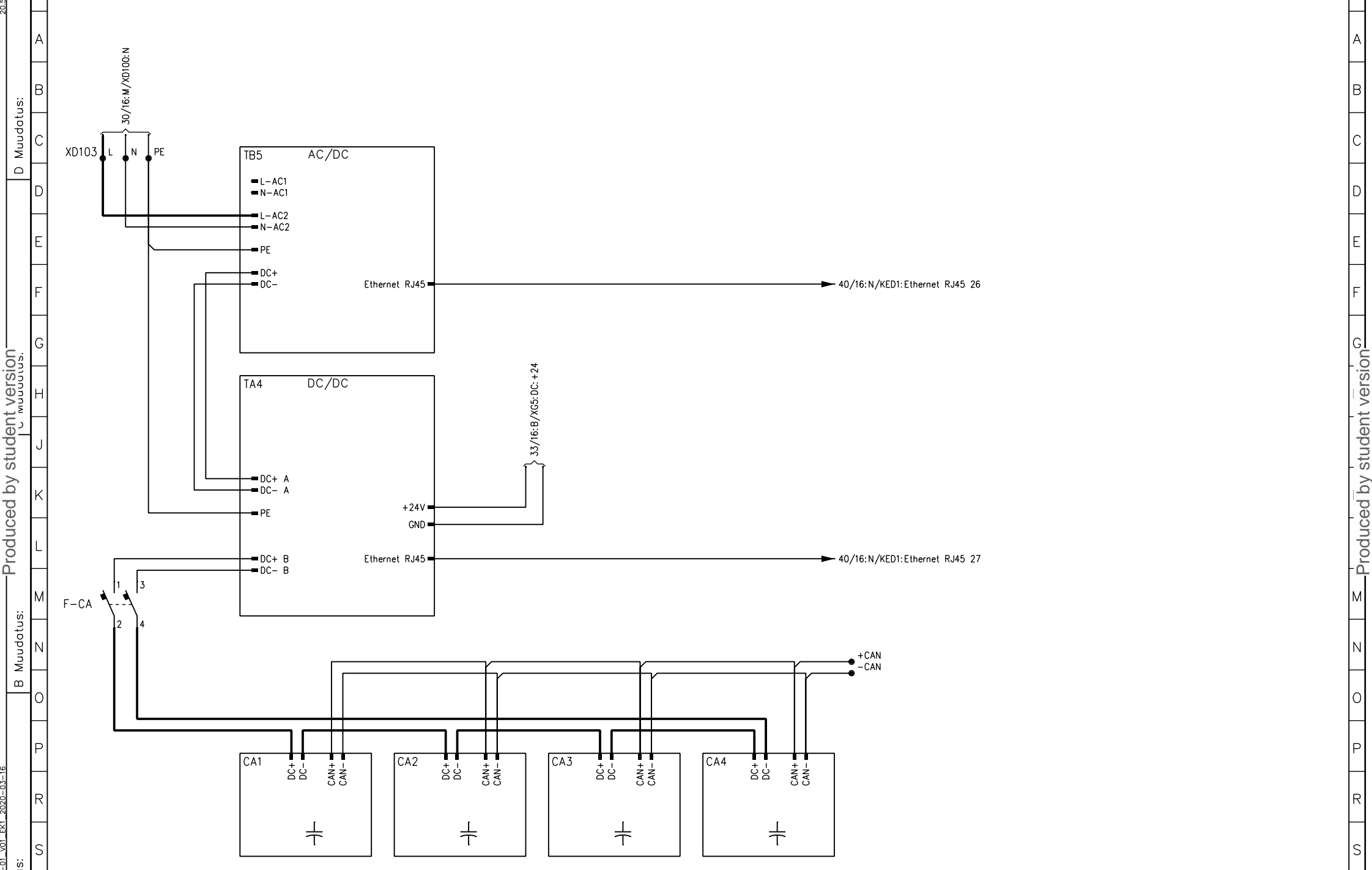
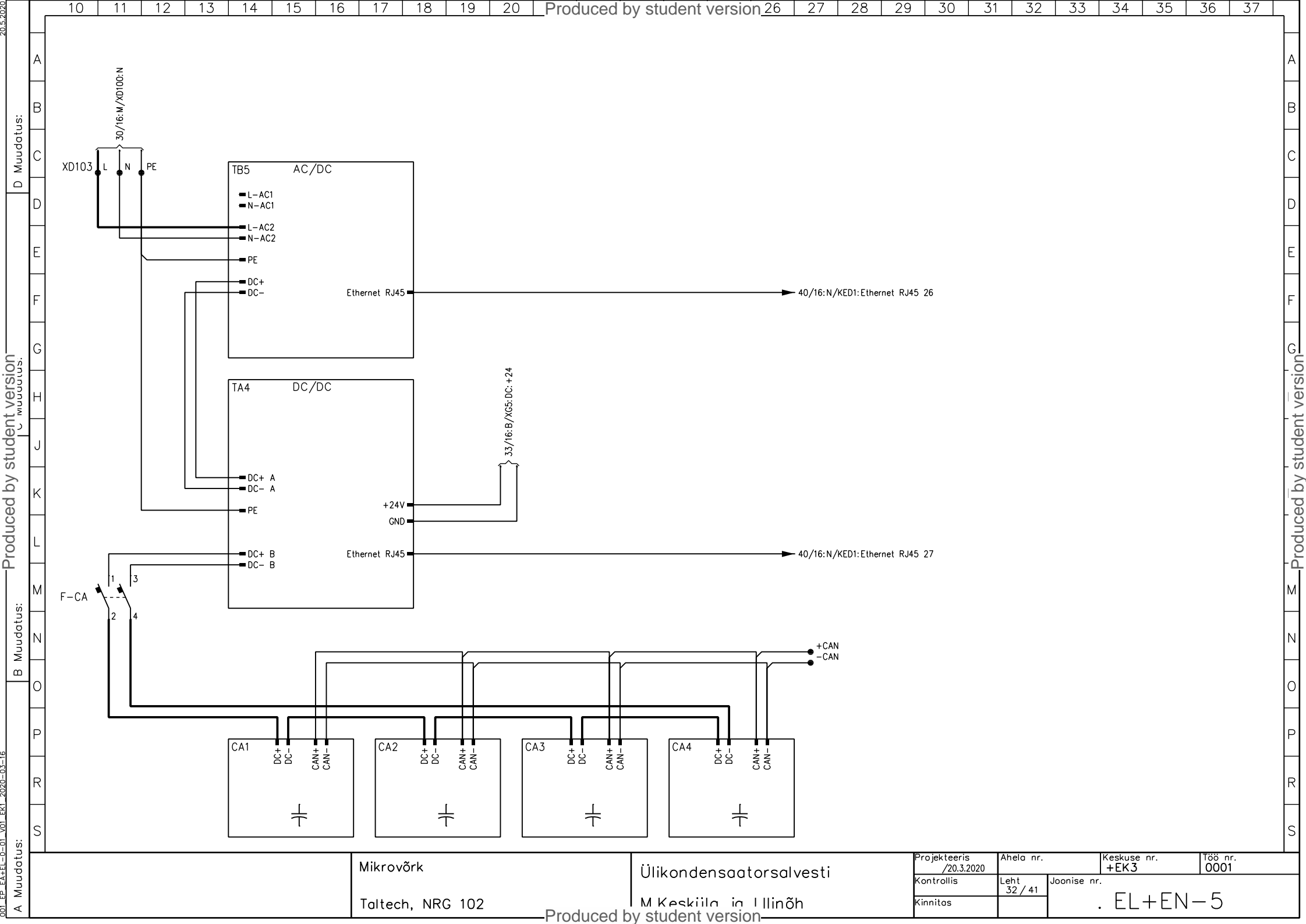
A Muudatus:

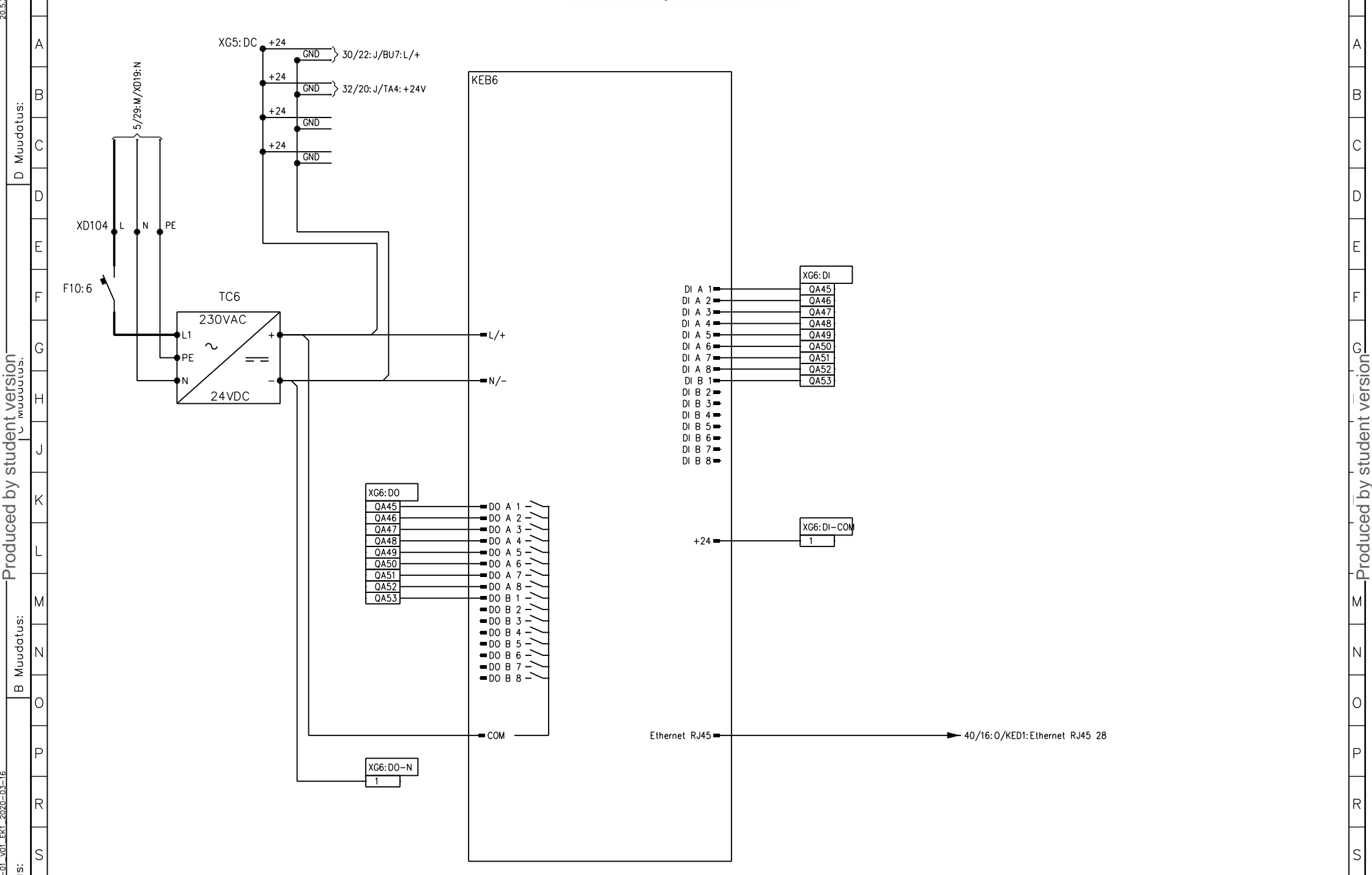
Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

PV ja ülikondensaatorsalvesti
M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK3	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 30 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas		. EL+EN-5	

Produced by student version





D Muudatus:

Produced by student version

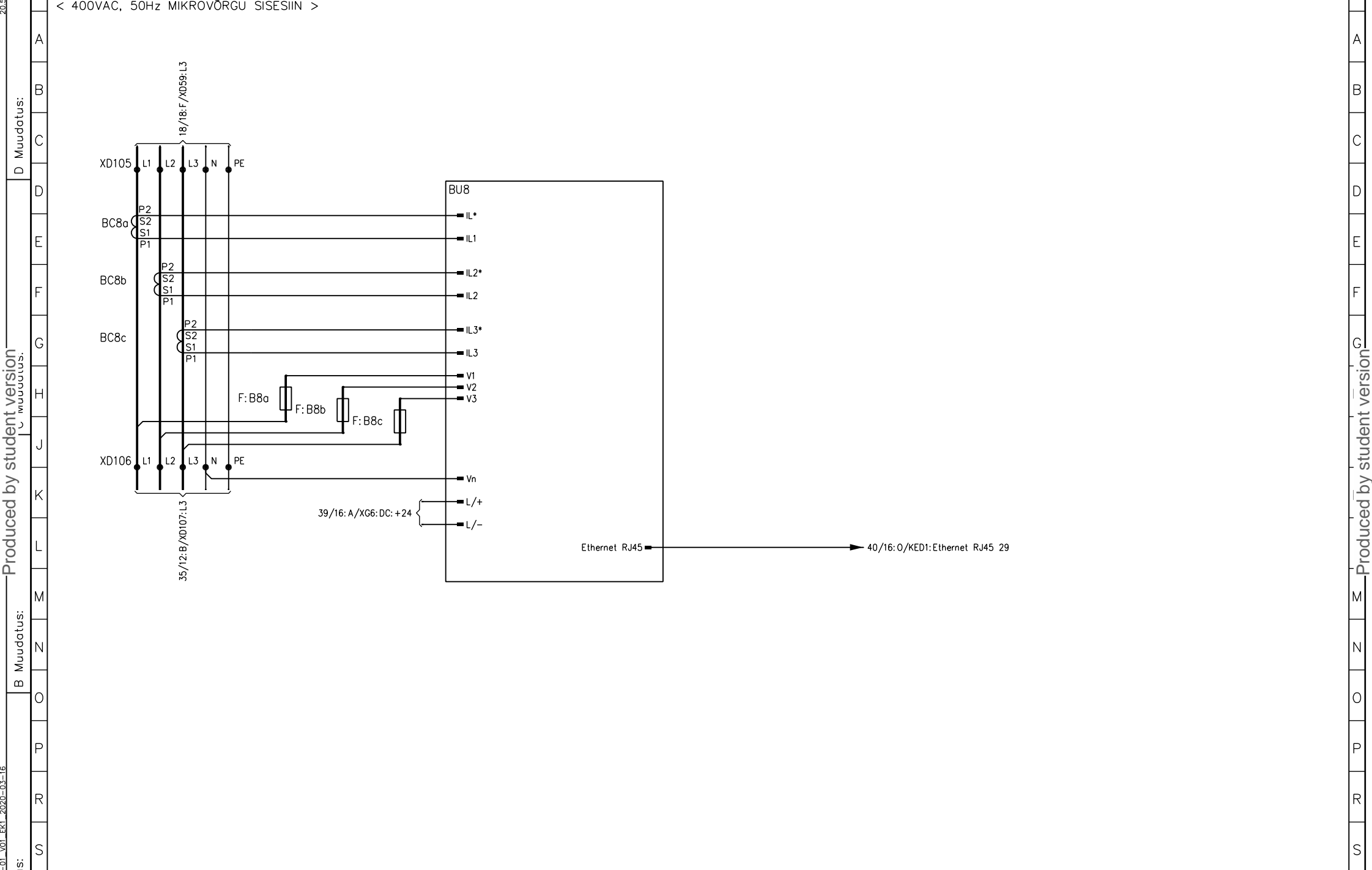
B Muudatus:

A Muudatus:

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

PLC Juhtimine XG6
PV ja ülikondensaatorsalvesti juhtimine
M Keskiila ja Illinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK3	Töö nr. 0001
Kontrollis Kinnitas	Leht 33 / 41	Joonise nr. . EL+EN-5	

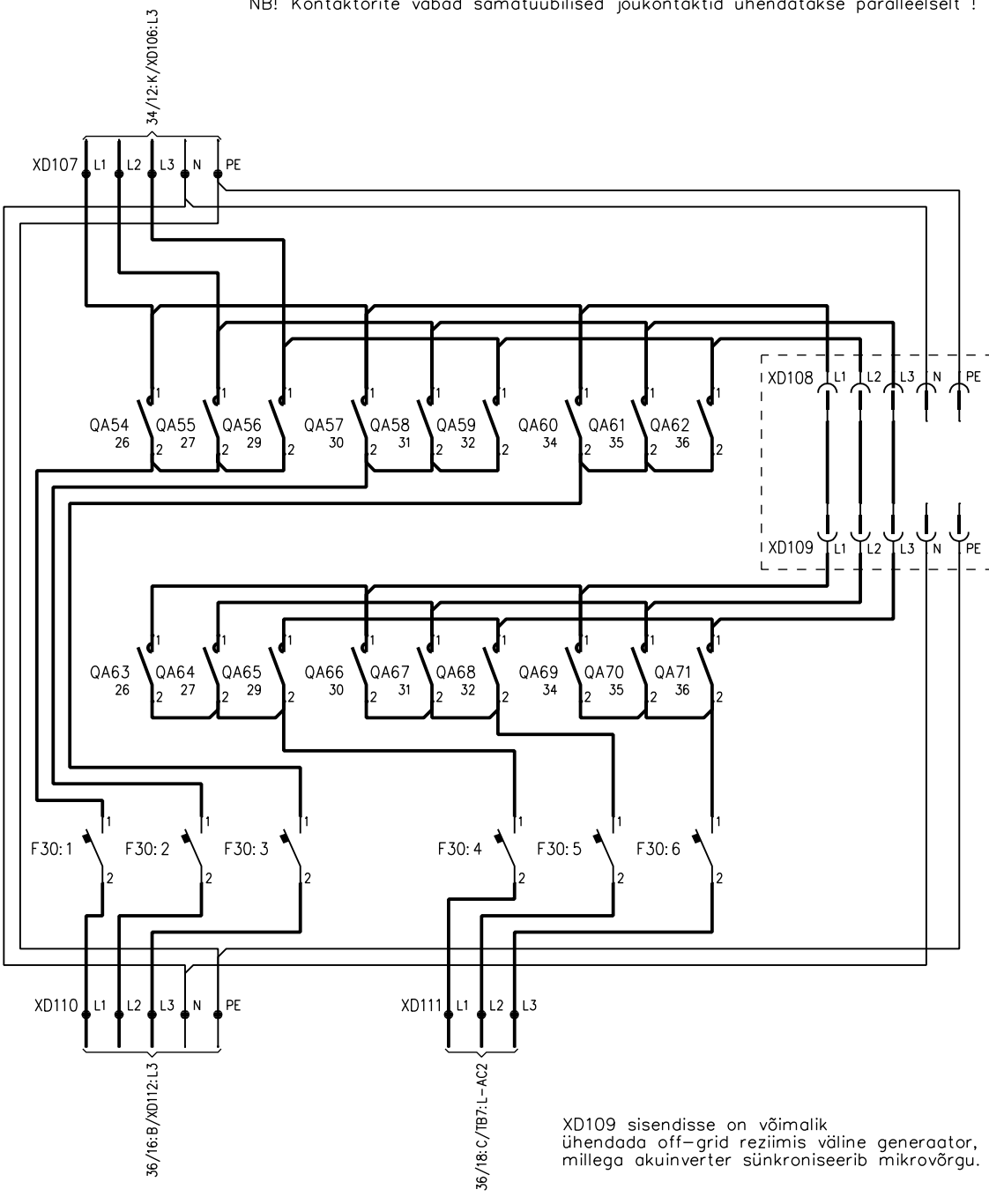


Produced by student version

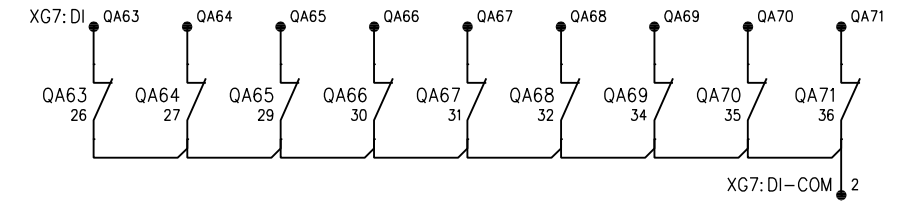
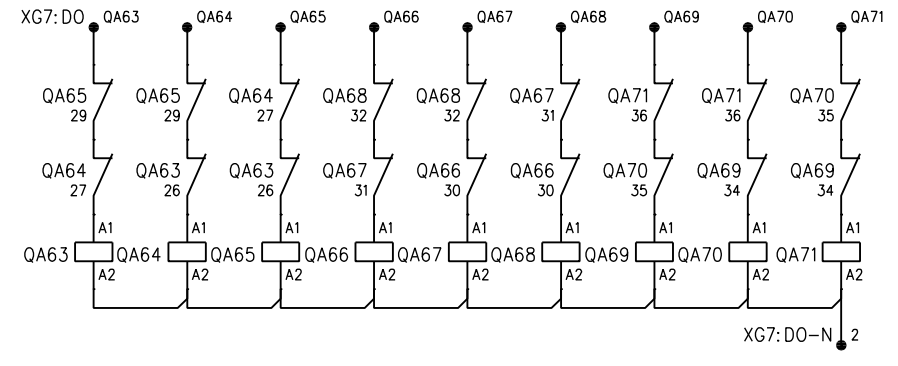
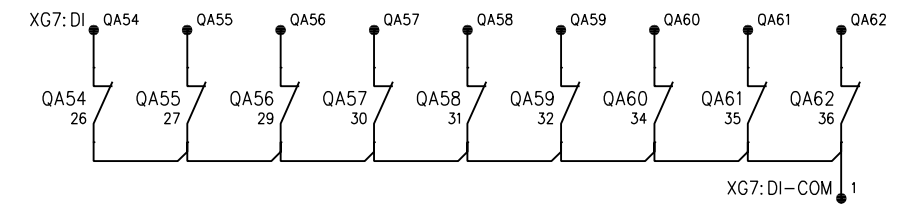
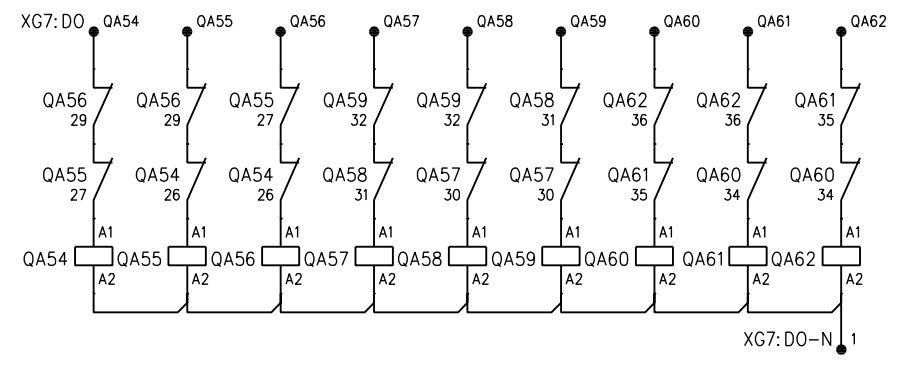
Produced by student version

<p>A Muudatus:</p> <p>B Muudatus:</p> <p>C Muudatus:</p> <p>D Muudatus:</p> <p>E Muudatus:</p> <p>F Muudatus:</p> <p>G Muudatus:</p> <p>H Muudatus:</p> <p>J Muudatus:</p> <p>K Muudatus:</p> <p>L Muudatus:</p> <p>M Muudatus:</p> <p>N Muudatus:</p> <p>O Muudatus:</p> <p>P Muudatus:</p> <p>R Muudatus:</p> <p>S Muudatus:</p>	<p>Mikrovõrk</p> <p>Taltech, NRG 102</p>	<p>Akusalvesti</p> <p>M Keskiöla ja Illinõh</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Projekteeris</td> <td style="width: 25%;">Ahela nr.</td> <td style="width: 25%;">Keskuse nr.</td> <td style="width: 25%;">Tõõ nr.</td> </tr> <tr> <td>/20.3.2020</td> <td></td> <td>+EK2</td> <td>0001</td> </tr> <tr> <td>Kontrollis</td> <td>Leht</td> <td colspan="2">Joonise nr.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>34 / 41</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Kinnitas</td> <td></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">. EL+EN-5</td> </tr> </table>	Projekteeris	Ahela nr.	Keskuse nr.	Tõõ nr.	/20.3.2020		+EK2	0001	Kontrollis	Leht	Joonise nr.			34 / 41			Kinnitas		. EL+EN-5	
Projekteeris	Ahela nr.	Keskuse nr.	Tõõ nr.																				
/20.3.2020		+EK2	0001																				
Kontrollis	Leht	Joonise nr.																					
	34 / 41																						
Kinnitas		. EL+EN-5																					

NB! Kontaktorite vabad samatüübilised jõukontaktid ühendatakse paralleelselt !



XD109 sisendisse on võimalik ühendada off-grid režiimis väline generaator, millega akuinverter sünkroniseerib mikro võrgu.



Produced by student version

Produced by student version

A Muudatus:

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Akusalvesti
M Keskiöla

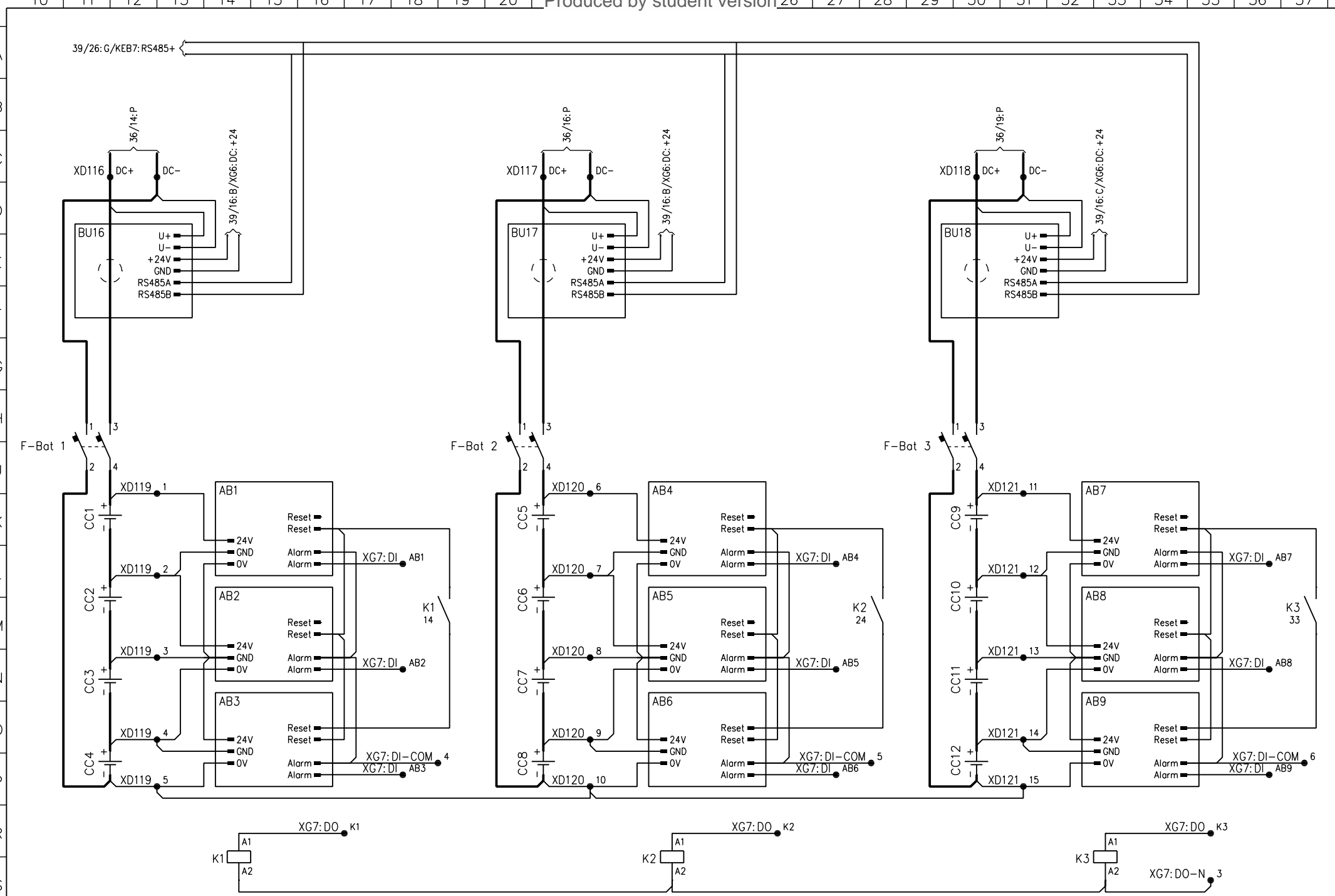
Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK2	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 35 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas			. EL+EN-5

D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

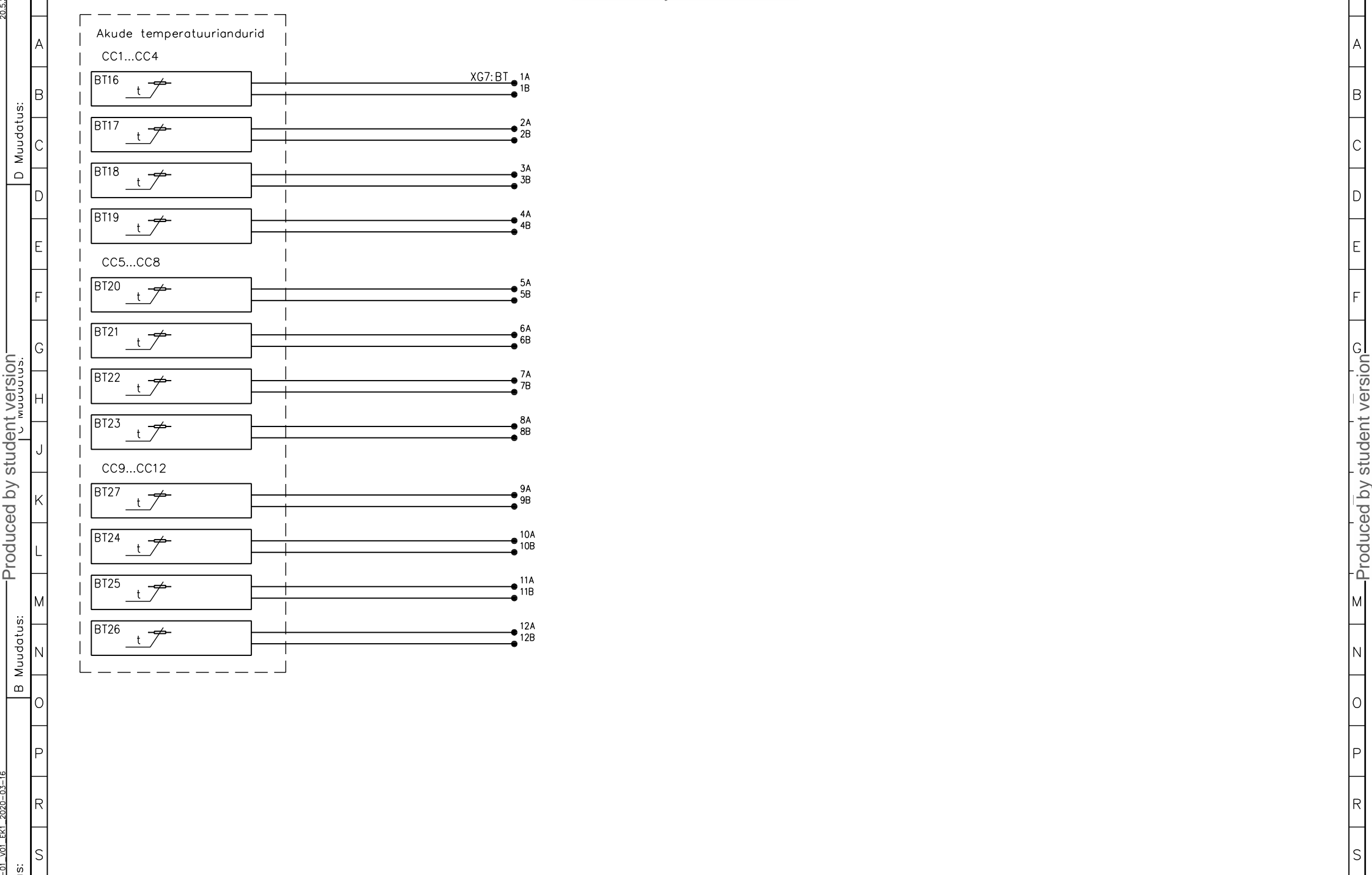
A Muudatus:



Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Akusalvesti
M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK2	Tõõ nr. 0001
Kontrollis	Leht 37 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas			. EL+EN-5



D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:

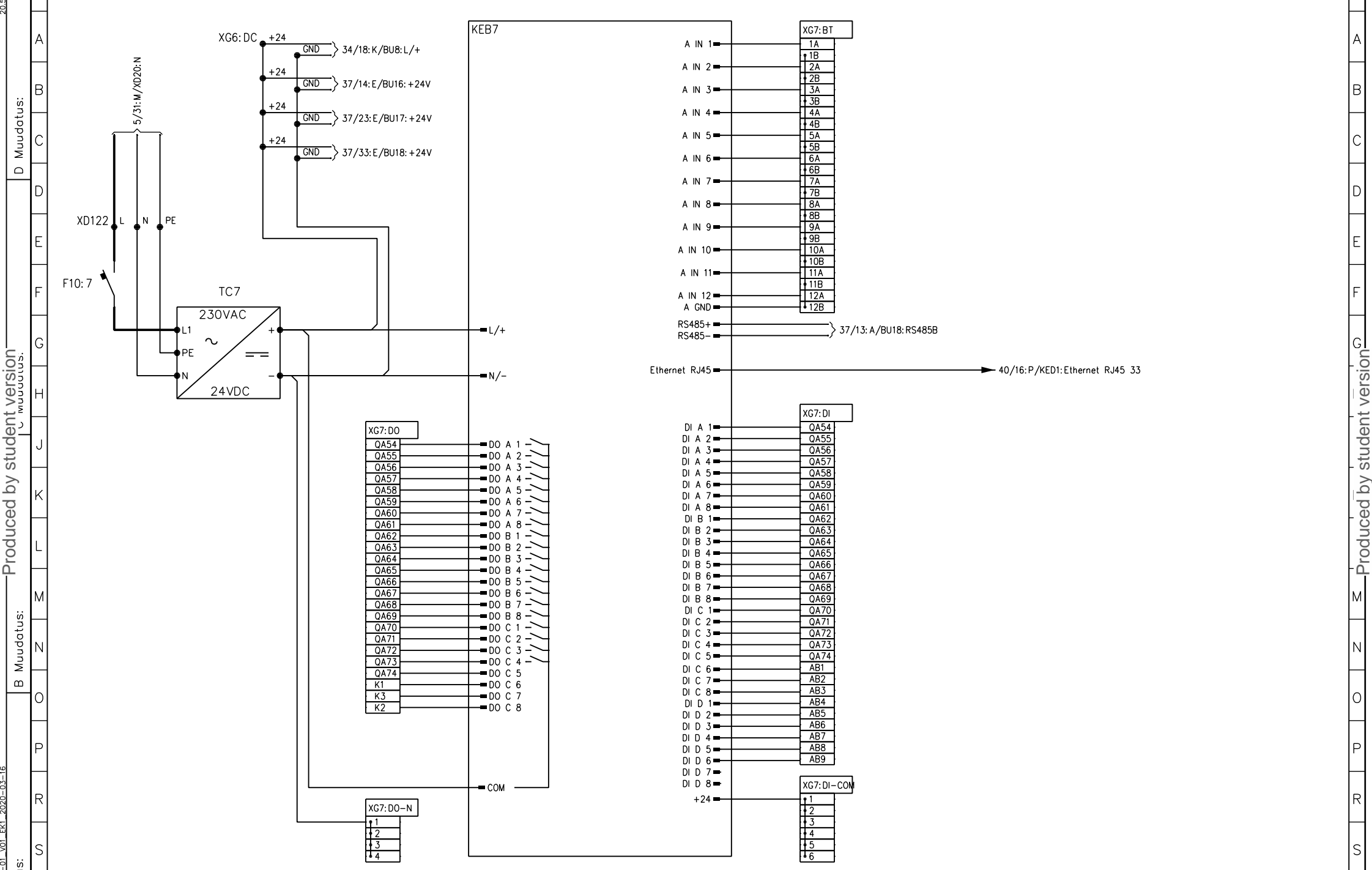
A

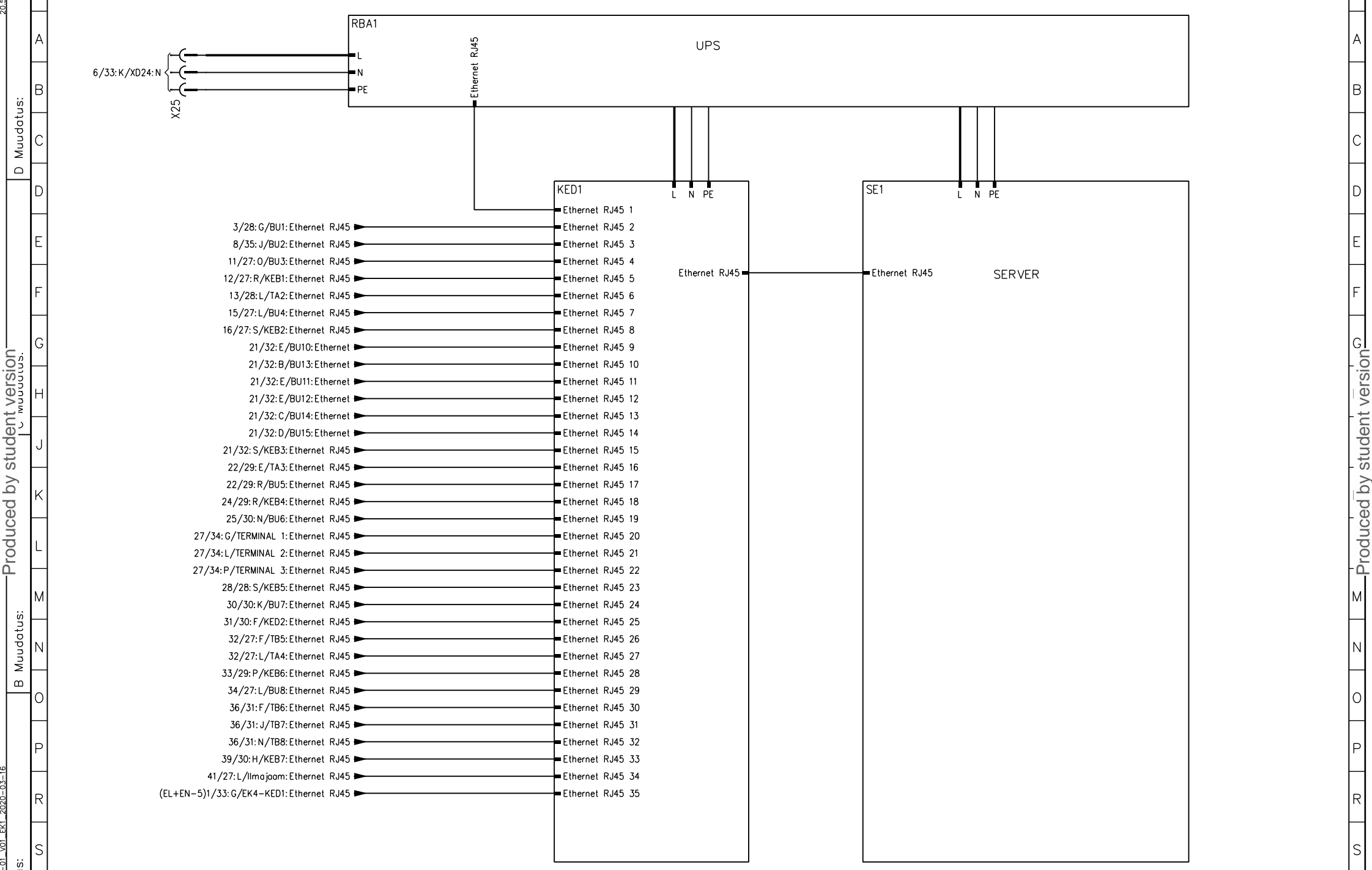
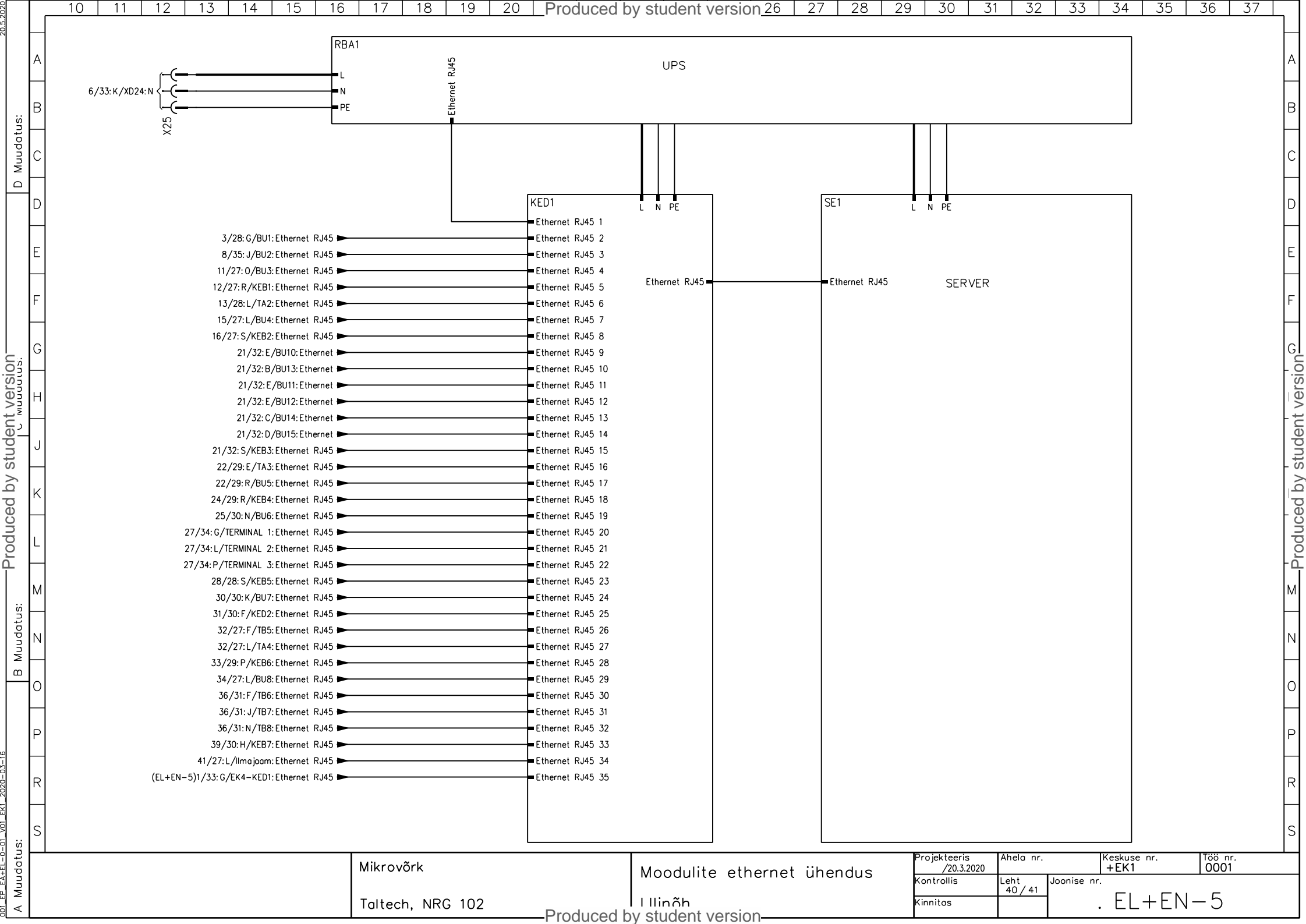
G

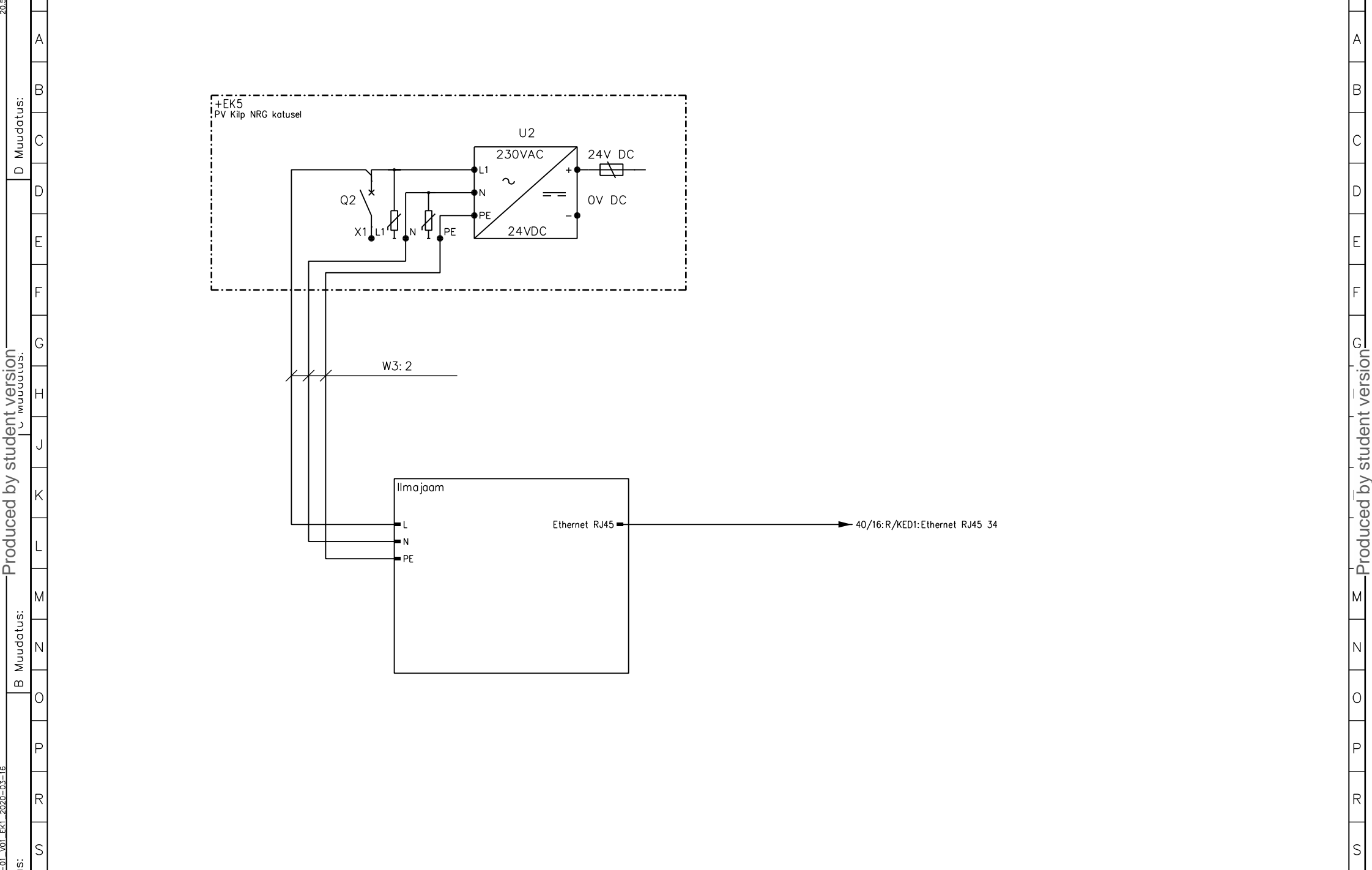
M

S

	Mikrovõrk	Akusalvesti	Projekteeris /20.3.2020	Ahele nr.	Keskuse nr. +EK2	Tõbe nr. 0001
	Taltech, NRG 102	I Ilinõh	Kontrollis	Leht 38 / 41	Joonise nr.	
			Kinnitas		. EL+EN-5	







D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:

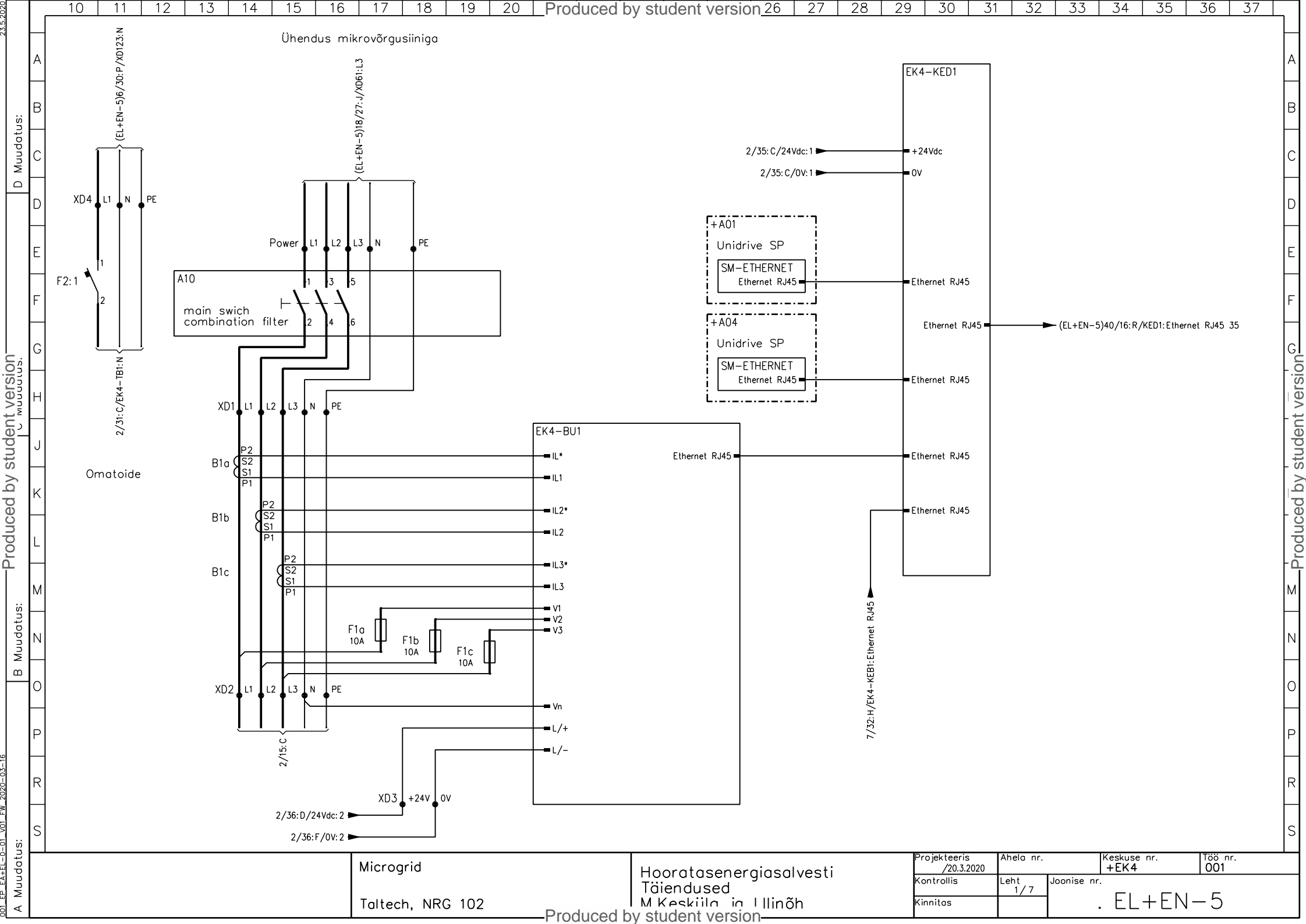
Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Ilmojaam
I Ilinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	Tõõ nr. 0001
Kontrollis	Leht 41/41	Joonise nr.	
Kinnitas	. EL+EN-5		

Produced by student version

Produced by student version



D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:

Microgrid
Taltech, NRG 102

Hooratasenergiasalvesti
Täiendus
M Keskiäla ja Illinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK4	T88 nr. 001
Kontrollis	Leht 1/7	Joonise nr.	
Kinnitas			. EL+EN-5

23.5.2010
001.EP.EA+EL-D-01.X01.FW.2020-03-16
Produced by student version

Produced by student version

D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

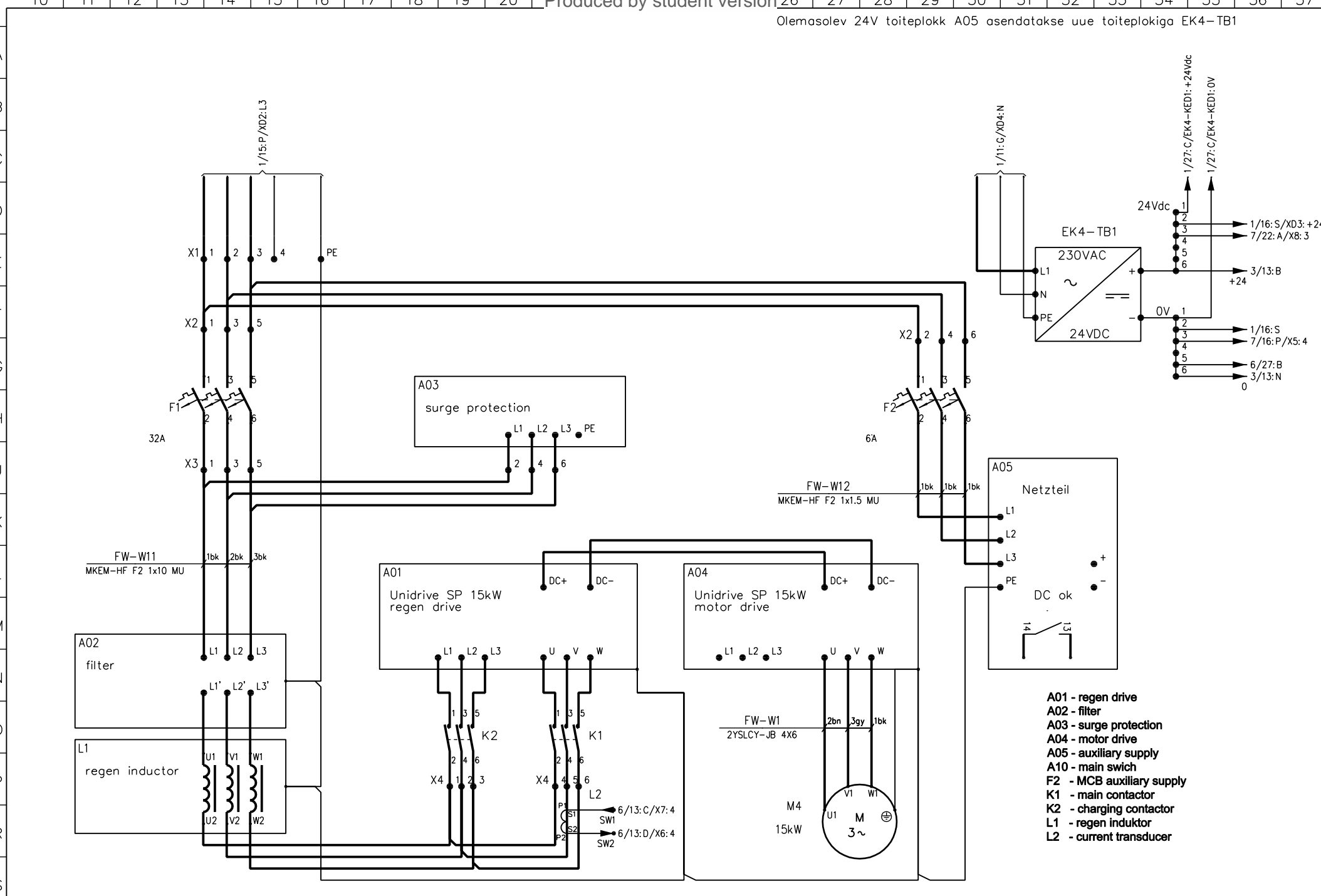
A Muudatus:

A

G

M

S



- A01 - regen drive
- A02 - filter
- A03 - surge protection
- A04 - motor drive
- A05 - auxiliary supply
- A10 - main switch
- F2 - MCB auxiliary supply
- K1 - main contactor
- K2 - charging contactor
- L1 - regen induktor
- L2 - current transducer

Microgrid
Taltech, NRG 102

Hooratasenergiasalvesti
M Keskiöla ja Illinõh

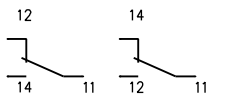
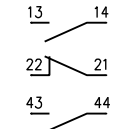
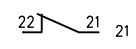
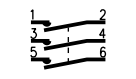
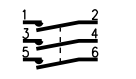
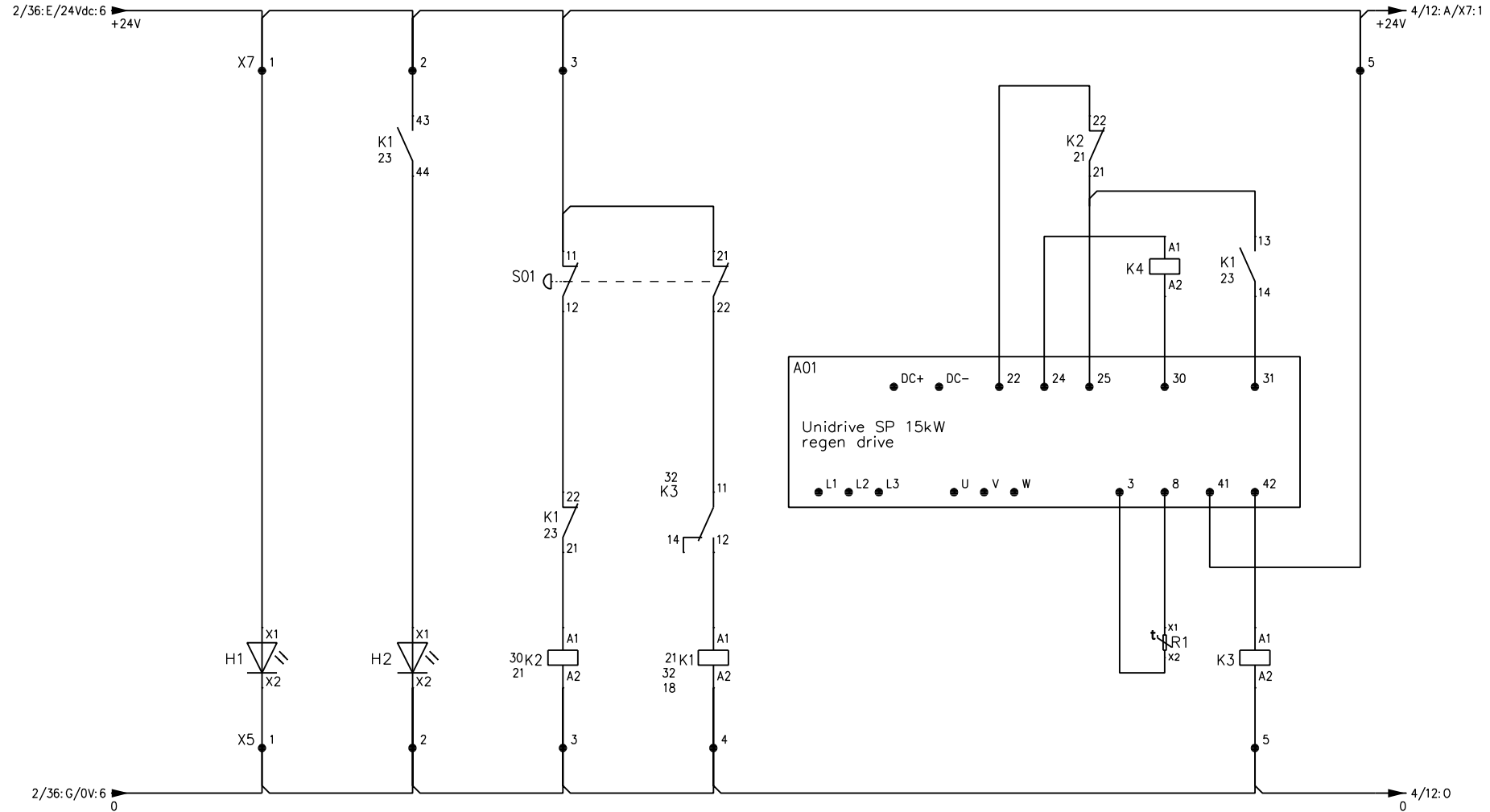
Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK4	T88 nr. 001
Kontrollis	Leht 2/7	Joonise nr.	
Kinnitas			. EL+EN-5

D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:



auxiliary voltage ok

main contactor closed

charging contactor

main contactor

PTC regen induktor

coupling relay for main contactor

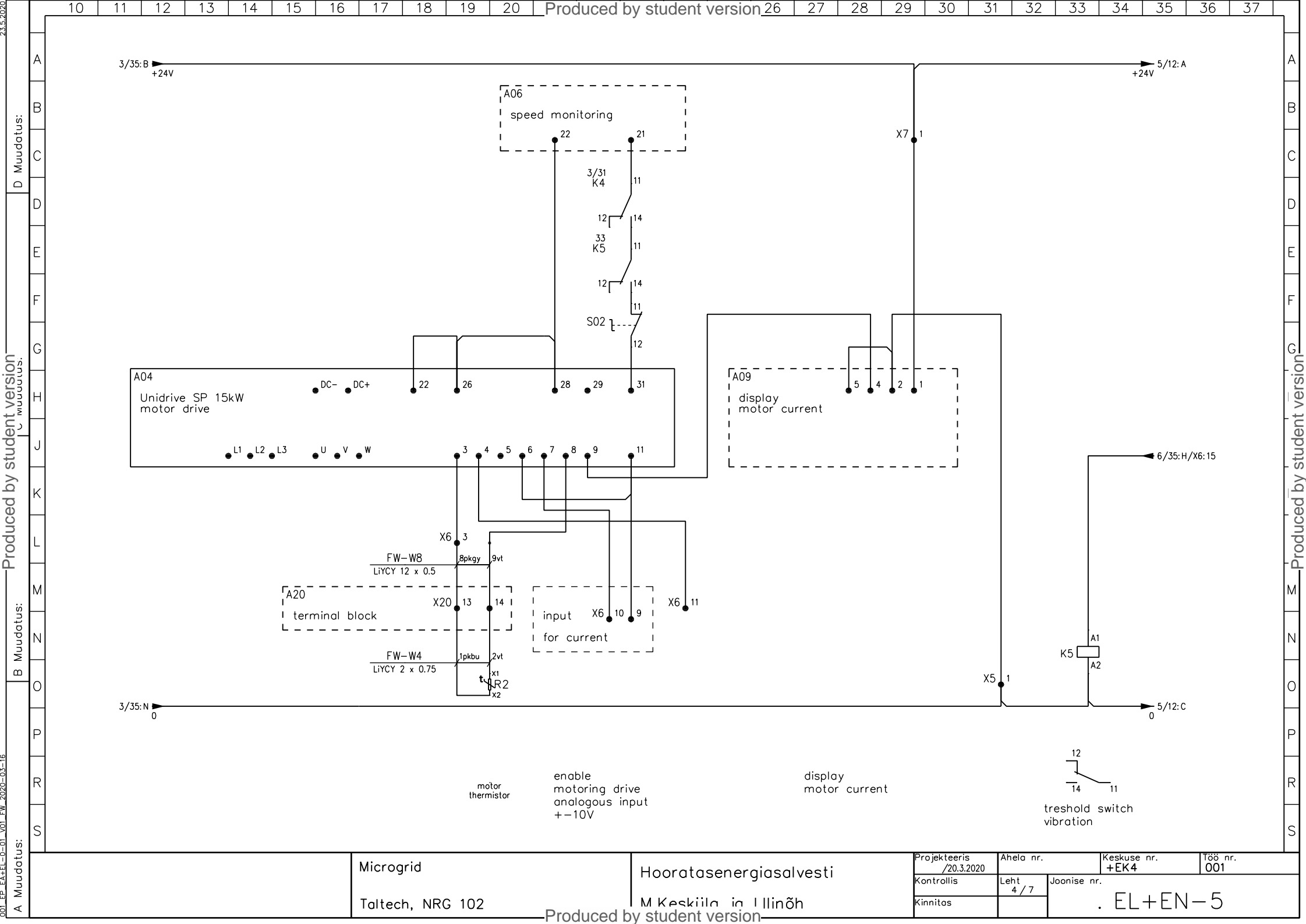
Microgrid
Taltech, NRG 102

Hooratasenergiasalvesti
M Keskiölä ja Illinöhs

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK4	T88 nr. 001
Kontrollis	Leht 3/7	Joonise nr.	
Kinnitas		. EL+EN-5	

Produced by student version

Produced by student version



D Muudatus:

C Muudatus:

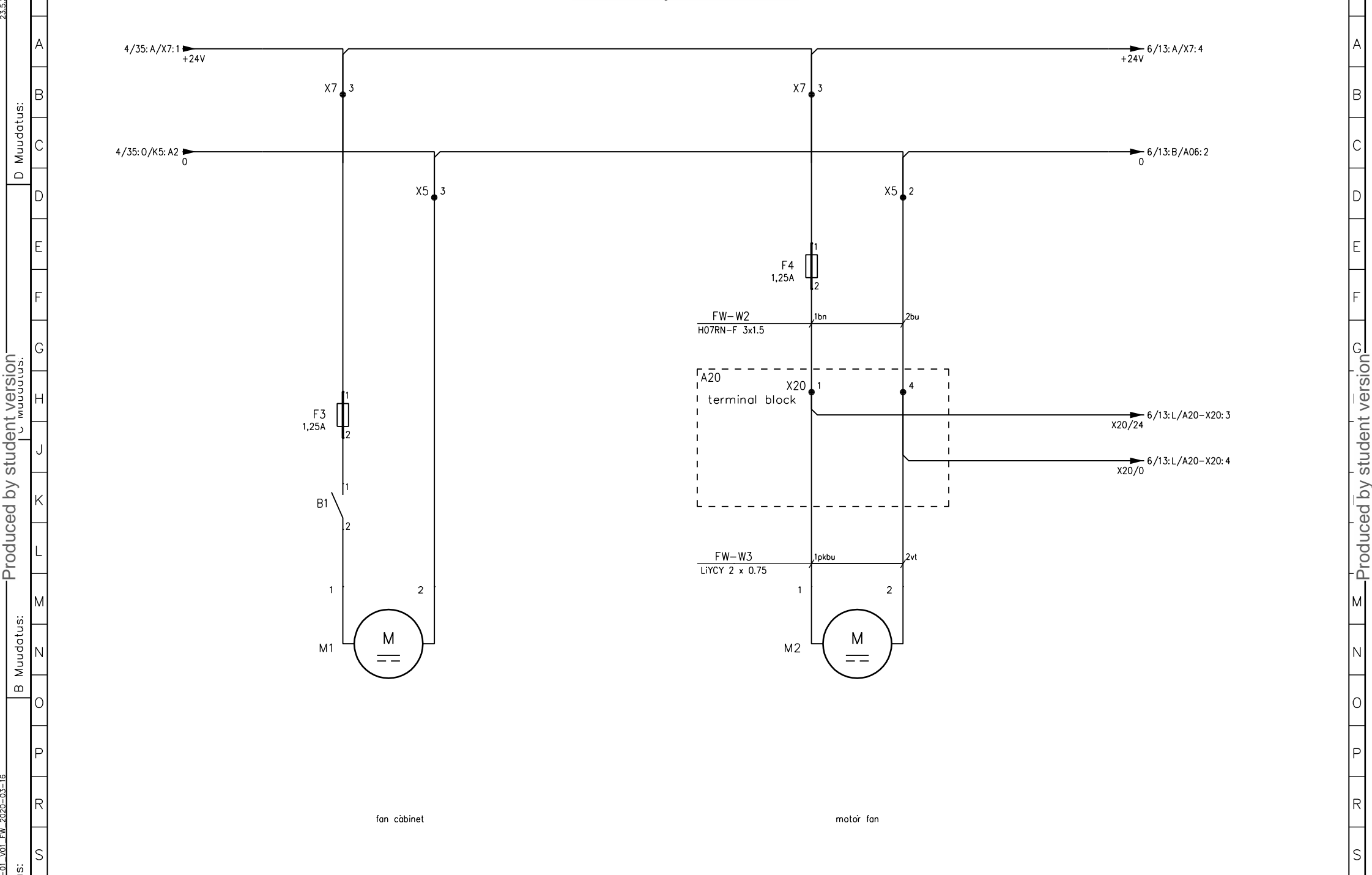
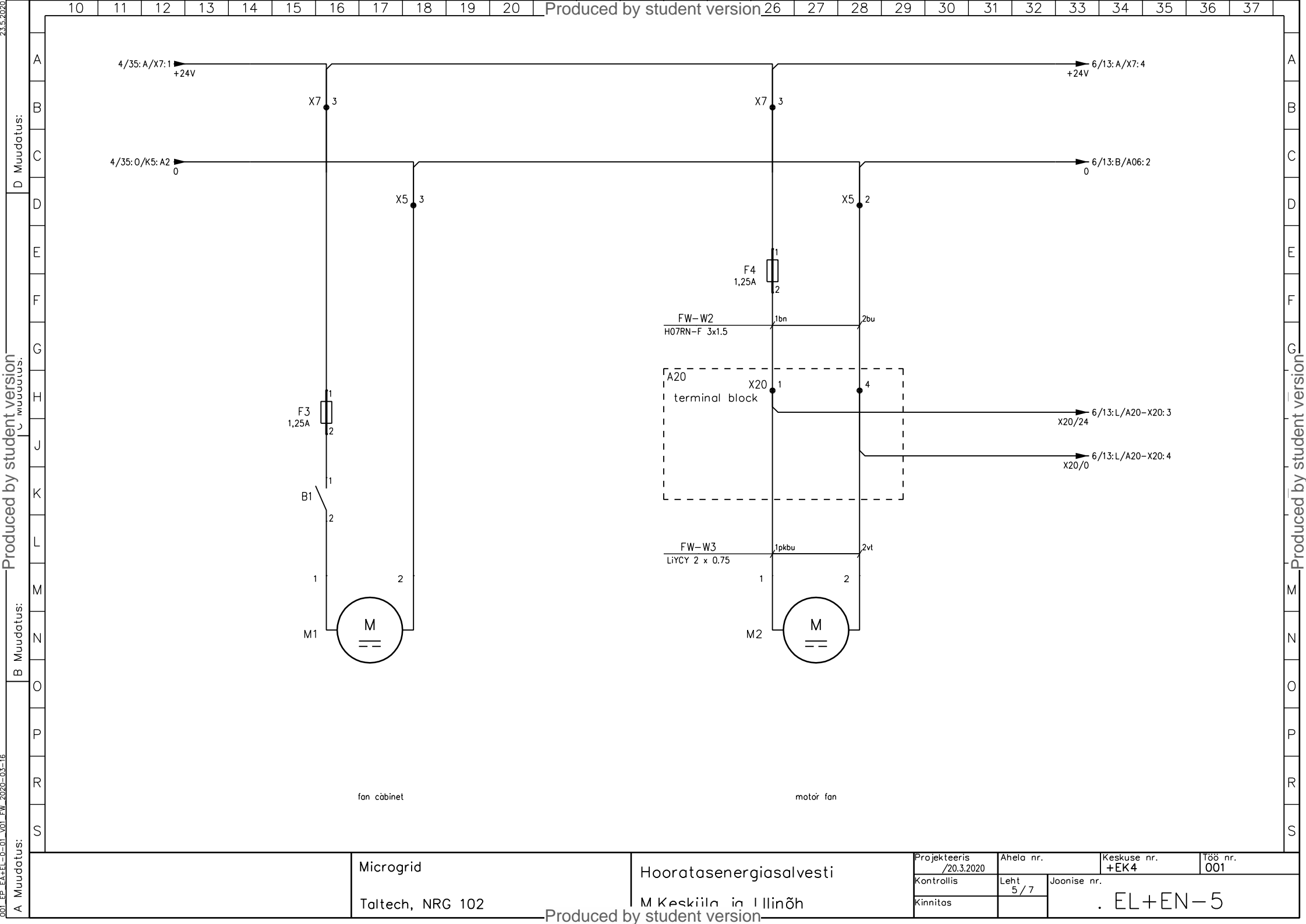
B Muudatus:

A Muudatus:

Microgrid
Taltech, NRG 102

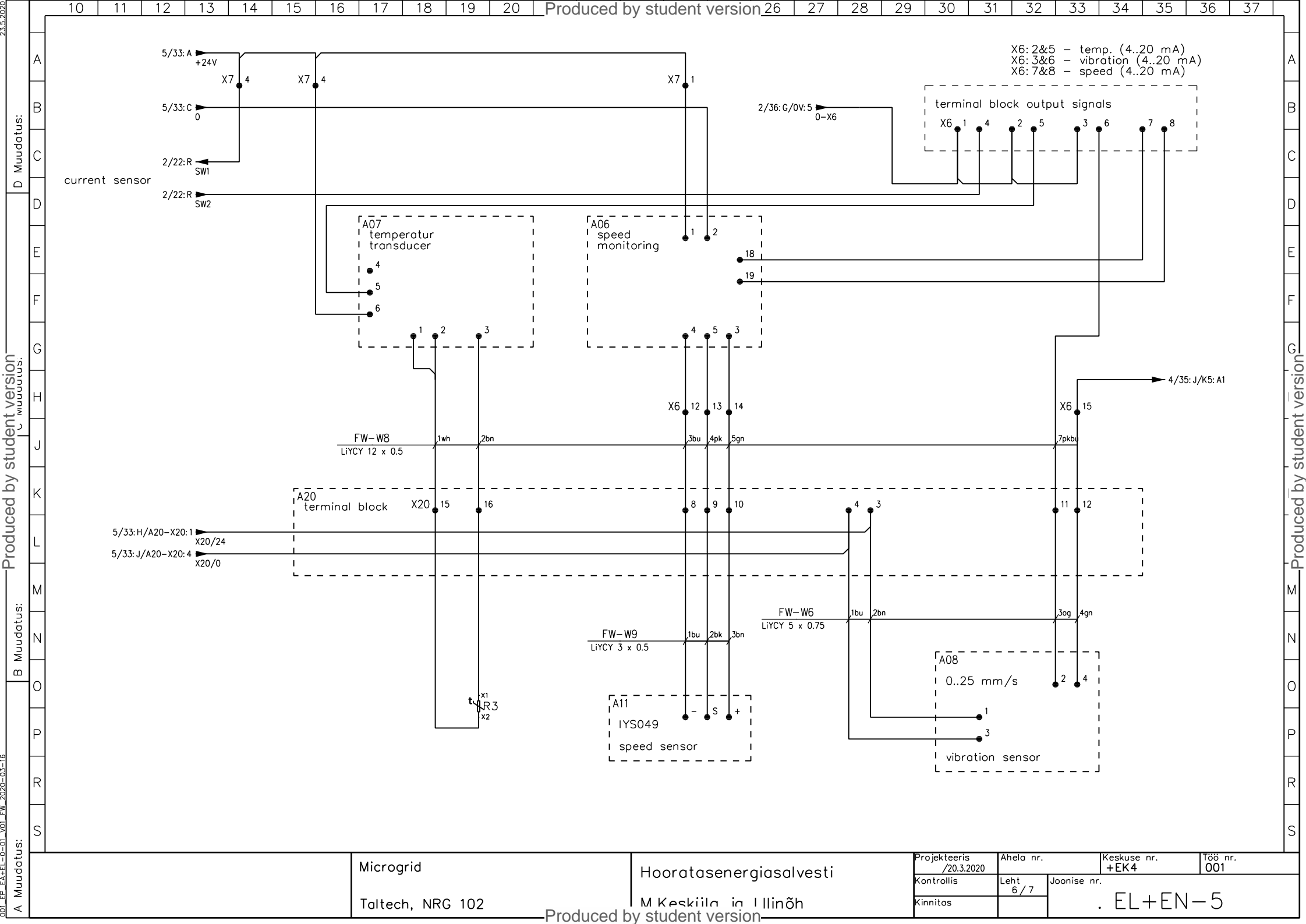
Hooratasenergiasalvesti
M Keskiölä ja Ilinööh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK4	T88 nr. 001
Kontrollis	Leht 4/7	Joonise nr.	
Kinnitas		. EL+EN-5	



Produced by student version

Produced by student version



A Muudatus: 23.5.2020
 B Muudatus:
 C Muudatus:
 D Muudatus:
 E Muudatus:
 F Muudatus:
 G Muudatus:
 H Muudatus:
 I Muudatus:
 J Muudatus:
 K Muudatus:
 L Muudatus:
 M Muudatus:
 N Muudatus:
 O Muudatus:
 P Muudatus:
 R Muudatus:
 S Muudatus:

A Muudatus:
 B Muudatus:
 C Muudatus:
 D Muudatus:
 E Muudatus:
 F Muudatus:
 G Muudatus:
 H Muudatus:
 I Muudatus:
 J Muudatus:
 K Muudatus:
 L Muudatus:
 M Muudatus:
 N Muudatus:
 O Muudatus:
 P Muudatus:
 R Muudatus:
 S Muudatus:

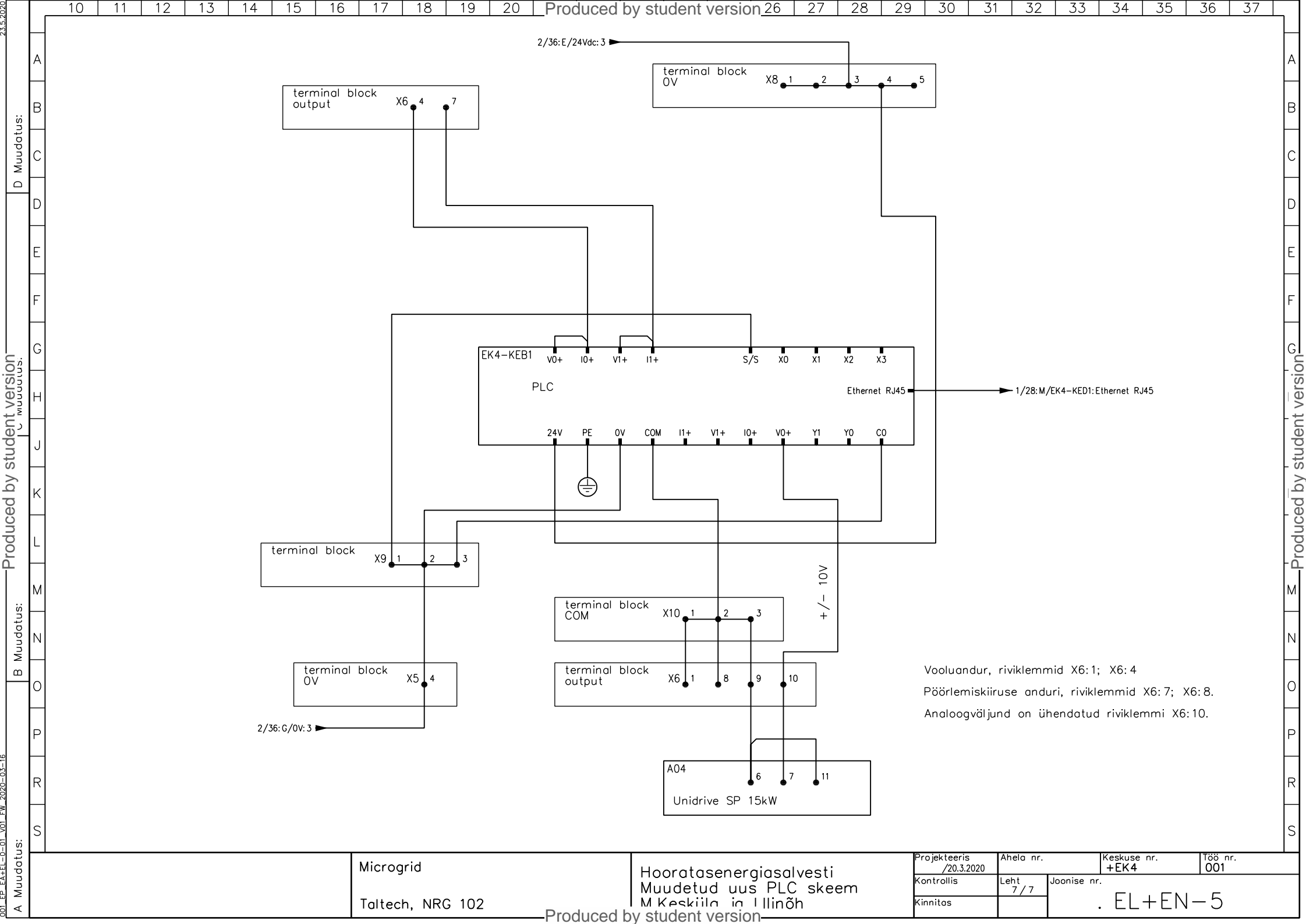
Microgrid
Taltech, NRG 102

Hooratasenergiasalvesti
M Keskiilja ja Illinõh

Projekteeris /20.3.2020
Kontrollis
Kinnitas

Ahela nr.
Leht 6/7

Keskuse nr. +EK4
Joonise nr.
T88 nr. 001
. EL+EN-5



23.5.2020
 A Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01.X01.FW.2020-03-16
 B Muudatus:
 C Muudatus:
 D Muudatus:
 E Muudatus:
 F Muudatus:
 G Muudatus:
 H Muudatus:
 I Muudatus:
 J Muudatus:
 K Muudatus:
 L Muudatus:
 M Muudatus:
 N Muudatus:
 O Muudatus:
 P Muudatus:
 R Muudatus:
 S Muudatus:

A Produced by student version
 B Produced by student version
 C Produced by student version
 D Produced by student version
 E Produced by student version
 F Produced by student version
 G Produced by student version
 H Produced by student version
 I Produced by student version
 J Produced by student version
 K Produced by student version
 L Produced by student version
 M Produced by student version
 N Produced by student version
 O Produced by student version
 P Produced by student version
 R Produced by student version
 S Produced by student version

Microgrid
Taltech, NRG 102

Hooratasenergiasalvesti
Muudetud uus PLC skeem
M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK4	T88 nr. 001
Kontrollis	Leht 7/7	Joonise nr.	
Kinnitas		. EL+EN-5	

Produced by student version