



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

MIKROVÕRGU LABORI JUHTIMISSÜSTEEMI PLANEERIMINE JA PROJEKTEERIMINE

PLANNING AND DESIGN OF THE CONTROL SYSTEM OF THE MICROGRID LABORATORY

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Ilmar Ilinõh

Üliõpilaskood: 183058AAAM

Juhendaja: Argo Rosin, PhD

Tallinn, 2020

AUTORIDEKLARATSIOON

(Tiitellehe pöördel)

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.

"....." 2020

Autor: Ilmar Ilinõh

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2020

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....2020

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Ilmar Ilinõh (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 22,03,1985)

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

„MIKROVÕRGU LABORI JUHTIMISSÜSTEEMI 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.

¹*Lihtlitsents 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	14
1. ÜLEVAADE MIKROVÕRKUDE ARENGUST	16
1.1 Mikrovõrkude arhitektuurid	18
1.1.1 Mikrovõrk alalisvoolu siiniga	18
1.1.2 Mikrovõrk vahelduvvoolu siiniga	19
1.1.3 Mikrovõrgud hübriidsiiniga	20
2. OLEMASOLEVA MIKROVÕRGU JUHTIMISSÜSTEEMI ANALÜÜS	22
2.1 Juhtimis- ja analüüsikompleksi süsteem	25
2.2 Aku-energiasalvesti ja ülikondensaatori moodul	28
2.3 Kütuseelemendi komplektid	32
3. NÕUDED UUE MIKROVÕRGU ANDMESIDELE, INFOVAHETUSELE JA JUHTIMISELE ..	34
3.1 Mikrovõrgu andmeside protokollid	34
3.2 Infovahetus ja -juhtimine	36
3.3 Toitepingele pealdate võrgu kommunikatsioonipinged	38
4. UUE MIKROVÕRGU NÕRKVOOLU KONTSEPTSIOON	39
4.1 Juhtimis- ja analüüsikompleksile esitatavad kontseptsioonilised nõuded	41
4.2 Välisvõrgu ühenduse mooduli esitatavad nõuded	47
4.3 Mootorgeneraatori moodulile esitatavad nõuded	48
4.4 Vahelduvpinge toiteallika moodulile esitatavad nõuded	49
4.5 Koormusemulaatori moodulile esitatavad nõuded	50
4.6 Aku-energiasalvestuse moodulile esitatavad nõuded	51
4.7 Ülikondensaatori moodulile esitatavad nõuded	52
4.8 Hooratas-energiasalvestuse moodulile esitatavad nõuded	53
4.9 Päikeseelektrijaama moodulile esitatavad nõuded	54
4.10 Mikrovõrgu laienduse moodulile esitatavad nõuded	55
5. UUE MIKROVÕRGU JUHTIMISSÜSTEEMI PLANEERIMINE JA PROJEKTEERIMINE	57
5.1 Juhtimis- ja analüüsikompleks	58
5.1.1 Ilmajaam	64
5.2 Välisvõrgu ühenduse moodul	64
5.3 Mootorgeneraatori moodul	68
5.4 Vahelduvpinge toiteallika moodul	70
5.5 Koormusemulaatori moodul	72
5.6 Aku-energiasalvestuse moodul	74

5.7 Ülikondensaatori moodul	77
5.8 Hooratas-energiasalvestuse moodul	79
5.9 Päikeseelektrijaama moodul	82
5.10 Reservühenduse moodul	82
KOKKUVÕTE	84
SUMMARY	85
KASUTATUD KIRJANDUS	86
LISAD	89
Lisa L2.1 TTÜ Energeetikateaduskonna hoone ruumi NRG-102 olemasolevate kilpide paigutus.....	90
Lisa L2.2 Seadmete ja aparaatide loetelu - EK1.....	91
Lisa L2.3 Seadmete ja aparaatide loetelu - EK2.....	92
Lisa L2.4 Seadmete ja aparaatide loetelu - EK3	93
Lisa 5.1 Mootorgeneraator parameetrid.....	94
Lisa 5.2 Uus TTÜ Energeetikateaduskonna mikrovõrgu ruumi NRG-102 projekt.....	95

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

<i>Autor:</i> Ilmar Ilinõh	Lõputöö liik: Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Mikro võrgu labori juhtimissüsteemi planeerimine ja projekteerimine	
<i>Kuupäev:</i> 20.05.2020	143 lk (lõputöö lehekülgede arv koos lisadega)
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja(d):</i> professor Argo Rosin	
Töö konsultant (konsultandid):	
<i>Sisu kirjeldus:</i> Lõputöö eesmärk on anda ülevaade Tallinna Tehnikaülikoolis Inseneriteaduskonna Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi ruumis NRG-102 paikneva mikro võrgu õppelaboratooriumi „Arukas energiasüsteem“ tehnilisest seisukorrast, mis oli rajatud 2014. aastal ettevõtte Energiatehnika OÜ poolt. Tehnilisest seisukorrast sõltuvalt säilitatakse neid komponente, mida on võimalik uues mikro võrgus taas rakendada. Kaardistatakse uue mikro võrgu funktsionaalseid vajadusi, mille alusel on võimalik projekteerida uue mikro võrgu õppelaboratoorium. Soovitatakse ka sobilikke seadmeid uue mikro võrgu lahenduse väljaehitamiseks lähtuvalt tark võrgu standarditest.	
<i>Märksõnad:</i> mikro võrk, tark võrk, SCADA, taastuvenergia seadmed, energia juhtimine, tööstuslik andmeside	

ABSTRACT

<i>Author:</i> Ilmar Ilinõh	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> Design and planning of microgrid laboratory management system	
<i>Date:</i> 20.05.2020	143 pages (the number of thesis pages including appendices)
<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> Associate Professor Argo Rosin	
Consultant(s):	
Abstract: The aim of the dissertation is to give an overview of the technical condition of the microgrid study laboratory "Arukas energiasüsteem" which is located in room NRG-102 of School of Engineering Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics in Tallinn University of Technology, established in 2014 by Energiatehnika OÜ. Depending on the technical condition, those components that can be repurposed in the new microgrid will be preserved. The functional needs of the new microgrid will be mapped on the basis of which it is possible to design a new microgrid study laboratory. Recommendations about the equipment for building a new microgrid solution based on smart network standards are provided.	
Keywords: microgrid, smart network, SCADA, renewable energy equipment, energy management, industrial data communication	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Mikrovõrgu labori juhtimissüsteemi planeerimine ja projekteerimine
Lõputöö teema inglise keeles:	Planning and design of the control system of the microgrid laboratory
Üliõpilane:	Ilmar Ilinõh, 183058 AAAM
Eriala:	Energiamuundus- ja juhtimissüsteemid
Lõputöö liik:	magistritöö
Lõputöö juhendaja:	Argo Rosin
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	07.07.2025
Lõputöö esitamise tähtaeg:	20.05.2020

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Antud teema on valitud magistritööks, sest valdkond on aktuaalne ja selle vastu on ka isiklik huvi. Tulenevalt TalTechi endise mikrovõrgu laboratooriumi planeeritavast ümberehitusest on tekkinud vajadus uue mikrovõrgu juhtimissüsteemi kavandamiseks. Uus mikrovõrgulahendus on vajalik ülikoolile, sest annab võimaluse õppe- ja teadustöö raames arendada ja katsetada intelligentsete elektrivõrkude jaoks vajalikke juhtimis- ja analüüsisüsteeme. See aitab tulevikus luua senisest efektiivsemaid energiakasutuse lahendusi ja samal ajal tagada elektri kvaliteeti.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on planeerida ja projekteerida vahelduvvoolu peasiiniga mikrovõrgule paindlik juhtimis- ja analüüsisüsteem.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu

- Analüüsida olemasoleva mikrovõrgu „Arukas energiasüsteem“ juhtimissüsteemi ja seadmete seisukorda ja selgitada välja nende taaskasutamise võimalused.
- Koostada nõuded uue mikrovõrgu andmesidele, infovahetusele ja juhtimisele.
- Luua planeeritavasse mikrovõrku tingimused võimalike elektri kvaliteeti mõjutavate tegurite uurimiseks.

- Analüüsida teadus- ja uurimistööks sobilikke turul pakutavaid seadmed.
- Koostada mikrovõrgus elektri kvaliteeti mõjutavate tegurite uurimiseks labori juhtimissüsteemi joonised.

4. Lähteandmed

- Ehitajate tee 5/10 olemasoleva, laboriruumis nr 102 paikneva mikrovõrgu „Arukas energiasüsteem” dokumentatsioon
- Analüüsitava seadmete dokumentatsioon
- Standardid ja seadusandlus

5. Uurimismeetodid

- Dokumentatsiooni, manuaalide ja standardite analüüs
- Olemasolevate seadmete vaatlus ja katsetus

6. Graafiline osa

- Planeeritava mikrovõrgu täielik esialgne skeem hakkab paiknema lisas.
- Juhtimissüsteemi jooniste koostamiseks kasutatakse arvutitarkvara CADMATIC.

7. Töö struktuur

- SISUKORD
- LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE
- SISSEJUHATUS
- ÜLEVAADE MIKROVÕRKUDE ARENGUST
- OLEMASOLEVA MIKROVÕRGU JUHTIMISSÜSTEEMI ANALÜÜS
- NÕUDED UUE MIKROVÕRGU ANDMESIDELE, INFOVAHETUSELE JA JUHTIMISELE
- UUE MIKROVÕRGU JUHTIMISSÜSTEEMI PLANEERIMINE JA PROJEKTEERIMINE
- KOKKUVÕTE
- KASUTATUD KIRJANDUS
- LISAD

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Mikrovõrgu „Arukas energiasüsteem” materjalid, rahvusvaheline erialaline kirjandus, standardid, seadmete tehniline dokumentatsioon.

9. Töö etapid ja ajakava

Antud ajakava ja töö etapid on esialgsed, seega ei pruugi kattuda tegelikkusega.

- Olemasoleva mikrovõrgu dokumentatsiooniga tutvumine (31.12.2019)

- Olemasoleva mikrovõrgu seadmete tehnilise seisukorra hindamine (18.02.2020)
- Mikrovõrkude arengu kaardistamine. Mikrovõrgu nõuded, andmeside ja infovahetuse kaardistamine ja nende uurimiseks vajalike tingimuste loomise võimalused planeeritavas mikrovõrgus valmis (14.03.2020)
- Planeeritavasse mikrovõrku juhtimissüsteemi seadmete valik (21.03.2020)
- Nõrkvoolupaigaldise (juhtimissüsteemi) joonised valmis (10.04.2020)
- Kokkuvõtte koostamine (30.04.2020)
- Töö esmane versioon valmis (05.05.2020)
- Juhendajale läbilugemiseks saatmine (05.05.2020)
- Paranduste sisseviimine (10.05.2020)
- Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine (15.05.2020)
- Töö lõplik versioon valmis (20.05.2020)
- Tähtaeg (07.07.2021)

EESSÕNA

Magistritöö teema on „Mikrovõrgu labori juhtimissüsteemi planeerimine ja projekteerimine“, Magistritöö eesmärgiks on luua Tallinna Tehnikaülikoolile uus kontseptsionaalne mikrovõrk, mis annaks aluse hilisemaks hanke korraldamiseks. Töö teema on välja pakkunud juhendaja professor Argo Rosin. Käesoleva magistritöö kirjutamise alguse seisuga olen varasemalt tegelenud automaatikaga ja mikroprotsessorite programmeerimisega ning pidanud sellealaseid loenguid Tallinna Polütehnikumis, Tallinna Tööstushariduskeskuses ja Tallinna Tehnikakõrgkoolis, samuti olen teinud eraettevõttes sellealaseid projektipõhiseid töid. Kuna minu tööülesanded on varasemalt olnud seotud väheseal määral mikrovõrkude juhtimissüsteemide planeerimisega ja projekteerimisega ning automaatikaga ja selle juhtimisega, siis on antud magistritöötöö teema oli parim valik kirjutamiseks ning oma arvamuste ja vaadete avaldamiseks.

Antud magistritöö annab ülevaate mikrovõrkude arengust, just vaadates nende arhitektuurset ülesehitust, ja nende kasutamise võimalustest. Samuti vaadeldakse Tallinna Tehnikaülikoolis paiknevat olemasolevat mikrovõrgu juhtimissüsteemi ja selle komponente ning nende kasutamiskõlblikkust. Antakse ülevaade ka mikrovõrgule kehtivatest nõuetest ja koostatakse uuele laboratoorsele mikrovõrgule nõrkvoolu kontseptsionaalne ülevaade, mis võimaldaks vajadusel mikrovõrgu uurimise, ning mis annaks sisendi seadmete soovituslikus valikus uue mikrovõrgu hanke koostamisel ja ehitamisel.

Seadmete andmed on suuremas osas kogutud ettevõtjate pakutavatest andmelehtedest, seadmete paigaldus- ja hooldusdokumentidest ning kodulehtedelt. Teema täpsema kirjelduse jaoks on olnud suureks abiks M. Lehtla ja T. Vinnali 2016 aastal koostatud raamat „Elektrivarustuse tulevikuvisionid.“

Konsultatsiooni pakkusid Saksa Automaatika OÜ projektijuht ja juhatuse liige Harri Koppelmaa ning Festo Oy Ab Eesti filiaali koolituste, tööstusautomaatika ja tehnoloogia vallas toimetav Hannes Vilho. Täna oma juhendajat Argo Rosinat ning kõiki eelnevalt nimetatud isikuid nende abi eest.

Autori kontaktandmed:

Nimi: Ilmar Ilinõh

E-post: ilmar.ilinoh@gmail.com

Telefon: +372 53477353

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

SCADA	Talitusjärelvalvesüsteem (Supervisory Control and Data Acquisition)
f	Sagedus
DC	Alalispinge (Direct current)
AC	Vahelduvpinge (Alternating current)
HMI	Operaatorpaneel (human-machine interface)
PLC	Programmeeritav loogikakontroller (ing programmable logic controller)
EK	Elektrikilp
AC	Vaheldusvool
DC	Alalisvool
LAN	Kohtvõrk ehk lokaalvõrk (Local Area Network)
WAN	Laivõrk (Wide Area Network)
MySQL	Relatsioonilise andmebaasi haldamise süsteem
IC	Integraallülitus (integrated circuit)
FTDI	Mikroprotsessor väliste seadmetega suhtlemiseks USB liidesega (Future Technology Devices International)
USB	Universaalne järjestiksiin (Universal Serial Bus)
EMS	Energiahalduse Süsteem (Energy Management System)
DMS	Jaotuse Haldamise Süsteem (Distribution Management System)
DA	Jaotuse Automaatika (Distribution Automation)
SA	Alajaama Automaatikasüsteem (Substation Automation System)
AMI	Edasijõudnud Mõõtetaristu (Advanced Metering Infrastructure)
DER	Hajutatud Energia Ressursid (Distributed Energy Resources)
DR	Nõudluskaja (Demand Response)
CIM	Ühtne Infomudel (Common Information Model; EN61970, EN61968, IEC62325)
COSEM	Partneri Täpsustus Energia Mõõtmisteks (Companion Specification for Energy Metering)
OPC UA	Mõõtmine ja kontroll tööstusprotsessides, avatud süsteemide ühildamine (Open Platform Communications United Architecture, EVS-EN 62541-3:2015)
PLC	Programmeeritav kontroller (Programmable Logic Controller, IEC 61131-3)
BA	Elektripotentsiaali tajuv objekt
BC	Elektrivoolu tajuv objekt
BT	Temperatuuri tajuv objekt, temperatuuri andur
BU	Mitult 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	Faasilist voolu genereeriv objekt, elektrolüüser
KEB	Juhtimisüksus, PLC kontrollerr
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
THD	Harmoonmoonutus (total harmonic distortion)
IOP	Juhtmooduli kasutajaliides (Intelligent Operator Panel)

SISSEJUHATUS

Elektrisüsteemide toimimispõhimõtted on aastakümnete jooksul muutunud vähe, aga arvutus- ja sidetehnika on pidevas arengus ja muutumises. Oluline on nii andmeside täiustamine kui ka juhtimistehnika areng ning andmesidetehnika ja sideprotokollide areng, mis kokkuvõttes tähendab infotehnoloogia- ja automaatikaseadmete rakendamist elektrijuhtimissüsteemides. [1] Kindlasti on mõjutanud seda arengut kiired tehnoloogilised muutused ja seadmete maksumuse vähenemine.

Mikrovõrgus planeeritakse analüüsida järgmiseid funktsionaalseid võimalusi [2]:

- hajutatud elektritootmist;
- taastuenergiaallikaid;
- aruka arvestuse süsteemi;
- moderniseeritud jaotusvõrku;
- kahe-suunalist infovoogu;
- andmeladusid ja küberturvalisust;
- koormuse juhtimise süsteemi;
- jõuelektroonikat ja muundureid;
- energiasalvestust;
- lõppkliendi kaasamist;
- arukaid elektriseadmeid;
- elektertransporti;
- süsteemi jälgimist ja juhtimist;
- elektriturgu;
- mikrovõrke kui targavõrgu elementaariosakesi;
- seadusandlust ja standardeid.

Antud magistritöö eesmärgiks on töötada välja senise hetkel mittetöötava mikrovõrgu asemele planeeritava uue kolmefaasilise vahelduvvoolusiiniga mikrovõrgu nõrkvoolusüsteemi parima võimalik lahendus.

Käesoleva töö tulemusena lahendatakse ülikoolis aastaid kestnud probleemne olukord, et teadlastel ei ole võimalik olemasolevas mikrovõrgus läbi viia mikrovõrkude-alaseid praktilisi uurimistöid ega katseid. Samuti vajab ülikool toimivat lahendust mikrovõrkude-alase õppetöö kvaliteedi parendamiseks.

Magistritöö eesmärgiks on mikrovõrgu labori juhtimissüsteemi planeerimine ja kavandamine. Töö käigus projekteeritakse uuele mikrovõrgule laboratoorseteks töödeks

kasutatav sobilik nõrkvoolu osa ja juhtimissüsteem. Juhtimislahendus peab võimaldama kontrollida tootmis-, salvestamis- ja tarbimisseadmete tööd ja režiime võimalikult suures ulatuses, sõltuvalt laialt levinud toodetest, mida turul müügil olevatest seadmetest tänapäeval kasutatakse. Eesmärgiks on, et laboris oleks võimalik teostada katseid ja viia läbiõppe- ja teadustöös uurimistöid tüüpviigade avastamiseks nii juhtimises kui elektrienergia primaar-juhtimisprobleemides.

Magistritöö esimeses peatükis antakse ülevaade mikrovõrkude arengust ja tänapäeval rakendatavatest mikrovõrkude tüüpidest ning andmesidelahendustest mikrovõrkudes.

Teise peatüki eesmärgiks on anda ülevaade Tallinna Tehnikaülikooli Energeetikateaduskonna kompleksis ruumis NRG-102 paiknevast olemasolevast mikrovõrgust, juhtimissüsteemi ülesehitusest, tootmis-, salvestamis- ja tarbimisseadmetest. Ülevaate eesmärgiks on selgitada välja, kas olemasolevaid seadmeid on võimalik taaskasutada uues mikrovõrgu lahenduses.

Kolmanda peatüki eesmärgiks on anda ülevaade mikrovõrgule kehtivatest nõuetest, mis puudutavad andmeside, infovahetust ja juhtimist.

Neljanda peatüki eesmärk on luua uue mikrovõrgu nõrkvoolu kontseptsioon projekteeritavate juhtimis-, tootmis-, salvestamis- ja tarbimissüsteemide omavaheliseks ühendamiseks.

Viiendas peatükis käsitletakse uue mikrovõrgu juhtimissüsteemi planeerimist ja projekteerimist.

Antud magistritöös ei käsitleta planeeritava mikrovõrgu maksumust ja selle tugevvoolusüsteemi ning selle osi, kaitserleed, jne.

1. ÜLEVAADE MIKROVÕRKUDE ARENGUST

Mikrovõrgu eesmärk on vähendada energiakulusid, ökoloogilist jalajälge ja elektrikatkestuse riske. Samuti on eesmärgiks suurendada automaatse tarbimise suhet ja koos sellega optimeerida energiakulutusi. Juhtimissüsteemidena kasutatakse energiahalduse tarkvaraplatvorme, millel on eesmärk koguda, ennustada, juhtida ja optimeerida energia tootmis-, salvestamis- ja tarbimismustreid.

Mikrovõrguks nimetatakse süsteemi, mis koosneb mikro- ja hajatootmisel põhinevast elektrienergia tootmisest väikese võimsusega tootmisüksustes, energia salvestusseadmetest ja paindlikust tarimisest. Samuti on mikrovõrk teatud punktides ühendatud tavalise tsentraalse makrovõrguga. Võrkude lahutamisel jääb mikrovõrk iseseisvalt talitlema ehk toimub saartalitus. Tavaliselt on mikrovõrgu genereeritavad ja tarbitavad võimsused suhteliselt väikesed, ka siis on enamuses tegemist madalpingeliste mikrovõrkudega. [3]

Vastavalt 2018. aastal välja antud „Taastuenergia aastaraamatule“ ei tohi elektritootja paigaldatud mikrovõrgu tootmisvõimsus ületada 15 kW. Seda reguleerib ka Võrgueeskirjade määruse § 1 teine lõik „Lihtsustatud tingimused alla 15 kW võimsusega taastuvat energiaallikat tootmiseks kasutatavate tootmiseseadmete ühendamiseks võrguga“. [4]

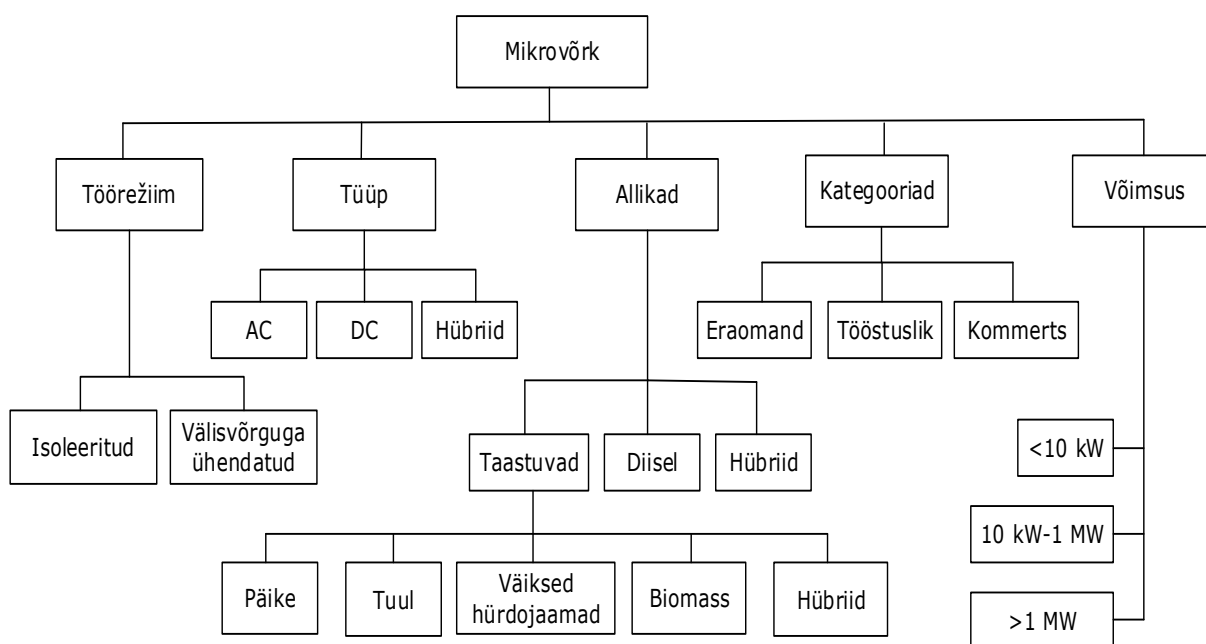
Mikrovõrku võib kategoriseerida järgmiselt.

- Ülikoolide linnakute mikrovõrgud/instituutide mikrovõrgud, mille eesmärk on koondada linnakutes olemasolevad tootmisüksused ja koormused ühte võrku. Antud praktilised tööd on olnud populaarsed, sest üks omanik saab olla nii tootja kui tarbija ühes ja samas geograafilises punktis, mis omakorda tähendab, et omanikule ei laiene võrgu regulatsioon mikrovõrgu seisukohast. [5]
- Saartalitluses mikrovõrk – mikrovõrku ei ühendata kunagi välisvõrguga. Näitena võib tuua Alaskal paiknevad külad. Samuti võib tuua näitena saared, kuhu elektrivõrku ei ole veetud ning lisaks taastuenergia allikatele kasutatakse diisलगeneraatorit. [5]
- Militaarse eesmärgiga rajatud mikrovõrgud – mikrovõrku arendatakse nii füüsiliste parameetrite poolest kui küberrünnakute vastu. See kujutab endast mobiilset mikrovõrku, mida saab teisaldada ühest punktist teise. Seda tüüpi mikrovõrku kasutatakse näiteks sõjakolletes. [5]

- Kommerts- ja tööstuslikud mikrovõrgud, mida arendatakse kiirelt Põhja- Ameerikas ja Aasia riikides. Nendele mikrovõrkudele ei rakendu rahvusvahelised standardid, kuna nende toodetud elekter tarbitakse ära ettevõttesiseselt. Neid klassifitseeritakse mikrovõrguks, aga ilma kindlate karakteristikuteta. [5]

Mikrovõrgus klassifitseeritakse järgmisi olekuid ja parameetreid, mis jagunevad viieks kategooriaks, vastavalt joonisele (Joonis 1.1):

- töörežiimid;
- tüüp;
- allikad;
- kategooriad;
- võimsus.



Joonis 1.1 Mikrovõrkude klassifitseerimine

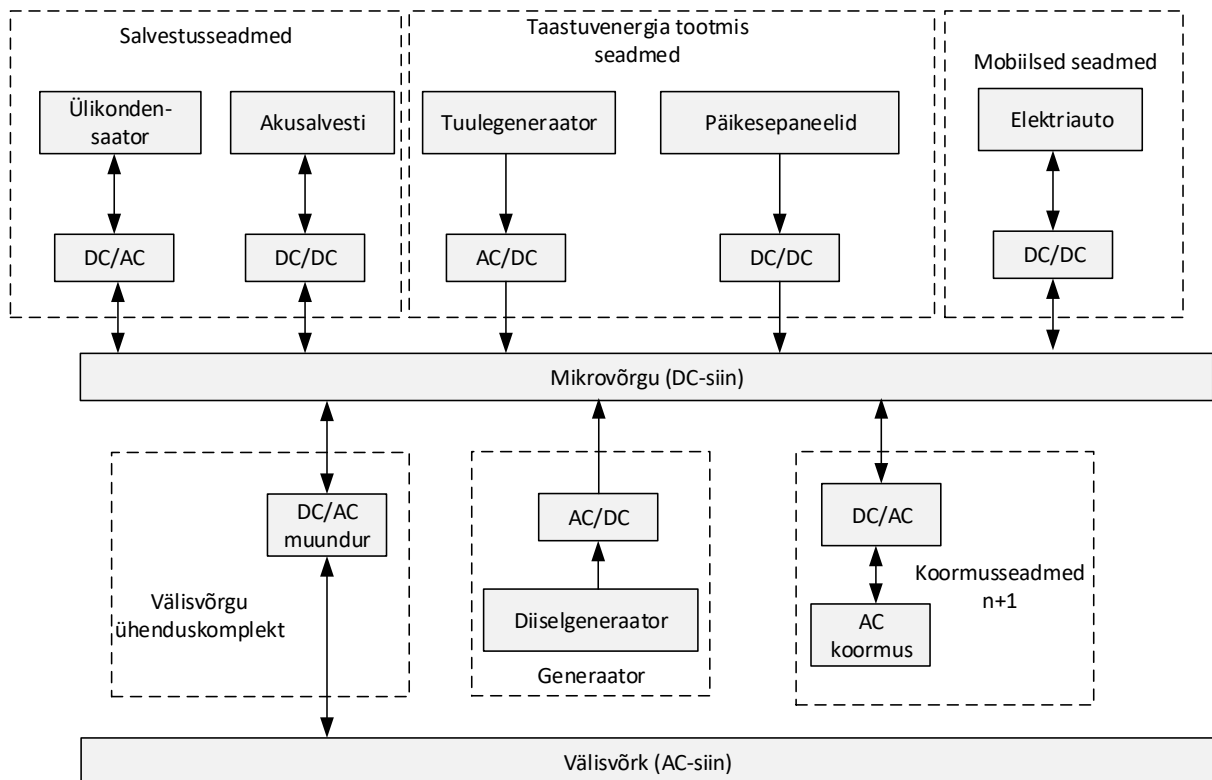
Eestis on levinud kõik mainitud mikrovõrkude lahendused. Võib öelda, et Eestis on mikrotootmissektor olnud pidevas arengus – näiteks aastal 2018 oli 1374 jaotusvõrguga liitunud mikrotootjat. Antud liitunute arv ei ole täielik, sest on ka neid mikrotootjad, kes ei ole võrguga liitunud, mistõttu nende tootmisüksus toimib autonoomselt. Arvatakse, et 2018. aastal oli neid hinnanguliselt paarsada, kelleks võisid olla päikesepaneelide, väiketuulikute ja vesiveskite omanikud. [6]

1.1 Mikrovõrkude arhitektuurid

Selles peatükis antakse vastavalt joonisele 1.1 ülevaade eri pingetega mikrovõrkude arhitektuursest ülesehitusest. Ülevaade levinud lahendustest on vajalik uue laboratoorse mikrovõrgu projekteerimiseks. Pingetüübi järgi jagunevad mikrovõrgud alalisvoolu siiniga mikrovõrkudeks, vahelduvvoolu siiniga mikrovõrkudeks ja hübriidsiiniga mikrovõrkudeks.

1.1.1 Mikrovõrk alalisvoolu siiniga

Esimeseks vaadeldavaks tüüplahenduseks on alalisvoolu siiniga mikrovõrk, mis koosneb ühisest alalisvoolu siinist, kuhu on ühendatud tootmis-, salvestamis- ja tarbimisseadmed. Joonisel (Joonis 1.2) on kujutatud näidislahendused ühisest alalisvoolu siinist mikrovõrgus, kus ühendus välisvõrguga on tagatud läbi muunduri. Kasutatavate seadmete erinevad pingestmed muundatakse ühisele pingele.



Joonis 1.2 Mikrovõrk alalisvoolu siiniga

Mikrovõrkude alalisvooluvõrkude eelised:

- taastuvenergiat põhinevad elektrilised ja energia salvestid on tihti alalisvooluallikad. Näitena võib tuua päikesepaneelid, statsionaarsed akupatareid, mobiilsed akupatareid (elektriautode akud) ja kütuselemendid. Selle tõttu on lihtsam eelnimetatud seadmeid ühendada ühisesse mikrovõrku nii alalisvoolu lingina kui ka vahelduvvoolu lingina;
- tänapäeval tarbivad paljud moodsad elektriseadmed alalisvoolu ja madala- või väikepingeline alalisvooluvõrk sobib nende toitmiseks paremini;

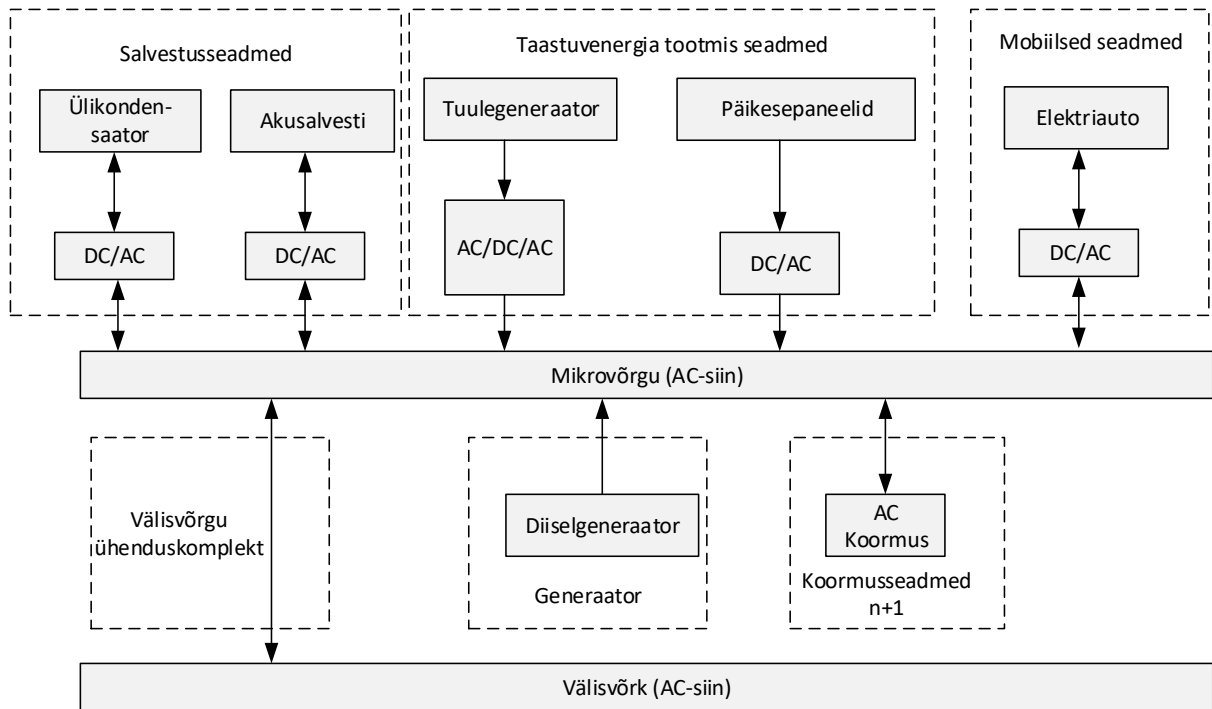
- alalisvooluliin võimaldab samade kaablite kaudu edastada suuremat võimsust, tänu suuremale lubatavale pingele (pinge keskvärtus, efektiivvärtus ehk ruutkeskmise värtus ja amplituudvärtus on võrdsed). Siinuspingelise vahelduvvoolu korral on pinge efektiivvärtus ja keskvärtuse suhe 1,11, amplituudvärtuse ja efektiivvärtuse suhe $\sqrt{2}$ ning amplituudivärtuse ja keskvärtuse suhe 1,57 ehk $\pi/2$;
- energia edastamise kasutegur on suurem, kuna edastatakse ainult aktiivenergiat ja puudub reaktiivenergia, millest tulenevad energia lisakaod;
- parem elektrikvaliteet, sest võrk käitub kui energia akumulaator ning kui keskpingevõrgus toimuvad pingekatkestused ja pingelohud, siis mikro võrgus need lühiajaliselt ei avaldu;
- „elektrimasinate juhtimiseks kasutatavad sagedusmuundurid sisaldavad toiteahela nn alalisvoolulüli. Alalisvooluvõrgu korral oleks elektrimasinate toitemuundurite ehitus lihtsam, sest sel juhul saaks loobuda nii alalisvoolululist kui ka seda võrguga ühendavast alaldist/vaheldist.“ [3]

1.1.2 Mikrovõrk vahelduvvoolu siiniga

Järgnevalt vaadeldavaks vahelduvvoolu mikrovõrku, mis koosneb ühisest vahelduvvoolu siinist, kuhu on ühendatud tootmis-, salvestamis- ja tarbimisseadmed. Joonisel (Joonis 1.3) on kujutatud näidislahendused ühisest vahelduvvoolu siinist mikro võrgus, kus on otseühendus välisvõrguga. Kasutatavate seadmete erinevad pingeastmed ja pingetüübid muundatakse ühisele vahelduvvoolu pingele.

Mikrovõrkudes kasutatava vahelduvvoolu siini eelised on järgmised [7]:

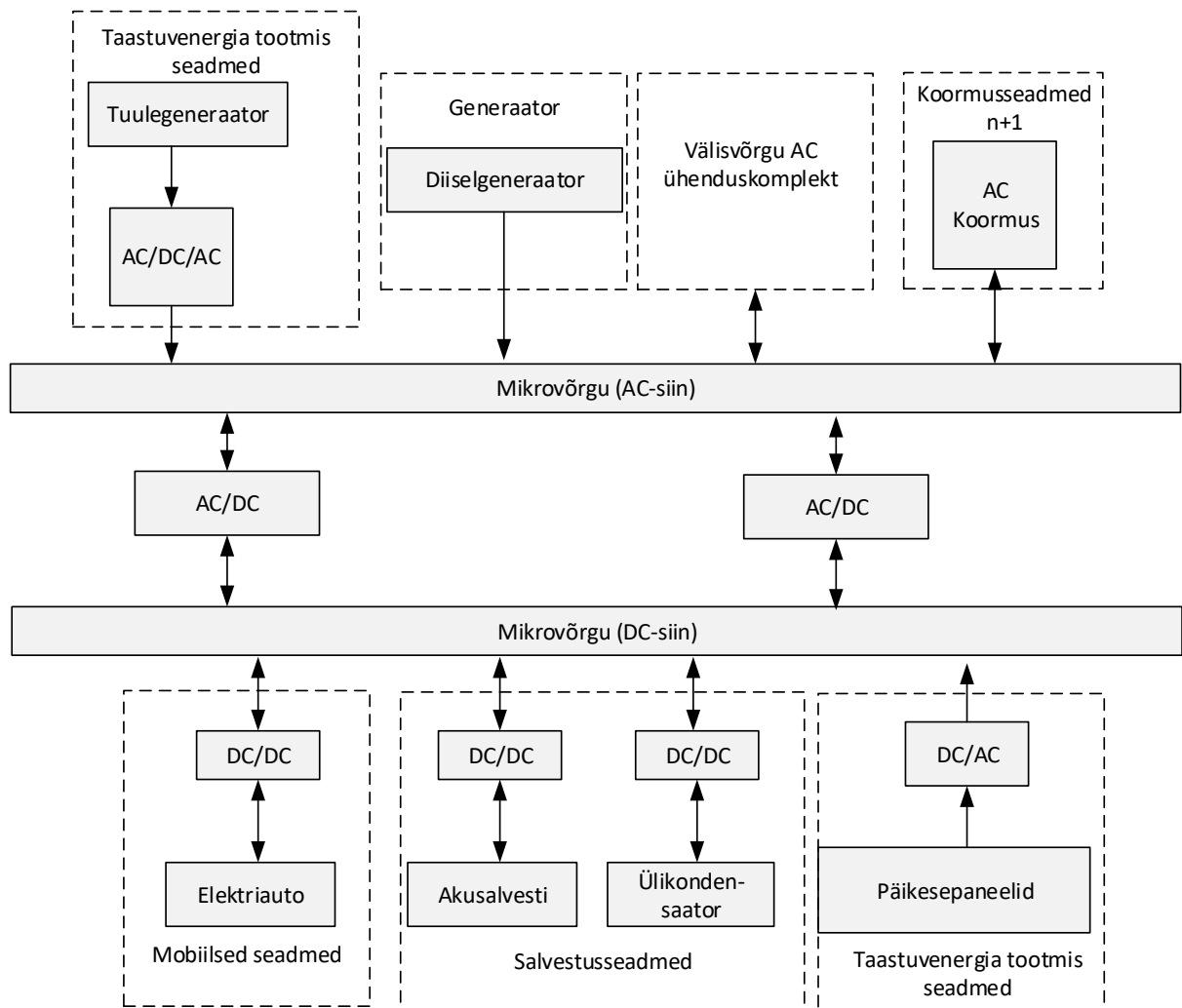
- vahelduvvoolugeneraatorite jõuahelad on kontaktivabad – seal puudub vajadus voolu ülekandeks pöörlevalt rootorilt;
- vahelduvpinge lihtne muundamine trafoga kõrgepingeliseks ja tagasi vähendab oluliselt ülekandekadusid elektrivõrkudes;
- vahelduvvoolumootorid on lihtsamad, odavamad ja töökindlamad kui alalisvoolumootorid.



Joonis 1.3 Mikrovõrk vahelduvvoolu siiniga

1.1.3 Mikrovõrgud hübriidsiiniga

Järgnevalt vaadeldakse hübriidlahendusena kasutatavaid mikrovõrkusid, mis koosnevad ühisest vahelduv- ja alalisvoolu siinist, kuhu samuti on ühendatud tootmis-, salvestamis- ja tarbimisseadmed. Joonisel (Joonis 1.4) on kujutatud näidislahendused ühisest vahelduv- ja alalisvoolu siinist mikrovõrgus, kus on otseühendus mikrovõrgule välisvõrguga tagatud nii otse kui ka läbi muundurite, mis ühendavad kaht eri siini. Kasutatavate seadmete erinevad pingestmed ja pingetüübid muundatakse vastavalt mõistlikule lahendusele, et oleksid väiksemad energiakaod ja kulutused süsteemi loomisel. Kasutatakse eespool loetletud mikrovõrkude maksimaalseid eeliseid süsteemi planeerimisel ja projekteerimisel.



Joonis 1.4 Mikrovõrgud hübriidsiiniga

2. OLEMASOLEVA MIKROVÕRGU JUHTIMISSÜSTEEMI ANALÜÜS

Õppeotstarbel väljaehitud mikrovõrk oli rajatud aastal 2012 ja paikneb Tallinna linnas Ehitajate tee 5 kinnistul (nr 78405:501:0145) asuval Tallinna Tehnikaülikooli Energeetikateaduskonna kompleksis ruumis NRG-102. Vaadeldavas peatükis kontrolliti olemasolevat mikrovõrku, seda just juhtimissüsteemi seisukohast. Eesmärgiks oli selgitada välja, kas uue mikrovõrgu lahenduse koostamiseks on võimalik taaskasutada olemasolevaid seadmeid.

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudis projekteeritud ja 2012. aastal valminud mikrovõrgu infrastruktuur on näha joonisel (Joonis 2.1). [8] Antud joonis kirjeldab väljaehitatud infrastruktuuri ülesehitust, mis oli ühise alalisvoolu siiniga ning kuhu olid ühendatud energia tootmis-, salvestamis- ja tarbimisseadmed.

Mikrovõrk koosnes päikesepaneelist, vertikaalteljelisest tuulikust, ülikondensaatorist, aku-energiasalvestusest, kütuseelemendist, juhtimissüsteemist ning saar- ja välisvõrguga ühendumise võimekusest. Süsteemi koormamiseks kasutati vahelduvvoolu koormusseadmeid, mis ühendati muundurite abil alalisvooluvõrku. Aruka energiasüsteemi ühendamiseks Tallinna Tehnikaülikooli vahelduvvoolu siiniga kasutati AC/DC muundurit. Tänapäevaks antud mikrovõrgu laboratoorium ei toimi. Süsteemi kaardistamisel ja dokumentatsiooni läbitöötamisel jäi arusaamatuks, miks olemasolevat mikrovõrku ei taastatud ning millal ja miks ilmned süsteemi kasutamisel rikked. Seega ei käsitleta magistritöös olemasoleva mikrovõrgu seadmete rikkepõhjuseid.

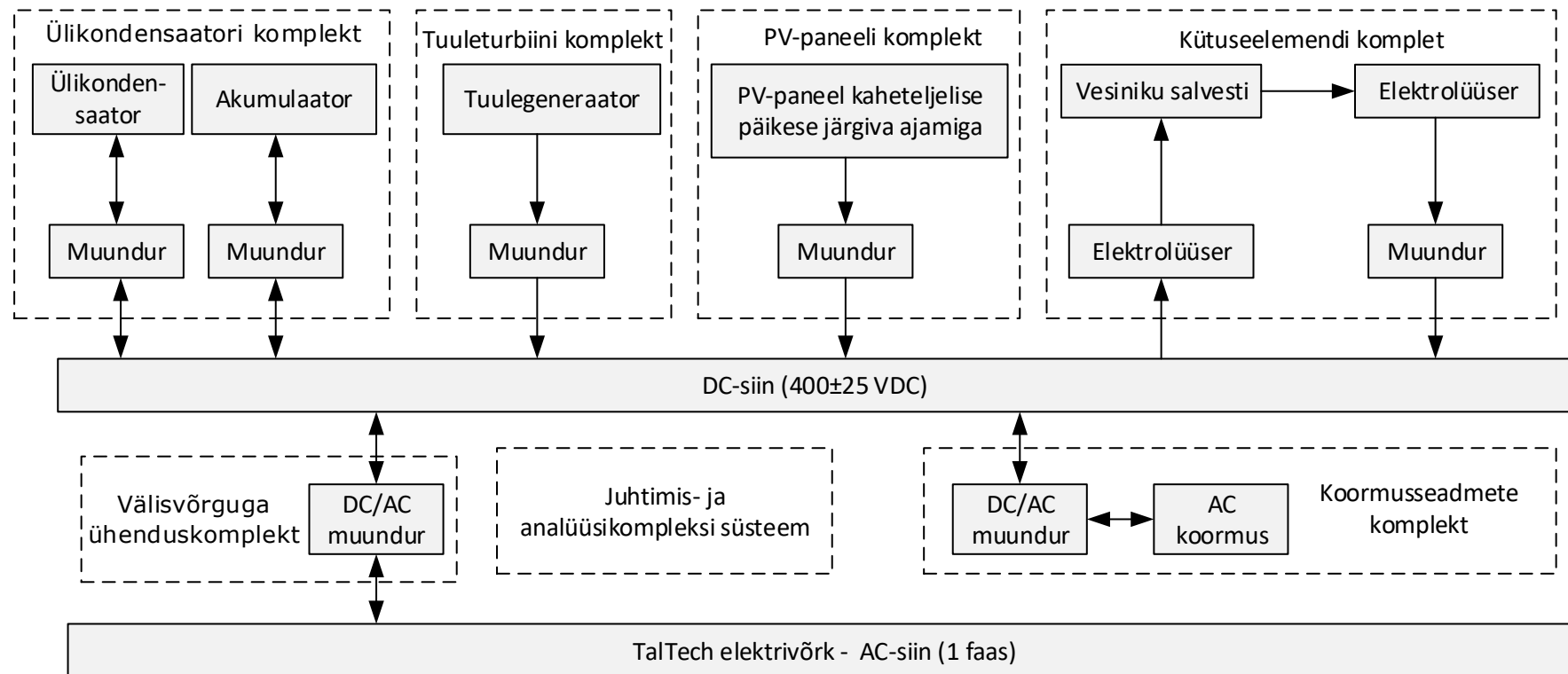
Antud peatükis kirjeldatakse olemasolevast mikrovõrgusüsteemist järgmisi komplekte:

- juhtimis- ja analüüsikompleksi moodul;
- akupatarei ja ülikondensaatori moodul;
- kütuseelemendi moodul.

Olemasolevas mikrovõrgus rakendatud vertikaalteljelist tuulikut antud magistritöös ei käsitleta, kuna selle kasutuselevõttu ei nähta ette TalTechi uues planeeritavas mikrovõrgus.

Samuti ei käsitleta olemasolevas mikrovõrgus rakendatud päikeseenergia komplekti koos juhtimisseadmetega, kuna selle kasutuselevõtt TalTechi poolt on ette nähtud teistes planeeritavates mikrovõrkude projektides. Magistritöös käsitletavasse uude projekteeritavasse mikrovõrku on ette nähtud kasutusele võtta varupaneelid, mis olid

ladustatud ruumi NRG-102. Seadmete tehniline kirjeldus ja kasutuselevõtt on välja toodud järgmistes peatükkides.



Joonis 2.1 Aruka energiasüsteemi struktuur

2.1 Juhtimis- ja analüüsikompleksi süsteem

Analüüsitavaks osaks on juhtimis- ja analüüsikompleksi süsteem, mis paikneb Tallinna Tehnikaülikooli energeetikaosakonna ruumis NRG-102, elektrikilbi tähisega EK1. Juhtimis- ja analüüsikompleksi, vastavalt joonisele (Joonis 2.2), ülesandeks oli kogu mikro võrgu juhtimine ning andmete esitamine ja talletamine.

Juhtimis- ja analüüsikompleksi ülesandeks oli andmeside järgmiste seadmete vahel:

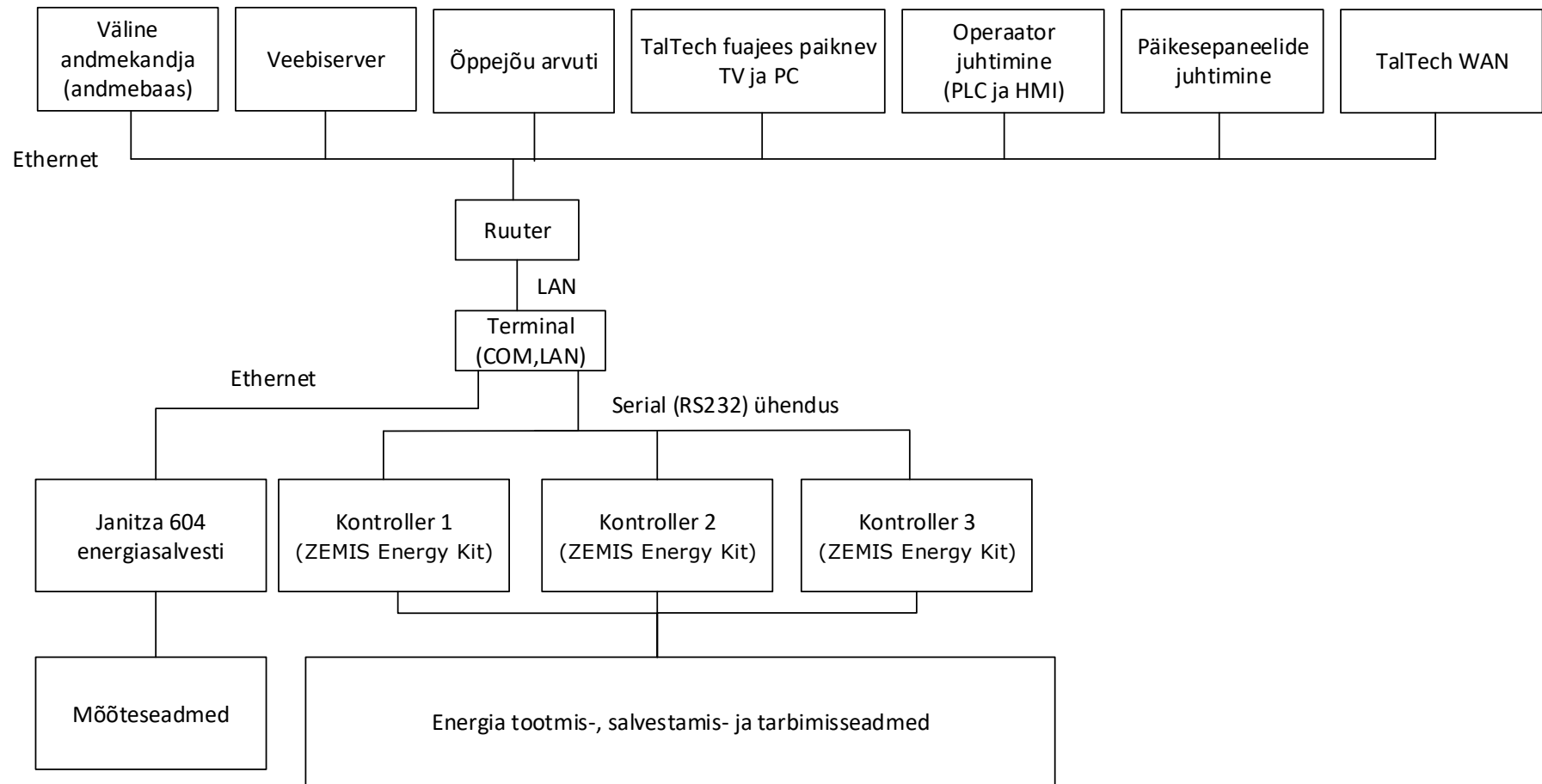
- ülikondensaatori komplekt;
- kütuseelemendi komplekt;
- tuule turbiini komplekt;
- päikese paneelide komplekt;
- saar- ja välisvõrguühenduse komplekt;
- vahelduvvoolu seadmete ühendamiseks vajalik komplekt;
- andmete talletamine ja kuvamine.

Tähtsamad juhtimissüsteemi seadmed ja nende funktsioon on välja toodud tabelis (Tabel 2.1). Kilbis EK1 paiknev juhtimis- ja analüüsikomplekssüsteemi seadmete loetelu on välja toodud lisas (L2.2).

Tabel 2.1 Juhtimis- ja analüüsikompleksi põhiseadmed [8]

Seade	Ülesanne
PLC (juhtkontroller)	Juhtida aruka energiasüsteemi tööd ning seadmetelt mõõtesisendite vastuvõtt
Puutetundlik operaatorpaneel (HMI)	Infoliideseks inimese ja PLC vahel, võimaldades jälgida süsteemi olekut ja seada süsteemi olekuid
Server	Juurdepäas ülikooli LAN-võrgust ja Internetist
Väline kõvaketas (HDD)	Mõõteandmete salvestus hilisemaks töötlemiseks
Ruuter	Juhtseadmete omavaheline infovahetus
Õppejõu arvuti	Võimaldada nutivõrgu juhtimist ja parameetrite vaatlust
TV-ekraan	Parameetrite kuvamine Energeetikateaduskonna fuajees

Vastavalt joonisele (Joonis 2.2), saab välja lugeda, et olemasolevast tarkvõrgust saadud mõõtetulemused töödeldi jadaühendusest LAN võrku, kus edasi mõõteandmed registreeriti serveris paiknevasse andmebaasi. Iga päev varundati andmebaasis olevad hetkeandmed kokku pakitud kujul. Päikese paneelidest tulnud energia info talletati Janitza energisalve, mis samuti hiljem saatis andmed andmebaasi.



Joonis 2.2 Olemasoleva mikrovõrgu juhtimissüsteemi üldehitus

Juhtimis- ja analüüsikompleksis kaardistatud puudused on toodud tabelis (Tabel 2.2). Puuduste kaardistamisel on arvestatud võimalusega kasutada olemasolevaid seadmeid sama projekti raames või muude ülikooli õppe- või teadustööde raames.

Tabel 2.2 Juhtimis- ja analüüsikompleksi puudused

Nr	Puudused	Märkused
1	Serveri tarkvara	Turbevärskendust ei ole mõistlik teostada. Serveri riistvaraline pool on vananenud.
2	Serveri riistvara – IBM System x3550 M3	Riistvara on läbinud oma elukaare nii füüsiliselt kui moraalselt. Seadme andmekandja demonteerida ning server saata utiliseerimisele.
3	Väline kõvaketas	Seade on demonteeritud ja puudub. Instituudist saadud informatsiooni alusel väline kõvaketas riknes.
4	Juhtkontroller (PLC)	PLC on vananenud nii füüsiliselt kui moraalselt. Demonteeritavad PLC võiksid minna kasutusele õppetegevuses.
5	UPS	Tehnilist olukorda ei ole kontrollitud. Seade on vana.
6	Juhtmete märgistused	Vaatluse käigus tuvastati, et juhtmete ja kaablite ning olemasolevate seadmete tähistused on kohati puudulikud.

Antud juhtimis- ja analüüsikompleksi elektrikilbi EK1 juhtimissüsteemi komponendid ei ühildu tänapäevaste vajadustega ja turvanõuetega. Võimalusel tuleks antud elektrikilp demonteerida ja maksimaalselt ära kasutada olemasolevaid seadmeid teistes õppe- ja teadustöö projektides. Süsteemi analüüsidest leiti, et juhtimis- ja analüüsikompleksis paiknevale serverile oli paigaldatud kaks virtuaalset masinat. Virtuaalsete masinate haldamiseks oli rakendatud VMWARE ESX tarkvara. Esimene virtuaalne masin oli Linux operatsioonisüsteem, kus oli kasutatud Ubuntu platvormi. Antud operatsioonisüsteemi rakendati veebi- ja andmebaasiserverina, kuhu olid paigaldatud järgmised funktsionaalsused ja lisad:

- PHP moodul, versioon 5.2.x;
- MySQL andmebaas versioon 5.1.x;
- Apache2 moodulversioon 2.x;
- võimalus lisada serverisse PHP skripte Crontab (CronJob), st käivitab PHP skripti etteantud aja jooksul 1 korra, näiteks iga 10 minuti tagant;
- HTTP väljundit välisvõrgus oleva veebilehe jaoks;
- HTTP väljundit sisevõrgus oleva veebilehe jaoks.

Teine operatsioonisüsteem oli Windows 7, kasutusel kui OPC server, mille funktsionaalsus oli:

- MySQL andmebaas versioon 5.1.x;

- loob kommunikatsiooni mikroörgus olevatelt Delta kontrolleritelt, talletamaks saadud infot andmebaasi;
- Delta Electronics'i pakutavat tööstuskontrollerite programmeerimistarkvara.

2.2 Aku-energiasalvesti ja ülikondensaatori moodul

Olemasolevas mikroörgus rakendati teadus- ja arendustöö uurimiseks akusid ja ülikondensaatoreid. Akude ja ülikondensaatorite eesmärk oli mikroörgus olla kui salvestajad, mis salvestasid vastavalt juhtmoodulis kirjeldatud vajadusele energiat ning hilisemalt vastavalt olukorrale andsid seda mikroörgu tagasi.

Olemasolevas AC mikroörgus analüüsitavaks seadmeks on ülikondensaator- ja akupatareimoodulsüsteem, mis paikneb Tallinna Tehnikaülikooli energeetikaosakonna ruumis NRG-102, elektrikilbi tähisega EK2. Kogu elektrikilbis EK2 paiknenud seadmete nimistu, funktsioon ja kogused on välja toodud tabelis, vt Lisa L2.3 Seadmete ja aparaatide loetelu - EK2. [8]

Vaadeldavas elektrikilbis oli komplekteeritud ettevõtte FLEXIVA automation & Robotik GmbH poolt välja töötatud lahendus, kus ühisesse korpusesse oli paigutatud kolm mõlema suunalist muundurit, milleks olid ülikondensaator-, akupatarei- ja välisörgu muundur (Joonis 2.7). Analoog/digitaal- ja digitaal/digitaalmuundurid on paigutatud kolmekaupa tootja ühisesse korpusesse ZEMIS Energy Kit (Joonis 2.6). Korpusesisesed ühendused olid teostatud tootja poolt. Korpusel oli andmesideks RS232 liides. Andmeside RS232 tehnilised andmeühendus näitajad on:

- 11520 bit/sekundi kohta;
- 8 bitine andmejada.

Kasutatava seadme funktsionaalseteks eelisteks saaks lugeda järgmiseid tingimusi [9]:

- kahe-suunaline pingestuhtimine;
- paralleelühendused;
- galvaaniliselt isoleeritud;
- integreeritud juhtimissüsteem;
- võimalik rakendada nii üksikelemendina kui ka paralleelselt.

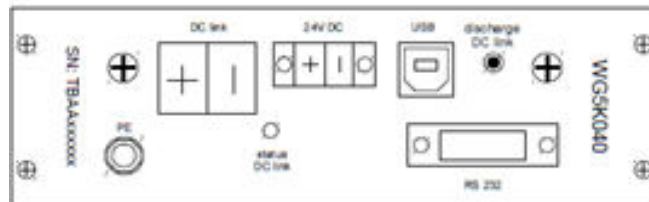
Ettevõtte Flexiva poolt väljatöötatud lahendusena on toote andmelehtede järgi kommunikatsiooni liidesed ja moodulite ühendus võimalik teostada läbi USB ja RS232, (Joonis 2.3, Joonis 2.5). USB ühendus on realiseeritud läbi IC ja FTDI. Selle abil saab tekitada kas virtuaalse COM pordi või saab otse ühenduse otse läbi USB. Mõlemaid ühendusi oli võimalik kasutada üheaegselt. [9] Muundurite seadistamiseks kasutatakse

ettevõtte Flexiva poolt välja arendatud juhtimistarkvara ModuleConfigSuite V124, mida oli võimalik alla laadida ettevõtte kodulehelt. [10]

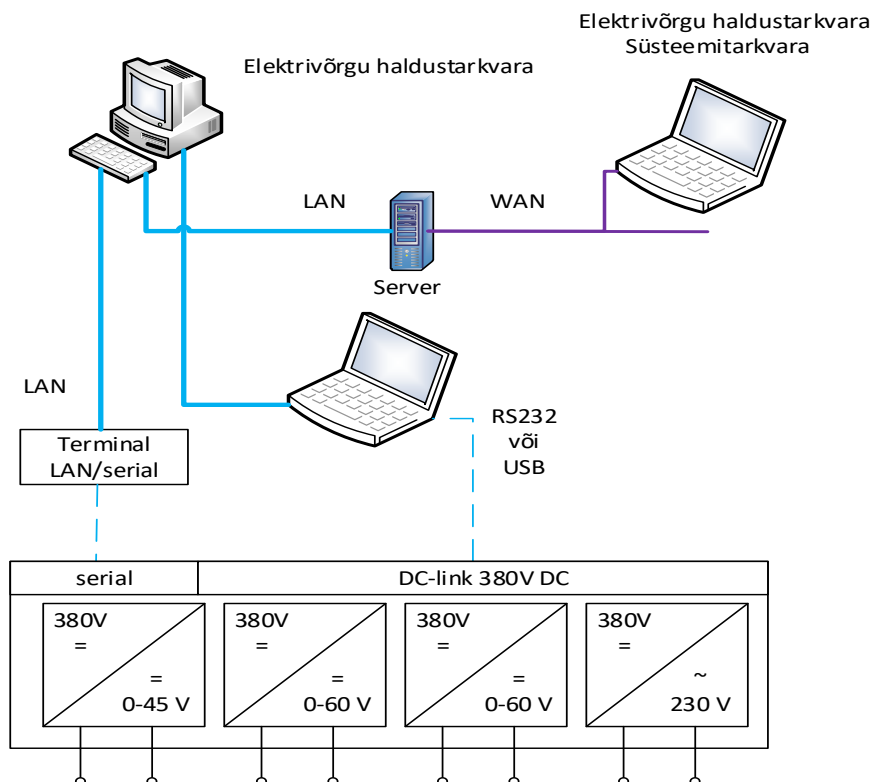
Tarkvara ModuleConfigSuite V124 võimaldab teostada muunduritega järgmisi funktsionaalseid võimalusi [10]:

- elektriliste ja mitteelektriliste väärtuste mõõtmine;
- mõõdetud väärtuse reguleerimine ja teisendamine;
- mõõteseadmete kalibreerimine;
- mõõdetud väärtuste ja parameetrite jäädvustamine, hindamine ja registreerimine.

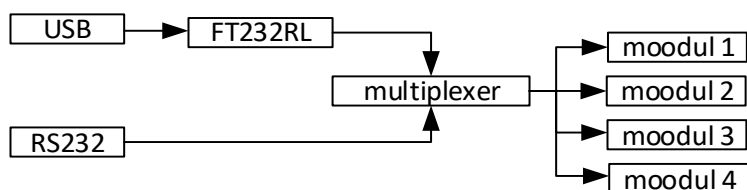
Olemasolevas projektdokumentatsioonis puudub informatsioon ModuleConfigSuite V124 muundurite seadistamise ja jälgimise kohta, seega pole teada, kas seadistamine teostati süsteemi väljaehitamise juures või seda tehti ka hilisemalt ning kas selle jaoks kasutati eraldiseisvat arvutit või teostati seda mikrovõrgu serverist.



Joonis 2.3 Flexiva DC-muundur [11]



Joonis 2.4 Flexiva muunduri andmeühendus [11]



Joonis 2.5 Kommunikatsiooniliidesed ja distributsiooni seadmed

Ülikondensaator- ja akupatarei mooduli põhilised süsteemipuudused kaardistati tabelis (Tabel 2.3). Kaardistamisel on lähtunud sellest, et olemasolevaid seadmeid elektrikilbis oleks võimalik uuesti kasutusele võtta kas sama projekti raames või muude ülikooli õppe- või teadustööde raames.

Tabel 2.3 Puudused ülikondensaator- ja akupatarei moodulis

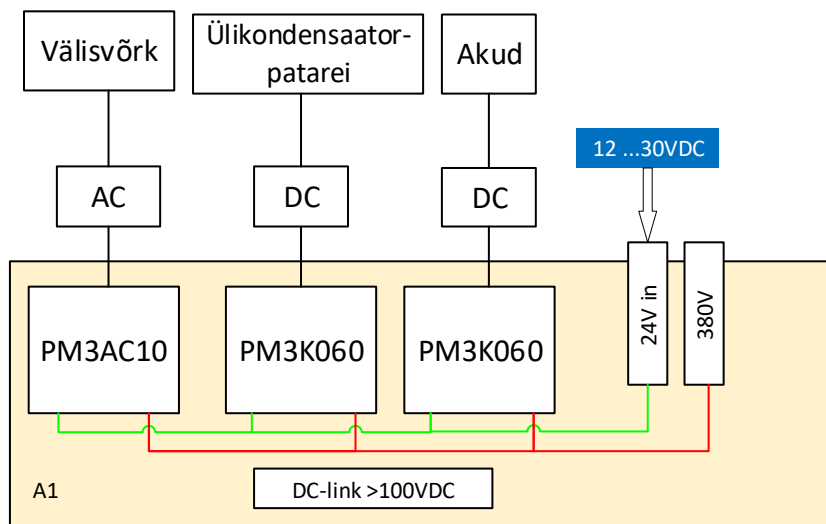
Nr	Puudused	Märkused
1	Flexiva DC/DC Zemis PM3K060 ja AC/DC Zemis PM3AC10 muundurid	Demonteeritud mingil ajaetapil. Teadaolevalt on demonteerimise põhjuseks muundurite rikked ja nendest tulenev süsteemi seisak.
2	Akud Vitron Energy - AGM Deep Cycle Aku 12 V, 220 Ah	Demonteeritud mingil ajaetapil ja tõstetud teise elektrikilpi. Puudub info seadmete viimasest kasutamisest ja mõõdistustest selleks, et mõista nende kasutuskölblikkust. Saab oletada seda, et kuna akud tühjenevad 2% kuus ja säilituspinge on minimaalselt 13,5 V, siis akude eluiga on tunduvalt lühem. Uues projekteeritavas mikrovõrgus antud seadmeid ei rakendata.
3	Ülikondensaatorpatarei Maxwell BMOD0165 P048 B01	Demonteeritud mingil ajaetapil ja tõstetud teise elektrikilpi. Puudub info viimasest laadimisest. Kuna seadmed on vanad ja kasutamise kohta puudub info, samuti ei teostatud mahtuvuse testi, siis on otsustatud, et antud seadmeid ei rakendata uues projekteeritavas mikrovõrgus.
4	Käiduraamat	Puudub käiduraamat, samuti pole dokumenteeritud EK2 probleeme ja sellega kaasnenud toiminguid. Samuti ettevõttelt Energiatehnika OÜ, kes on rajanud antud laboratooriumi, puudub tänaseni probleemide kokkuvõtlik informatsioon.
5	Kaablite märgistused	Vaatluse käigus tuvastati, et juhtmete ja kaablite ning olemasolevate seadmete tähistused on kohati puudulikud.
6	Andmeühendus	On säilinud füüsiline ühendus. Mõõdistust ei viidud läbi, kuna olemasolevat andmeühendust ei rakendata uues mikrovõrgu projektis.
7	Mõõteseadmed	Projekteeritud mõõteseadmed on kilbis alles.

Vastavalt tabelile (Tabel 2.3), mis on kaardistatud vastavalt olemasolevale olukorrale, on elektrikilbis EK2 puudu muundurid ja elektrienergiat salvestavad seadmed.

Andmeühendus juhtimis- ja analüüsikompleksi juhtkontrolleriga teostati RS485 liidesega. Üleminekuks RS232 liidesele kasutati konverterit Delta IFD8520 ja RS232 liideste adresseerimiseks juhtkontrolleri vastavaid väljundeid.



Joonis 2.6 ZEMIS Energy Kit [9]



Joonis 2.7 Moodul A1 muundurite kompleks EK2



Joonis 2.8 Olemasolevad kaabliteed ruumis NRG-102

Olemasoleva mikrovõrgu nõrkvoolukaablite säilivuskontrolli ei teostatud, teostati kontroll paigaldatud kaabliteedele (Joonis 2.8). Kontrollimisel ei tuvastatud mehaanilisi rikkeid, mis takistaksid kaabliredelite taaskasutuselevõttu.

2.3 Kütuseelemendi komplektid

Antud peatükis analüüsitakse olemasolevas mikrovõrgus paiknevat kütuseelemendi komplekti, mis paikneb Tallinna Tehnikaülikooli energeetikaosakonna ruumis NRG-102 elektrikilbi tähisega EK3 (Joonis 2.10). Kütuseelemendi komplekti kuuluvad kütuseelement, elektrolüüser, gaasiballoonid, gaasitorustik ning vesiniku kaitseseadmed ja -ahelad. Kütuseelement ja elektrolüüser on paigutatud kilpi EK3. Gaasiballoonid asuvad õues paiknevas kilbis, vesiniku andur ruumi NRG-102 laes. Kõik elektrikilbis EK3 paiknenud seadmete nimistu, funktsioon ja kogused on välja toodud tabelis, vt. Lisa L2.4 Seadmete ja aparatuuride loetelu – EK3. [8]

Kütuseelemendi komplekti põhilised süsteemipuudused kaardistati tabelis (Tabel 2.4). Kaardistamisel on lähtutud sellest, et olemasolevaid seadmeid elektrikilbis oleks võimalik uuesti kasutusele võtta kas uues projekteeritavas mikrovõrgus või ülikooli muus õppe- või teadustöös.

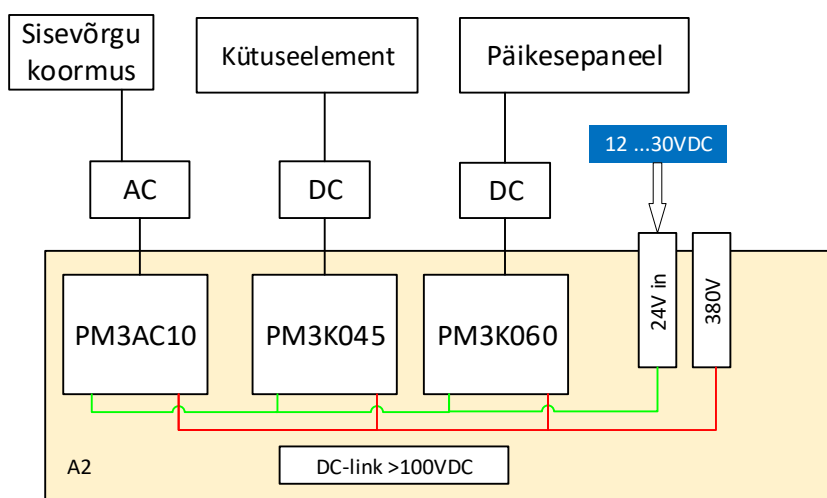
Tabel 2.4 Puudused kütuseelemendi komplektis

Nr	Puudused	Märkused
1	Flexiva DC/DC Zemis PM3K045 muundurid	Demonteeritud mingil ajaetapil elektrikilbist EK2. Teadaolevalt demonteerimise põhjus on muunduri rike ja sellest tulenev süsteemi seisak.
2	Kütuseelement Nexa 1200 Heliocentris	Ettevõtte Energiatehnika OÜ andmetel ei suuda kütuseelement välja anda tootja poolt lubatud nimivõimsust, milleks on 1200 W. Antud probleemi lahenduseks on uue kütuseelemendi paigaldamine.
3	Elektrolüüser H2 Gas Generator NMH2-1000	Tallinna Tehnikaülikoolis läbiviidud elektrolüüseri tehnilise kontrolli test 18. veebruaril. 2020 elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi poolt näitas seda, et antud seade ei suuda toota vesinikku piisava rõhuga, et täita vesinikuballoone. Antud probleemi lahenduseks on elektrolüüsergeneraatori remont.
4	Käiduraamat	Puudub käiduraamat, samuti pole dokumenteeritud EK3 probleeme ja sellega kaasnenud toiminguid.
5	Kaablite märgistused	Vaatluse käigus tuvastati, et juhtmete ja kaablite ning olemasolevate seadmete tähistused on kohati puudulikud.
6	Andmeühendus	On säilinud füüsiline ühendus. Kaablid on veetud olemasolevasse juhtimis- ja analüüsikompleksi kaabli karbikus. Mõõdistust ei teostatud, kuna olemasolevat andmeühendust ei rakendata uues mikrovõrgu projektis.
7	Mõõteseadmed	Projekteeritud mõõteseadmed on kilbis alles.

Sarnaselt aku- energiasalvesti ja ülikondensaatori moodulile on kütuseelemendi komplekt ühendatud mikrovõrgu toitesiiniga tänu DC/DC muundurile, mis on paigutatud elektrikilpi EK2, kuhu oli komplekteeritud ettevõtte Flexiva poolt väljatöötatud lahendus, kus ühisesse korpusesse oli paigutatud kolm mõlemasuunalist muundurit, nendeks oli

sisevõrgukoormuste ühenduseks muundur ning kütuseelemendi ja päikesepaneelide muundurid (Joonis 2.9). Analoog/digitaal- ja digitaal/digitaalmuundurid on paigutatud kolmekaupatootja ühisesse korpusesse ZEMIS Energy Kit (Joonis 2.6). Korpusesisesed ühendused olid teostatud tootja poolt. Korpusel oli andmesideks RS232 liides. Vaadelava lahendusega andmevahetus ja seadistamine on kirjeldatud peatükis 2.2. Aku-energiasalvesti ja ülikondensaatori moodul.

Instituudi hinnangul antud seadet ei soovita edasiselt analüüsida uues planeeritavas mikro võrgus, kuna otsustati, et antud seadet ei ole mõistlik rakendada, sest vaadeldakse tulevikus antud seadme komplekti kapitaalremont või demonteerimist.



Joonis 2.9 Moodul A2 muundurite kompleks EK2



Joonis 2.10 Kütuseelemendi komplekt EK5

3. NÕUDED UUE MIKROVÕRGU ANDMESIDELE, INFOVAHETUSELE JA JUHTIMISELE

Antud peatükis antakse ülevaade sellest, millised nõuded kehtivad uuele laboratoorsele mikrovõrgu andmesidele, infovahetusele ja juhtimisele. Süsteemi aluseks võetakse eelmises peatükis välja toodud analüüs, mis andis ülevaate olemasoleva mikrovõrgu juhtimissüsteemi seisundist ja seadmete taaskasutamise võimalustest. Aluseks võetakse samuti esimese peatükis vaadeldud mikrovõrkude arhitektuursed ehitused, mille alusel on võimalik hakata koostama uut mikrovõrku. Planeeritava uue laboratoorse mikrovõrgu jaoks on saadud instituudipoolsed ootused lisaseadmete kasutamise osas, mida soovitakse laboratooriumis rakendada ja ka millist arhitektuurset lahendust soovitakse õppe- ja teadustöös rakendada. Arhitektuurseks süsteemiks on valitud ühise vahelduvvooluga siin (Joonis 1.3).

Olemasolevad seadmed ja uued seadmed energia tootmiseks, salvestamiseks ning juhtimiseks on järgmised:

- juhtimis- ja analüüsikompleks (mikrovõrgu juhtimine, meteoroloogiajaamalt andmete tugi-, sisevõrgu ja välisvõrgu andmeside, andmebaas, juhtimissüsteemi tarkvara, veebiliides, kohthaldus, kaughaldus, jms);
- aku-energiasalvestus;
- ülikondensaator;
- mootorgeneraator;
- hooratas-energiasalvestus;
- päikesepaneelid.

Järgnevalt tuuakse välja Rahvusvahelise Elektrotehnika Komisjoni (edaspidi ICE) poolt kaardistatud mikrovõrgule kehtivaid standardid. Samuti vaadeldakse ICE poolt mikrovõrgus kasutatavaid infovahetus ja -juhtimise standardeid. Lisaks vaadeldakse Eesti Standardikeskus standardit EVS-EN 50160:2010+A1+A2+A3:2019 „Toitepingele pealdatud võrgu kommunikatsioonipinged“.

3.1 Mikrovõrgu andmeside protokollid

Antud magistritöös antakse ülevaade kehtivatest protokollidest mikrovõrgule, mille alusel oleks võimalik teostada hilisemalt seadmete soovituslikku valikut süsteemi loomisel tehtavate otsuste osas.

Rahvusvahelise Elektrotehnika Komisjon on koostanud nimekirja erinevatest normidest, mis moodustavad põhiohused mikrovrõrkudele ja tarkvrõrkudele. Vaadeldavad standardid annavad aluse mikrovrõrkudele, mis mõjutavad mikrovrõrgu rakendusi ja juhtimislahendusi. [12] Nõuded on välja toodud tabelites (Tabel 3.1).

Lisaks põhistandarditele on ICE välja toonud teatud standardid, mis on olulised mikrovrõrkude kontekstis (Tabel 3.2). [12]

Tabel 3.1 Mikrovrõrguga juhtimisega seotud põhistandardid [12]

Põhistandard-kogum	Standardi kirjeldus
IEC 61970 IEC 61968	Ühtne Infomudel (CIM) Rakendatavus: tootmise haldamise süsteemid, energiahalduse süsteem (EMS), jaotuse haldamise süsteem (DMS), jaotuse automaatika (DA), alajaama automaatikasüsteem (SAS), hajutatud energiaressursid (DER), edasijõudnud mõõtetaristu (AMI), nõudluskaja (DR), energiasalvestid
IEC 62325	Ühtne Infomudel (CIM) baseeruv elektrituru infovahetus Rakendatavus: tootmise haldamise süsteemid, energiahalduse süsteem (EMS), jaotuse haldamise süsteem (DMS), hajutatud energia ressursid (DER), edasijõudnud mõõtetaristu (AMI), nõudluskaja (DR), arvestitega seotud tugisüsteemid, energiasalvestid
IEC 61850	Elektrivõrgu automaatika, hüdroenergeetika andmeside, hajutatud energia ressursid andmeside (DER) Rakendatavus: Tootmise haldamise süsteemid, energiahalduse süsteem (EMS), jaotuse haldamise süsteem (DMS), jaotuse automaatika (DA), alajaama automaatikasüsteem (SAS), hajutatud energia ressursid (DER), energiasalvestid, e-mobiilsus
IEC 62056	Partneri Täpsustus Energia Mõõtmisteks (COSEM) Rakendatavus: jaotuse haldamise süsteem (DMS), hajutatud energia ressursid (DER), edasijõudnud mõõtetaristu (AMI), nõudluskaja (DR), nutikodu süsteemid, energiasalvestid, e-mobiilsus, arvestite näitude kogumine, tariifi ja koormuste juhtimine
IEC 62351	Rakendatavus: Süsteemide turvalisus
IEC 61508	Rakendatavus: Elektri-, elektroonika ja programmeeritavate elektroonikaseadmetega seotud süsteemide funktsionaalne turvalisus

Tabel 3.2 Olulised standardid tarkvõrgu seisukohast [12]

Põhistandard-kogum	Standardi kirjeldus
IEC 62357	Elektrivõrkude referentsarhitektuur – SOA Rakendatavus: energiahalduse süsteem (EMS), jaotuse haldamise süsteem (DMS), hajutatud energia ressursid (DER) talitluse süsteemid, turu- ja kauplemissüsteemid, nõudluskaja (DR) süsteemid, arvestitega seotud tugisüsteemid
Põhistandard-kogum	Standardi kirjeldus
IEC 60870-6	TASE2 juhtkeskuse sisene infovahetus Rakendatavus: energiahalduse süsteem (EMS), jaotuse haldamise süsteem (DMS)
IEC/TR 61334	DLMS Rakendatavus: edasijõudnud mõõtetaristu (AMI)
IEC 61400-25	Tuulegeneraatorite andmeside Rakendatavus: DER talitlussüsteemid (tuulepargid), energiahalduse süsteem (EMS), jaotuse haldamise süsteem (DMS)
IEC 61851	EV-infovahetus Rakendatavus: E-mobiilsus, Nutikodu süsteemid, Hooneautomaatika süsteemid
IEC 62051-54/58-59	Standardid mõõtmisele ja arvestitele Rakendatavus: jaotuse haldamise süsteem (DMS), hajutatud energia ressursid (DER), edasijõudnud mõõtetaristu (AMI), nõudluskaja (DR), nutikodu süsteemid, energiasalvestid, e-mobiilsus

3.2 Infovahetus ja -juhtimine

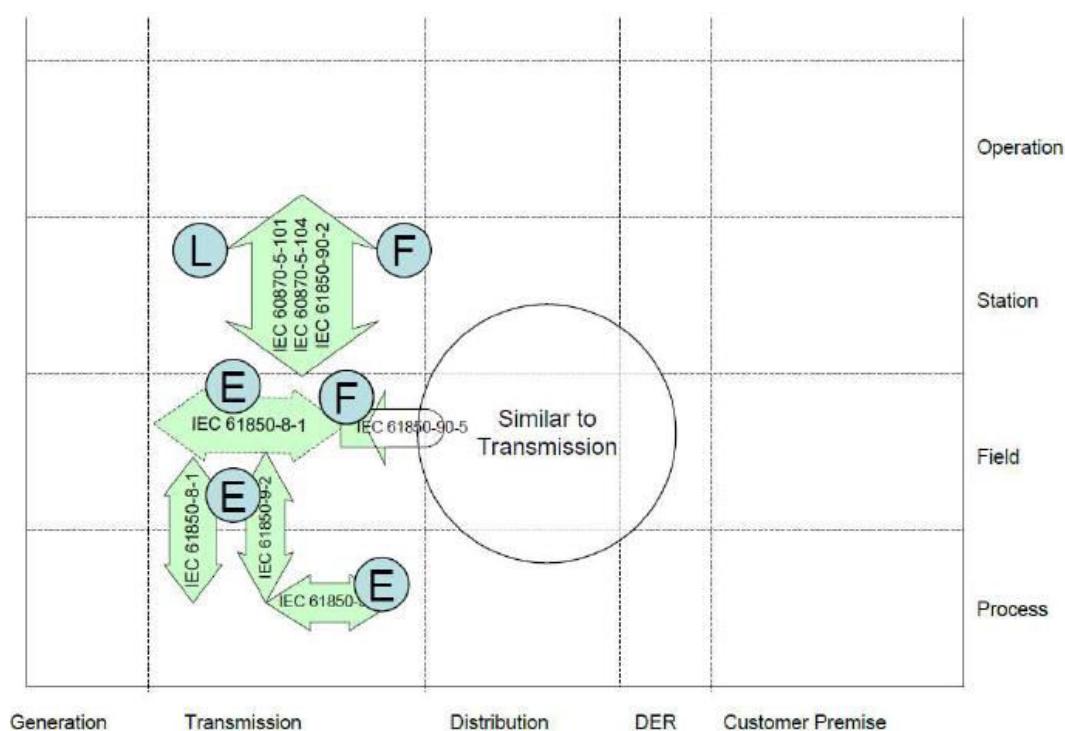
Eelnevas alapeatükis vaadeldi standardeid, mis annavad aluse laboratoorse mikrovõrgu planeerimisel süsteemi loomisele.

Standard IEC 61850 on mõeldud alajaamaautomaatika, kommunikatsiooni ja andmete struktureerimiseks. See võimaldab luua alajaamade ja jaotuskeskuste süsteemi infovahetuse kommunikatsiooniprotokolli. Standard hõlmab endas järgmiseid ka jaotisi [2]:

- protsessi tasand, mis sisaldab I/O seadmeid, andureid ja täitureid;
- seadmekomplekti/üksuse tasand, mis sisaldab kaitse ja juhtimiseseadmeid;
- alajaama tasand, mis sisaldab alajaama operaatore arvutustehnikat ja liidest väljapoole alajaama.

Kirjandusallikate alusel on jaotatud:

- „Alajaamasiseselt kasutatakse EN 61850-8-1 (kõiksuguste andmevoogude jaoks, va valimi väärtused) ja EN 61850-9-2 (valimi väärtuste jaoks) protokolle, mis toetavad eelnevalt määratud kõrgema tasandi kasutusjuhte. Lisaks annab IEC 61850-90-4 juhiseid alajaamasestest andmesidevõrkude ehitamiseks. IEC/EN 61850 asendab suurel määral EN 60870-5-103 standardi, mis on kasutusel kaitserleede omavahelise suhtluse teostamisel. MV/LV alajaamad on spetsiifilisema iseloomuga, mistõttu kasutatakse nendes enamjaolt tööstuslikke andmesidevõrke.“ [12]
- „Alajaamaväliselt võib baseeruda vertikaalne andmeside EN 60870-5-101 või 104 standardil ning horisontaalne andmeside IEC 61850-90-5 (täielik kaardistamine üle UDP) või IEC 61850-90-1 (tunneldamine) standardil. Tulevikus võib vertikaalne andmeside baseeruda IEC 61850-90-2 standardil (juhised juhtimiskeskustele IEC/EN 61850 kasutamiseks), tagamaks IEC 61850 standardi perekonnaga ühilduv arhitektuur. Veebiteenuste tehnoloogiast lähtudes on arendamisel IEC/EN 61850 standardi täiendatud kaardistamine (IEC 61850-8-2), et suurendada turvalisust ning lihtsustada IEC/EN 61850 rakendatavust väljaspool alajaama.“ [12]

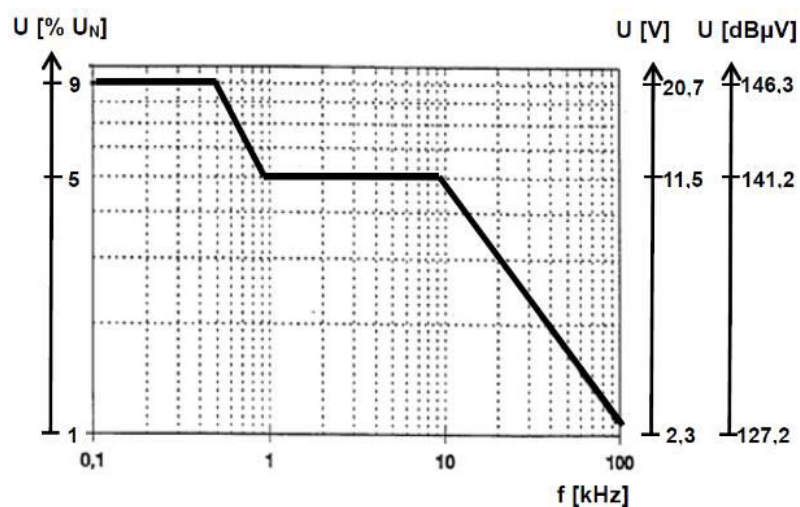


Joonis 3.1 Alajaama automaatika – andmeside kiht [12]

3.3 Toitepingele pealdatud võrgu kommunikatsioonipinged

Standardist tulenevad nõuded toitepingele pealdatud võrgu kommunikatsioonipingetele. Standardis on sätestatud, et ööpäevas peab võrgukäitaja avalikes elektrivõrkudes kasutatava kommunikatsioonipinge 3-sekundi keskmine väärtus jääma 99% ajast alla (Joonis 3.2) toodud nivoo sõltuvalt sagedusest.

NB! Standardi kohaselt ei ole lubatud võrgukasutajate omavaheline kommunikatsioon. Kuid siiski on arvestatud, et sagedus vahemikus 95 kHz kuni 148,5 kHz võib esineda nende sageduste pingeid kuni 1,4 V efektiivväärtusega. [13]



Joonis 3.2 Avalike madalpingevõrkude signaalipinge nivood

Elektrivõrgu käitaja kasutatavad signaalid [13]:

Madalasageduslikud kaugjuhtimissignaalid toitepingele pealdatud siinus signaalid sagedusvahemikus 110 Hz kuni 3 kHz.

Kandesagedussignaali, siinussignaali vahemikus 3 kHz kuni 148,5 kHz.

Võrgu märgistussignaalid, pingekõvera valitud punktidele pealdatud lühiajalised transient pingemuutused.

4. UUE MIKROVÕRGU NÕRKVOOLU KONTSEPTSIOON

Antud peatükis koostatakse projekteeritavale mikrovõrgule nõrkvoolu kontseptsioonilist alust, mis annaks aluse uue mikrovõrgu juhtimissüsteemi planeerimisele ja projekteerimisele ning sobilike seadmete valikuks. Vaadeldakse mikrovõrgule ja selle osadele esitatavaid põhivajadusi funktsionaalsest seisukohast.

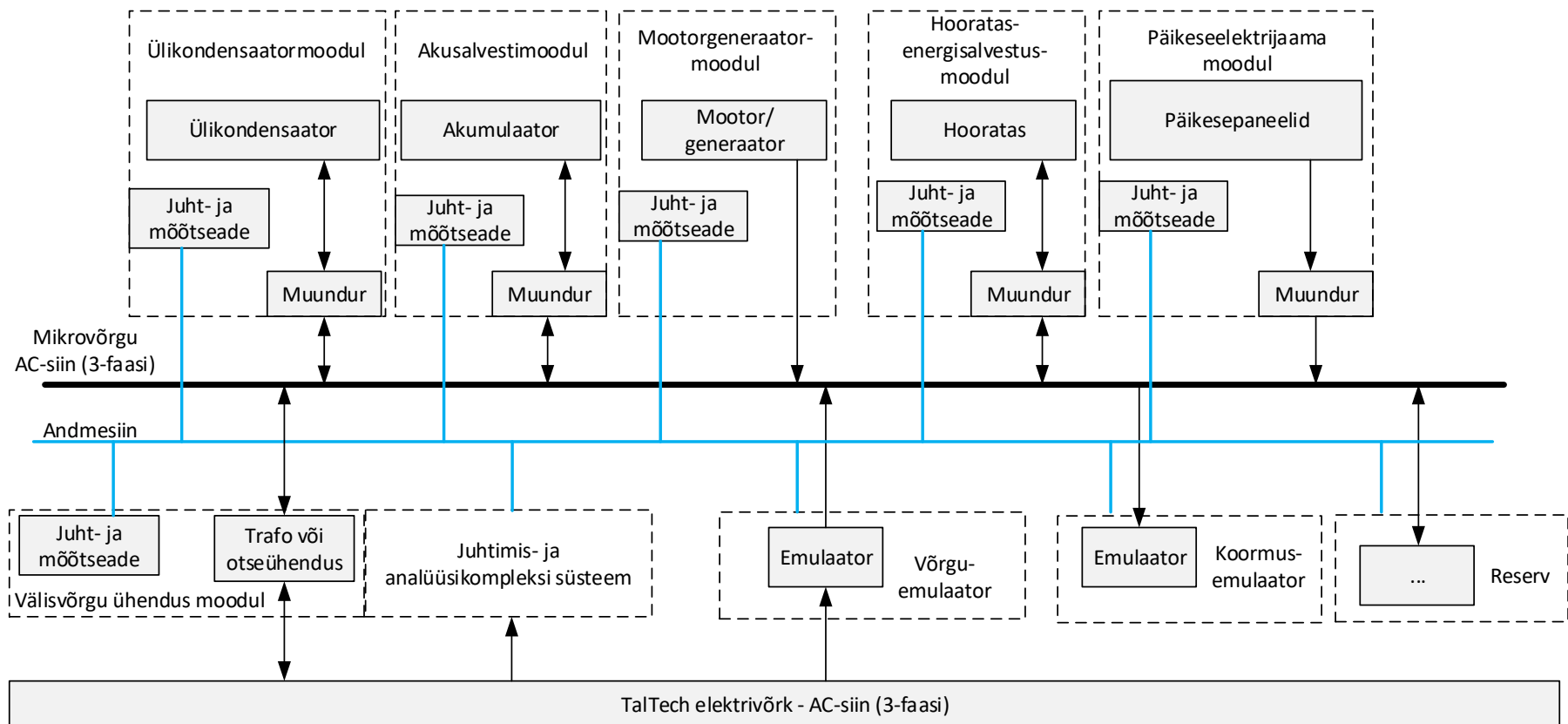
Antud magistritöös lähtutakse mikrovõrgu planeerimisel moodulipõhiselt, kus vaadeldakse elektri energiasalvestust, tootmis- ja tarbimisseadmeid eraldiseisvate komplektidena.

Mikrovõrgu projekteerimisel, vastavalt joonisele (Joonis 4.1), lähtutakse instituudi soovist ehitada välja 3x230 VAC-siinil põhinev uus mikrovõrk järgmises kompleksuses: SCADA juhtimis- ja analüüsikompleks, mootor-generaator komplekt, ülikondensaatori komplekt, aku-energiasalvesti, hooratas-energiasalvesti, päikeseelektrijaam, Tallinna Tehnikaülikooli elektrivõrk ja reservliidesed süsteemi laienduseks. Samuti lisatakse programmeeritav koormusemulaator ja võrguemulaator.

Uue energiamoodulina lisatakse TalTech-poolse soovina olemasolev mootorgeneraatorseade, mis on ladustatud ruumi NRG-102.

Mikrovõrgu mõõteseadmete valikul tuleks lähtuda moodulipõhiselt, et oleks võimalik mõõta erinevate energiaallikate elektrilisi parameetreid, muuta nende väärtuseid tehes süsteemis ümberlülitusi, selleks kas lülitada juurde süsteemi elektrilist koormust või lisada juurde energiaallikaid. Andmed visualiseeritakse operaatorpaneelil ja arhiveeritakse andmebaasi. Samuti kuvatakse ja salvestatakse kõik rikketeated andmebaasi. Jälgitakse süsteemi moodulite temperatuure, mis kuvatakse ja salvestatakse andmebaasi. Salvestatud andmeid esitatakse lokaalselt süsteemi juures paikneval arvutiekraanil, mida antud töös vaadeldakse SCADA tööjaama, kus on võimalik jälgida reaajas toimuvat ning võtta välja ajalugu.

Järgnevates alapeatükkides kaardistatakse moodulitele esitatavad nõudmised, mille põhjal oleks hiljem mikrovõrgu planeerimisel võimalik teostada seadmete valik.



Joonis 4.1 Uue mikrovõrgu energiasüsteemi struktuur

4.1 Juhtimis- ja analüüsikompleksile esitatavad kontseptsioonilised nõuded

Laboratoorse mikrovõrgu projekteerimisel on oluline töökindlus ja turvalisus, mille eest vastutab juhtimis- ja analüüsikompleksi süsteem. Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi vajadustest sõltuvalt on kaardistatud järgmised funktsioonid (Joonis 4.2). Vastavalt eelnimetatud funktsioonidele saab loetleda põhilised juhtimissüsteemil esitatavad nõudmised:

- juhtimistarkvara;
- andmete talletamise võimekus;
- info kuvamine;
- andmeside tugi ja võrgustruktuur;
- alamseadmete juhtimisvõimekus;
- reservtoite lahendus;
- võrgu turvalisus.

Laboratoorse mikrovõrgu andmeside põhinõuded määravad ära andmeedastusmahud. Planeeritava mikrovõrgu optimaalse andmeedastusmahu planeerimiseks tuleks analüüsida soovitud teenustele kuluvat mahtu, millest hakkab sõltuma serveriarhitektuur. Näitena võib tuua kasutatava tarkvara ja andmebaasid ning veebilehtedelt infopäringu. Samuti võib tuua näitena, et kas süsteem hakkab edastama heli ja pilte.

Vaadeldava laboratoorse mikrovõrgu andmekaablite valiku määrab nõutud edastusvõimsus ja edastusseadmete vaheline kaugus. Andmevõrgu planeerimisel tuleks arvestada laboratoorsete seadmete asukohtadega, kuhu tuleb hakata kaableid paigaldama ja kasutama, vaadelda tuleks trasse ja ümbritsevat keskkonda. Süsteemi kontseptsioonilisel planeerimisel tuleks arvestada, et lõppseadmete maksimaalne kaugust vastavalt normile on EVS-EN 50173-1:2018.

Laboratoorse mikrovõrgu andmeside võrgu väljaehitamiseks kasutada täht-topoloogiat. Vaadeldava süsteemi eeliseks on:

- süsteemis paiknevate seadmete andmeühendus kaabli üksik kahjustus mõjutab ainult seda seadet, mis on vigasaanud andmekaabliga ühendatud;
- tsentraalselt on võimalik muuta seadmete jaotamist ja samuti muuta, eemaldada üksikuid energiatootmiseseadmeid;

- vaadeldava topoloogiaga on võimalik teostada ka teisi võimalikke loogilisi topoloogilise ühendusskeeme.

Vaadeldava topoloogia puudused on järgmised:

- peajuhtimissüsteemi rikke korral langevad kommunikatsioonist välja kõik sellega ühendatud energia tootmis-, salvestamis- ja tarbimisseadmed, mis tähendab, et edasine mikro võrgu töö on häiritud;
- kaablitööd on mahukad, kuna iga seade on eraldi ühendatud.

Mikro võrgu kaughalduse ja monitooringu eesmärgil peab juhtimis- ja haldamissüsteemi ühendama TalTech-i sise võrgu süsteemiga. Väljaehitamisel peaks kaughallatava mikro võrgu parameetreid ja seadistusi haldama süsteemi administraator. Vastavalt standardile EVS-ISO/IEC 27033-5:2014 peaksid süsteemi turvanõuded olema järgmised:

- ligipääs mikro võrgu juhtimissüsteemile ja teistele energia tootmis-, salvestamis- ja tarbimismoodulitele peab olema piiratud või kaitstud VPN-ga;
- autentimisel peab kasutama krüpteeritud parooliedastust ja suurema turvalisuse tagamiseks tuleks rakendada kaheastmelist autentimist;
- süsteemi kasutajakontod peavad olema isikupõhised;
- kasutajate sisselogimised, sisseviidavad muudatused ja andmepäringud peavad olema salvestatud andmebaasi;
- süsteemi kasutajate paroolid peavad olema süsteemselt keerukad.

Ohud, mis kaasnevad kohaliku andmesidesüsteemi ühendamisega laivõrku:

- kasutajate paroolide pealtkuulamise süsteemid;
- süsteemis olevate paroolide mõistatamine;
- ebasobiva VPN krüpteermismeetodi valik;
- puudulik paroolide vahetamise ajavahemik ja paroolide pikkuste ning sisude hooldus.

Mikro võrgu juhtimis- ja analüüsikompleksi moodulis tuleks rakendada programmeeritavat loogikakontrollerit, millele oleks võimalik tulevikus lisada vajadusel laiendusmooduleid. Seade peab vastama rahvusvahelisele standardile IEC 61131. Standardi kasutamise eesmärgiks on vähendada süsteemi hilisema arendamise ja täiendamisega seotud väljaõppekulusid. Süsteemi loogikakontrolleri valikul tuleks lähtuda ka programmeerimise funktsionaalsest toest, kus oleks võimalik kasutada üldotstarbelist interpreteeritavat programmeerimiskeelt, nagu näiteks Python.

Laboratooriumis tuleks rakendada operaatorpaneel juhtimisekompleksis, kus oleks võimalik kõigile võimalikele seadistatavatele süsteemi komponentidele teostada tarkvaraliselt käsi- ja automaatjuhtimist, sh prioriteetide sisestamist. Laboratooriumi seadmete katsetamisel on pea PLC juhtimises välistatud testimiskombinatsioonid, mis võivad ohustada seadmeid ja kogu süsteemi.

Juhtimis- ja analüüsikompleksi elektrienergia ressursi ja salvestatud energia puudumist monitoorib iga mikrovõrgu moodul iseseisvana kui ka pea juhtimissüsteemi kontrollid.

Funktsionaalselt peab planeeritava mikrovõrgu nõrkvoolu süsteemistruktuur võimaldama nii lisada kui eemaldada olemasolevaid energiamoduleid, ilma et süsteemis tekiks seisak või avariolukord. Vastavalt sellele oleks võimalik juhtimissüsteemile ette näha elekritoite paigaldiseks järgmist funktsionaalset talitlusviisi: käsijuhtimine üksikseadmete või seadme gruppide katsetamiseks, kus kasutaja saaks valida välja kindlaksmääratud üksikseadmed.

Mikrovõrgu juhtimis- ja analüüsikompleksi kuuluvate seadmete oma elektriühendused tuleks teostada eraldiseisvana mikrovõrgu elektrisüsteemist, vältimaks süsteemi katsetamisel juhtimissüsteemi vigastamist.

Juhtimis- ja analüüsikompleksi süsteemis peab olema kasutajaliidesel esitatavate andmete uuendamissageduse võimekus, näiteks vahemikus 1 sekund kuni 1 minut. Andmebaasi kõikide parameetrite salvestamise ja arhiveerimise aeg ehk sagedusmuutmise võimekus peab olema kasutajale vabalt seadistatav vahemikus 1 sekund kuni 5 minutit.

Toitepinge lohkude kestvuse mõõtmisel arvestatakse sisse ka hüsterees 2%. See tähendab, et pinge tõustes või languses üle 10 % lõppeb pinge muhk ajahetkel mil pinge on 2 % kaugusel lubatud maksimumist ja miinimumist, vastavalt siis ± 8 % nimipingest.

Statistika kogumise korral liigitatakse pinge lohkusid Tabel 4.1 ja muhkusid Tabel 4.2 järgi. Need tabelid võimaldavad klassifitseerida omavahel võrreldavaid sündmusi. Nendes tabelites on määratud jääkpinge või ülepinge väärtuste vahemikud ja neid liigitatakse veel omakorda lähtuvalt nende kestvusest. Kolmefaasilistes süsteemides kogutakse kõikide faaside kohta koondinfot (pikim kestuse ja vähim jääkpinge või suurim pinge). Standardis on määratud ka igale konkreetsele sündmuse liigile oma lahtri tähis, tähistused on esitatud pinge lohkude ja muhkude tabelites.

Tabel 4.1 Pinge muhkude liigitus

Muhu pinge u %	Kestus t ms		
	$10 \leq t \leq 500$	$500 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$u \geq 120$	Lahter S1	Lahter S2	Lahter S3
$120 > u > 110$	Lahter T1	Lahter T2	Lahter T3

Tabel 4.2 Pinge lohkude liigitus

Jääkpinge u %	Kestus t ms				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1000$	$1000 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$90 > u \geq 80$	Lahter A1	Lahter A2	Lahter A3	Lahter A4	Lahter A5
$80 > u \geq 70$	Lahter B1	Lahter B2	Lahter B3	Lahter B4	Lahter B5
$70 > u \geq 40$	Lahter C1	Lahter C2	Lahter C3	Lahter C4	Lahter C5
$40 > u \geq 5$	Lahter D1	Lahter D2	Lahter D3	Lahter D4	Lahter D5
$5 > u$	Lahter X1	Lahter X2	Lahter X3	Lahter X4	Lahter X5

Standardis on kehtestatud nõuded võrgusagedusele. Meil kehtivate nõuete kohaselt peab toitepinge sagedus olema 50 Hz. Võrgu normaaltalitusel peab 10 sekundi vältel mõõdetud sageduse keskväärtus olema [13]:

- võrguga sünkroonselt ühendatud ehk *on-grid* võrkudes aasta vältel vahemikus 50 Hz $\pm 1\%$ (49,5...50,5 Hz). Aasta vältel 0,5% ajast võib olla ka vahemikus 50 Hz $+4\%$ / -6% (47...52 Hz);
- võrguga sünkroonselt ühendamata ehk *off-grid* võrkudes nädala vältel vahemikus 50 Hz $\pm 2\%$ (49...51 Hz). Nädala vältel 5% ajast võib olla ka vahemikus 50 Hz $\pm 15\%$ ehk (42,5...57,5 Hz).

Tuleb lisada, et standard lubab ka laiemas vahemikus sageduse kõikumist erakorralistes tingimustes. [13]

Standardis EVS-EN 50160:2010+A1+A2+A3:2019 on kehtestatud nõuded toitepinge värelusele. Toitepinge värelus normaaltingimustes peab olema nädala vältel 95 % ajast väiksem või võrdne ühega. [13]

Lühiajalist värelustugevust mõõdetakse 10 minuti vältel P_{st} . Pikaajaline värelustugevus P_{lt} arvutatakse 2 tunni vältel 12 mõõdetud lühiajalisest värelustugevusest P_{st} valemiga (4.1).

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st,i}^3}{12}} \quad (4.1) [13]$$

kus P_{lt} - pikaajaline värelustugevus;
 P_{st} - lühiajaline värelustugevus.

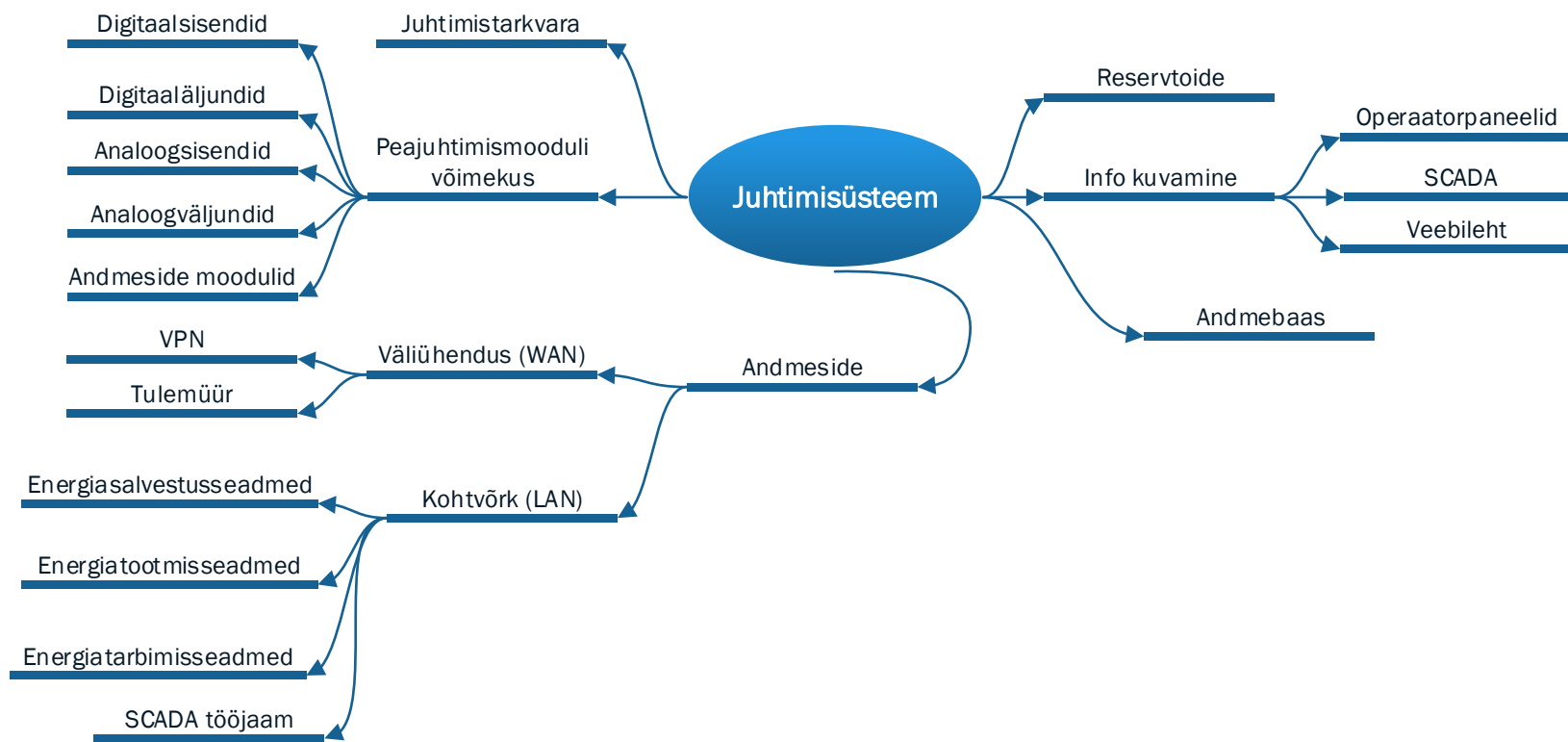
Standardist EVS-EN 50160:2010+A1+A2+A3:2019 "Avalike elektrivõrkude pingetunnussuurused" tulenevad nõuded harmoonilistele efektiivväärtustele. Normaalingimustes peavad harmooniliste 10-minutilise keskmise efektiivväärtused 95% ajast olema väiksemad, kui standardis toodud tabelis (Tabel 4.3). Toitepinge harmoonilismoonutustegur THD ei tohi olla suurem kui 8 % (kõik harmoonikute järgud kuni järguni 40). Standardis toodud tabelis harmoonikuid üle 25 järgu ei määratleta, kuna need on resonantsnähtuste tõttu muutlikud. Harmoonilismoonutusteguri THD saab leida valemiga (4.2). [13]

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2} \quad (4.2) [13]$$

kus U_h - harmooniku pingeline suhteline amplituudpinge põhikomponendi suhtes, h - on harmooniku järk;

Tabel 4.3 – Üksikute harmoonikute suurimad lubatud väärtused liitumispunktis protsendina põhiharmonikust [13]

Paaritud harmoonikud				Paarisharmoonikud	
3-ga jagumatud		3-ga jaguvad			
Järk h	Suhteline väärtus U_h	Järk h	Suhteline väärtus U_h	Järk h	Suhteline väärtus U_h
5	6,0%	3	5,0%	2	2%
7	5,0%	9	1,5%	4	1,0%
11	3,5%	15	1,0%	6 kuni 24	0,5%
13	3,0%	21	0,75%		
17	2,0%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				



Joonis 4.2 Mikrovõrgu juhtimissüsteemile esitatavad nõudmised

4.2 Välisvõrgu ühenduse mooduli esitatavad nõuded

Välisvõrgu ühenduse mooduli kaardistatud vajadused, mis on saadud sisendiks Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi poolt, on välja toodud joonisel (Joonis 4.3). Vaadeldava joonisel on välja toodud laboratoorsele mikrovõrgule esitatavad kontseptsioonilised nõudmised. Perspektiivsete tulevikulainetustega arvestatakse, et uued seadmed toetavad sama andmeside protokollid, mis olemasolevad. Kaardistamise vajadus seisnes selles, et hilisemalt saaks planeerimise ja projekteerimise peatükis rakendada seadmete valikul järgnevaid teadmisi:

- välisühendus elektrivõrguga (labori eesmärk projekteerida nõrk elektriliin ja nõrk trafo – eesmärgiks analüüsida laboris pingehälbeid nõrkades võrkudes);
- välisvõrguga sünkroniseerimine;
- faasi katkestusvõimekus (nt mikrovõrgus häirete genereerimine);
- andmesidesüsteemi moodulis paiknevatele seadmetele;
- juhtimissüsteemi võimekus;
- energia mõõtmise ja analüüsamise võimekus (Tabel 4.4).



Joonis 4.3 Välisvõrgu ühendusele esitatavad kontseptsioonilised nõudmised

Tabel 4.4 Välisvõrgu moodulile moodulilt andmelugemid

Suuruse nimetus	Mõõdetav	Arvutatav	Salvestatav	Kuvatav	Ühik
ON-grid AC pingeline	X		X		V
ON-grid AC vool	X		X		A
ON-grid AC võimsus		X	X	X	W
ON-grid AC energiatarve		X	X	X	kWh
OFF-grid AC pingeline	X		X		V
OFF-grid AC vool	X		X		A
OFF-grid AC võimsus		X	X	X	W
OFF-grid AC energiatarve		X	X	X	kWh
ON-grid AC-siini sagedus	X		X	X	Hz

Suuruse nimetus	Mõõdetav	Arvutatav	Salvestatav	Kuvatav	Ühik
OFF-grid AC-siini sagedus	X		X	X	Hz

4.3 Mootorgeneraatori moodulile esitatavad nõuded

Mootorgeneraatori ühenduse mooduli kaardistatud vajadused, mis on saadud sisendiks Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi poolt, on välja toodud joonisel (Joonis 4.4). Vaadeldaval joonisel on välja toodud laboratoorsele mikrovõrgule esitatavad kontseptsioonilised nõudmised, perspektiivsete tulevikulainetustega arvestatakse, et uued seadmed toetavad sama andmeside protokollide, mis olemasolevad. Kaardistamise vajadus seisnes selles, et hilisemalt saaks planeerimise ja projekteerimise peatükis rakendada seadmete valikul järgnevaid teadmisi:

- mõõtetulemused (nt. generaatori talitluse jälgimine),(Tabel 4.5);
- andmesideühendus;
- juhtimissüsteemi võimekus (nt. mootori juhtimisvõimekus, generaatori kasutamine mootori režiimis).



Joonis 4.4 Mootorgeneraatorile esitatavad kontseptsioonilised nõudmised

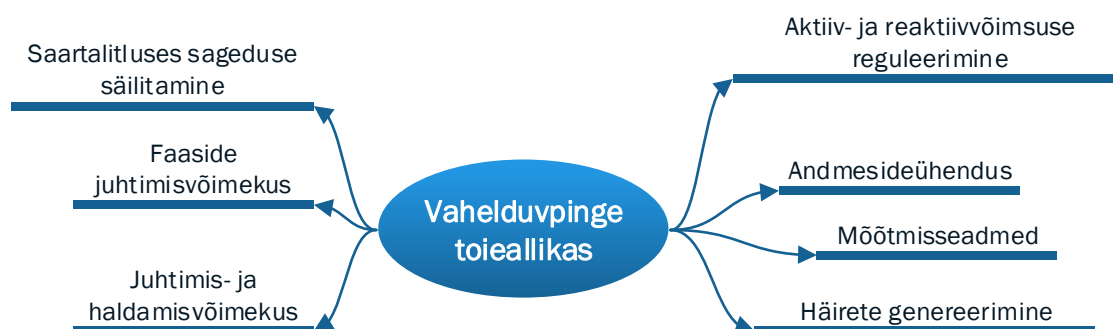
Tabel 4.5 Mootorgeneraatori moodulilt esitatavad andmelugemid

Suuruse nimetus	Mõõdetav	Arvutatav	Salvestatav	Kuvatav	Ühik
Mooduli sisendvool	X		X		A
Mooduli sisendpinge	X		X		V
Mooduli väljundvool	X		X		A
Mooduli väljundpinge	X		X		V
Mooduli sisendvõimsus		X	X	X	W
Mooduli väljundvõimsus		X	X	X	W
Mooduli energia muunduri sisendis		X	X	X	kWh
Energia muunduri väljundis		X	X	X	kWh

4.4 Vahelduvpinge toiteallika moodulile esitatavad nõuded

Vahelduvpinge toiteallika ühenduse mooduli kaardistatud vajadused, mis on saadud sisendiks Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi poolt, on välja toodud joonisel (Joonis 4.5). Vaadeldava joonisel on välja toodud laboratoorsele mikrovõrgule esitatavad kontseptsioonilised nõudmised, perspektiivsete tulevikulainetustega arvestatakse, et uued seadmed toetavad sama andmeside protokolle mis olemasolevad. Kaardistamise vajadus seisnes selles, et hilisemalt saaks planeerimise ja projekteerimise peatükis rakendada seadmete valikul järgnevaid teadmisi:

- reaktiiv- ja aktiivvõimsuse reguleerimise võimekus;
- saartalitluses sageduse säilitamine;
- faaside juhtimisvõimekus;
- juhtimis- ja haldamisvõimekus;
- andmesideühendus;
- häirete genereerimise võimekus;
- mõõtetulemused (Tabel 4.6).



Joonis 4.5 Vahelduvpinge toiteallikale esitatavad kontseptsioonilised nõudmised

Tabel 4.6 Vahelduvpinge toiteallika moodulilt esitatavad andmelugemid

Suuruse nimetus	Mõõdetav	Arvutatav	Salvestatav	Kuvatav	Ühik
AC toiteallika sisendvool	X		X		A
AC toiteallika sisendpinge	X		X		V
AC toiteallika väljundvool	X		X		A
AC toiteallika väljundpinge	X		X		V
AC toiteallika sisendvõimsus		X	X	X	W
AC toiteallika väljundvõimsus		X	X	X	W
AC toiteallika sisenev energia		X	X	X	kWh
AC toiteallika väljuv energia		X	X	X	kWh

4.5 Koormusemulaatori moodulile esitatavad nõuded

Koormusemulaatori mooduli kaardistatud vajadused, mis on saadud sisendiks Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi poolt, on välja toodud joonisel (Joonis 4.6). Vaadeldava joonisel on välja toodud laboratoorsele mikrovõrgule esitatavad kontseptsioonilised nõudmised, perspektiivsete tulevikulainetustega arvestatakse, et uued seadmed toetavad sama andmesideprotokoll, mis olemasolevad. Kaardistamise vajadus seisnes selles, et hilisemalt saaks planeerimise ja projekteerimise peatükis rakendada seadmete valikul järgnevaid teadmisi:

- reaktiiv- ja aktiivvõimsuse reguleerimise võimekus;
- andmeside ja kaughaldus;
- kolme faasilise koormamise võimekus (nt lineaarsete ja mittelineaarsete koormuste genereerimine);
- faaside juhtimise lülituse võimekus;
- mõõtetulemused (Tabel 4.7).



Joonis 4.6 Koormusemulaatorile esitatavad kontseptsioonilised nõudmised

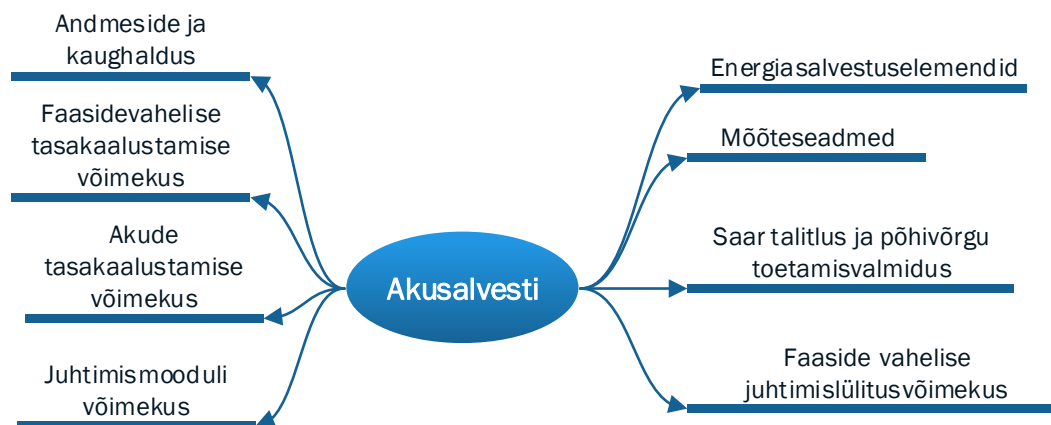
Tabel 4.7 Koormusemulaatori moodulilt esitatavad andmelugemid

Suuruse nimetus	Mõõdetav	Arvutatav	Salvestatav	Kuvatav	Ühik
Koormuse sisendvool	X		X		A
Koormuse sisendpinge	X		X		V
Koormuse sisendvõimsus		X	X	X	W
Koormuse sisenev energia		X	X	X	kWh

4.6 Aku-energiasalvestuse moodulile esitatavad nõuded

Aku-energiasalvestuse mooduli kaardistatud vajadused, mis on saadud sisendiks Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi poolt, on välja toodud joonisel (Joonis 4.7). Vaadeldaval joonisel on välja toodud laboratoorsele mikrovõrgu esitatavad kontseptsioonilised nõudmised, perspektiivsete tulevikulainetustega arvestatakse, et uued seadmed toetavad sama andmeside protokolle, mis olemasolevad. Kaardistamise vajadus seisnes selles, et hilisemalt saaks planeerimise ja projekteerimise peatükis rakendada seadmete valikul järgnevaid teadmisi:

- andmeside ja kaughaldus;
- faasidevahelise tasakaalustamise võimekus;
- akude tasakaalustamise võimekus;
- juhtimisvõimekus;
- mõõtetulemused (Tabel 4.8).



Joonis 4.7 Akusalvestile esitatavad kontseptsioonilised nõudmised

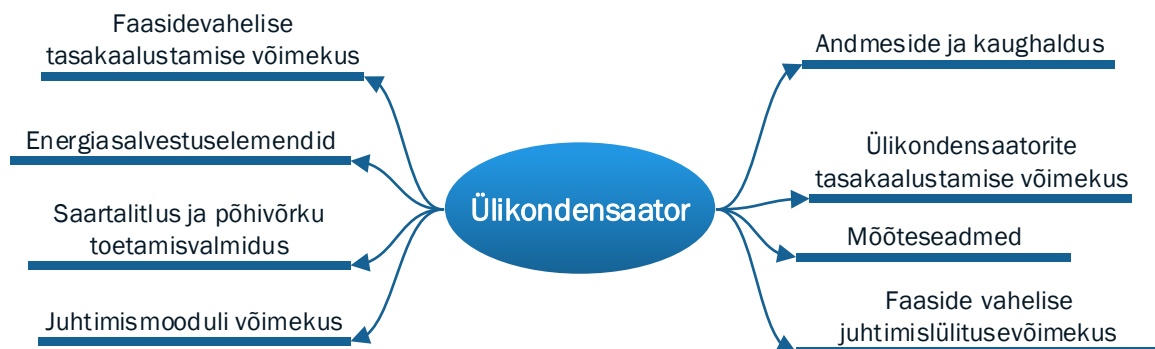
Tabel 4.8 Akusalvesti moodulilt esitatavad andmelugemid

Suuruse nimetus	Mõõdetav	Arvutatav	Salvestatav	Kuvatav	Ühik
Aku pinge	X		X		V
Aku vool	X		X		A
Aku võimsus		X	X	X	W
Aku temperatuur	X		X	X	°C
Aku laetusaste		X	X	X	%
Aku võimsus		X	X	X	kW

4.7 Ülikondensaatori moodulile esitatavad nõuded

Ülikondensaatori mooduli kaardistatud vajadused, mis on saadud sisendiks Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi poolt, on välja toodud joonisel (Joonis 4.8). Vaadeldava joonisel on välja toodud laboratoorsele mikrovõrgule esitatavad kontseptsioonilised nõudmised, perspektiivsete tulevikulainetustega arvestatakse, et uued seadmed toetavad sama andmeside protokollid, mis olemasolevad. Kaardistamise vajadus seisnes selles, et hilisemalt saaks planeerimise ja projekteerimise peatükis rakendada seadmete valikul järgnevaid teadmisi:

- faasidevahelise tasakaalustamise võimekus;
- energiasalvestuselement;
- saartalitluse ja põhivõrgu toetamise valmidus;
- juhtimismooduli võimekus;
- andmeside ja kaughaldus;
- ülikondensaatorite tasakaalustamise võimekus;
- mõõtetulemused (Tabel 4.9);
- faaside juhtimise lülitusvõimekus.



Joonis 4.8 Ülikondensaatorile esitatavad kontseptsioonilised nõudmised

Tabel 4.9 Ülikondensaatori moodulile esitatavad andmelugemid

Suuruse nimetus	Mõõdetav	Arvutatav	Salvestatav	Kuvatav	Ühik
Kondensaatori pinge	X		X		V
Kondensaatori vool	X		X		A
Kondensaatori võimsus		X	X	X	W
Kondensaatori laetusaste		X	X	X	%
Kondensaatori võimsus		X	X	X	kW

4.8 Hooratas-energiasalvestuse moodulile esitatavad nõuded

Hooratas-energiasalvestuse mooduli kaardistatud vajadused, mis on saadud sisendiks Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi poolt, on välja toodud joonisel (Joonis 4.9). Vaadeldava joonisel on välja toodud laboratoorsele mikrovõrgule esitatavad kontseptsioonilised nõudmised, perspektiivsete tulevikulainetustega arvestatakse, et uued seadmed toetavad sama andmesideprotokolli, mis olemasolevad. Kaardistamise vajadus seisnes selles, et hilisemalt saaks planeerimise ja projekteerimise peatükis rakendada seadmete valikul järgnevaid teadmisi:

- andmesideühenduse võimekus;
- juhtimismooduli võimekus;
- aktiiv- ja reaktiivvõimsuse reguleerimine;
- mõõtetulemused (Tabel 4.10).



Joonis 4.9 Hoorattale esitatavad kontseptsioonilised nõudmised

Tabel 4.10 Hooratta moodulile esitatavad andmelugemid

Suuruse nimetus	Mõõdetav	Arvutatav	Salvestatav	Kuvatav	Ühik
Sisendvool	X		X		A
Sisendpinge	X		X		V
Väljundvool	X		X		A
Väljundpinge	X		X		V
Sisendvõimsus		X	X	X	W
Väljundvõimsus		X	X	X	W
Sisenev energia		X	X	X	kWh
Väljuv energia		X	X	X	kWh

4.9 Päikeseelektrijaama moodulile esitatavad nõuded

Päikeseelektrijaama mooduli kaardistatud vajadused, mis on saadud sisendiks Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi poolt, on väljatoodud joonisel (Joonis 4.10). Vaadeldava joonisel on välja toodud laboratoorsele mikrovõrgu esitatavad kontseptsioonilised nõudmised, perspektiivsete tulevikulainetustega arvestatakse, et uued seadmed toetavad sama andmeside protokollid, mis olemasolevad. Kaardistamise vajadus seisnes selles, et hilisemalt saaks planeerimise ja projekteerimise peatükis rakendada seadmete valikul järgnevaid teadmisi:

- andemiseühenduse võimekus;
- juhtimismooduli võimekus;
- mõõtetulemused (Tabel 4.11);
- faaside juhtimise lülitusvõimekus.



Joonis 4.10 Päikeseelektrijaamale esitatavad kontseptsioonilised nõudmised

Tabel 4.11 Päikeseelektrijaama moodulile esitatavad andmelugemid

Suuruse nimetus	Mõõdetav	Arvutatav	Salvestatav	Kuvatav	Ühik
Muunduri sisendvool	X		X		A
Muunduri sisendpinge	X		X		V
Muunduri väljundvool	X		X		A

Suuruse nimetus	Mõõdetav	Arvutatav	Salvestatav	Kuvatav	Ühik
Muunduri väljundpinge	X		X		V
Muunduri sisendvõimsus		X	X	X	W
Muunduri väljundvõimsus		X	X	X	W
Energia muunduri sisendis		X	X	X	kWh
Energia muunduri väljundis		X	X	X	kWh
Paneeli temperatuur	X		X	X	°C
Päikesekiirgus	X		X	X	W/m ²

4.10 Mikrovõrgu laienduse moodulile esitatavad nõuded

Mikrovõrgu laienduse mooduli kaardistatud vajadused, mis on saadud sisendiks Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi poolt, on välja toodud joonisel (Joonis 4.11). Vaadeldava mooduli üheks eesmärk on näitena võimalus ühendada laboratoorsesse võrku hooneautomaatika labor, mis võimaldaks hilisemalt analüüsida juhtimissüsteemide omavahelist kommunikatsiooni. Vaadeldava joonisel on välja toodud laboratoorsele mikrovõrgule esitatavad kontseptsioonilised nõudmised. Perspektiivsete tulevikulainetustega arvestatakse, et uued seadmed toetavad sama andmesideprotokollide, mis olemasolevad. Kaardistamise vajadus seisnes selles, et hilisemalt saaks planeerimise ja projekteerimise peatükis rakendada seadmete valikul järgnevaid teadmisi:

- andmesideühenduse võimekus;
- juhtimismooduli võimekus;
- mõõtetulemused (Tabel 4.12);
- faaside juhtimise lülitusvõimekus.



Joonis 4.11 Võrgu laiendusreservile esitatavad kontseptsioonilised nõudmised

Tabel 4.12 Võrgu laienduse moodulile esitatavad andmelugemid

Suuruse nimetus	Mõõdetav	Arvutatav	Salvestatav	Kuvatav	Ühik
Sisendvool	X		X		A
Sisendpinge	X		X		V
Väljundvool	X		X		A
Väljundpinge	X		X		V
Sisendvõimsus		X	X	X	W
Väljundvõimsus		X	X	X	W
Sisenev energia		X	X	X	kWh
Väljuv energia		X	X	X	kWh

5. UUE MIKROVÕRGU JUHTIMISSÜSTEEMI PLANEERIMINE JA PROJEKTEERIMINE

Antud peatükis analüüsitakse projekteeritava mikrovõrgu energiamoodulitesse valitavate juhtimisseadmete valikut, samuti väljastatavate andmehulkade võimekust seadmetelt, andmehulkade reaajas jälgimise võimekust ja talletamist ning mikrovõrgu süsteemi kommunikatsiooni võimalusi ja lahendusi. Juhtimisseadmete valikul on lähtutud funktsionaalsetest vajadusest ning nõudest, et süsteemisolevaid moodulite olekuid oleks võimalik mõõta, arvutada, salvestada, ja kuvada parameetreid. Antud lõputöös ei käsitleta elektrikilpide füüsilisi suurusid ja seadmete poolt toodetava sooja eraldumist elektrikilpidest.

Vastavalt eelnevas peatükis välja toodud kontseptsionaalsed nõudmised, mida saab järgnevalt vajaduspõhiselt soovitada mikrovõrgu laboratooriumisse sobivate seadmete ja selle juurde kuuluvat tarkvara juhtimis- ja seiresüsteemi valikuks.

Mikrovõrgu juhtimisseadmete valikuks on kasutatud näitena Siemensi tooteid. Valik oli tingitud sellest, et ettevõttel on välja töötatud selged seadmete kasutusjuhendid ja klienditugi. Samuti on magistritöö autoril pikaajaline kogemus Siemensi seadmetega töötamisel. Mikrovõrgu süsteemi väljaehitamisel on soovitatav süsteemi ehitajal valida sama või sarnase lahendusega ühe tootepere lahendus, vältimaks hilisemalt süsteemipoolseid tõrkeid ja personali väljaõpet.

Süsteemi projekteerimisel ja tarkvaralisel arendamisel on lähtutud sellest, et mooduleid vaadeldakse tervikuna, ning süsteemi moodulite eemaldamisega ja uue lisamisega ei ole vaja teha muud, kui ühendada voolu- ja andmesiini kaabeldus. Uue mooduli eelseadistus peaks olema teostatud selliselt, et peajuhtimissüsteem võtaks uue mooduli andmed üldsüsteemi.

Vastavalt joonisele (Joonis 5.1) projekteeritava mikrovõrgu süsteemis vaadeldavad moodulid on:

- juhtimis- ja analüüsikompleks;
- välisvõrgu ühenduse moodul;
- mootor-generaatori moodul;
- võrguemulaatori moodul;
- koormusemulaatori moodul;
- aku-energiasalvestuse moodul;
- ülikondensaatori moodul;

- hooratas-energiasalvestuse moodul;
- päikeseelektrijaama moodul;
- reservelektrijaama moodul.

Vaadeldavas projektis ei vaadelda ruumis NRG-102 olemasolevat Tallinna Tehnikaülikooli vara, selle ümberpaigutust ega ruumilahendust.

Eelmainitud seadmetest on osad ühefaasilised, mistõttu tuleb tagada nende faaside vaheline ümberlülitumine. Mikroõrgu energiasüsteemi osadel on erinevad pingenihood, mis ühtlustatakse muundurite abil pingeni 230 VAC. Seadmete omatarve ühendatakse mikroõrgust eraldiseisvana.

Süsteemi keskseks osaks energiavahetuseks on ettenähtud 400 VAC siin. Mikroõrgu energiasüsteemi tootmis- ja salvestamisseadmete erinevad pingenihood ja pingetüübid ühtlustatakse muundurite abil ühise pingeni 400 VAC. Mikroõrgus olevate moodulite pingetüübid ja vahemikud on järgmised:

- | | |
|-------------------------------------------------|----------------|
| • välisõrgu ühenduse moodul: | 400 VAC; |
| • mootor-generaatori moodul: | 380 – 420 VAC; |
| • võrguemulaatori moodul (tähtühendus): | 0 – 600 VAC; |
| • aku-energiasalvestuse moodul (neli jadamisi): | 23,3 – 42 VDC; |
| • ülikondensaatori moodul (neli jadamisi): | 0 – 51 VDC; |
| • hooratas-energiasalvestuse moodul: | 0 – 400 VAC; |
| • päikeseelektrijaama moodul: | 0 – 28,9 VDC. |

Edasites alapeatükkides laboratoorse mikroõrgu elektriskeemi tööpõhimõtte paremaks selgitamiseks on koostatud paralleelselt lisas (LISA 5.2) esitatud mikroõrgu skeemidele vastavad ühejooneskeemid.

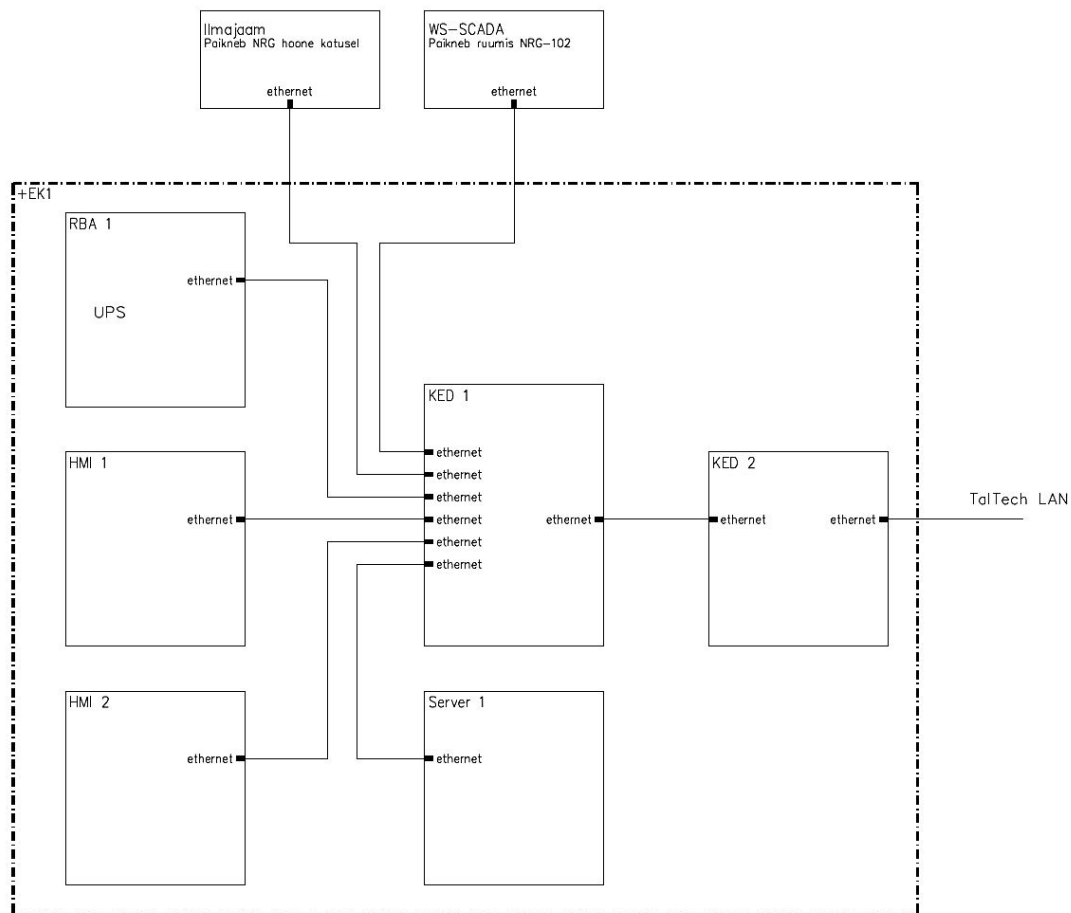
5.1 Juhtimis- ja analüüsikompleks

Antud peatükis vaadeldakse mikroõrgu juhtimis- ja analüüsikompleksi projekteerimisel soovitusliku vajaminevat seadmestikku, seadmestikule esitatavaid riistvaralisi ja ka tarkvaralisi vajadusi ja nõudeid, välja valitud seadmestikku, selle võimekust ning sellele esitatavad nõudmised juhtimissüsteemi planeerimisel.

Juhtimis- ja analüüsikompleksi juurde kuuluvad tähtsaimad põhiseadmed (Joonis 5.1) on välja toodud tabelis (Tabel 5.1). Vaadeldava seadmestiku valikul lähtuti eelnevalt kaardistatud funktsionaalsete vajaduste olemusest, kus süsteemis olevaid kõigi

moodulite olekuid oleks võimalik mõõta, teostada arvutusi, salvestada ja kuvada parameetrid.

Juhtimis- ja analüüsikompleksi kuuluva riistavara seadmed ja ka teised mikro võrgu moodulite juhtseadmed ja mõõteseadmed on valitud selliselt, et oleks võimalik teostada sidesüsteem Ethernet/IP. Näitena kasutatakse tööstuslikes võrkudes avatud juhtimissüsteeme, mis pakuvad paindlikke lahendusi tootmiseseadmete installeerimisel ja töötamise protsessis. Näitena võib tuua välja ControlNet ja Profibus ning Ethernet/IP [14]. Antud mikro võrgu projektis on rakendatud Ethernet TCP/IP ja sellele vastavalt on kasutatud andmeühenduse kaabelduseks B2Ca Cat6a kaablit [15].



Joonis 5.1 Juhtimis- ja analüüsikompleksi struktuur

Tabel 5.1 Juhtimis- ja analüüsikompleksi soovituslikud põhiseadmed

Nr.	Skeemi-tähis	Nimetus	Peamised tehnilised andmed	Tootja	Asukoht	Kogus
1	KEB1	Juhtkontroller	S7-1500 - CPU 1515-2 PN	Siemens	EK1	1
2	KEB1	DI moodul	6ES7521-1BH00-0AB0	Siemens	EK1	1
3	KEB1	AI moodul	6ES7531-7KF00-0AB0	Siemens	EK1	1
4	KEB1	DQ moodul	6ES7522-1BH01-0AB0	Siemens	EK1	1
5	RBA1	UPS	USV SPS 1500 ADV T SA, Line Int, 4 x IEC, 1.5kVA/1kW	Salicru	EK1	1
6	DO1	Puuetundlik operaatorpaneel	TP 1200	Siemens	EK1	2
7	SE1	Server	UCS C220 M5	CISCO	EK1	1
8	KED1	Kommutaator (switch)	Catalyst 2960-X	CISCO	EK1	1
9	KED2	Ruuter	SRX300	Juniper	EK1	1
10	PC1	Arvuti	EliteDesk 705 G1 Desktop Mini PC	HP	NRG-102	1
11	M1	Monitor	32" SD850 WQHD Monitor	HP	NRG-102	2
12	KY1	Klaviatuur	Wireless Keyboard 600 Estonia	HP	NRG-102	1
13	MO1	Hiir	M185 Grey	Logitech	NRG-102	1

Vaadeldavas projektis omab juhtimis- ja analüüsikompleks võtme rolli tsentraliseeritud juhtimisega süsteem, kuhu on ettenähtud haldamine ja juhtimine ühte juhtkontrollerisse, mis paikneb elektrikilbis EK1 seadmetähisega KEB1. Juhtkontrolleriks on soovitatud kasutada Siemens S7-1500 - CPU 1515-2 PN, vaadeldavas seade toetab IEC 61850 standardit [16], ning millele juurde lisatakse digitaalsisendid, digitaalväljundid ja analoogsisend plokid. Lisatavate plokkide funktsiooniline vajadus kirjeldatakse järgmistes alapeatükkides.

Juhtimissüsteemis soovitatakse kasutada Siemens S7-1500 kontrollerit, mis toetab OPC UA kommunikatsiooni. See tähendab, et PLC on võimeline suhtlema teiste seadmetega, mis seda kommunikatsiooni samuti toetavad. Antud funktsionaalsus võimaldab kasutada PLC-ga suhtlemiseks ja juhtimiseks teisi programmeerimiskeeli nagu näiteks Python-it. Antud funktsionaalsus võimaldab alternatiivsete talitlusstsenariumide loomist läbi PLC, kui PC-s, kus peal töötab arenduskeskkond Python. Vaadeldav

funktsionaalsus lubaks läbi mängida ja hinnata kõiki mõeldavaid süsteemi konfiguratsioone.

Mikrovõrgu kõigi moodulite andmeühenduse teostab kommutaator, vaadeldavas projektis on näitena kasutatud selleks ettevõtte poolt CISCO Systems toodet Catalyst 2960-X (Joonis 5.2). [17]



Joonis 5.2 CISCO Catalyst 2960-X [17]

Juhtimissüsteemi kuuluvad puuetundlikud HMI-id. Keerukamate protsesside kuvamiseks on mõistlik kasutada kuluefektiivsuse tõttu operaatorpaneele, mille ülesandeks on operaatorile toimunu ja hetkeseisu kohta andmeid edastada ning võimaldada kaugjuhtimist. Seda nimetatakse seda Industrial Control System ja selle üheks alamliigiks on Supervisory Control And Data Acquisition ehk lühidalt SCADA. Vaadeldavas projektis on lisatud kaks HMI paneeli, mis paigutatakse EK1 elektrikliki uksele. HMI paneelidega andmeühendus on teostatud B2Ca Cat6a kaabeldusega. Puuetundlike paneelide funktsioonideks on mikrovõrgu protsessi parameetrite jälgimine, võrgus olevate energiaelementide olekute juhtimine, lülitite ja programmide abil juhtimise automatiseerimine.

Antud projektis on paneelidele kuvatava informatsiooni ja olekute jälgimine kirjeldatud eelnevas peatükis. Operaatorpaneelide kogus antud projektis on tingitud rohkest moodulite arvust ja kuvatavatest andmehulkadest ning süsteemi juhtimisest.

Riist- ja tarkvaraliselt on mikrovõrgule ette nähtud server. Valitud serveriks on CISCO UCS C220 M5 (Joonis 5.3) [18]. Serverile paigaldatakse järgmised operatsioonisüsteemid ja tarkvarad, mis on seotud nii süsteemi juhtimise, haldamise kui kohandamisega:

- teostatakse RAID serveri võimekus;
- paigaldatakse SCADA server;
- andmete talletamiseks paigaldatakse andmebaasi server (SQL), millele liidetakse juurde funktsionaalne võimekus talletada andmeid elektrienergia börsilt, talletada ilmaprognoose, tuuleprognoose ja päikesekiirguse prognoose;
- luuakse veebiserveri võimekus (HTML, PHP) andmete kuvamiseks reaalajas, kasutajate juhtimisprofiilide katsetamiseks, distantse labori juhtimise võimalus (moodulitele profiilide sisestamise võimalus);

- paigaldatakse operatsioonisüsteem Windows 10, vabavara testkeskkond laboratoorsete tööde teostamiseks (näiteks ilmaennustuse mudelid, tehisintellekti arenduskeskkond, jne);
- paigaldatakse operatsioonisüsteem Windows 10 mikrovõrgus paiknevatele Chroma seadmetega suhtlemiseks ja juhtimiseks;
- paigaldatakse operatsioonisüsteem Windows 10 mikrovõrgus paiknevate Siemens juhtimistarkvarale SIMATIC STEP 7 (TIA Portal) ja WinCC, millega saab vajaduse korral muuta ja täiendada Siemensi programmeeritavate seadmete juhtimiskäsustikku.



Joonis 5.3 CISCO UCS C220 M5 [19]

Andmeid töödeldakse ja salvestatakse SCADA-serveris, kus toimuvad järgmised tegevused [1]:

- mikrovõrgust saadud mõõteandmete ja signaalide salvestamine ja ettevalmistamine jälgimiseks;
- sündmuste registreerimine ja salvestamine. Nendeks sündmusteks on signaalide muutused, juhtimiskorraldused, mõõtmiste lubatud piiridest väljumine ja naasmine;
- oluliste sündmuste jälgimine, olulisus on prioritseeritud ja grupeeritud;
- juhtimiskorralduste moodustamine;
- sündmuse põhjustanud mõõtmise või signaali asukoha lokaliseerimine;
- mõõteandmete salvestamine ja ettevalmistamine tabelite ja graafikute kujul;
- lülituste aruande koostamine ja operatiivpäeviku pidamine;
- salvestatud sündmuste ja mõõteandmete siirdamine tekstifailidesse, kust neid on võimalik lugeda muu tarkvaraga (MS Word, MS Excel);
- arhiveerimine;
- aruandlus (töövahendiks MS Excel jm);
- rikkekoha lokaliseerimine;
- võrgutopoloogia määramine.

Mikrovõrgu andmeühendus teostatakse välisvõrguga Juniper SRX300, kus tulemüüri abil kaitstakse välisvõrgust identifitseerimata kasutajad ning koos sellega vähendatakse pahavara tungimist juhtimisvõrku. [20]



Joonis 5.4 Juniper SRX300 [20]

Mikrovõrgus ette nähtud SCADA tööjaam on mõeldud kuvama võrgu põhimõtteskeemi, kus saab paigutada süsteemi pilte ühelt ekraanilt teisele ning avada ühte pilti mitmel ekraanil. Näitena võib rakendada seda selliselt, et kuvada skeemi või trendikõverat, ning kus pilt võib jätkuda ühelt kuvarilt teisele. Tööjaama kasutajaliides luuakse Windows operatsioonisüsteemile, kus kehtivad ka kõik muud funktsioonid, nagu akende suuruste ja kujunduse muutmine. [1] Antud projektis on soovituslikult pakutud tööjaama riistavaraks HP EliteDesk 705 G1 Desktop Mini PC oma kompaktsuse ja võimekuse tõttu. Arvutiekraanideks on valitud HP monitor 32" SD850 WQHD, mille eeliseks on ekraani suurus ja hea pildikvaliteet.

Laboratoorses mikrovõrgu juhtimis- ja analüüsikompleksis paikevate seadmetele on projekteeritud omatoiteahel mikrovõrgu ühisest võrgusiinist. Omatoiteahelasse on ettenähtud paigaldada avariitoiteallikas UPS, soovituslikult on pakutud ettevõtte Salicru toode USV SPS 1500 ADV T SA, Line Int, 4 x IEC, 1.5kVA/1kW. Antud lahendus täidab ohutuse eesmärgi, et säilitada seadmete pidev ja korrektne töötamine.

Võrgutopoloogilise ülesehituse suhtes tuleks lähtuda detsentraliseerimise eesmärgist, et saavutada süsteemi töökindlus (vältida ka avariirežiimi) ning oleks võimalik lisada uusi energia- ja tarbimismoduleid, kus kõik vajalikud andmed oleksid süsteemis kättesaadavad. Nimetatud lahenduse arendamise seisukohalt tähendaks see mitme võrguühenduse teostamist ja kasutuselevõttu ühes moodulis, mis aga antud kontekstis tõstaks süsteemi maksumust nii riistvaraliselt kui tarkvaraliselt, seda siis programmeerimise ja seadistamise näol.

Arvestades hoone jätkusuutlikkust ja võrguehituse optimaalsust on otstarbekas valida võrgu juurdepääsu standardprotokolliks vähemalt 10Gigabit Ethernet ja kaablitüübiks maanduseta TP Cat6. Kallim (u6x), kuid tulemuslikum (kiirus sõltub kasutatavatest seadmetest) on fiiberoptilise kaabivõrgu rajamine. Odavam, (3x) kuid 10x aeglasema andmesidevõrgu saab välja ehitada kasutades TP Cat5e kaablit. Seda varianti võib kaaluda, kui ressursse on vajalik kokku hoida.

5.1.1 Ilmajaam

Projekteeritavas mikrovõrgus on planeeritud rajada ilmajaam. Vaadeldava seadme eesmärgiks on mõõta ilmastikulisi parameetreid, edastada mõõdetud andmed juhtimis- ja analüüsikompleksi, kus need salvestatakse andmebaasi ja reaalaja mõõdetud andmeid kuvatakse operaatorpaneelil. Ilmajaama andmetega, mis on mõõdetud kohapeal, oleks võimalik prognoosida ilma. Selle juurde oleks kindlasti vaja hilisemalt liita sünoptilisi kaarte, satelliitpilte, radariandmeid, prognooskaarte, hetkeolukorra andmeid ning selle alusel luua kogutud andmete analüüsi tulem. Prognoosimise protsess võib kujuneda keeruliseks ja aeganõudvaks, kuna võib sõltuda katsetatavatest mudelitest ja rakenduses olevast riistvarast.

Õppe- ja teadustöös on võimalik hilisemas arendustöös juhtimis- ja analüüsikompleksis töödeldud ilmajaama andmetest saadud tulemitest arendada välja iseõppiv programm ehk tehisintellekt, mis hakkaks pidevalt optimeerima energia tootmist ja salvestamist ning ka tarbimist mikrovõrgus olevatele moodulitele.

Prognoosimismudelite rakendamine mikrovõrgus annaks võimaluse õppe- ja teadustöös leida rakendust energia tootmises ja tarbimises ning ennustada energia hinda. Samuti annaks mudelitest saadud informatsiooni alusel energia tootmist simuleerida näiteks võrguemulaatori või mootorgeneraatori moodulis.

Ilmajaama ja juhtimis- ja analüüsikompleksi vaheline andmeühendus on teostatud B2Ca Cat6a kaabeldusega, andmeedastuse kiirus on kuni 1Gbit/s, mida antud seade tagab. Soovituslikuks seadmeks on valitud RainWise PortLog Portable Weather Station. [21] Mõõdetavateks parameetriteks on tuule kiirus, tuule suund, päikese kiirgus, UV-kiirgus, sademete hulk, välisõhu temperatuur, õhurõhk, suhteline õhuniiskus.

Ilmajaam on ette nähtud paigaldada Tallinna Tehnikaülikooli Energeetikateaduskonna hoone, Ehitajate tee 5 katusele. Seadmega ühenduseks ei ole planeeritud projekteerida katusele uusi kaableid, vaid kasutatakse ära olemasoleva vana päikesepaneeli, mis paikneb momendil sama õppekorpuse katusel, toite- ja andmeühenduse kaableid. Projekteerimisel on lähtutud kehtivatest normatiivdokumentidest ja standarditest.

5.2 Välisvõrgu ühenduse moodul

Projekteeritavas mikrovõrgus kasutatakse välisvõrgu ühenduse moodulit, mille eesmärk on tagada välisühendus Tallinna Tehnikaülikooli elektrivõrguga. Vaadeldav moodul

koosneb kahest funktsionaalsest võimalusest, mis võimaldaks uurida õppe- ja teadustöö tegevuses välisvõrgu mõju mikrovõrgule. Vaadeldav moodul võimaldab otsetoidet mikrovõrgule ja teine lahendus oleks transformaatoriga ühendus.

Seadmete paiknemine on ette nähtud elektrikilbis EK1. Kasutatavate mõõteseadmehete ja sünkroskoobiga andmeühendus on teostatud Ethernet TCP/IP ja sellele vastavalt on kasutatud andmeühendus kaabelduseks B2Ca Cat6a kaablit [15]. Mõõteseadmehete ja sünkroskoobi andmeid kuvatakse reaajas seadmetel endil, samuti operaatorpaneelidel ning salvestatakse serveris olevasse andmebaasi. Välisvõrgu ühenduse moodulis paiknevad põhiseadmed on välja toodud tabelis (Tabel 5.2).

Tabel 5.2 Välisvõrgu ühenduse mooduli soovituslikud põhiseadmed

Nr.	Skeemi-tähis	Nimetus	Peamised tehnilised andmed	Tootja	Asukoht	Kogus
1	BU1	Mõõteseade	Sentron PAC4200	Siemens	EK1	1
2	BU1	Võrguliides	7KM9300-0AE02-0AA0	Siemens	EK1	1
3	TA1	Transformaator kaitsekestas	10kVA 400/(400/230) Dyn11; 6-mähiseväljavõtet min	Siemens	EK1	1
4	BT1;2;3	Temp. mõõteseade	PT100		EK1	3
5	BU2	Sünkroskoop	Reyrolle 7SR224	Siemens	EK1	1
6	BU3	Mõõteseade	SICAM Q200	Siemens	EK1	1

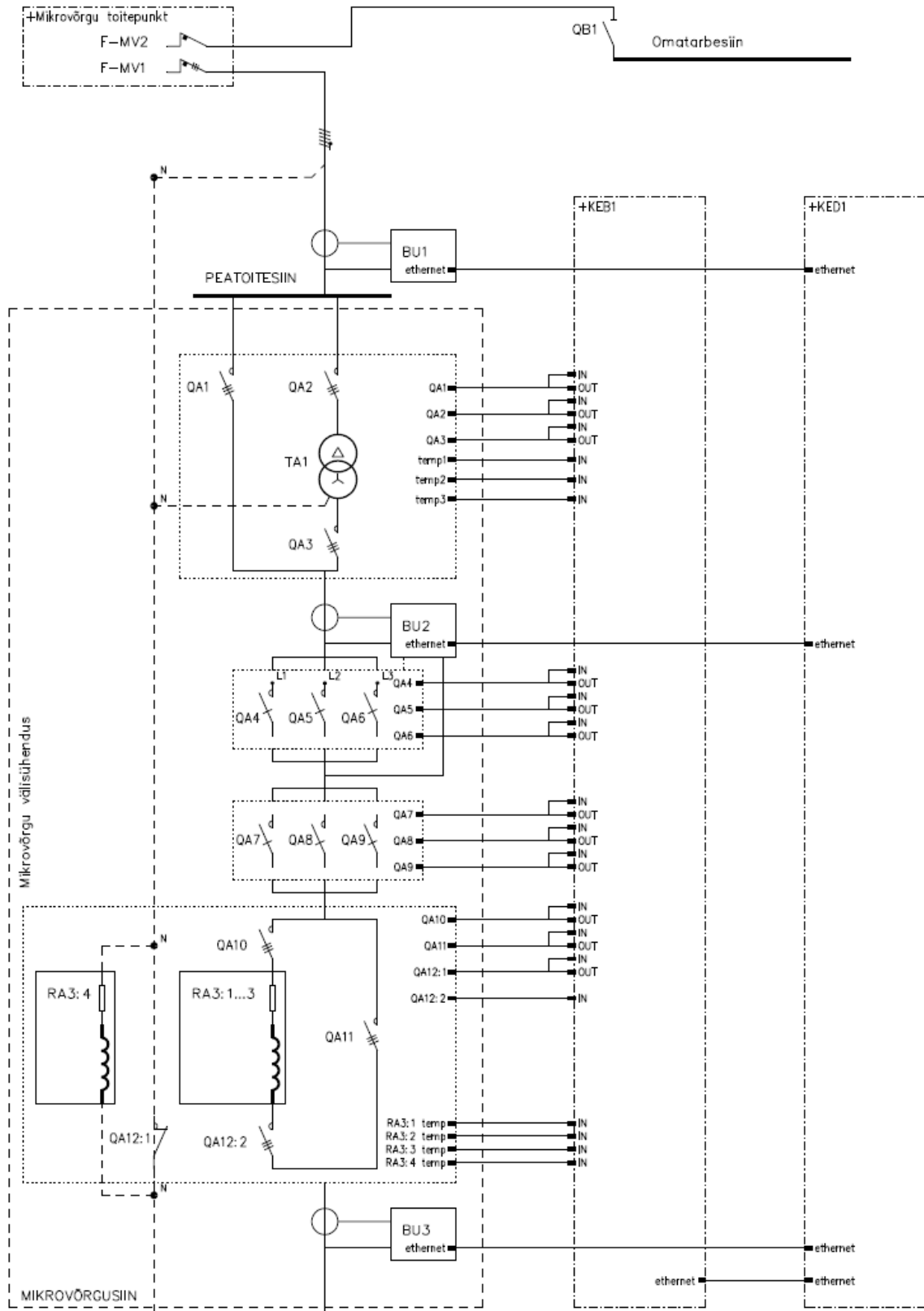
Välisvõrgu ühenduse moodulis ettenähtud kontaktorite juhtimine on teostatud elektrikilbis EK1 paikneva juhtkontrolleriga KEB1, milleks on Siemens S7-1500. Transformaatori temperatuuri oleku määramiseks on soovituslik kasutada kokku kolme termoandurit PT100. Trafo valikul tuleks lähtuda integreeritud anduritest. Temperatuuri mõõdistamine teostatakse juhtkontrolleriga KEB1.

Soovituslik mõõteseade on Siemensi Sentron PAC4200, mis lubab mõõta pingeid, voolusi ning harmoonikuid. [22]

Siemens SICAM Q200 mõõdab kuni 63 harmoonikut ja võimaldab tuvastada liikumise suunda, samuti mõõdab kiireid pingemuutusi, aktiiv- ja reaktiivenergiat ja faasi nurka. Seadet saab ühildada ühise juhtimissüsteemiga, samuti sisaldab see veebiserverit ning sisemist 2GB mälu andmete kogumiseks. [23]

Soovituslik sünkroskoobi valik on tingitud sellest, et standardis EVS-EN 50160:2010+A1+A2+A3:2019 on harmoonikute konkreetsed suurused määratud kuni

järguni 25 ning toitepinge harmoonilismoonutustegur THD ei tohi olla suurem kui 8% kõikides harmoonikute järkudes kuni järguni 40. Sellest tulenevalt on mõõteulatus kuni 32 järguni on rahuldav. Kuna on vähetõenäoline, et trafo ja liiniemulaatori seadme asukohas (trafot ja liiniemulaatorit omavahel ühendavas punktis) oleks mõõteulatusest väljas olevate kõrgemate harmoonikute väärtus oluliselt erinev, võrreldes peatoitesiidilt ja mikrovõrgusiinilt mõõdetuga. [13]



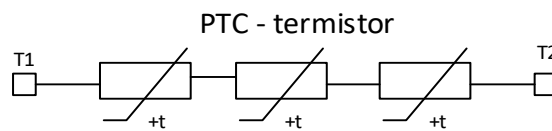
Joonis 5.5 Välisvõrgu ühenduse mooduli juhtimine ja mõõtmine

5.3 Mootorgeneraatori moodul

Projekteeritavas mikrovõrgus kasutatakse mootorgeneraatori ehk elektrimasinmuunduri moodulit, mille eesmärgiks võib pidada täielikku galvaanilist eraldust sisendi ja väljundi vahel ja võimalust saavutada täiusliku siinuspinge saamise võimalust.

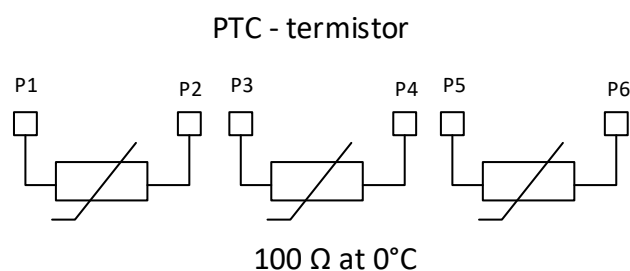
Antud projektis on mootorgeneraator komplekt Tallinna Tehnikaülikoolil olemas. Tehnilised parameetrid on välja toodud tabelis (Lisa 5.1) Ülevaatus käigus ei tuvastatud seadme komplektil vigastusi ega võimalikke defekte. Seadme töökindlust ei kontrollitud, see tuleks teostada süsteemi väljaehitamisel ja paigaldamisel süsteemi ehitaja poolt. Kaardistati ABB toodetud mudel M3AA 160 L4 mootor, mis vastab standardile IEC 60034-1.

Mootorgeneraatori komplekti kaardistamisel tuvastati võimekus saada informatsiooni mootorgeneraatori temperatuuri kohta. Mootori temperatuuri mõõtmiseks on kasutatud termistori ehk PTC andur (Joonis 5.6).

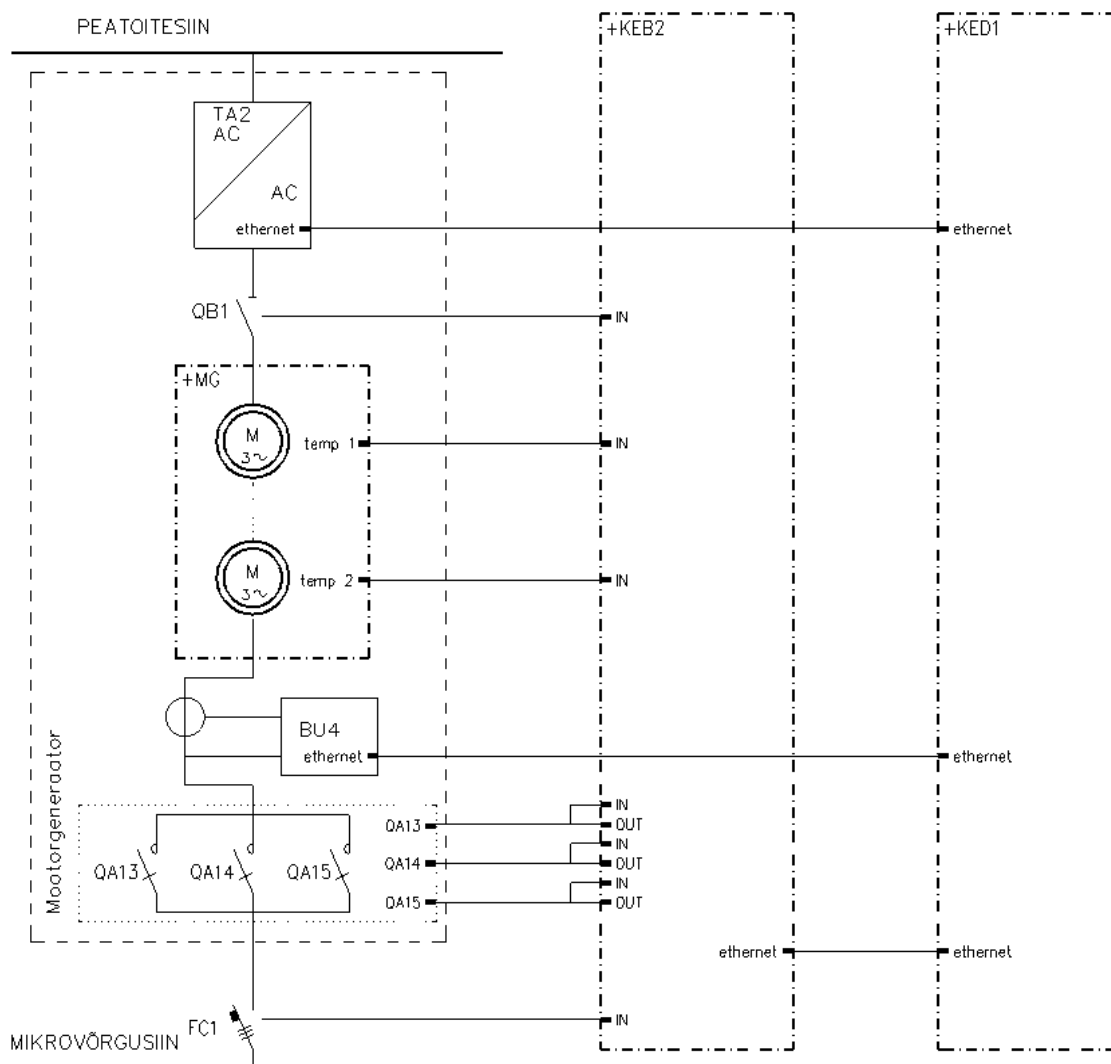


Joonis 5.6 ABB M3AA 160 L4 mootori temperatuuri andur

Samuti ABB toodetud mudel M3AA 130 S generaatoril, mis vastab standardile IEC 60034-1, tuvastati temperatuuri tuvastamise võimekus, integreeritud termistoride näol (Joonis 5.7).



Joonis 5.7 M3AA 130 S generaatori temperatuuri andur



Joonis 5.8 Mootorgeneraatori mooduli juhtimis- ja mõõtmisahelad

Tabel 5.3 Mootorgeneraator soovituslikud põhiseadmed

Nr.	Skeemi-tähis	Nimetus	Peamised tehnilised andmed	Tootja	Asukoht	Kogus
1	TA2	Muundur	SINAMICS Power Module PM250	Siemens	EK1	1
2	TA2	Muunduri juhtmoodul	SINAMICS Control Unit CU230P-2 PN	Siemens	EK1	1
3	TA2	IOP	6SL3255-0AA00-4JA1	Siemens	EK1	1
4	BU4	Mõõtesead	Sentron PAC3200	Siemens	EK1	1
5	BU4	Mõõteseadme Ethernet PROFINET	7KM9300-0AE02-0AA0	Siemens	EK1	1
6	KEB2	PLC	CPU 1510SP-1 PN	Siemens	EK1	1
7	KEB2	Lisa moodul PLC-le	6ES7134-6JD00-0CA1	Siemens	EK1	1

Mootorgeneraatori moodulis paiknevad põhiseadmed on välja toodud tabelis (Tabel 5.3). Seadmete paiknemine on ette nähtud elektrikilbis EK1, välja arvatud mootorgeneraator, mis hakkab paiknema ruumis NRG-102. Mootorgeneraatorilt temperatuuri lugemiseks on soovitatav kasutada kontrolleri Siemens CPU 1510SP-1 PN, millele lisada juurde temperatuuri lugemiseks lisaplokk Siemens 6ES7134-6JD00-0CA1, mis toetab PTC andurite lugemist. Vaadeldav lisa PLC plokk lubab mootorgeneraatori maksimaalset kaugust temperatuuri lugemiseks varjestatud kaabliga kuni 200 m, varjestamata kaabli puhul 50 m. [24]

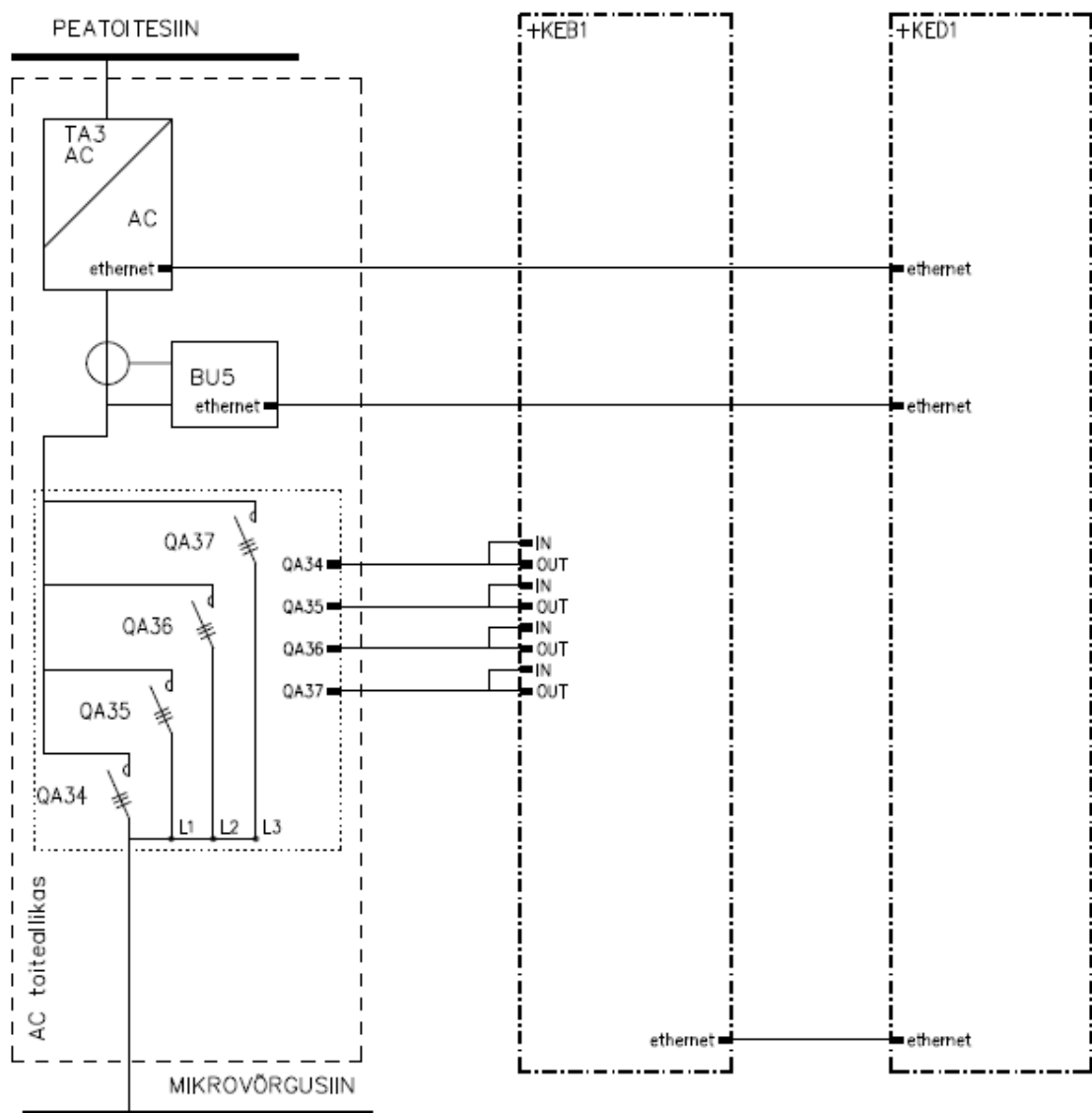
Soovitatud seadmete muunduril Siemens CU230P-2 PN on võimekus toetada PROFINET IO, EtherNet/IP [25], samuti mõõteseade Siemens Sentron PAC3200, millele lisatakse juurde Ethernet PROFINET V3 tugi Siemens 7KM9300-0AE02-0AA0 võrguliidese kaart [26], ning juhtkontrolleri andmeühendused juhtimis- ja analüüsikompleksiga on teostatud Ethernet TCP/IP alusel ja sellele vastavalt on kasutatud andmeühendus kaabelduseks B2Ca Cat6a kaablit [15]. Vaadeldavas moodulis kuvatakse andmed reaajas mõõteseadmetel endil, samuti juhtimis- ja analüüsikompleksi operaatorpaneelidel ning salvestatakse serveris olemasolevasse andmebaasi.

Soovituslik Siemensi mõõteseade Sentron PAC3200 lubab mõõta pingeid, voolusi ning THD-d. [27]

5.4 Vahelduvpinge toiteallika moodul

Projekteeritavas mikrovõrgus kasutatakse võrguemulaatori moodulit ehk programmeeritava energia moodulit, mille eesmärgiks on planeeritavas mikrovõrgus emuleerida energia tootmisseadmeid. Emulaatori eeliseks on selle paindlik juhtimine ja erilaadsete tootmis- ja salvestamisfunktsioonide seadistamine, mis võimaldab emuleerida tuulegeneraatorit, kütuseelementi, jne.

Võrguemulaatori moodulisse kuuluvate põhiseadmete loetelu on toodud välja tabelis (Tabel 5.4). Antud seadmete planeeritud paiknemine on ettenähtud kilbis EK1 (Joonis 5.9).



Joonis 5.9 Vahelduvpinge mooduli juhtimis- ja mõõtmisahelad

Tabel 5.4 Vahelduvpinge soovituslikud põhiseadmed

Nr.	Skeemi-tähis	Nimetus	Peamised tehnilised andmed	Tootja	Asukoht	Kogus
1	BU5	Mõõtesead	Sentron PAC3200	Siemens	EK1	1
2	BU5	Mõõteseadme Ethernet PROFINET	7KM9300-0AE02-0AA0	Siemens	EK1	1
3	TA3	Võrguemulaator	61509 AC source	Chroma	EK1	1

Võrguemulaatoriks on valitud antud projektis Chroma 61509, mille võimsus on 6 kW ja millel on vahelduvvoolu väljund. Sellega saab genereerida harmoonikaid ja imiteerida teadaolevate andmetega tootmisseadet mikrovõrgus (päikeseelektrijaam, jm) oma nimivõimsuse ulatuses ning sellel on väike moonutus siinuslainele väljundis. Antud

seadmel on täpne ja stabiilne väljundpinge ja sagedus. Vaadeldaval seadmel on võimalik sisestada soovitud sätteid seadme enda juhtpaneelilt. Seadmel on olemas andmeühendus liidesed, milleks on GPIB, RS-232C, USB ja ETHERNET. Seadmel on voolu, võimsuse, temperatuuri ja ventilaatori kaitselülitusrežiim, et tagada seadme ohutus laboratoorsetel kasutamistel. [28]

Võrguemulaatori moodulis paikneb mõõteseade Siemens Sentron PAC3200, millele lisatakse juurde Ethernet PROFINET V3 tugi Siemens 7KM9300-0AE02-0AA0 võrguliidese kaart [26], et edastada mõõteandmed juhtimis- ja analüüsimoodulisse. Andmeside on teostatud mõõteseadmele ja võrguemulaatorile tänu Ethernet TCP/IP protokollile ja sellele vastavalt on kasutatud andmeühenduse kaabelduseks B2Ca Cat6a kaablit. [15]

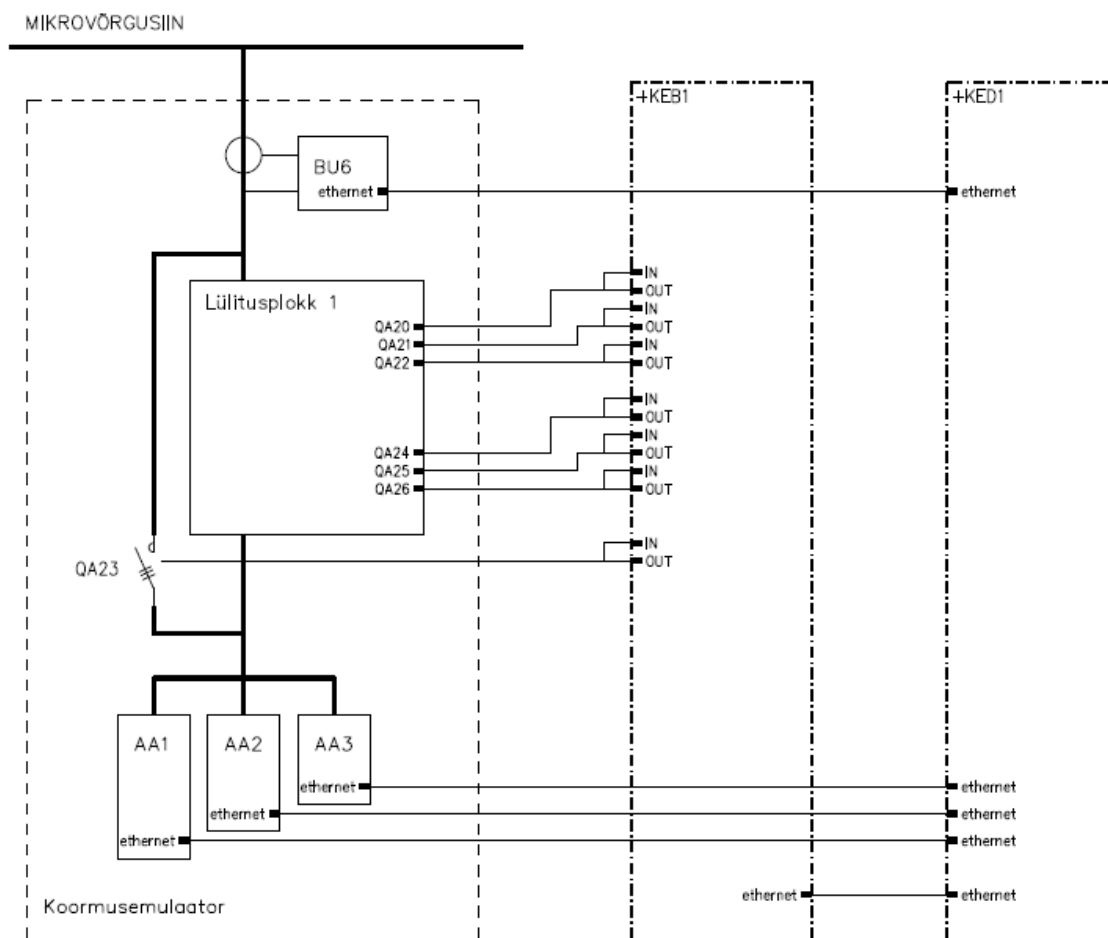
Võrguemulaatori kaugjuhtimiseks on ettenähtud juhtimis- ja analüüsimooduli serveris paiknev virtuaalne masin, kuhu on paigaldatud Windows 10 operatsioonisüsteem ja sellele paigaldatud tarkvara Chroma's Softpanel. Vaadeldav tarkvara võimaldab Chroma seadmete kaugjuhtimist. Vaadeldavas tarkvaras on kasutajal võimalus testida ka mõningaid standardeid, nagu näiteks IEC 61000-4-11, IEC 61000-4-13, IEC 61000-4-14 ja IEC 61000-4-28. [29]

5.5 Koormusemulaatori moodul

Projekteeritavas mikrovõrgus kasutatakse koormusemulaatori moodulit ehk programmeeritavat koormusmoodulit, mille eesmärgiks on planeeritavas mikrovõrgus emuleerida erinevaid elektrivõrgu koormuseid ja vaadelda selle alusel muutusi mikrovõrgus. Emulaatori eeliseks on selle paindlik juhtimine ja erilaadsete koormusfunktsioonide seadistamine.

Antud projektis ei vaadelda teisi alternatiivseid koormuseid, mida võiks rakendada, aga ettepanekuna hilisemateks koormusteks oleks pakkuda kasutada elektriautot, elektriradiaatoreid, valgusteid, jahutusseadmeid jne.

Koormusemulaatori moodulisse kuuluvate soovitatavate põhiseadmete loetelu on toodud välja tabelis (Tabel 5.5). Antud seadmete paiknemine on ettenähtud kilbis EK1. Mikrovõrgu koormusemulaatoreid on planeeritud paigaldada kolm. Eesmärgiks on teostada koormuskatseid iga mikrovõrgu siini faasi kohta. Koormusemulaatori sisendeid saab PLC-ga juhtides ühendada kolmefaasilisse koormusesse ja ka igale faasile eraldi paralleeltöösse. Ümber lüülimiseks kasutatakse PLC-ga juhitavaid kontakteid.



Joonis 5.10 Koormusemulaatori mooduli juhtimis- ja mõõtmisahelad

Tabel 5.5 Koormusemulaatori soovituslikud põhiseadmed

Nr.	Skeemi-tähis	Nimetus	Peamised tehnilised andmed	Tootja	Asukoht	Kogus
1	BU6	Mõõteseade	Sentron PAC3200	Siemens	EK1	1
2	BU6	Mõõteseadme Ethernet PROFINET	7KM9300-0AE02-0AA0	Siemens	EK1	1
3	AA1;AA2;AA3	Koormusemulaator	63800	Chroma	EK1	1

Koormusemulaatori moodulis paikneb mõõteseade Siemens Sentron PAC3200, millele lisatakse juurde Ethernet PROFINET V3 tugi Siemens 7KM9300-0AE02-0AA0 võrguliidese kaart [26], et edastada mõõteandmed juhtimis- ja analüüsimumoodulisse. Andmeside on teostatud mõõteseadmele ja koormusemulaatorile tänu Ethernet TCP/IP protokollile ja sellele vastavalt on kasutatud andmeühenduse kaabelduseks B2Ca Cat6a kaablit. [15]

Koormusemulaatori moodulis [30] paiknevate mõõteseadme ja koormusemulaatori andmeühendus juhtimis- ja analüüsikompleksi vahel on teostatud Ethernet TCP/IP

alusel ja vastavalt sellele on kasutatud andmeühenduse kaabelduseks B2Ca Cat6a kaablit. [15] Koormusemulaatori andmeside ühendus serveriga on teostatud RS232 Ethernet konverteriga, mis kuulub ettevõttele Moxa.

5.6 Aku-energiasalvestuse moodul

Projekteeritavas mikrovõrgus on planeeritud rakendada aku-energiasalvestuse moodulit. Vaadeldava mooduli eesmärgiks on uurida akudesse salvestava protsessi ja sealt tagasi saadava energia mõju mikrovõrgule. Vaadeldavasse moodulisse kuuluvate põhiseadmete loetelu on toodud välja tabelis (Tabel 5.6) Antud seadmete planeeritud paiknemine on ette nähtud kilbis EK2 (Joonis 5.12).

Aku-energiasalvestuse moodulis paikneb mõõteseade Siemens Sentron PAC3200, millele lisatakse juurde Ethernet PROFINET V3 tugi Siemens 7KM9300-0AE02-0AA0 võrguliidese kaart [26], et edastada mõõteandmed juhtimis- ja analüüsikompleksi. Andmeside on teostatud mõõteseadmele ja koormusemulaatorile tänu Ethernet TCP/IP protokollile ja sellele vastavalt on kasutatud andmeühenduse kaabelduseks B2Ca Cat6a kaablit. [15]

Moodulisse on välja valitud õppe- ja teadustöö tegemiseks 12 akupatareid. Akudeks kasutatakse Victron 12V/110Ah AGM tüüpi akusid, mida on kaheksa tükki ja Victron 12V/110Ah geelakusid, mida on planeeritud paigaldada neli tükki. Akud on ühendatud kolme grupina, igas grupis on moodustatud kolmene akude jadaühendus. Akude grupi alalisvoolu mõõtmiseks on kasutatud Contrel elettronica s.r.l EMT-1C/300 LV alalisvoolu andureid. Andurid ühendatakse RS485 ühenduse abil kontrolleriiga KEB7, mis edastab andmed juhtimis- ja analüüsikompleksi.

Akude tasakaalustamise seadmeks on valitud ettevõtte Victron Battery Balancer seade. Juhul kui tasakaalustamisel esineb probleeme, tuleb selle kohta veateade kilbis olevale kontrolleriiga KEB7. Veateade edastatakse edasi juhtimis- ja analüüsikompleksi. Kõigile akudele on ette nähtud paigaldada 12 temperatuuriandurit BT16:BT26, mille eesmärgiks on mõõta akude temperatuure. Need kogub kokku kontrolleriiga KEB7, mis omakorda edastab kogutud info juhtimis- ja analüüsikompleksi.

Kilpi EK2 on ette nähtud välisküljele paigaldada SMA toode Sunny Island 6.0H DC/AC muundur. Antud muunduriga suhtlemiseks on ette nähtud paigaldada süsteemi SMA Data Manager M seade. [31] Andmeside on teostatud mõõteseadmele ja koormusemulaatorile tänu Ethernet TCP/IP protokollile ja sellele vastavalt on kasutatud

andmeühenduse kaabelduseks B2Ca Cat6a kaablit [15]. Samuti on võimalik seadmega saada kommunikatsioon kohapeal läbi USB.

Temperatuuri mõõtmiseks paigaldatakse andurid iga aku negatiivsele klemmile isoleeritult [32]. Victron Energy pakub selleks laias valikus andureid.

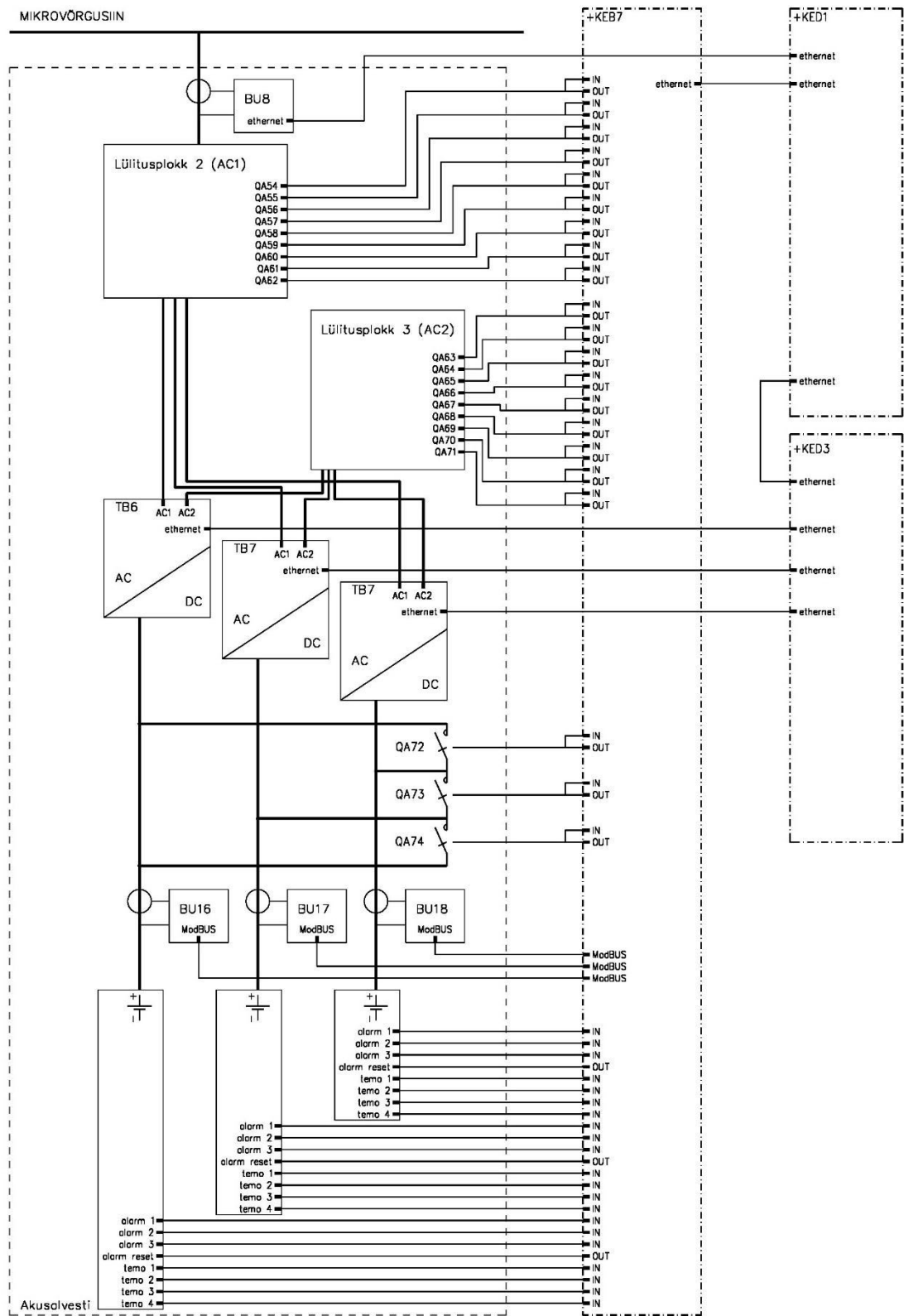
Voolu ja pinge mõõtmiseks paigaldatakse akupakkidele andurid „EMT-1C/300 LV“. Selliseid andureid valmistavad mitmed tootjad. Konkreetse anduri valikut põhjendab see, et anduri mõõteulatuse sisse mahuvad ära suurimad mõõdetavad väärtused optimaalseimalt võrreldes ülejäänud vaadeldud toodetega.

SMA akumuunduri maksimaalne võimsus 3 s vältel on 11 kW, lisades siia kaod 5% saame 11 550 W. Siit järeldub, kui aku pinge on 48 V siis maksimumvõimsusel tarbitakse ligikaudu 240 A. Turul pakutav sobilik andur on „EMT-1C/300 LV“ (Joonis 5.11). See on ettenähtud nii AC, kui ka DC signaalide mõõtmiseks. Järgnevalt on esitatud anduri andmed, mis puudutab DC väärtuste mõõtmist [35]:

- toitepinge: 9...30 V;
- omatarve: <1,3 W;
- mõõdetav DC pinge, täpsus: 100 V; 0,5%;
- mõõdetav vool, täpsus: 400 A; 0,5%;
- RS485 serial liidese protokoll: ModBUS RTU;
- Serial liidese kiirus: 1200 – 115200 bps;



Joonis 5.11 – Akupaki voolu ja pinge andur „EMT-1C/300 LV“ [33]



Joonis 5.12 Aku-energiasalvestuse mooduli juhtimis- ja mõõtmisahelad

Tabel 5.6 Aku-energiasalvestuse mooduli soovituslikud põhiseadmed

Nr.	Skeemi-tähis	Nimetus	Peamised tehnilised andmed	Tootja	Asukoht	Kogus
1	BU8	Mõõteseade	Sentron PAC3200	Siemens	EK2	1
2	BU8	Mõõteseadme Ethernet PROFINET	7KM9300-0AE02-0AA0	Siemens	EK2	
3	TB6; TB7; TB8	Muundur	Sunny Island 6.0H	SMA Solar Technology AG	EK2	3
4	KED3	Ruuter	SMA Data Manager M	SMA Solar Technology AG	EK2	1
5	AB1:AB9	Akude tasakaalustaja	Battery Balancer	Victron	EK2	9
6	CC1:CC8	Akud	12V/110Ah AGM Deep Cycle Batt. BAT412101084	Victron	EK2	8
7	CC9:CC12	Akud	12V/110Ah Gel Deep Cycle Batt. BAT412101104	Victron	EK2	4
8	BU16; BU17; BU18	Alalisvoolu andur	EMT-1C/300 LV	Contrel elettronica s.r.l	EK2	3
9	KEB7	Juhtkontroller	S7-1200	Siemens	EK2	1
10	KEB7	lisa moodul	6ES7231-5PD32-0XB0	Siemens	EK2	3
11	BT16:BT26	Temp. mõõteseade	valitakse vastavalt vajadusele	Victron Energy	EK2	12

5.7 Ülikondensaatori moodul

Projekteeritavas mikrovõrgus on planeeritud luua uus ülikondensaatori moodul. Vaadeldava mooduli eesmärgiks on uurida ülikondensaatori salvestavat protsessi ja sealt tagasi saadava energia mõju mikrovõrku. Vaadeldavasse moodulisse kuuluvate põhiseadmete loetelu on toodud välja tabelis (Tabel 5.7). Antud seadmete planeeritud paiknemine on ette nähtud kilbis EK3 (Joonis 5.13).

Andmeside on teostatud mõõteseadmele tänu Ethernet TCP/IP protokollile ja sellele vastavalt on kasutatud andmeühenduse kaabelduseks B2Ca Cat6a kaablit [15]. Samuti on võimalik seadmega saada kommunikatsioon kohapeal läbi USB.

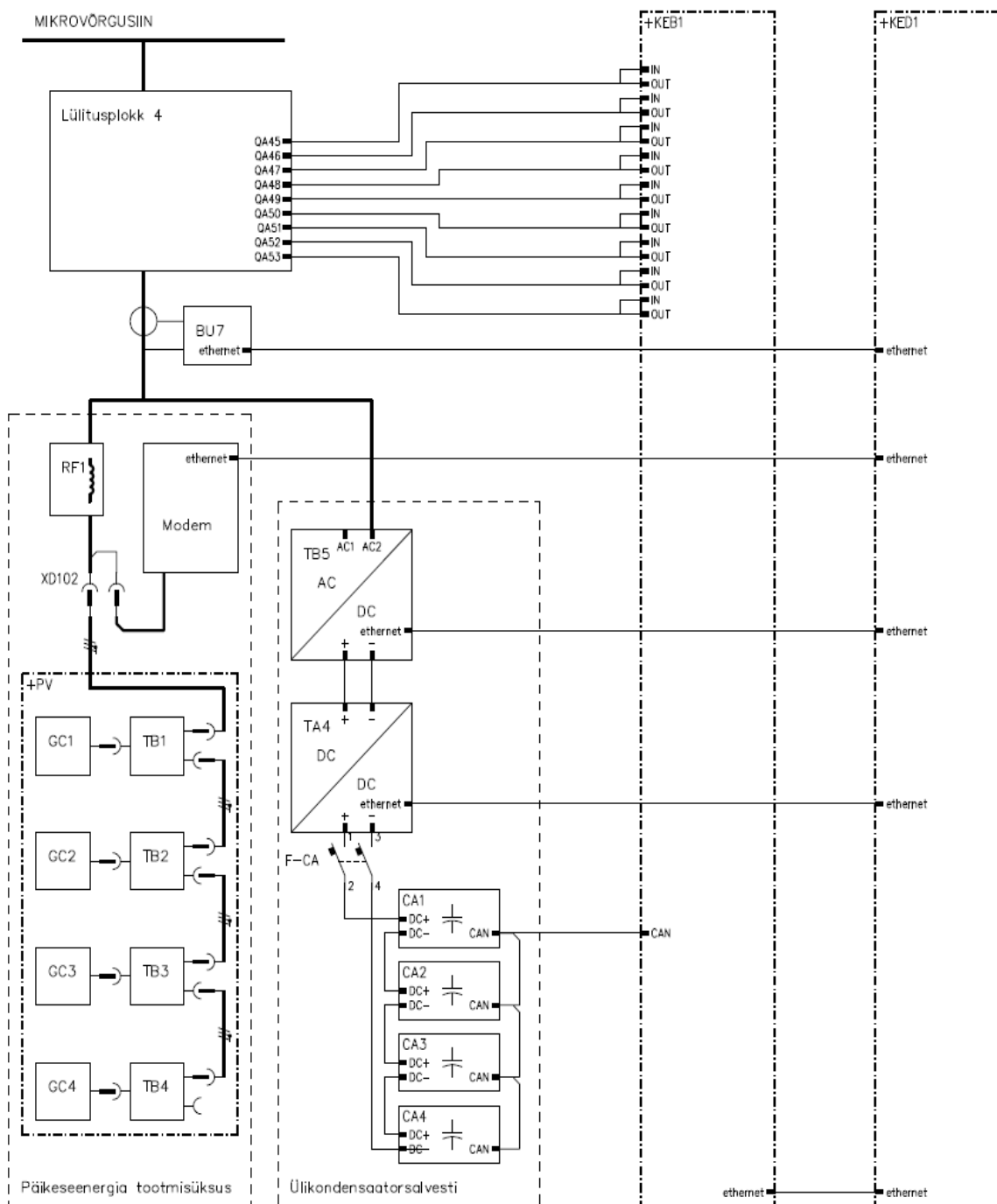
Kilpi EK3 on ettenähtud paigaldada Siemens DCP 30kW DC/DC muundur. Antud muundur toetab PROFINET kui ka Ethernet TCP/IP andmeühendust. Antud seade

ühendatakse juhtimis- ja analüüsikompleksiga. Teiseks muunduriks rakendatakse SMA Sunny Island 6.0H AC/DC muundur. Antud seadmega andmeühenduseks kasutatakse SMA Data Manager M andmeside sise- ja väliühenduse moodulit, mis paikneb kilbis EK2.

Moodulisse on väljavalitud õppe- ja teadustöö tegemiseks neli uut ülikondensaatorit. Ülikondensaatoriteks kasutatakse Skeleton SkelMod 51V 177F kondensaatoreid. Ülikondensaatorid ühendatakse jadaühenduses. Ülikondensaatoritel on nende olekute jälgimiseks tootja poolt CAN ühendus, antud andmete lugemiseks on ettenähtud paigaldada EK3 paiknevale kontrolleri-le KEB6 lisa konverter Siemens SIPLUS PN/CAN LINK TX RAIL, millest ümberkonverteeritud andmed edastatakse juhtimis- ja analüüsikompleksi.

Tabel 5.7 Ülikondensaatori mooduli soovituslikud põhiseadmed

Nr.	Skeemi-tähis	Nimetus	Peamised tehnilised andmed	Tootja	Asukoht	Kogus
1	TB5	Muundur AC/DC	Sunny Island 6.0H	SMA	EK3	1
2	TA4	Muundur DC/DC	DCP 30kW	Siemens	EK3	1
3	CA1:C4	Ülikondensaator	SkelMod 51V 177F	Skeleton	EK3	4
4	KEB6	Juhtkontroller	S7-1200	Siemens	EK3	1
5	KEB6	Konverter	SIPLUS PN/CAN LINK TX RAIL	Siemens	EK3	1
6	BU7	Mõõteseade	Sentron PAC3200	Siemens	EK3	1
7	BU7	Mõõteseadme Ethernet PROFINET	7KM9300-0AE02-0AA0	Siemens	EK3	1



Joonis 5.13 Ülikondensaatori ja päikeseelektrijaamade mooduli juhtimis- ja mõõtmisahelad

5.8 Hooratas-energiasalvestuse moodul

Projekteeritavas mikrovõrgus kavandatakse võtta kasutusele Rosseta Technik GmbH T3-15 hooratta-energiasalvestuse moodul, mille eesmärgiks on energia salvestamine kineetiliseks energiaks ja vastupidi. Vaadeldav seadmete komplekt paikneb Tallinna Tehnikaülikooli energeetikaosakonna ruumis NRG-102 kilbi tähisega T3-15.

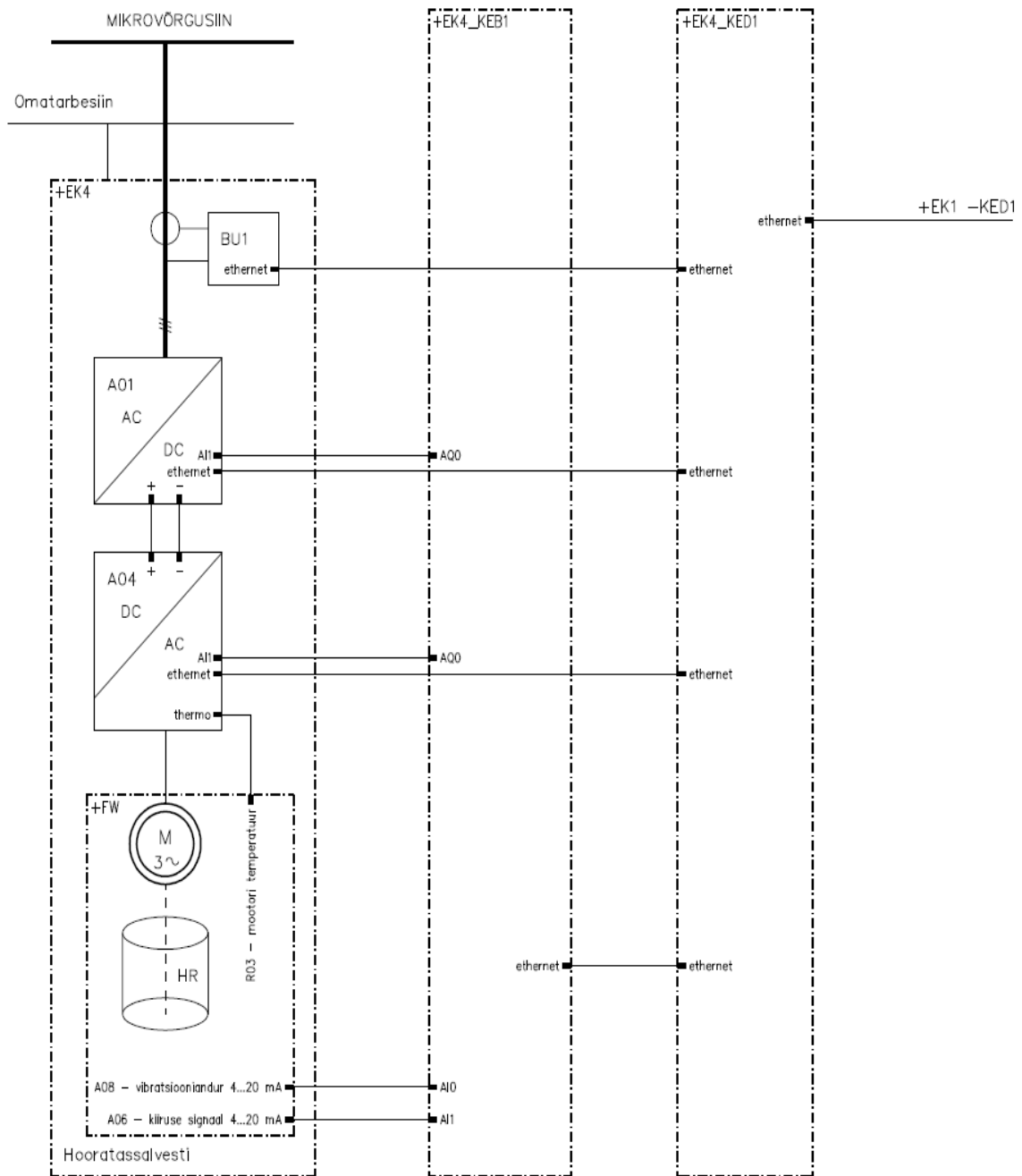
Hooratas-energiasalvestuse moodulis paiknevate mõõteseadme ja sagedusmuundurite andmeühendus juhtimis- ja analüüsikompleksi vahel on teostatud Ethernet TCP/IP alusel ja sellele vastavalt on kasutatud andmeühenduse kaabelduseks B2Ca Cat6a kaablit [15]. Olemasolevate sagedusmuunduritele Unidrive SP2403 15kW S1/S2 paigaldatakse SM-ethernet moodul.

Hooratas-energiasalvestuse mooduliga teostati laboratoorsed katsed, mis näitasid seadme kompleksuse töökorrasolekut. Seadmega tutvumiseks võeti aluseks Hindrek Kaevali bakalaureusetöö teemal „Hooratas-energiasalvesti katsestendi täiustamine ja laboratorsete tööde väljatöötamine“. Eelnevas lõputöös täiustati antud seadme kompleksust, eesmärgiga juhtida moodulis olevaid sagedusmuundureid kontrolleri- ja sagedusmuunduritega, selleks oli vaja vahemikus -10V...10V valitud kontrolleri jaoks oli Delta Electronics'i DVP-10SX11T PLC. [33]

Hooratas-energiasalvestuse mooduli hetkesise puuduseks võib pidada seda, et mikrovõrgus hoorattasüsteemi kasutuselevõttuga tuleks olemasolev kontrolleri välja vahetada sama tootepere seadmete vastu. Näiteks on antud projekti teistes energiamoodulites rakendatud Siemens S7-1200 PLC-d, mida oma korda juhib juhtimis- ja analüüsikompleksis paiknev peakontroller Siemens S7-1500. Moodulis paikneva kontrolleri eesmärgiks on näiteks mikrovõrgust tulenevat juhtimiskäskude täitmine ja mikrovõrgu pingekvaliteedi parendamine, jne.

Tabel 5.8 Hooratta soovituslikud põhijuhtimisseadmeid

Nr.	Skeemi-tähis	Nimetus	Peamised tehnilised andmed	Tootja	Asukoht	Kogus
1	EK4-BU1	Mõõtesead	Sentron PAC3200	Siemens	EK4	1
2	EK4-BU1	Mõõteseadme Ethernet PROFINET	7KM9300-0AE02-0AA0	Siemens	EK4	1
3	EK4-KEB1	Juhtkontroller	S7-1200	Siemens	EK4	1
4	EK4-KEB1	lisa AO moodul	6ES7232-4HD32-0XB0	Siemens	EK4	1
5	EK4-KED1	Kommutaator (switch)	6GK5008-0GA10-1AB2 - Industrial Ethernet Switch	Siemens	EK4	1
6	A04;A01	Sagedusmuundurite Ethernet moodul	SM-ethernet	Unidrive	EK4	2



Joonis 5.14 Hooratas-energiasalvestuse mooduli juhtimis- ja mõõtmisahelad

5.9 Päikeseelektrijaama moodul

Projekteeritavas mikrovõrgus on planeeritud rakendada päikeseelektrijaama moodulit. Vaadeldava mooduli eesmärgiks on uurida päikesepaneelide tootlikkust projekteeritavasse mikrovõrku ja sellest tulenevalt mõju. Vaadeldavasse moodulisse kuuluvate põhiseadmete loetelu on toodud välja tabelis (Tabel 5.9). Antud seadmete planeeritud paiknemine on ette nähtud kilbis EK3 (Joonis 5.13), päikesepaneelid paiknevad teisaldataval seadmel.

Kilpi EK3 on soovituslikul valitud paigaldada Enphase IQ 7-60-2 DC/AC muundur. Antud muunduriga suhtlemiseks on ette nähtud paigaldada süsteemi Enphase Envoy-S (päikesepaneelide modem). Vastava seadmega andmeühendus saavutatakse tänu LAN ühendusega juhtimis- ja analüüsikompleksist.

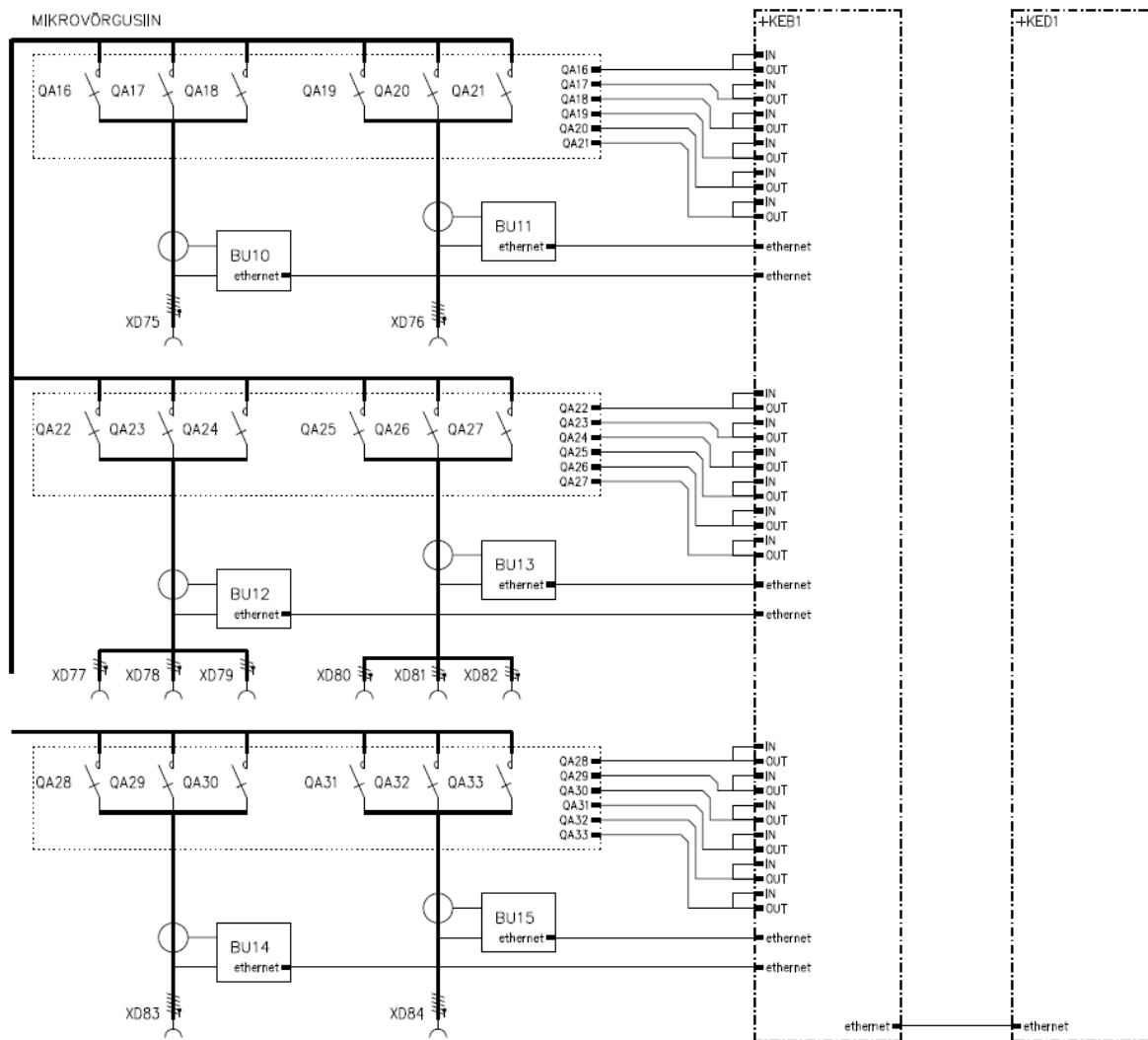
Tabel 5.9 Päikeseelektrijaama soovituslikud põhijuhtimisseadmeid

Nr.	Skeemi-tähis	Nimetus	Peamised tehnilised andmed	Tootja	Asukoht	Kogus
1	GC1:GC4	Päikesepaneel	Naps Saana 225 PBW	Naps Saana ldt.	NRG-102	4
2	TB1:TB4	Muundur DC/AC	IQ 7-60-2	Enphase	EK3	4
3	KED2	PV modem	Enphase Envoy-S (PV modem)	Enphase	EK3	1

5.10 Reservühenduse moodul

Antud peatükis on välja projekteeritud reservühenduse moodul juhtimis- ja mõõtmislahendus. Vaadeldav moodul paikneb elektrikilbis EK1 (Joonis 5.15), paigaldatavate mõõteseadmete ning juhtimissüsteemi funktsionaalset vajadust on kajastatud peatükis 4.10. Reservühenduse mooduli juhtimis- ja mõõtmisahlate soovituslikud põhijuhtimisseadmeid on väljatoodud tabelis (Tabel 5.10).

Reservühendus moodulis paiknevate mõõteseadme ja koormusemulaatori andmeühendus juhtimis- ja analüüsikompleksi vahel on teostatud Ethernet TCP/IP alusel ja sellele vastavalt on kasutatud andmeühenduse kaabelduseks B2Ca Cat6a kaablit. [15]



Joonis 5.15 Reserviideri mooduli juhtimis- ja mõõtmisahelad

Tabel 5.10 Reserviideri mooduli juhtimis- ja mõõtmisahlate soovituslikud põhijuhtimisvahendid

Nr.	Skeemi-tähis	Nimetus	Peamised tehnilised andmed	Tootja	Asukoht	Kogus
1	BU12:BU16	Mõõtesead	Sentron PAC3200	Siemens	EK1	6
2	BU12:BU16	Mõõteseadme Ethernet PROFINET	7KM9300-0AE02-0AA0	Siemens	EK1	6
3	KEB3	Juhtkontroller	S7-1200	Siemens	EK1	1
4	KEB3	DI moodul	6ES7221-1BH32-0XB0	Siemens	EK1	2
5	KEB3	DQ moodul	6ES7222-1BH32-0XB0	Siemens	EK1	2

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärk oli planeerida ja projekteerida vahelduvvoolu peasiiniga laboratoorne mikrovrõrgu paindlik juhtimis- ja analüüsisüsteem.

Kontrolliti Tallinna Tehnikaülikoolis olemasolevat mikrovrõrku, seda just juhtimissüsteemi seisukohast. Eesmärgiks oli selgitada välja, kas olemasolevaid seadmeid on võimalik kasutusele võtta uue mikrovrõrgu lahenduse koostamiseks. Kontroll tulemusel jõuti järeldusele, et olemasolevat mikrovrõrgu juhtimissüsteemi struktuuri ega ka energiasalvestusseadmeid ei ole võimalik uues projektis rakendada. Olemasoleva mikrovrõrgu juhtimissüsteemi analüüsi koostamisel oli suurimaks takistuseks olemasoleva juhtimissüsteemi ja nõrkvoolu elektriskeemide dokumentatsiooni puudulikkus ning mikrovrõrgu rajanud ettevõtte poolt informatsiooni puudulikkus minevikus toimunud probleemide osas. Samuti puudus süsteemi käiduraamat probleemide tekkest ja lahendustest ning otsustest.

Töö käigus kaardistati instituudipoolsed vajadused uuele mikrovrõrgu andmesidele, infovahetusele ja süsteemi planeeritavate moodulite juhtimisele ning mõõteseadmetele. Eesmärgiks oli anda alus uuele mikrovrõrgu juhtimissüsteemi planeerimisele ja projekteerimisele ning sobilike seadmete valikule. Samuti kasutati Rahvusvahelise Elektrotehnika Komisjonkoostatud (ICE) standardeid. Antud töös töötati läbi ICE poolt koostatud valim erinevatest standartidest, mis komisjoni arvates moodustava alustala mikrovrõrkude rakendustele ja lahendustele. Standardite läbitöötamisel osutus probleemiks selle suur maht ning osadele standartidele ei olnud EVS kodulehelt ligipääsu üliõpilase vaatest, näiteks IEC/TR 61850-90-7:2013.

Mikrovrõrgu juhtimissüsteemi planeerimise ja projekteerimise osas analüüsiti projekteeritava mikrovrõrgu energiamoodulitesse väljavalitavate juhtimisseadmete valikut, vaadeldi samuti väljastatavate andmehulkade võimekust seadmetelt, andmehulkade reaajas jälgimise võimekust ja talletamist ning mikrovrõrgu süsteemi kommunikatsiooni võimalusi ja lahendusi. Tänapäeval on probleemiks konkreetsetesse rakendustesse sobilike parameetritega seadmete väike valik turul ja Eestis paiknev tehniline tugi nii konsultatsiooni, väljaõppe kui remonditööde osas. Sellest tulenevalt ka raskused uute süsteemide planeerimisel ja probleemide esinemine vanade taaskasutamisel uutes.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was to plan and design a laboratory-based microgrid with an AC main bus that has a flexible control and analysis system.

The existing microgrid at Tallinn University of Technology was inspected, especially from the management system point of view. One aim of the thesis was to try to possibly use existing equipment when designing a new microgrid solution. The final conclusion of the control result was that the existing microgrid management system structure as well as the energy storage devices cannot be implemented in the new project. The biggest obstacle when creating the analysis of the existing microgrid management system was the lack of system documentation for low-current electrical circuits and the existing management system, as well as the absence of information about past problems by the company that built the microgrid. There was also no system logbook of arisen problems, solutions and decisions.

During the course of the work, the needs of the institute were mapped for the new microgrid data communication, information exchange and control modules for the planned system, as well as measuring devices. The objective was to provide a basis for the planning and design of a new microgrid management system and the selection of suitable equipment. The standards developed by the International Electrotechnical Commission (ICE) were also used. A sample of different standards developed by ICE were implemented in the work, which the committee considers to be the cornerstone of microgrid applications and solutions. The large volume of the standards proved to be a problem when analyzing, and some standards were not accessible from the EVS website from the student's point of view, for example IEC/TR 61850-90-7: 2013.

Regarding the planning and design of the microgrid control system, the selection of control devices to be selected in the energy modules of the designed microgrid was analyzed, the capability of data outputs from devices, real-time data monitoring capability and storage, microgrid system communication options and solutions were examined. Nowadays, the problem is the availability on the market of small selection of equipment with suitable parameters for specific applications and the technical support located in Estonia in terms of consultation, training and repair work. Therefore, the difficulties in planning new systems and arising problems with reusing old ones in the future.

KASUTATUD KIRJANDUS

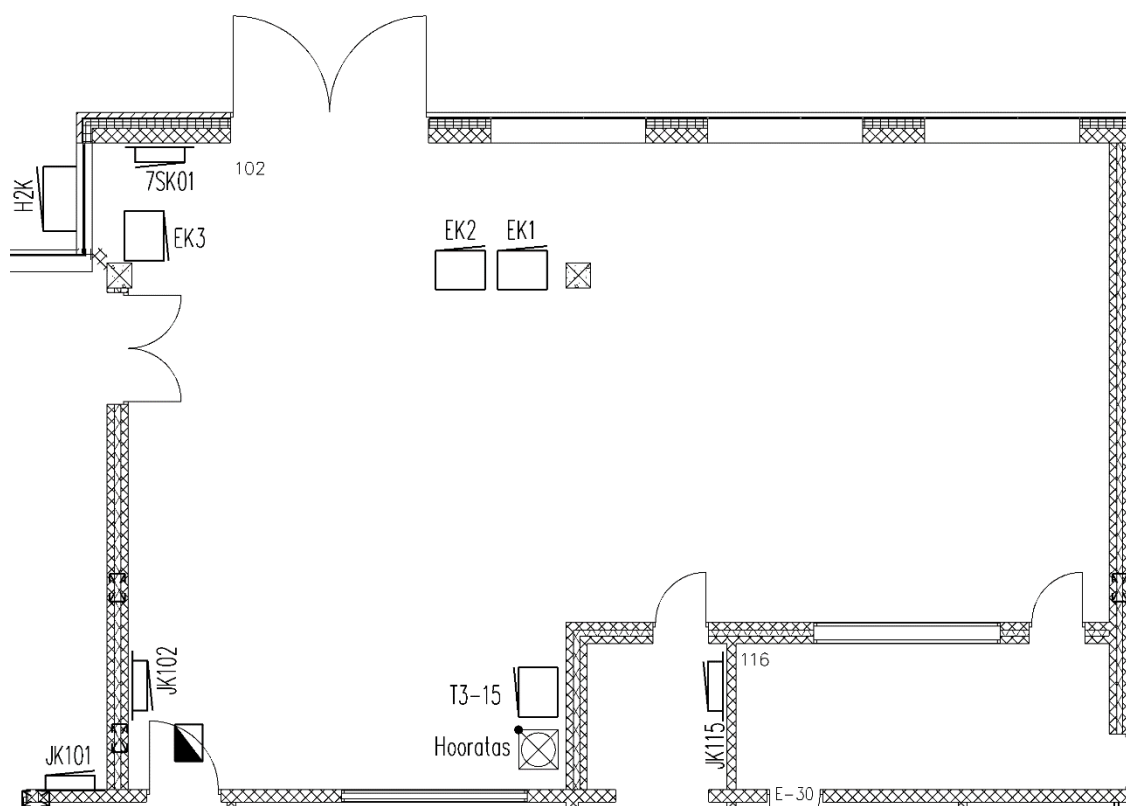
- [1] Meldorf, M., Tikk, T., Kilter, J. (2010). Elektrivõrgu operatiivjuhtimissüsteem. Tallinn : Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus
- [2] Pikner, R. (2010). Uue põlvkonna elektrisüsteem ja selle komponendid [WWW] https://www.riigikantselei.ee/sites/default/files/content-editors/TOF/TOF_noorteadlased/rando_pikner_uue_polvkonna_elektrisusteem_taisversioon.pdf. (05.05.2020)
- [3] Vinnal, T., Lehtla, T. (2016). Elektrivarustuse tulevikuvisionid. Tallinn : Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus
- [4] Võrgueeskiri – Riigi Teataja I, 21.02.2019, 3.
- [5] Hayden, E. (2013). Introduction to microgrids. [WWW] https://web.archive.org/web/20180219221925/http://www.securicon.com/sites/default/files/Introduction%20to%20Microgrids%20-%20Securicon%20-%202013_1.pdf (13.05.2020)
- [6] Annus, M., Lokk, A., Tralla K., Petrova, O. (2018). Taastuvenergia aastaraamat 2018. [WWW] <http://www.taastuvenergeetika.ee/wp-content/uploads/2019/06/ETEK-Taastuvenergia-aastaraamat-2018.pdf> (11.05.2020)
- [7] Lahtmets, R. (2001). Elektrotehnika alused. [WWW] http://www.ene.ttu.ee/leonardo/elektro_alused/6Vahelduvvool.pdf (19.05.2020)
- [8] Joller, J. (2012): Projekt "Arukas energiasüsteem". Tallinn : OÜ Energiatehnika
- [9] FLEXIVA automation & Robotik GmbH (2001): ZEMIS Energy Kit: General facts. [WWW] http://www.flexiva-sonderanlagenbau.de/en/alternative_energy/?content=200103&id=20 (02.04.2020)
- [10] FLEXIVA automation & Robotik GmbH (2001): Flexiva development. [WWW] https://www.flexiva.eu/en/alternative_energy/?content=200104&id=48 (02.05.2020)
- [11] FLEXIVA automation & Robotik GmbH (2015): WG5Kxxx Modular DC-converter system. [WWW] https://www.flexiva.eu/download/aes/handbuch/englisch/shortdescription_wg5kxxx_0315.pdf (02.05.2020)
- [12] Rosin, A., Korõtko, T. (2019): Energiasüsteemide digitaliseerimine. [WWW] https://www.ttu.ee/public/e/elektroenergeetika-ja-mehhatroonika-instituut/Oppetoo/Energiasusteemide_digitaliseerimine_v3.pdf (10.01.2020)

- [13] Avalike elektrivõrkude pinge tunnussuurused. (2019):
Eesti standard EVS-EN 50160:2010+A1+A2+A3:2019. Tallinn. Eesti Standardikeskus. (standard)
- [14] Rotenberg, V., Lepiksoo, U., Brindfeldt, E. (2015): Tööstuslikud sidevõrgud.
[WWW] https://www.tthk.ee/MEH/Vork_2.html (26.04.2020)
- [15] Webro Cable & Connectors (2018): B2Ca Cat6a Cable. [WWW]
<http://www.webro.com/b2ca-cat6a-cable/> (26.04.2020)
- [16] Siemens AG (2015): IEC 61850 Client Library. [WWW]
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/624/109480624/att_859558/v1/TIA_v12_IEC61850_Basis.pdf (18.05.2020)
- [17] Cisco Systems (2020): Cisco Catalyst 2960-X Series Switches. [WWW]
<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-9200-series-switches/nb-06-cat9200-ser-data-sheet-cte-en.html> (26.04.2020)
- [18] Cisco Systems (2020): Cisco UCS C220 M5 Rack Server. [WWW]
<https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/servers-unified-computing/ucs-c-series-rack-servers/c220m5-sff-specsheet.pdf> (26.04.2020)
- [19] Cisco Systems (2019): Cisco UCS C220 M5 Rack Server Data Sheet. [WWW]
<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/servers-unified-computing/ucs-c-series-rack-servers/datasheet-c78-739281.html> (26.04.2020)
- [20] Juniper Networks (2020): SRX300 overview. [WWW]
<https://www.juniper.net/us/en/products-services/security/srx-series/srx300/>
(26.04. 2020)
- [21] Fondriest Environmental, Inc (2020): RainWise PortLog Portable Weather Station.
[WWW] <https://www.fondriest.com/rainwise-portlog-portable-weather-station.htm> (03.05.2020)
- [22] Siemens AG (2018): PAC 4200 Power Meter. [WWW]
https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=BTLV_50410
(03.02.2020)
- [23] Siemens AG (2019): Power quality instrument SICAM Q200. [WWW]
<https://new.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/power-quality-measurement/power-quality-instrument-sicam-q200.html> (03.02.2020)
- [24] Siemens AG (2020): SIMATIC ET 200SP - 6ES7134-6JD00-0CA1 Data sheet.
[WWW]

- <https://support.industry.siemens.com/tedservices/DatasheetService/DatasheetsService?format=pdf&mlfbs=6ES7134-6JD00-0CA1&language=en&caller=SIOS>
(04.03.2020)
- [25] Siemens AG (2015): SINAMICS G120P CU230P-2 Control Units data sheet. [WWW]
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/360/109477360/att_848861/v1/CU230P_KBA3_0415_eng_en-US.pdf (12.04.2020)
- [26] Siemens AG (2020): Expansion module switched Ethernet PROFINET V3 - 7KM9300-0AE02-0AA0 data sheet. [WWW]
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/7KM9300-0AE02-0AA0> (10.05.2020)
- [27] Siemens AG (2008): Siemens Sentron PAC3200. [WWW]
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/150/26504150/att_906558/v1/A5E01168664B-04_EN-US_122016_201612221316360495.pdf (05.12.2019)
- [28] Instrumentos de Medida, SL (2018): Programmable AC Power Source Model 61509/61508/61507/61609/61608/61607. [WWW]
<http://idm-instrumentos.es/instrumentacion/wp-content/uploads/2018/06/Chroma-AC-source-one-phase-three-pahases-high-density.pdf> (27.01.2020)
- [29] Chroma ATE Inc. (2012): High Performance Programmable AC Power Source Model 61500 Series. [WWW]
http://www.chromaate.com/product/61500_Series_High_Performance_Programmable_Power_Source.htm (27.04.2020)
- [30] Chroma ATE Inc. (2012): Chroma 63800 Electronic Loads. [WWW]
<https://www.chromausa.com/product/programmable-ac-electronic-load-63800/>
(06.04.2020)
- [31] SMA Solar Technology (2020): SMA DATA MANAGER M datasheet. [WWW]
<https://files.sma.de/dl/31011/EDMM-10-DDE1927-V20web.pdf> (20.03.2020)
- [32] Victron Energy B.V. (2020): MultiPlus-II 48/3000/35-32 230V GX (PMP482306000). [WWW]
<https://www.victronenergy.com/upload/documents/Manual-MultiPlus-II-GX-EN-NL-FR-DE-ES-SE-IT.pdf> (13.04.2020)
- [33] Kaeval, H. Hooratas-energiasalvesti katsestendi täiustamine ja laboratoorsete tööde väljatöötamine: bakalaureusetöö. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2013.

LISAD

Lisa L2.1 TTÜ Energeetikateaduskonna hoone ruumi NRG-102 olemasolevate kilpide paigutus



Lisa L2.2 Seadmete ja aparatuuride loetelu - EK1

Nr.	Nimetus	Peamised tehnilised andmed või tüüp	Tootja/tarnija; tootekood	Asukoht	Kogus
1	Juhtkontroller	DVP28SV	Delta	EK1	1
2	Puutetundlik operaatorpaneel	DOP-B10E615	Delta	EK1	1
3	Server	X3550 M3 E5645	IBM	EK1	1
4	Ruuter	ASA 5505	Cisco	EK1	1
5	Väline kõvaketas	BlackArmor NAS 110	Seagate	EK1	1
6	TV-ekraan	LE32D550K1W	Samsung	VII korpuse fuajees	1
7	TV-ekraani arvuti	PING	Ordi	VII korpuse fuajees	1
8	Tuuliku turvarelee	G2RS 24Vdc	Omron	EK1	1
10	Tuuliku juhtreele	MY4Z 24Vdc	Omron	EK1	1
11	Tuuliku turvarelee reset lüliti	P/BUTT FLUSH W/O CAP	GE; P9XPN0G	EK1	1
12	Toiteplokk	DRP024V240W1AA	Delta	EK1	1

Lisa L2.3 Seadmete ja aparatuuride loetelu - EK2


Nr.	Nimetus	Peamised tehnilised andmed või tüüp	Tootja/tarnija; tootekood	Asukoht	Kogus
1	DC/DC muundur	PM3K060	Flexiva	EK2	3
2	AC/DC muundur	PM3AC10	Flexiva	EK2	2
3	DC/DC muundur	PM3K045	Flexiva	EK2	1
4	DC/DC muundur tuuleturbiinile	60DCDC750DK_ETE H	MSc	EK2	1
5	RS232/RS485 konverter	IFD8520	Delta	EK2	2
6	Pingemuundur	CE-AV42-34MN	Shenzhen Sensor	EK2	1
7	Voolumuundur	CE-AI32-34BS	Shenzhen Sensor	EK2	1
8	Pingemuundur	CE-AD12B-34ES5	Shenzhen Sensor	EK2	1
9	Vahelduvvoolu mõõtesead	UMG103	Janitza	EK2	1
10	Ülikondensaatorpatareid	BMOD0165 P048 B01	Maxwell	EK2	1
11	Akud	AGM Deep Cycle Aku 12 V, 220 Ah	Vitron Energy / UTU Powel	EK2	4
12	Kahepooluselised sulavkaitsmed	10×39 gL	COOPER BUSSMANN / Viru	EK2	3
13	Pidurdusmoodul	VFDB4045	Delta	EK2	1
14	Trafo	TTS12 4 kVA 3×690/3×380 V	Polylux/Viru	EK2	1
15	Kontaktori	CL01D310TD	GE/Viru	EK2	2

Lisa L2.4 Seadmete ja aparaatide loetelu – EK3


Nr.	Nimetus	Peamised tehnilised andmed või tüüp	Tootja / tarnija; tootekood	Asukoht	Kogus
1	Kütuseelement koos solenoid-kaitseklapiga YM1	Nexa 1200	Heliocentris	EK3, kaitseklapp ruumi 102 seinal	1
2	Elektrolüüser	NMH2-1000	Linde / AGA	EK3	1
3	H2 kulu mõõtja	GFM17A-VBDN2-B0A	AALBORG / AGA	ruumi 102 seinal	1
4	Rõhuandur	PCE-28	APLISENS / AGA	ruumi 102 seinal	2
5	Tagasilöögiklapp	SS-CHS6MM 1/3	Swagelok/AGA	ruumi 102 seinal	3
6	Balloonide magnetklapp	136 041 N	Bürkert / AGA	Gaasiballoonide ja ruumis 102 paikneva torustiku vahel.	2
7	Gaasiballoon	20 l	AGA	õues ruumi 102 seinal	3
8	Kilbi jahutusventilaator EK3	DK 7000.670	Rittal	EK3	1
9	Kilbi jahutusventilaator EK3	DK 7980.000	Rittal	EK3	1
10	Vesiniku lekke avariiventilaator	EX 140-4C	Systemair	ruumi 102 laes	1
11	H2 andur	E2606-H2	Evikon	ruumi 102 laes	1
12	Ventiil kraan	W40B-10,5 B	AGA	ruumi 102 seinal	1
13	Toiteplokk	PMC-24V150W1AA	Delta	EK3	1
14	Kütuseelemendi START/STOP rele	G2RS 24Vdc	Omron / Viru	EK3	1
15	Ohutusrele	MY4Z 24 Vdc	Omron / Viru	EK3	1
16	EK3 ventilatsiooni rele	G2RS 24Vdc	Omron / Viru	EK3	1

Lisa 5.1 Mootorgeneraator parameetrid

Tabel 0.1. ABB mootori andmed

3~ Motor M3AA 160 L4					
IEC 160 M/L 42					
Ins.cl : F				IP 55	
V	Hz	kW	r/min	A	cosφ
400 D	50	15	1460	29,0	0,82
690 Y	50	15	1460	16,7	0,82
660 Y	50	15	1455	17,3	0,84
380 D	50	15	1455	30,0	0,84
415 D	50	15	1465	28,0	0,81
640 D	60	18	1750	30,0	0,85
Prod. Cod. 3GAA 162102-ADC.436.473					
6309-2Z/C3  6209-2Z/C3					103 kg

Tabel 0.2 ABB generaatori andmed

3~ Motor M3AA 130 S					
IEC 60034-1					
Ins.cl : F				IP 55	
V	Hz	kW	r/min	A	cosφ
380-420 D	50	5,5	1460	11,1	0,84
660-690 Y	50	5,5	1460	6,4	0,84
440-480 D	60	6,4	1760	11,1	0,84
Prod. Cod. 3GAA 132023-ADC.445					
6208-2Z/C3  6206-2Z/C3					48 kg

**Lisa 5.2 Uus TTÜ Energeetikateaduskonna mikrovõrgu
ruumi NRG-102 projekt**

D Muudatus:


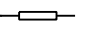

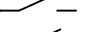
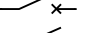
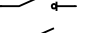
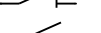
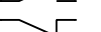



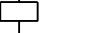

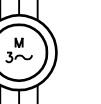
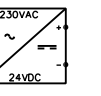
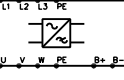
C Muudatus:

B Muudatus:

A 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, kontakt, 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

	sulavkaitse
	takisti
	induktiivsus
	automaatkaitseülili
	võimsusülili
	võimsuslahklüli
	lahklüli
	normaalselt avatud kontakt
	normaalselt suletud kontakt
	normaalselt avatud kontaktori peakontakt
	normaalselt suletud kontaktori peakontakt
	kontaktori-, releemähis
	trafo
	asünkroonmootor
	AC/DC muundur
	AC/AC sagedusmuundur

A

B

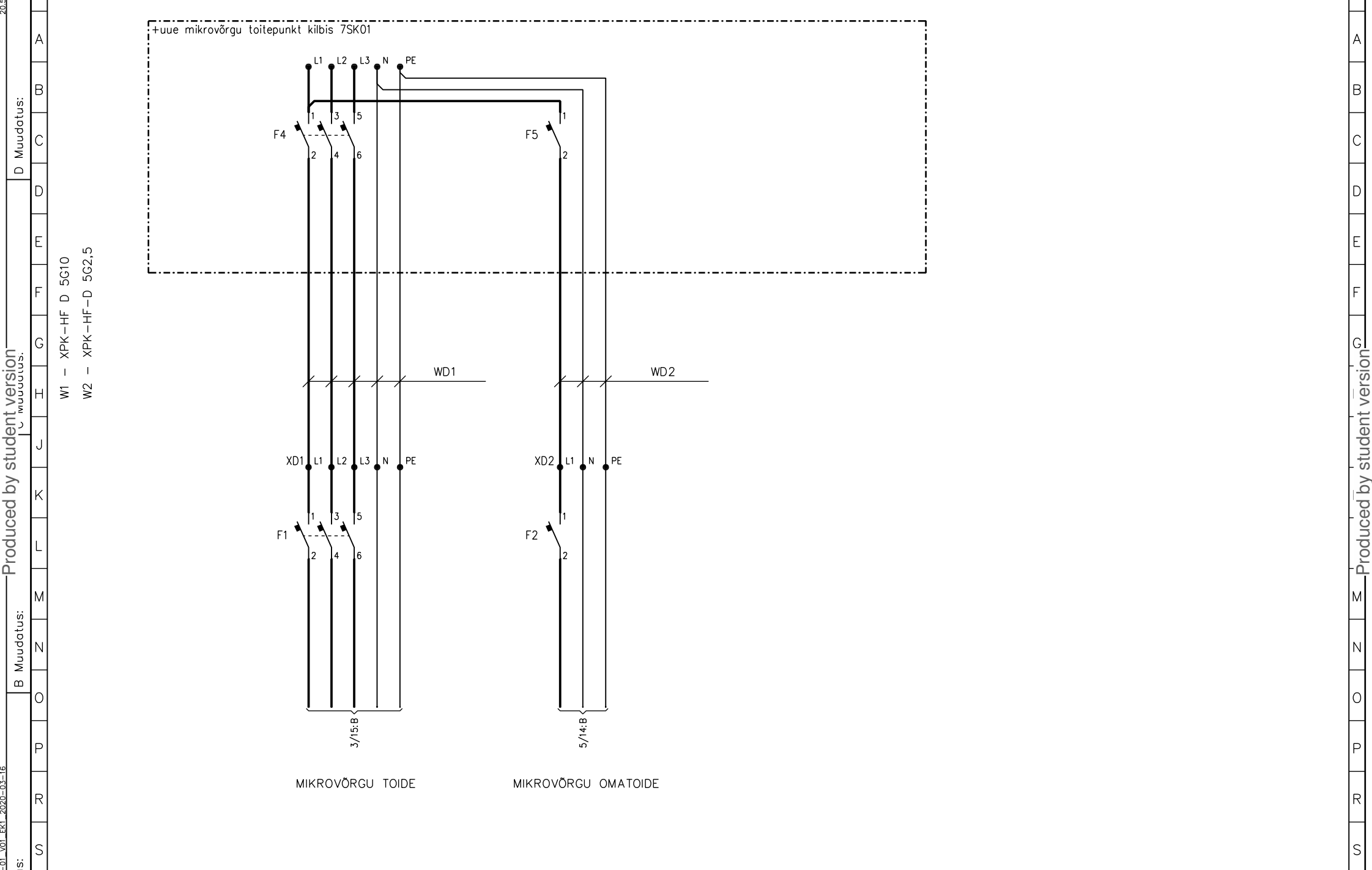
C

D

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Info
M Keskiöla ja Illinõh

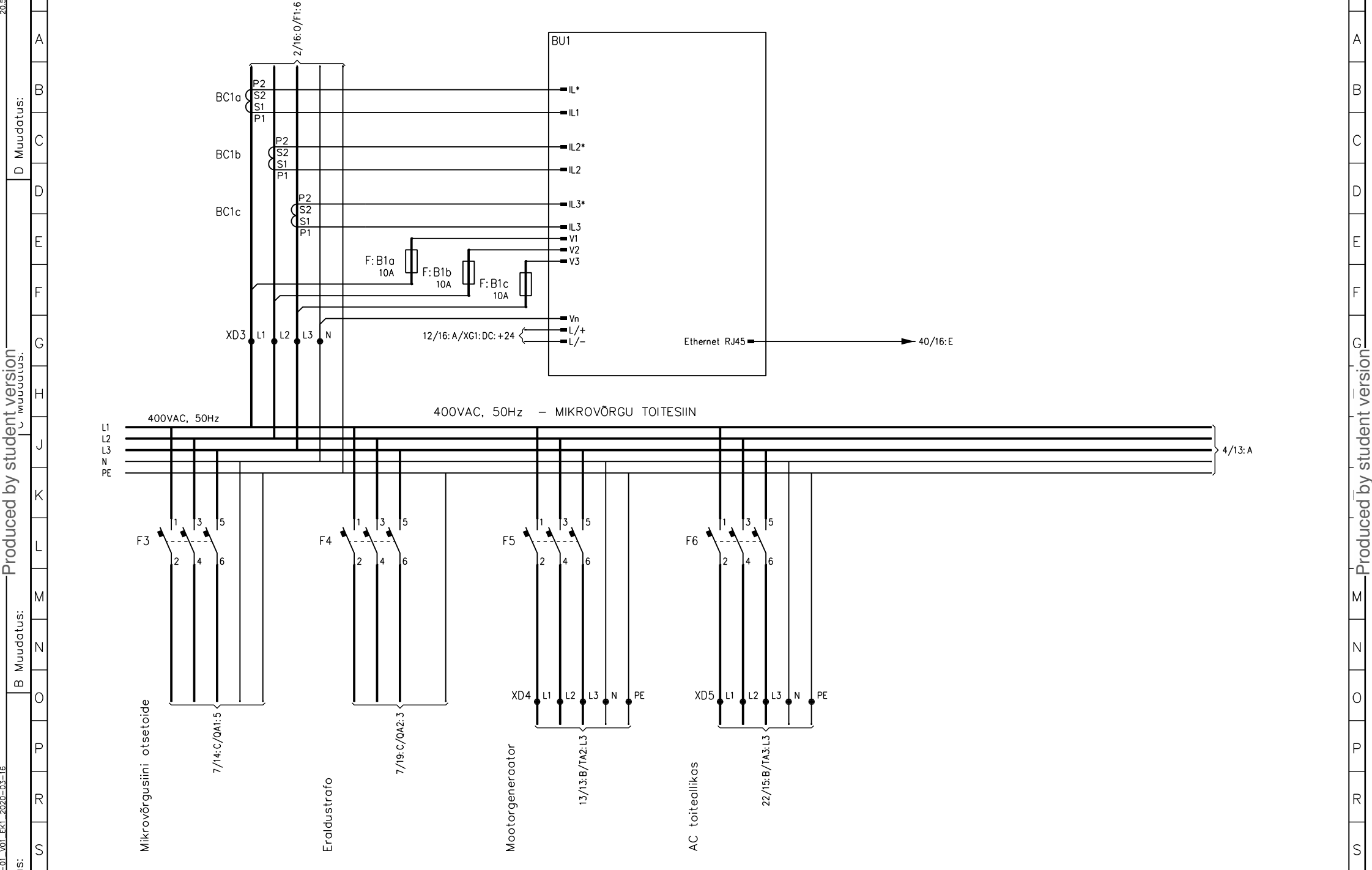
Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr.	Tõõ nr. 0001
Kontrollis	Leht 1/41	Joonise nr.	
Kinnitas			



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			

20.5.2020
 Produced by student version
 D Muudatus:
 C Muudatus:
 B Muudatus:
 A Muudatus:

A
 B
 C
 D
 E
 F
 G
 Produced by student version
 M
 N
 O
 P
 R
 S



Produced by student version

Produced by student version

Produced by student version

Produced by student version

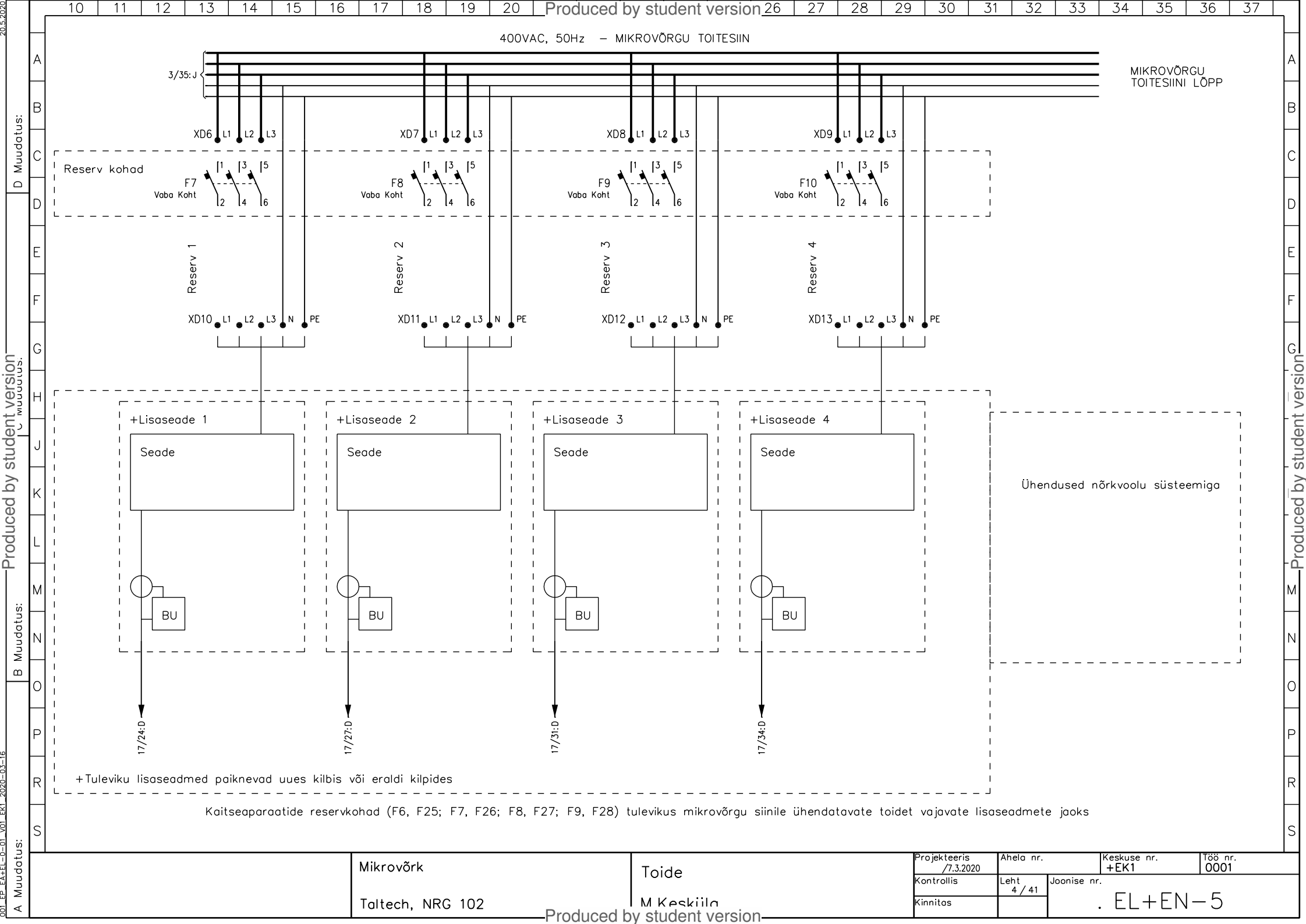
Produced by student version

Produced by student version

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Toide
M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /7.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	Tõõ nr. 0001
Kontrollis	Leht 3/41	Joonise nr.	
Kinnitas	. EL+EN-5		



400VAC, 50Hz - MIKROVÕRGU TOITESIIN

MIKROVÕRGU TOITESIINI LÕPP

3/35:J

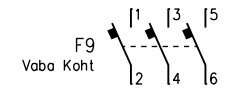
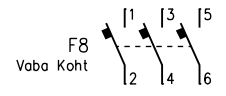
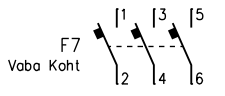
XD6 L1 L2 L3

XD7 L1 L2 L3

XD8 L1 L2 L3

XD9 L1 L2 L3

Reserv kohad



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

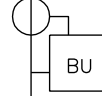
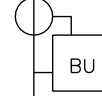
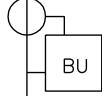
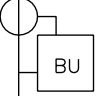
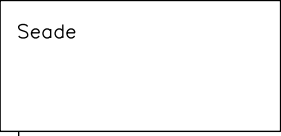
XD13 L1 L2 L3 N PE

+Lisaseade 1

+Lisaseade 2

+Lisaseade 3

+Lisaseade 4



17/24:0

17/27:0

17/31:0

17/34:0

Ühendused nõrkvoolu süsteemiga

+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

Taltech, NRG 102

Toide

M Keskiila

Projekteeris /7.3.2020

Kontrollis

Kinnitas

Ahela nr.

Leht 4 / 41

Keskuse nr. +EK1

Joonise nr.

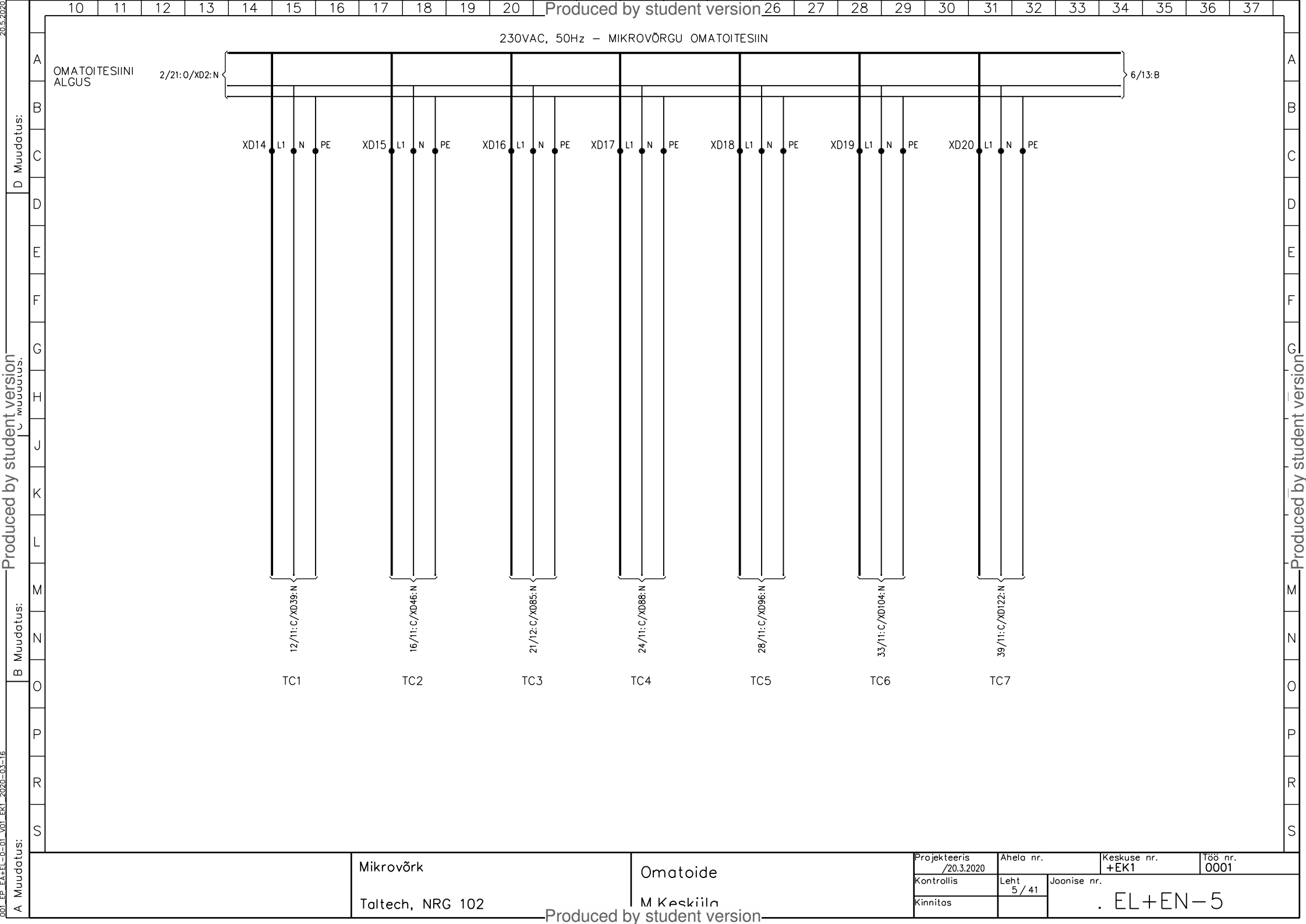
T88 nr. 0001

. EL+EN-5

A Muudatus: 20.5.2020
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:

Produced by student version



230VAC, 50Hz - MIKROVÖRGU 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 Keskiila

Projekteeris

/20.3.2020

Kontrollis

Kinnitas

Ahela nr.

Leht

5/41

Keskuse nr.

+EK1

Joonise nr.

T88 nr.

0001

. EL+EN-5

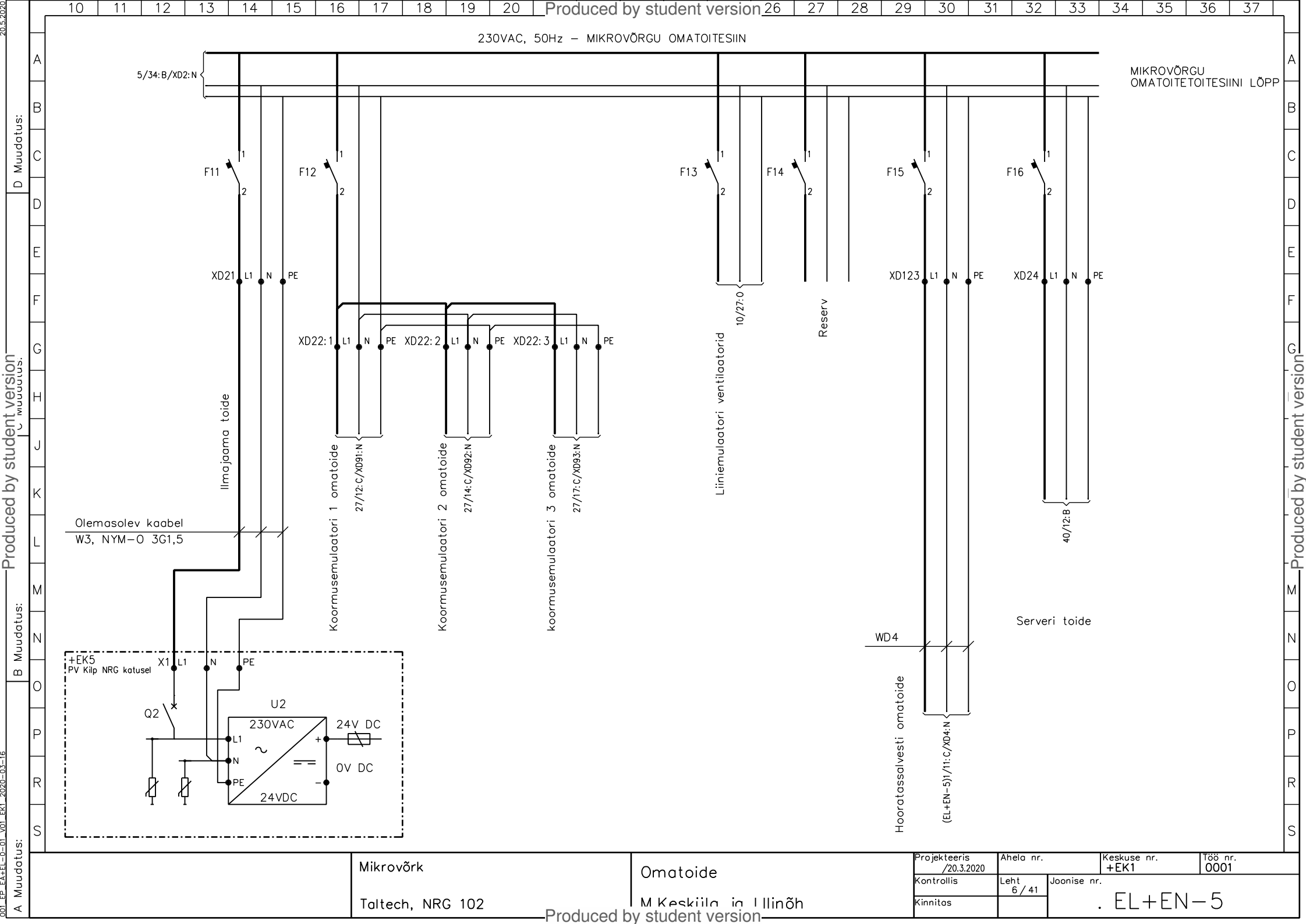
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC

D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:



D Muudatus:

C Muudatus:

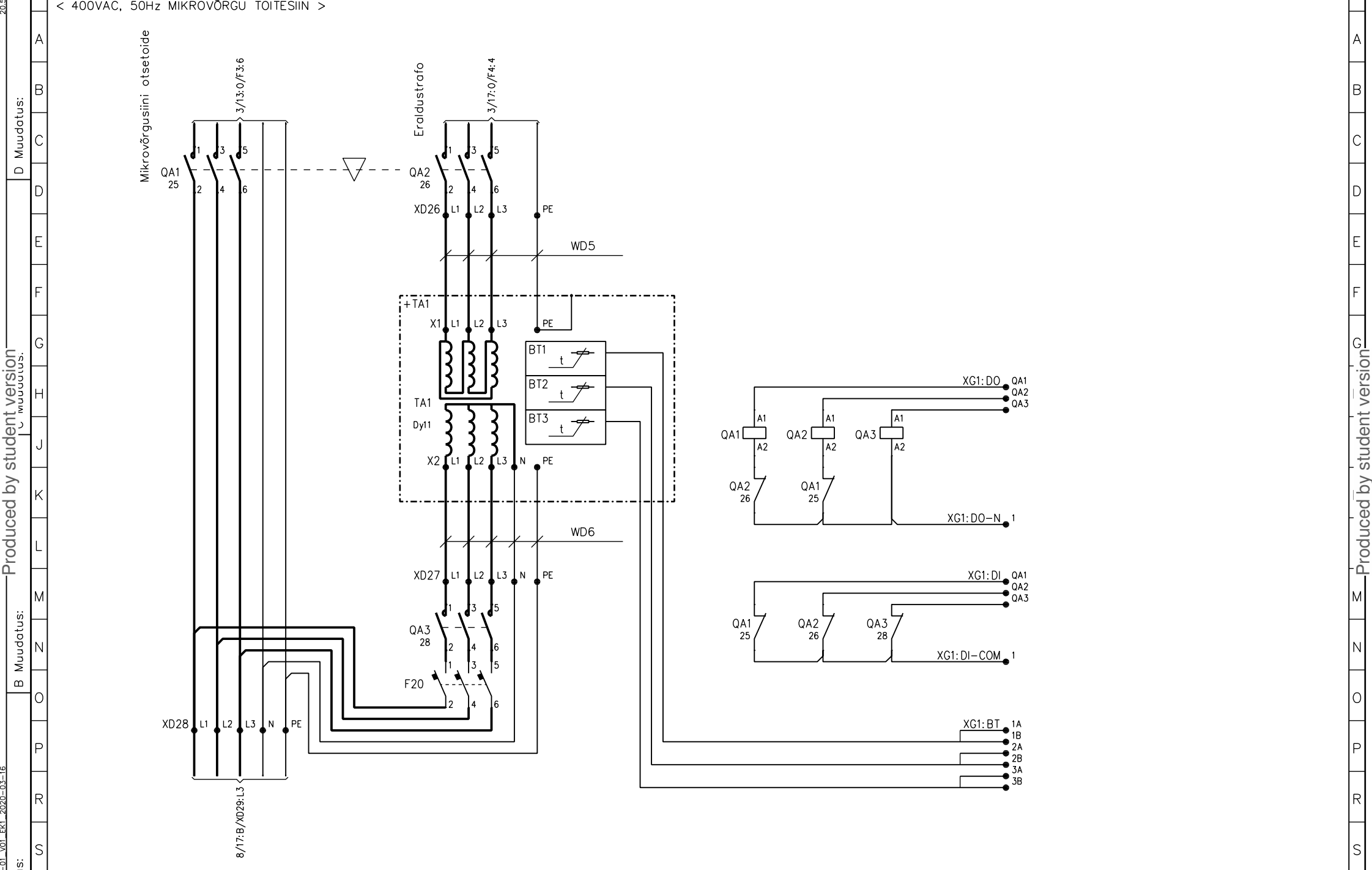
B Muudatus:

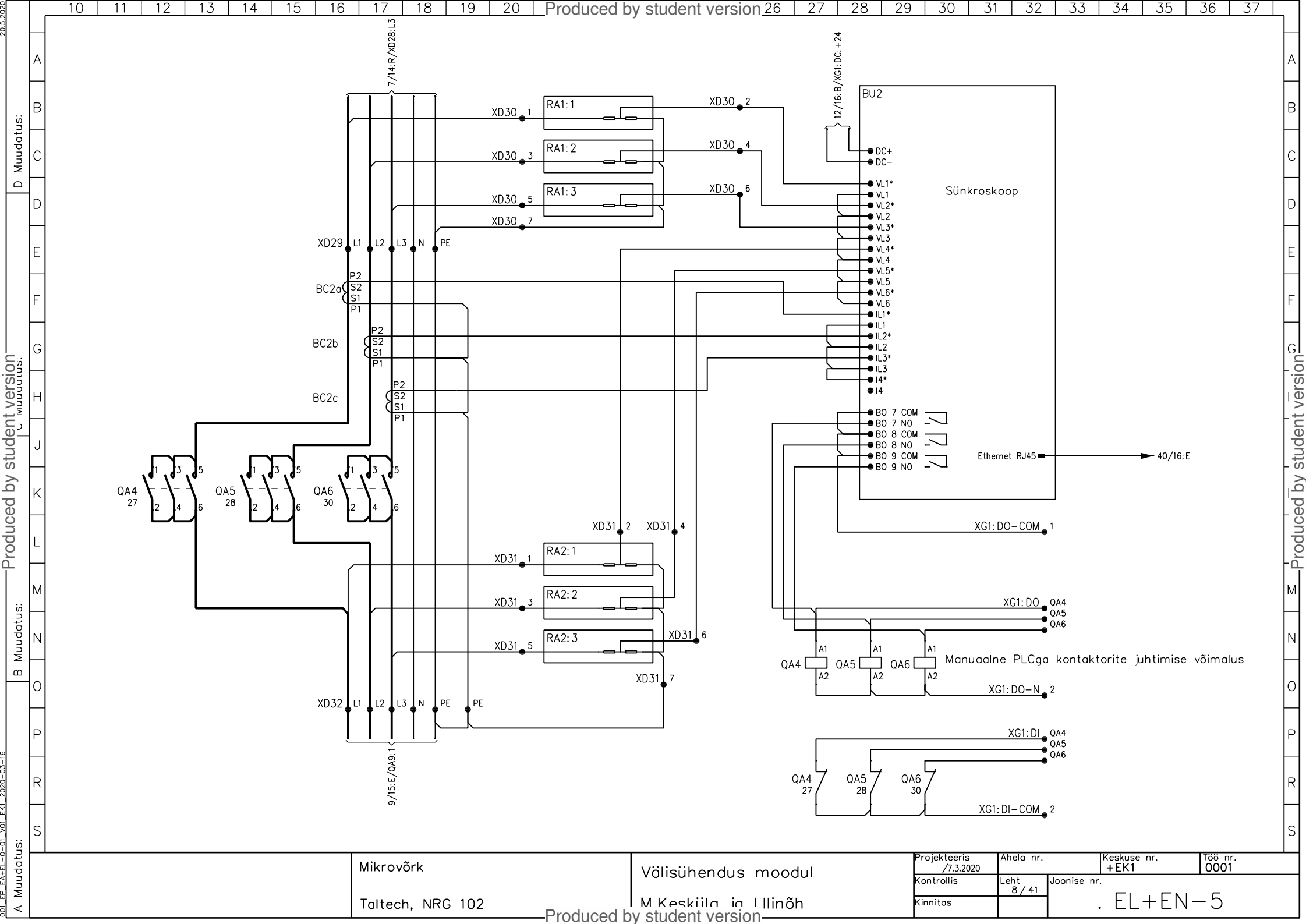
A Muudatus:

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Omatoide
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	





A Muudatus: 20.5.2020
 B Muudatus: 7.3.2020
 C Muudatus: 7.3.2020
 D Muudatus: 7.3.2020
 E Muudatus: 7.3.2020
 F Muudatus: 7.3.2020
 G Muudatus: 7.3.2020
 H Muudatus: 7.3.2020
 I Muudatus: 7.3.2020
 J Muudatus: 7.3.2020
 K Muudatus: 7.3.2020
 L Muudatus: 7.3.2020
 M Muudatus: 7.3.2020
 N Muudatus: 7.3.2020
 O Muudatus: 7.3.2020
 P Muudatus: 7.3.2020
 R Muudatus: 7.3.2020
 S Muudatus: 7.3.2020

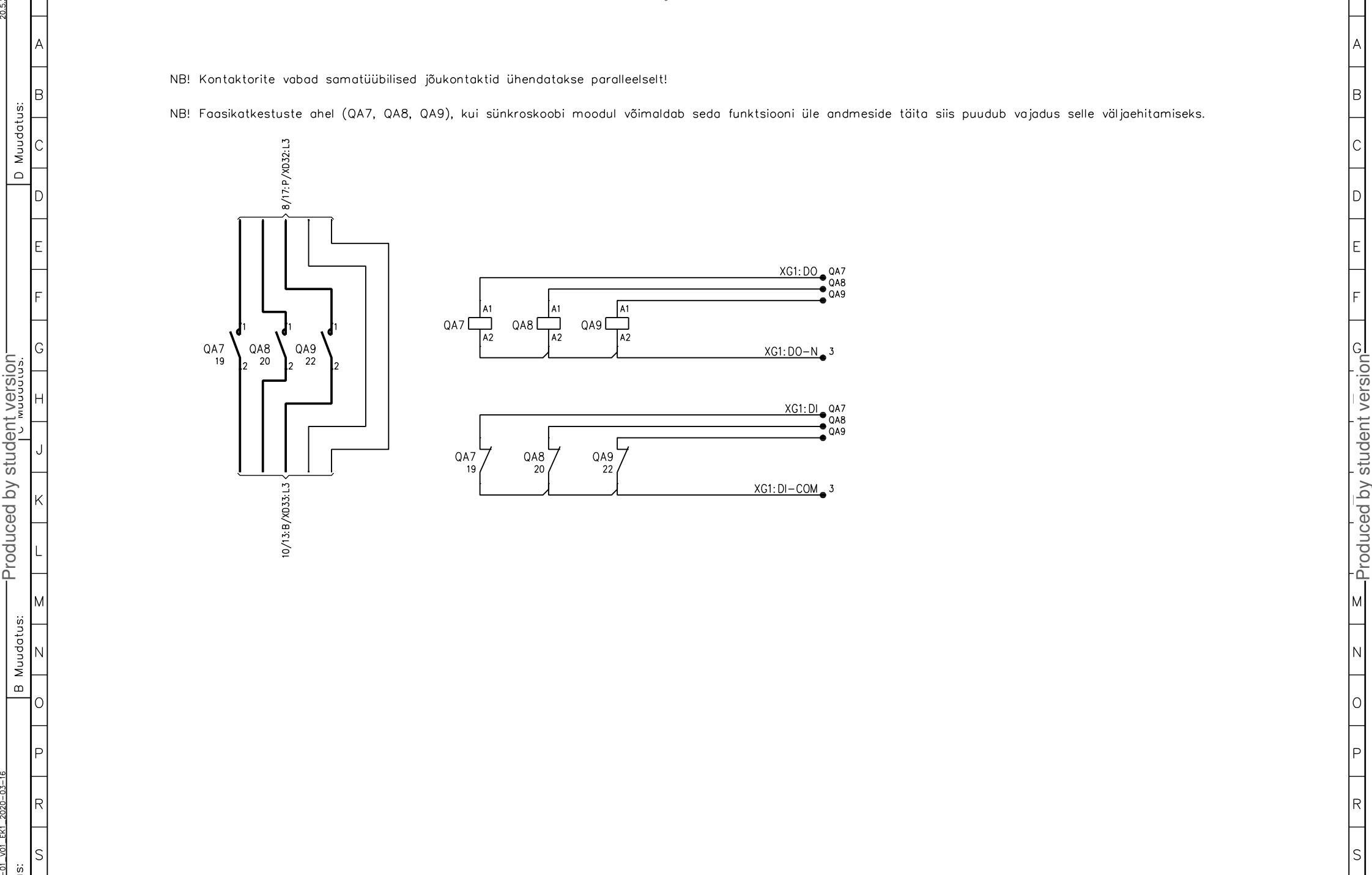
Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

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

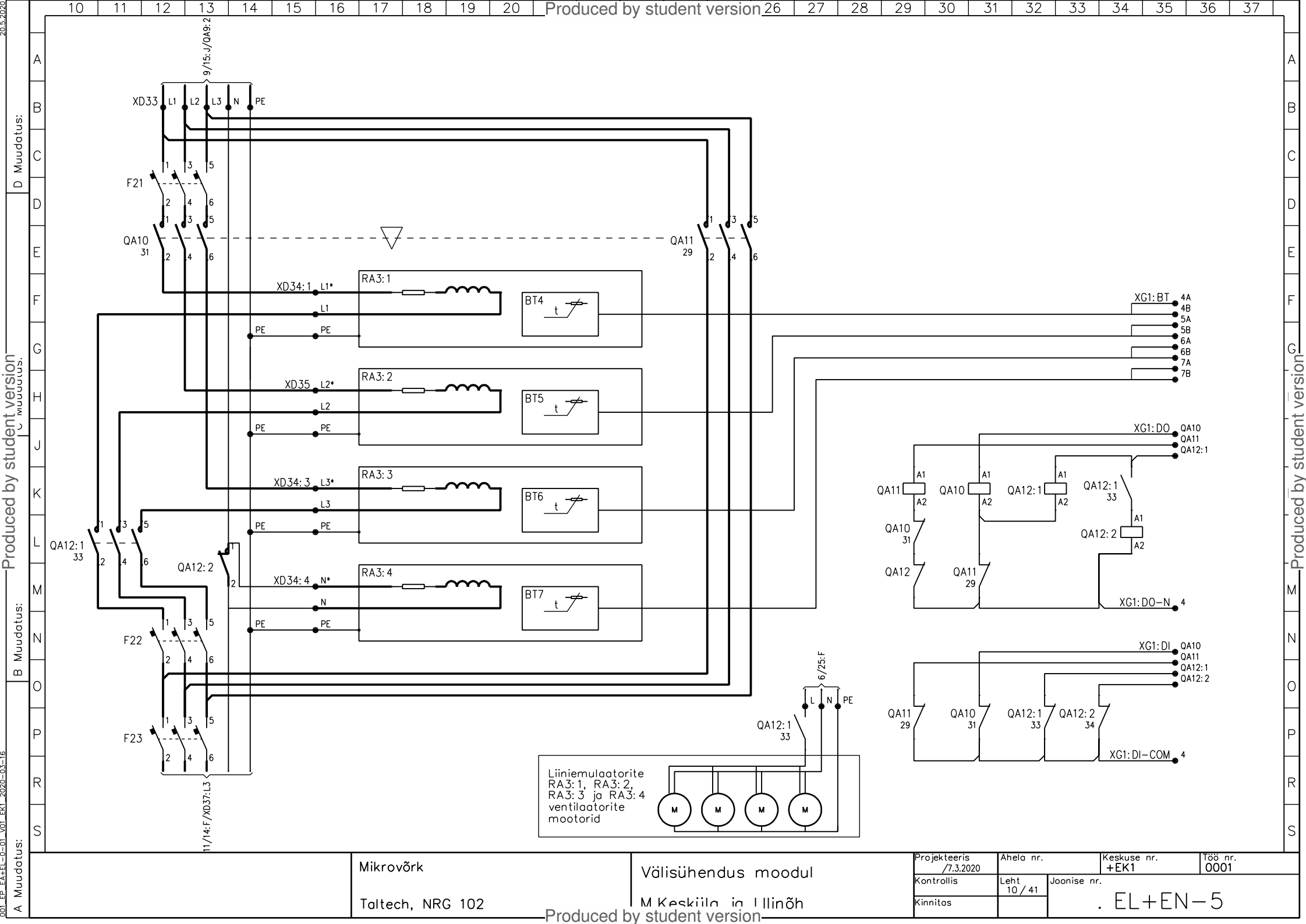
Produced by student version

Produced by student version



Produced by student version

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:	Mikrovõrk	Välisühendus moodul	Projekteeris /19.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
																	Taltech, NRG 102	M Keskiila	Kontrollis	Leht 9/41	Joonise nr.	. EL+EN-5
																			Kinnitas			



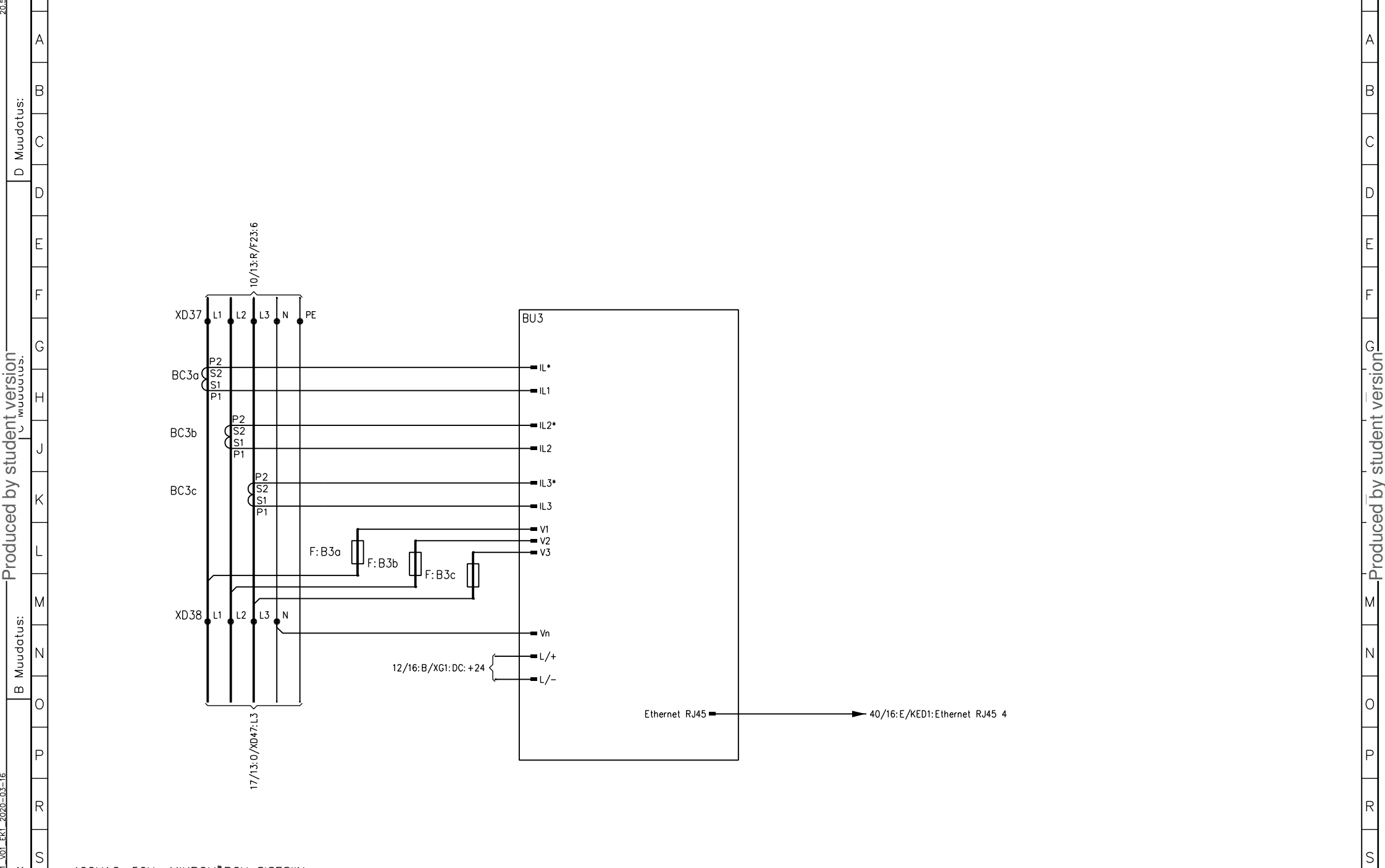
20.5.2020
 A Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01.X01.EKL.2020-03-16
 B Muudatus:
 C Muudatus:
 D Muudatus:
 E Muudatus:
 F Muudatus:
 G Muudatus:
 H Muudatus:
 I Muudatus:
 J Muudatus:
 K Muudatus:
 L Muudatus:
 M Muudatus:
 N Muudatus:
 O Muudatus:
 P Muudatus:
 R Muudatus:
 S Muudatus:

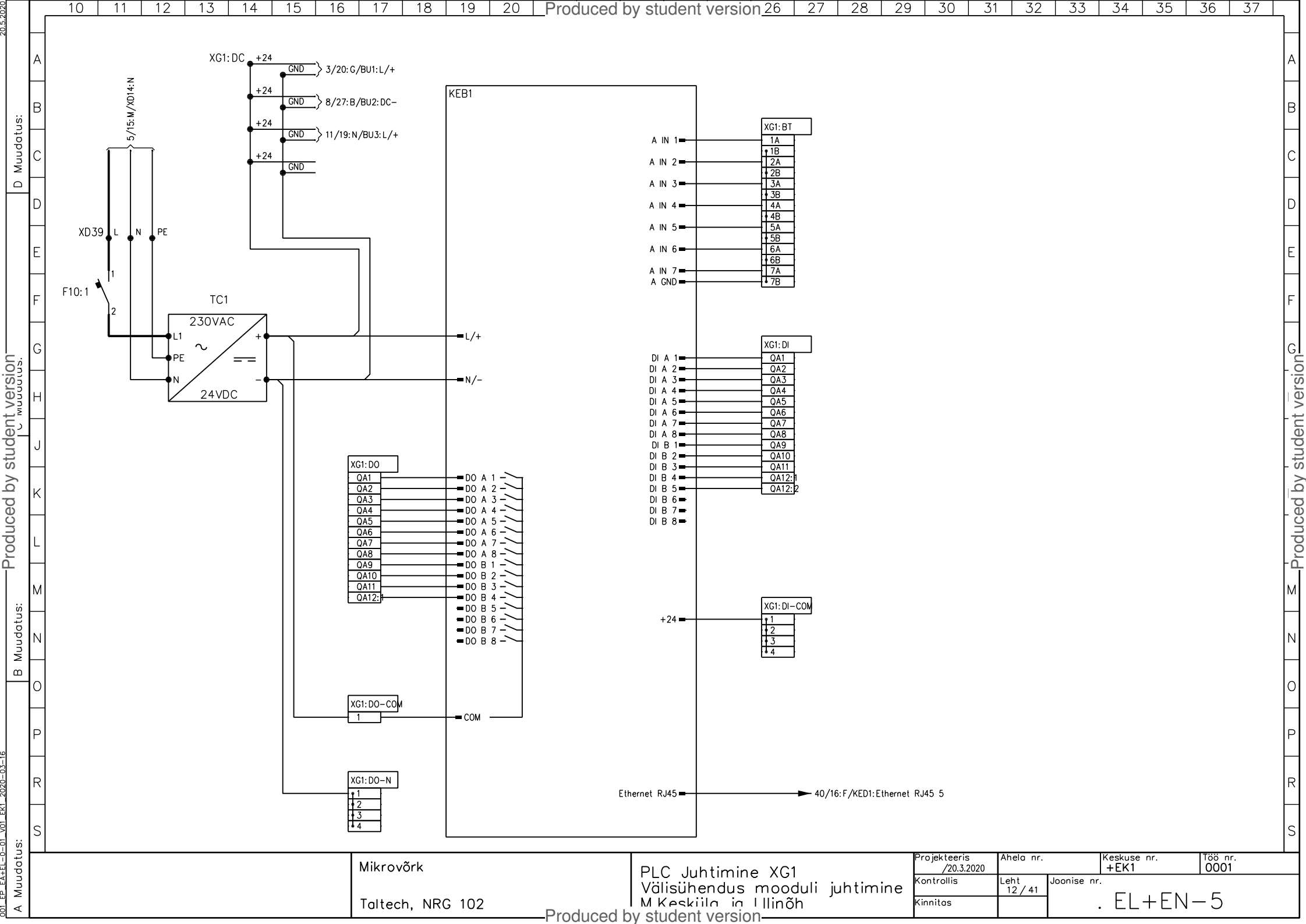
A Muudatus:
 B Muudatus:
 C Muudatus:
 D Muudatus:
 E Muudatus:
 F Muudatus:
 G Muudatus:
 H Muudatus:
 I Muudatus:
 J Muudatus:
 K Muudatus:
 L Muudatus:
 M Muudatus:
 N Muudatus:
 O Muudatus:
 P Muudatus:
 R Muudatus:
 S Muudatus:

Mikrovõrk
 Taltech, NRG 102

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





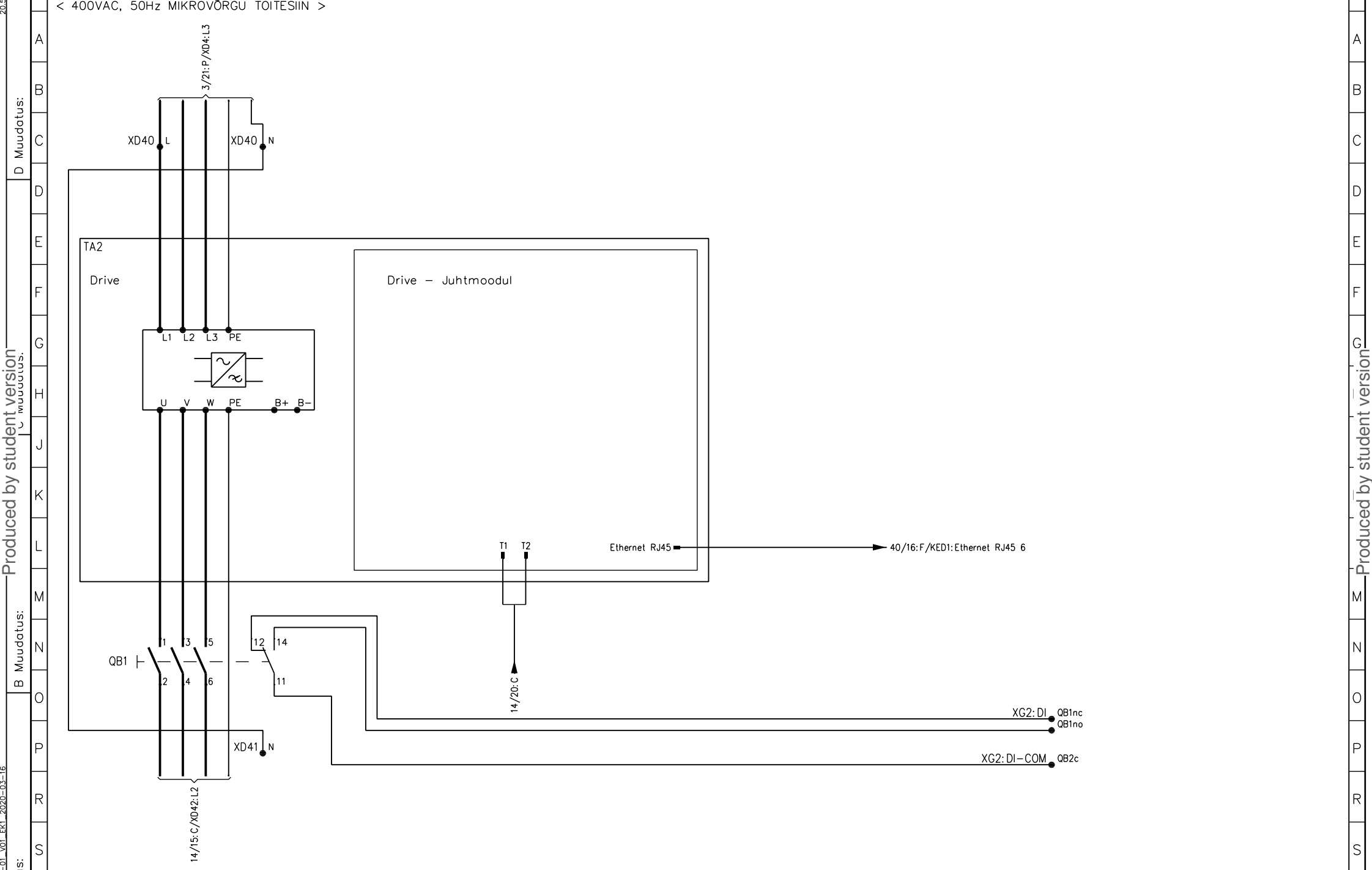
A Muudatus: 20.5.2020
 B Muudatus: 20.3.2020
 C Muudatus: 20.3.2020
 D Muudatus: 20.3.2020
 E Muudatus: 20.3.2020
 F Muudatus: 20.3.2020
 G Muudatus: 20.3.2020
 H Muudatus: 20.3.2020
 I Muudatus: 20.3.2020
 J Muudatus: 20.3.2020
 K Muudatus: 20.3.2020
 L Muudatus: 20.3.2020
 M Muudatus: 20.3.2020
 N Muudatus: 20.3.2020
 O Muudatus: 20.3.2020
 P Muudatus: 20.3.2020
 R Muudatus: 20.3.2020
 S Muudatus: 20.3.2020

A Muudatus: 20.5.2020
 B Muudatus: 20.3.2020
 C Muudatus: 20.3.2020
 D Muudatus: 20.3.2020
 E Muudatus: 20.3.2020
 F Muudatus: 20.3.2020
 G Muudatus: 20.3.2020
 H Muudatus: 20.3.2020
 I Muudatus: 20.3.2020
 J Muudatus: 20.3.2020
 K Muudatus: 20.3.2020
 L Muudatus: 20.3.2020
 M Muudatus: 20.3.2020
 N Muudatus: 20.3.2020
 O Muudatus: 20.3.2020
 P Muudatus: 20.3.2020
 R Muudatus: 20.3.2020
 S Muudatus: 20.3.2020

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



D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:

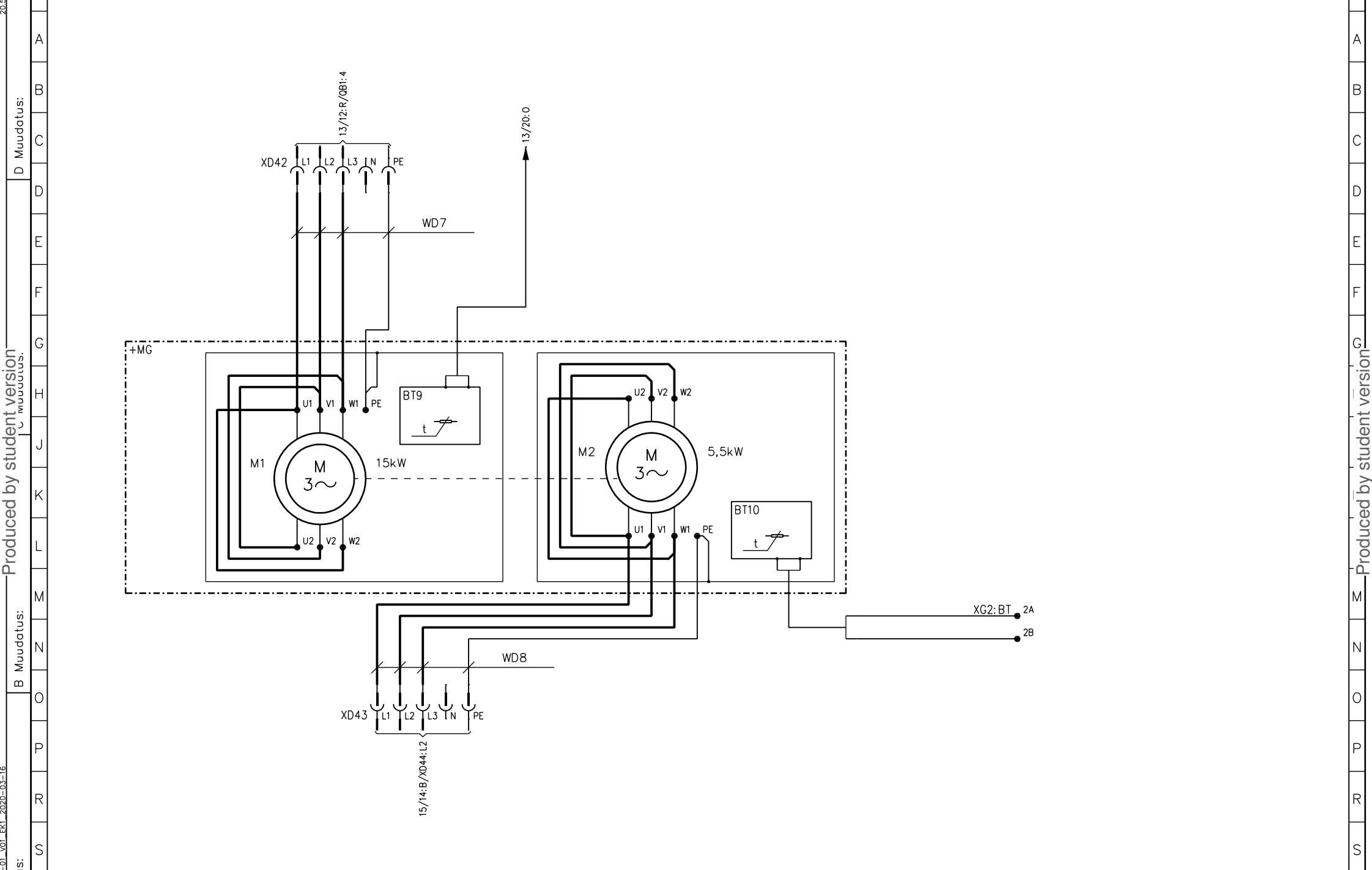
Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Mootor/Generaator
M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /7.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	Tõõ nr. 0001
Kontrollis	Leht 13 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas			. EL+EN-5

Produced by student version

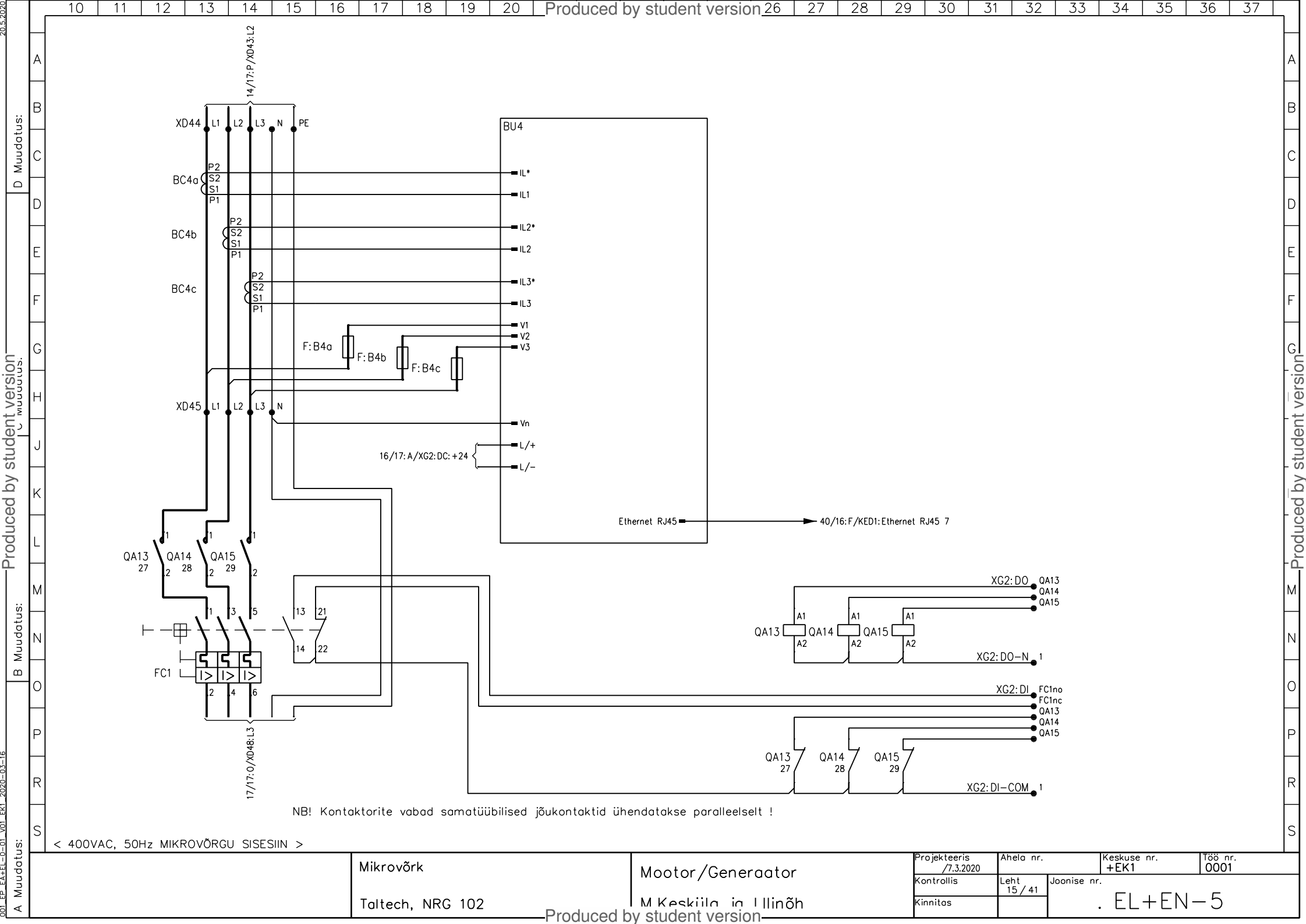
Produced by student version



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 14 / 41	Joonise nr.	. EL+EN-5
			Kinnitas			

Produced by student version

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

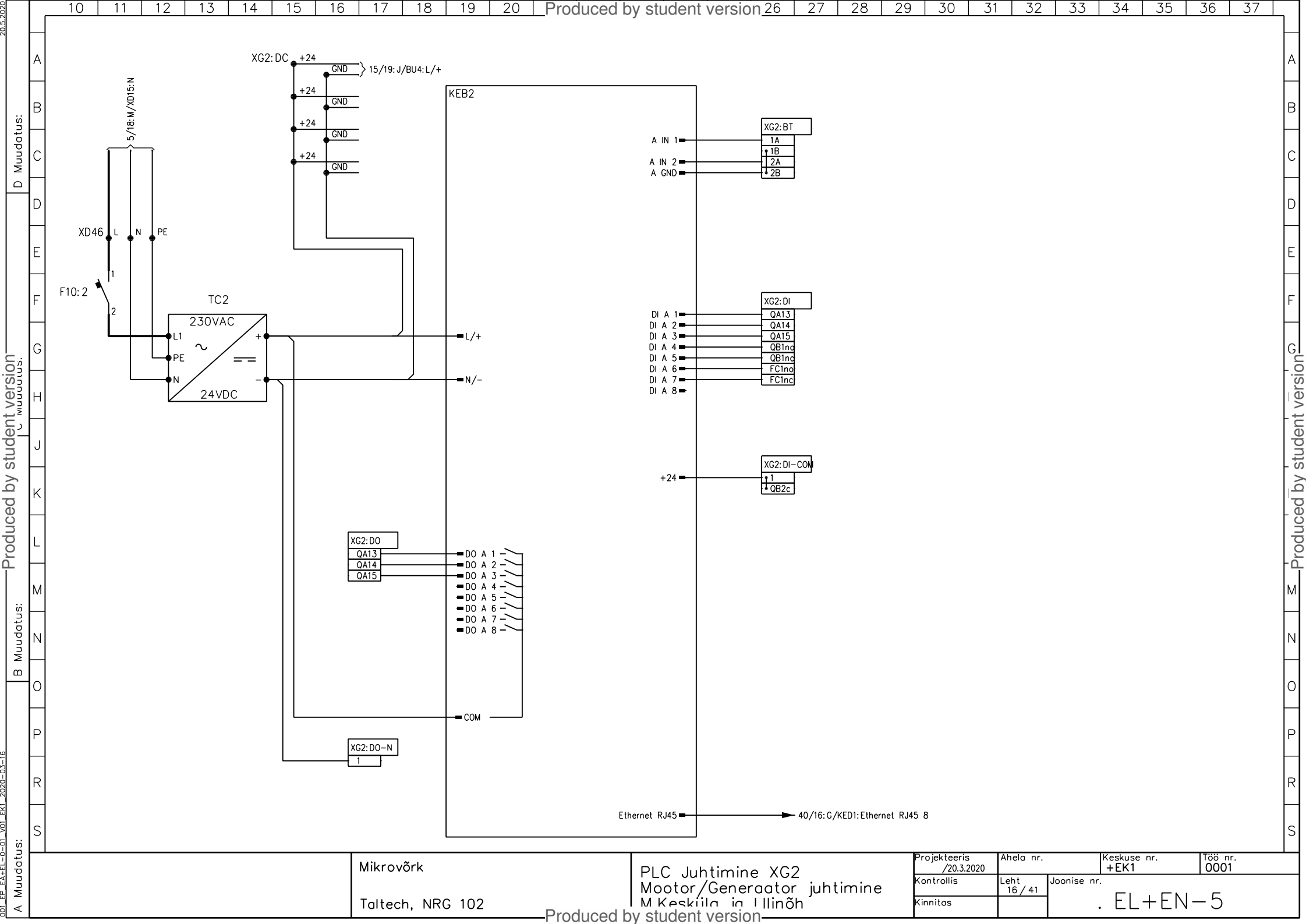
< 400VAC, 50Hz MIKROVÕRGU SISESIIN >

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	



20.5.2020
 D Muudatus:
 C Muudatus:
 B Muudatus:
 A Muudatus:

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

Mikrovõrk

Taltech, NRG 102

PLC Juhtimine XG2
 Mootor/Generaator juhtimine
 M Keskiila ja Illinõh

Produced by student version

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

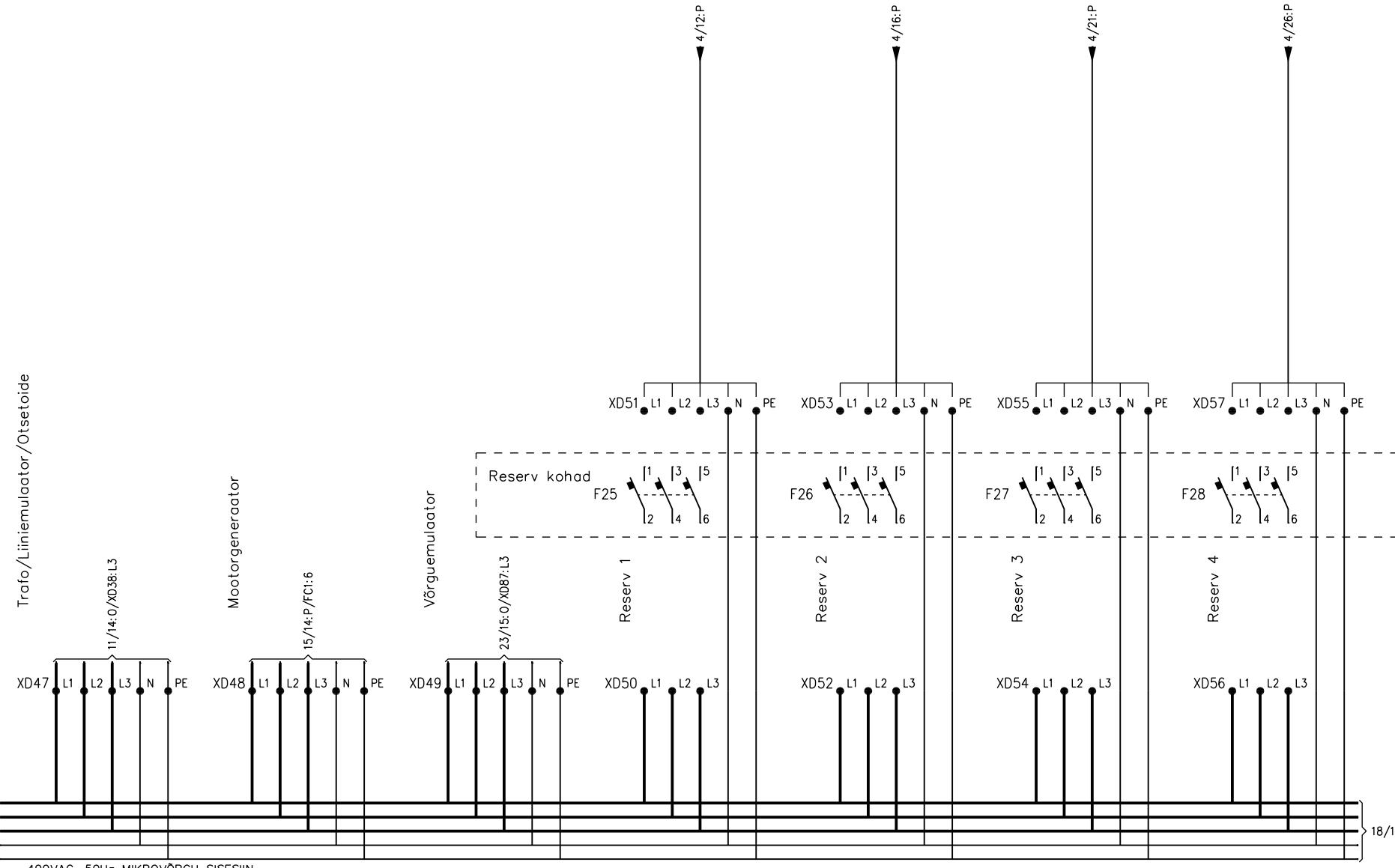
Kaitseaparatuuride reservkohad (F6, F25; F7, F26; F8, F27; F9, F28) tulevikus mikrovõrgu siinile ühendatavate toidet vajavate lisaseadmete jaoks.

D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:



A Muudatus:

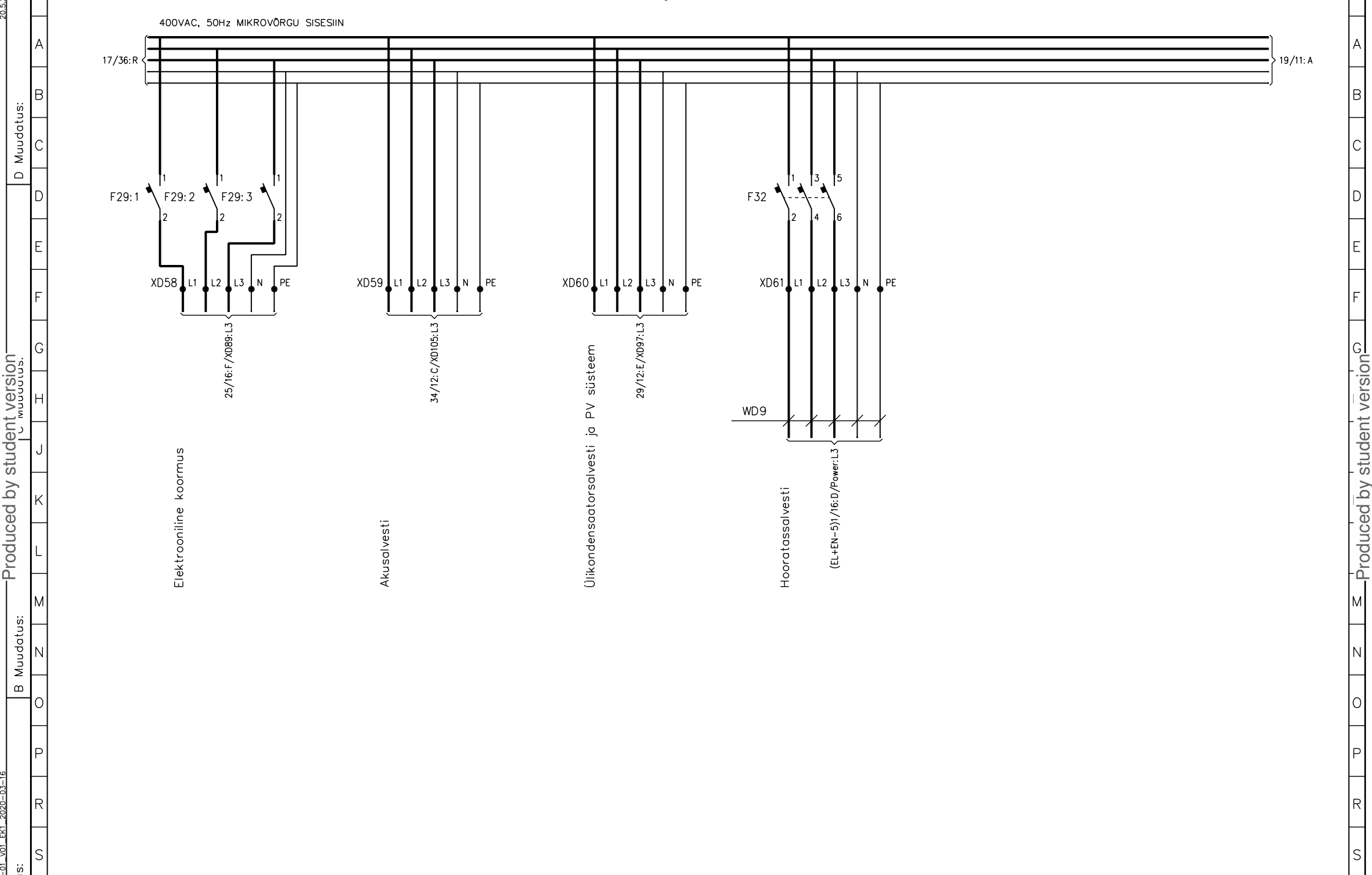
Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

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		

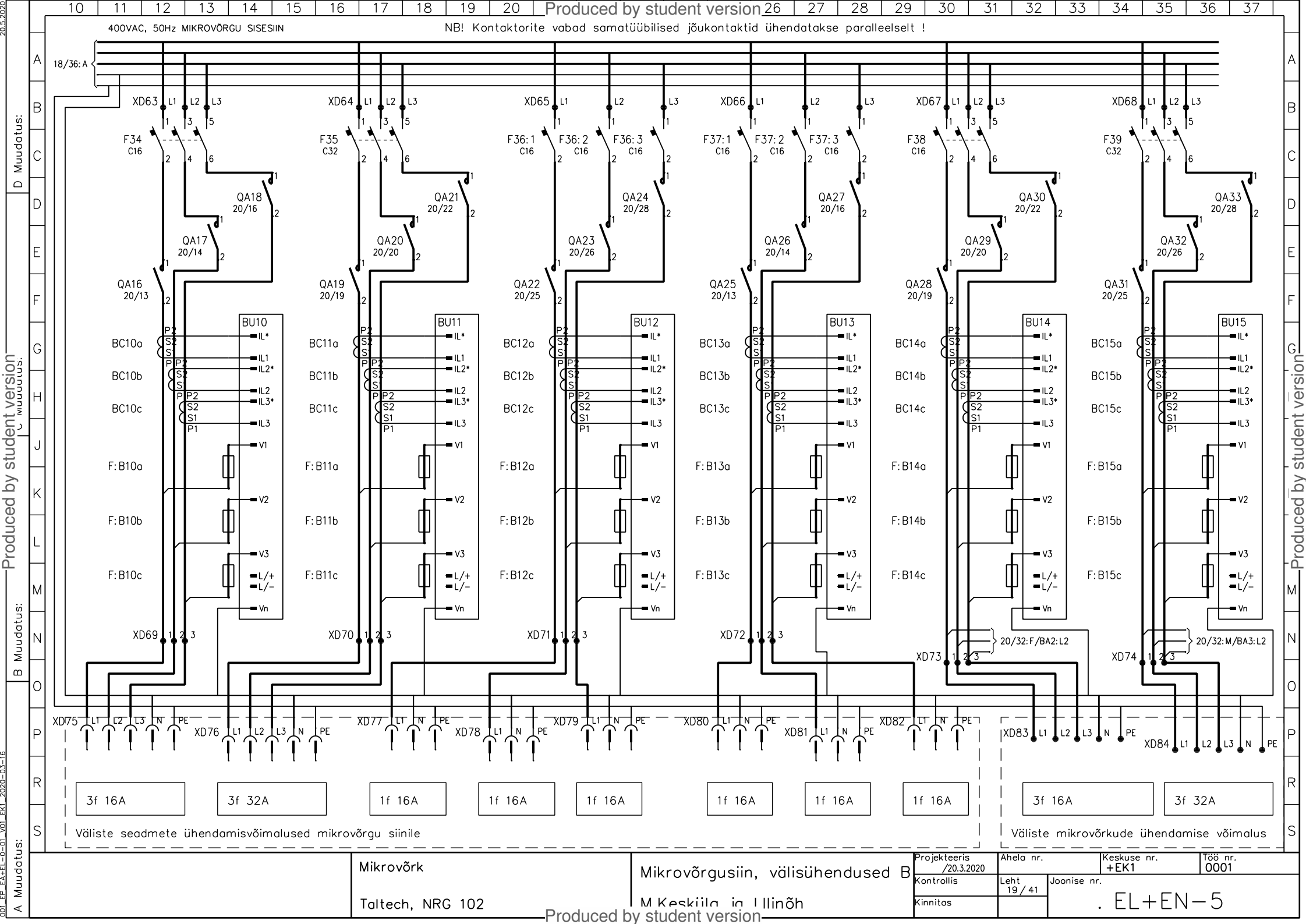
Produced by student version

Produced by student version



Produced by student version

Produced by student version



Produced by student version

Produced by student version

A Muudatus:

B Muudatus:

C Muudatus:

D Muudatus:

E Muudatus:

F Muudatus:

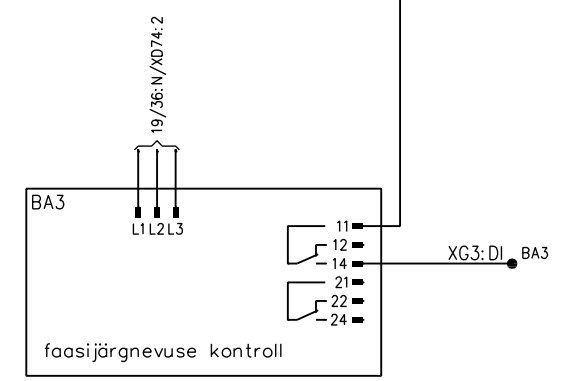
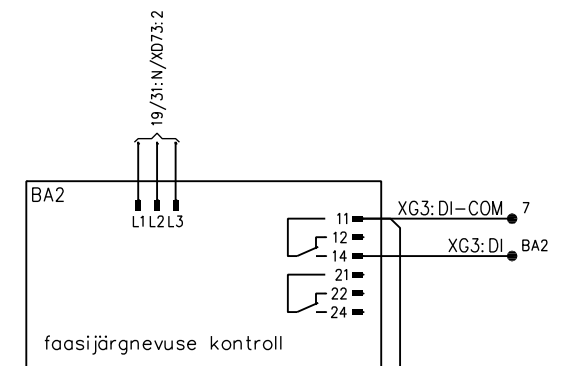
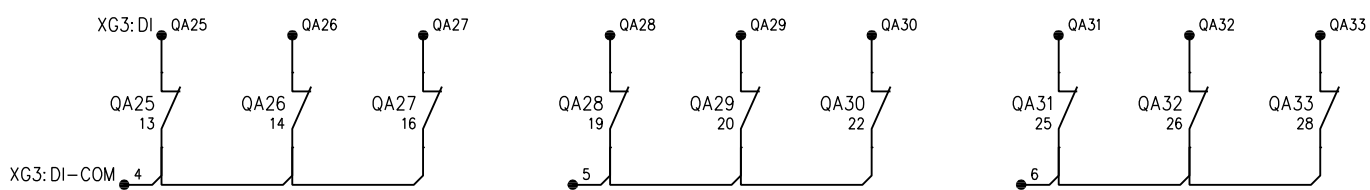
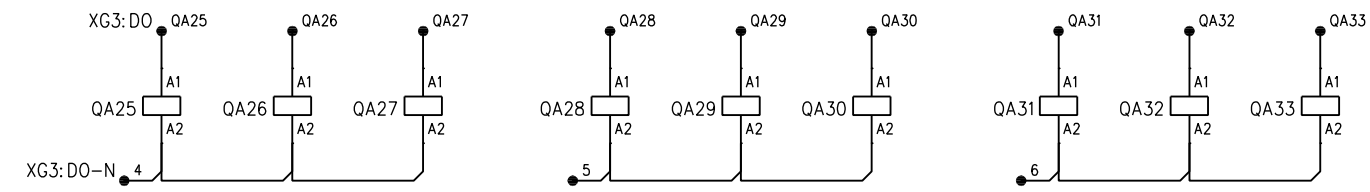
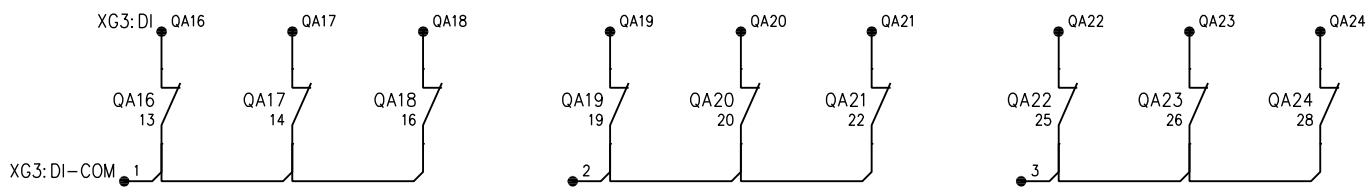
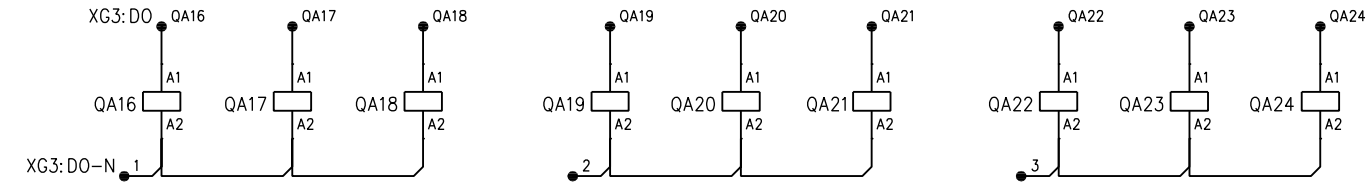
20.3.2020
001_EP_EA+EL-0-01_X01_EK1_2020-03-16

D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

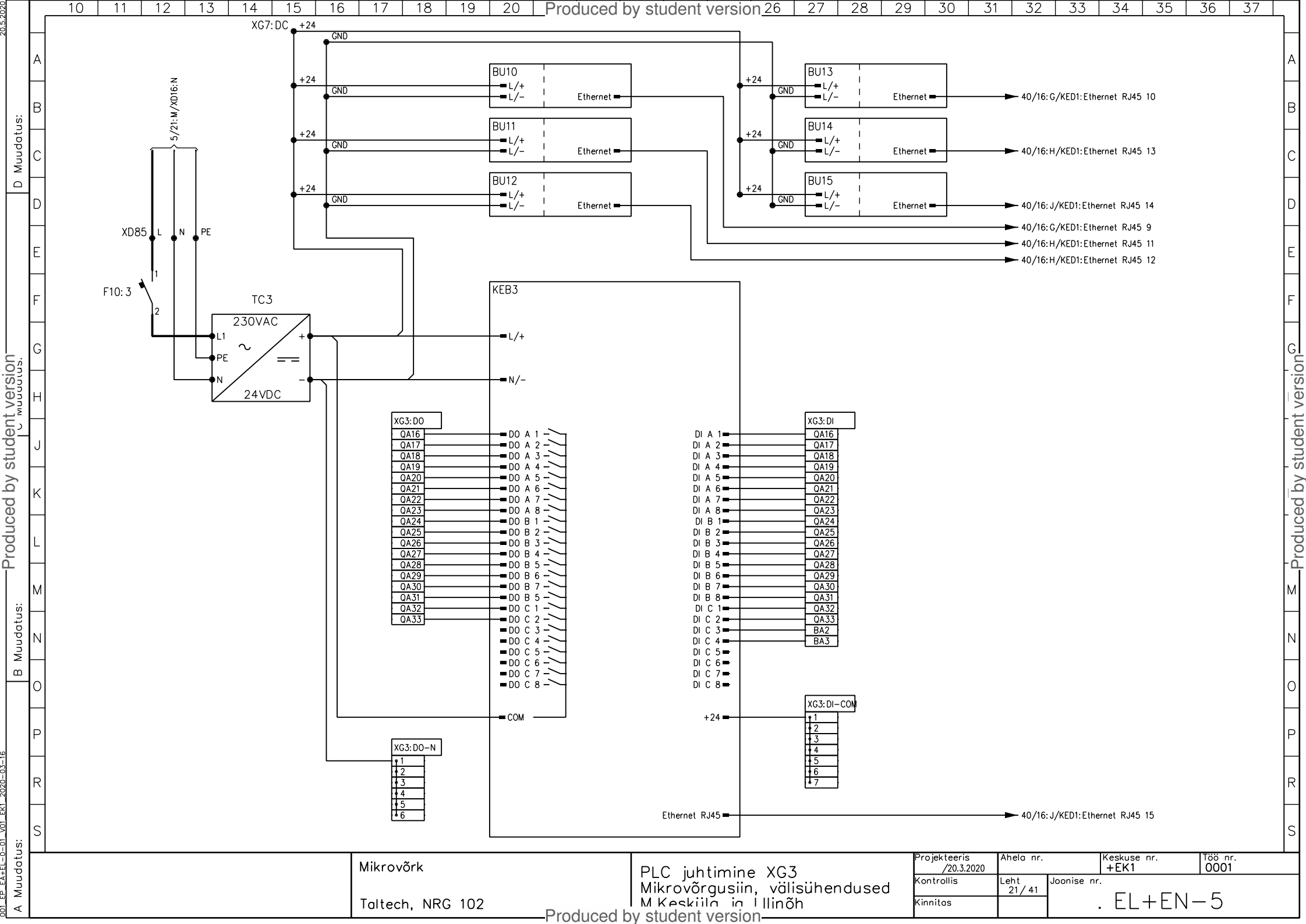
A Muudatus:



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	



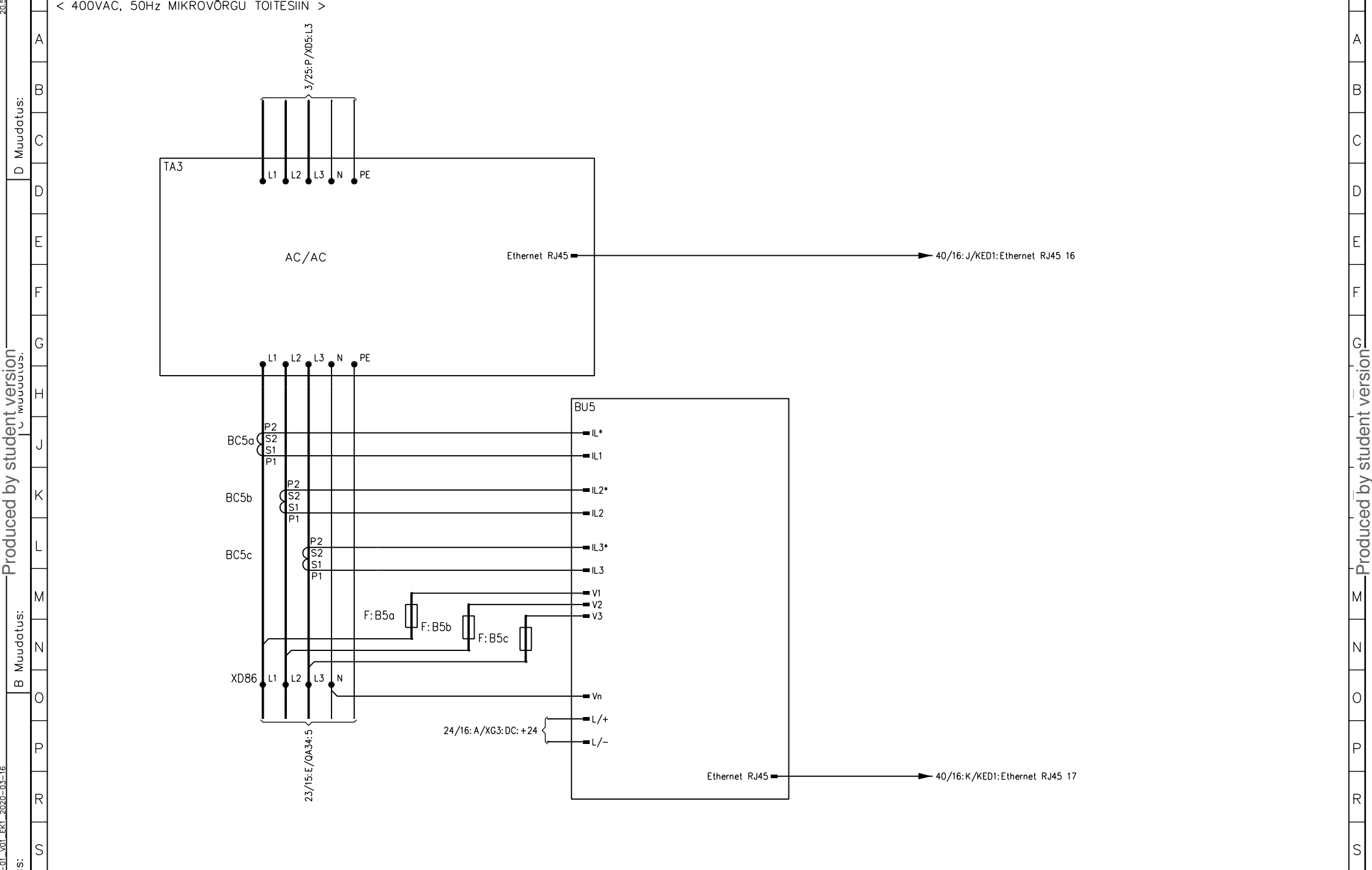
20.5.2020
 A Muudatus: / B Muudatus: / C Muudatus: / D Muudatus: / E Muudatus: / F Muudatus: / G Muudatus: / H Muudatus: / J Muudatus: / K Muudatus: / L Muudatus: / M Muudatus: / N Muudatus: / O Muudatus: / P Muudatus: / R Muudatus: / S Muudatus:

Mikrovõrk
 Taltech, NRG 102

PLC juhtimine XG3
 Mikrovõrgusini, välisühendused
 M Keskiõla ja I llinõh

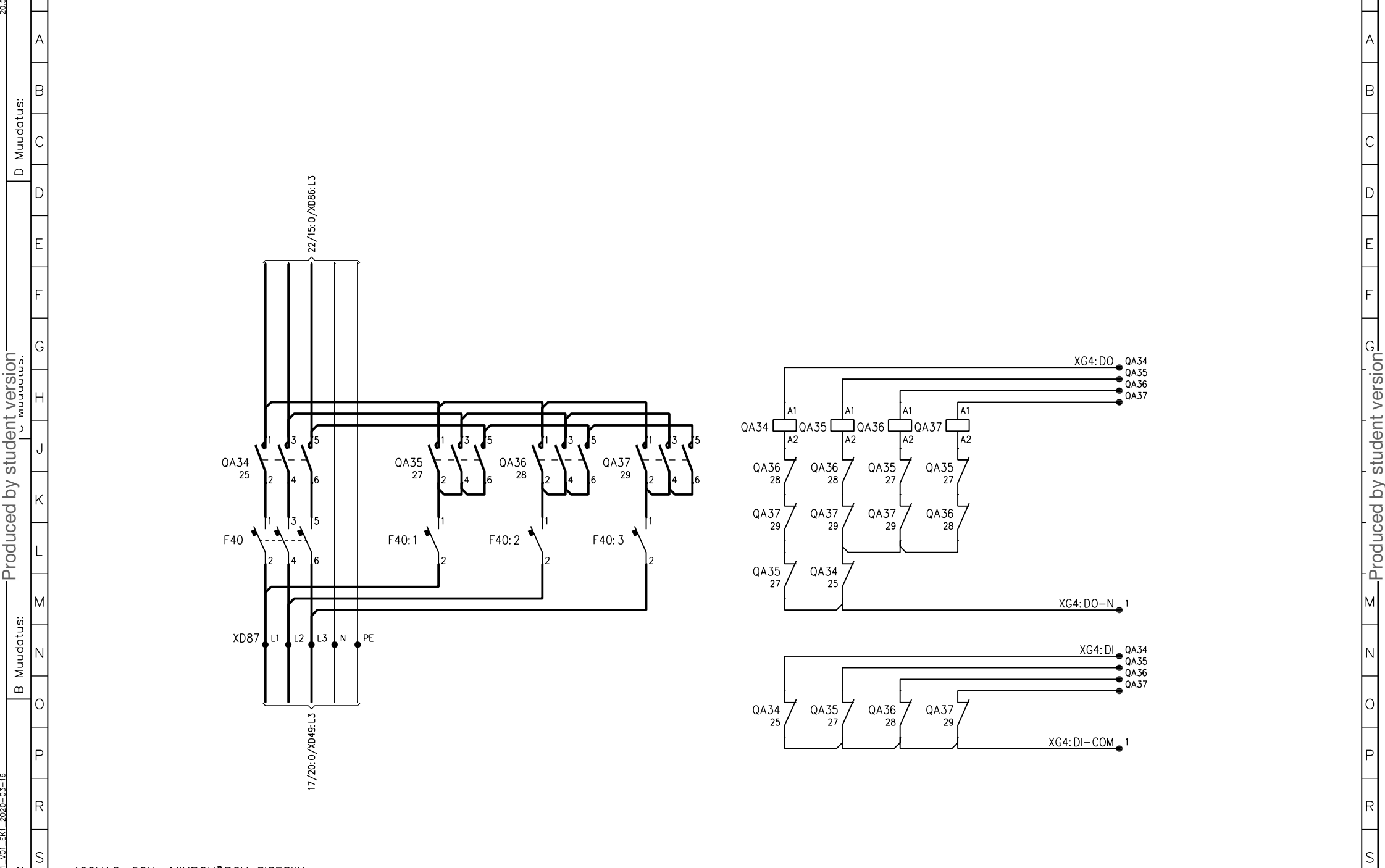
Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	Tõõ nr. 0001
Kontrollis	Leht 21/41	Joonise nr.	
Kinnitas			. EL+EN-5

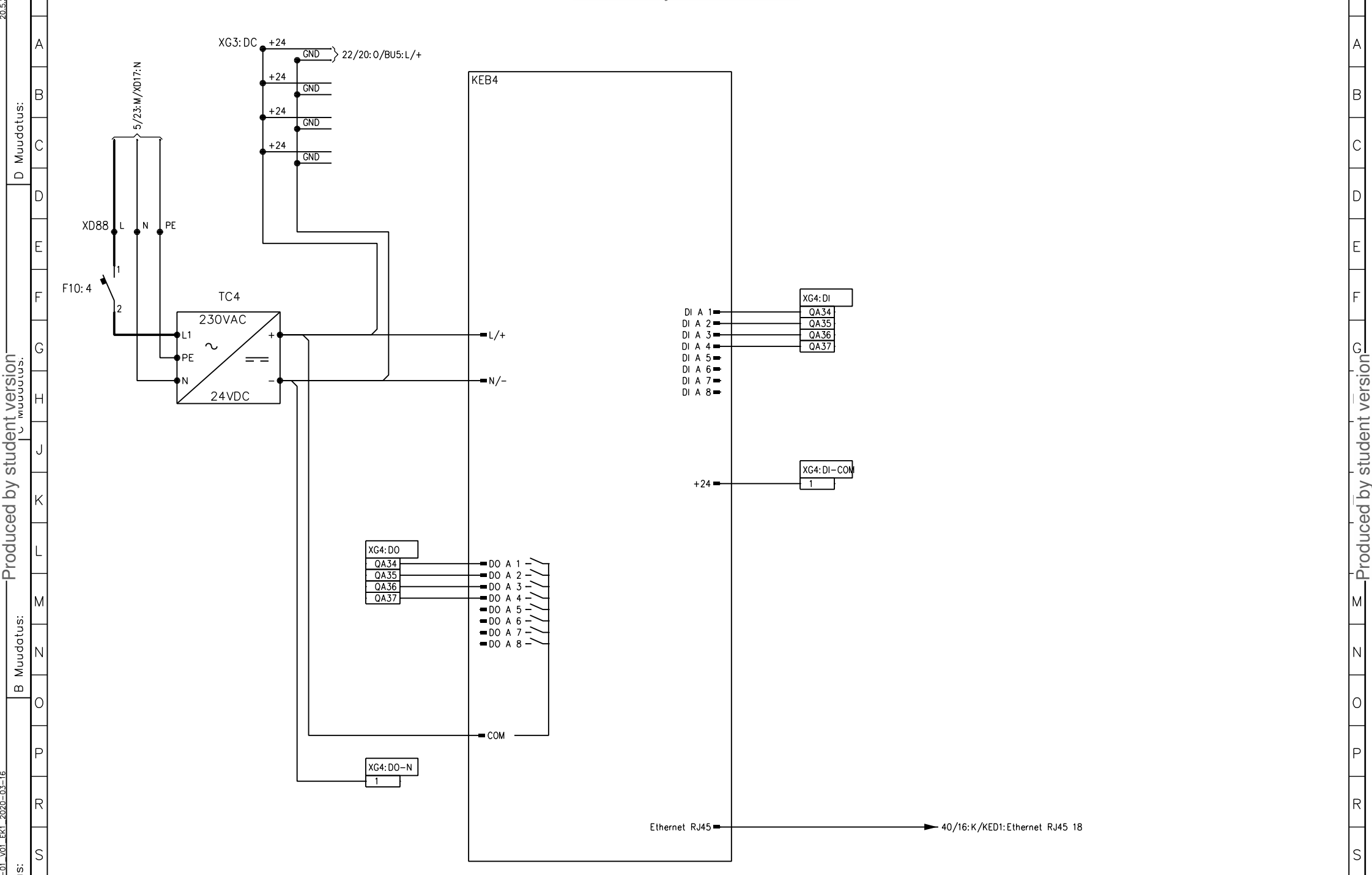
Produced by student version

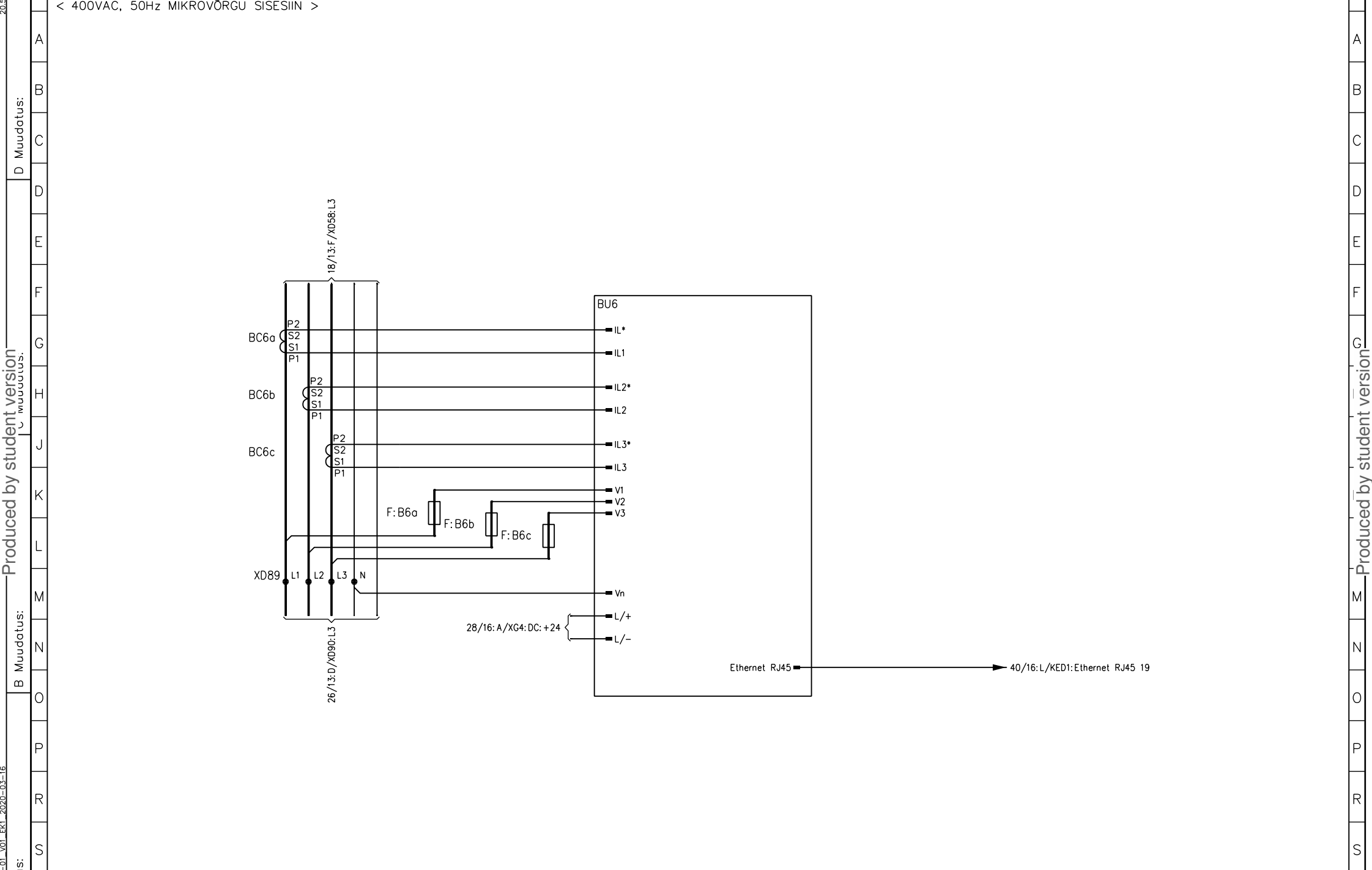


20.5.2020
D Muudatus:
C Muudatus:
B Muudatus:
A Muudatus:

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







Produced by student version

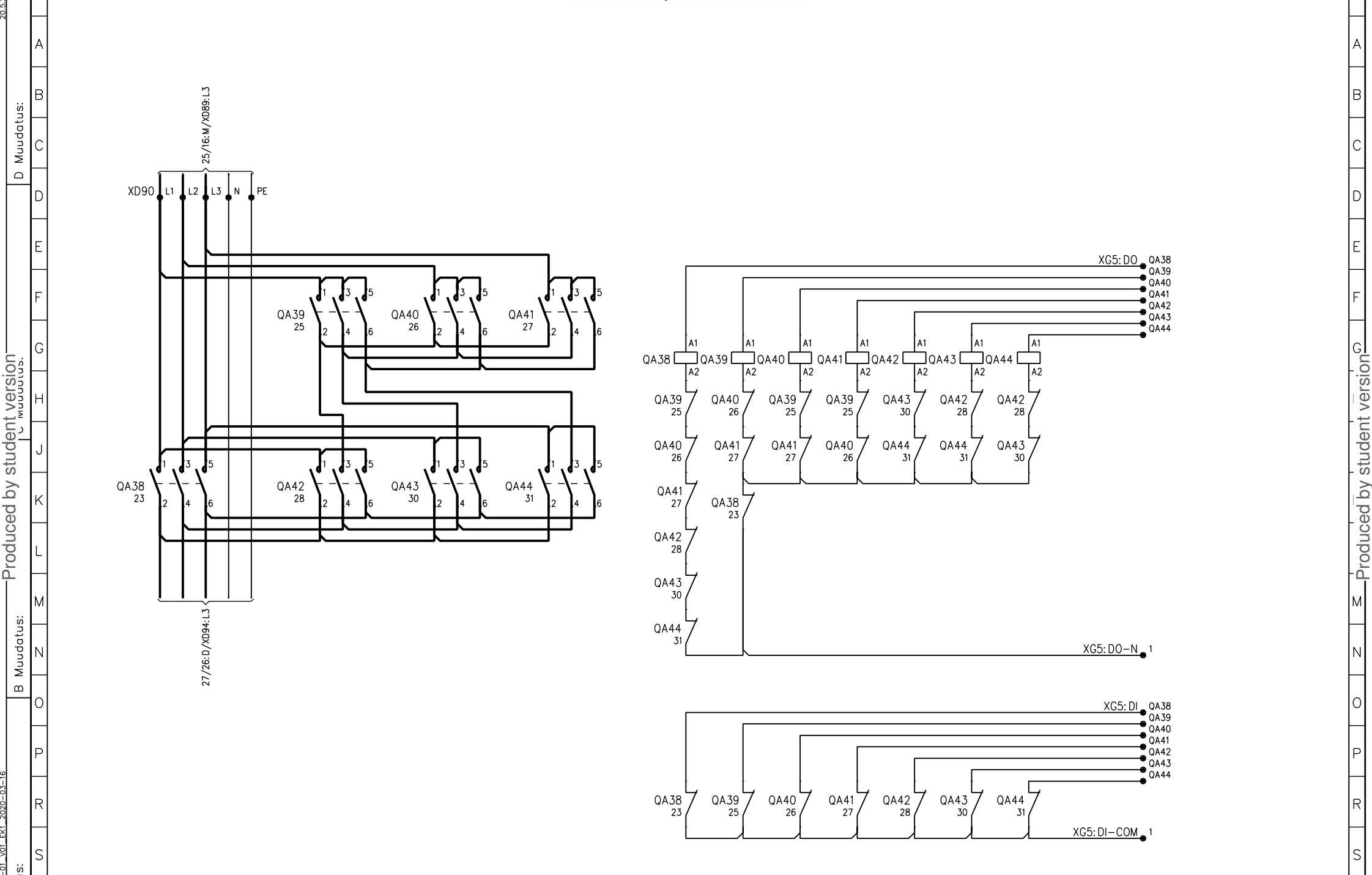
Produced by student version

Produced by student version

Mikrovörk
Taltech, NRG 102

Elektroonilinekoormus
M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	Töö nr. 0001
Kontrollis	Leht 25 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas	. EL+EN-5		



D Muudatus:

Produced by student version

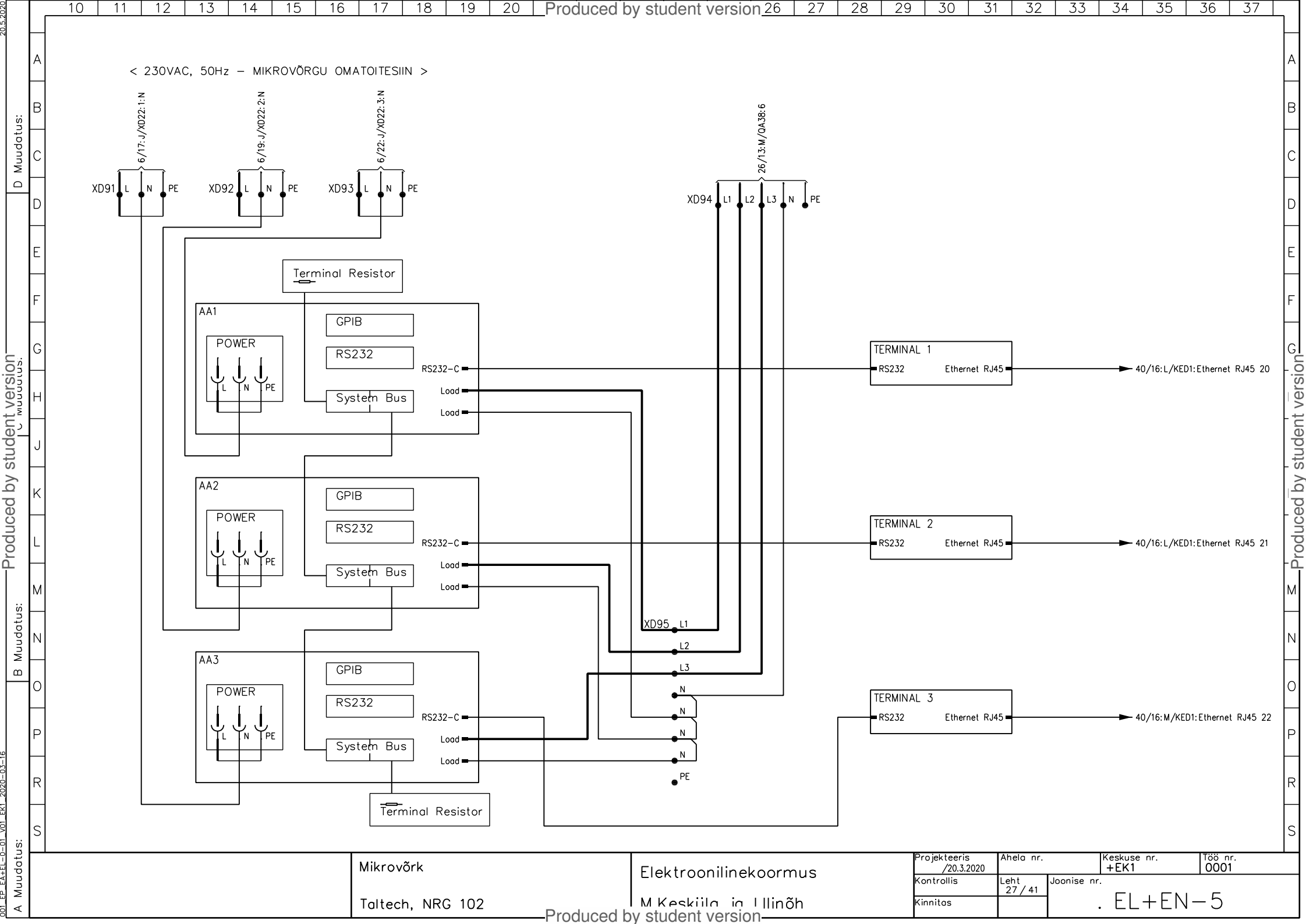
B Muudatus:

A Muudatus:

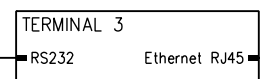
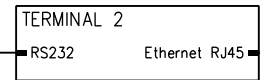
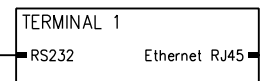
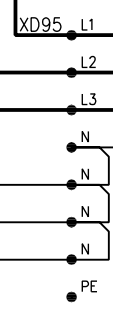
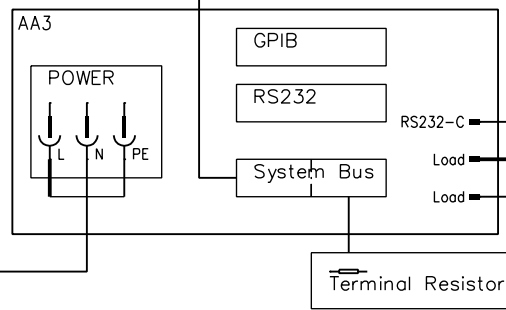
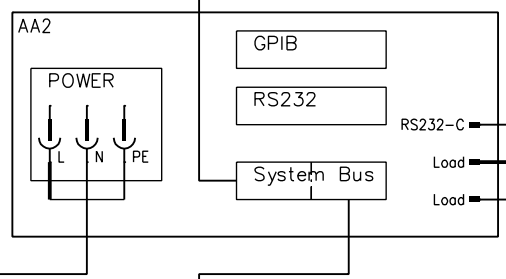
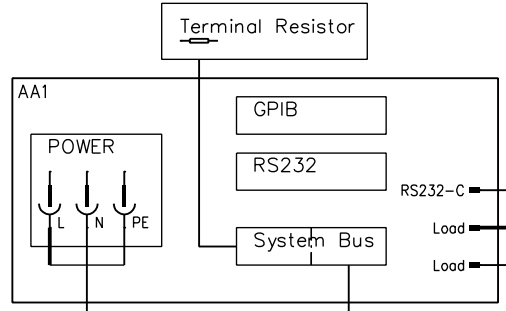
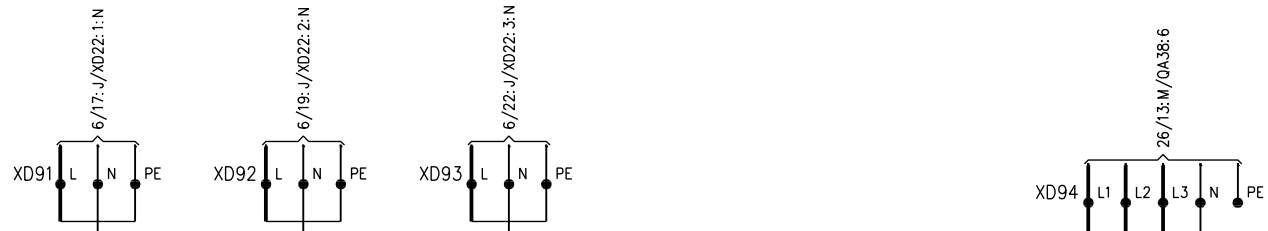
Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Elektroonilinekoormus
M Keskiöla

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK1	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 26 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas		. EL+EN-5	



< 230VAC, 50Hz - MIKROVÖRGU OMATOITESIIN >



Mikrovõrk

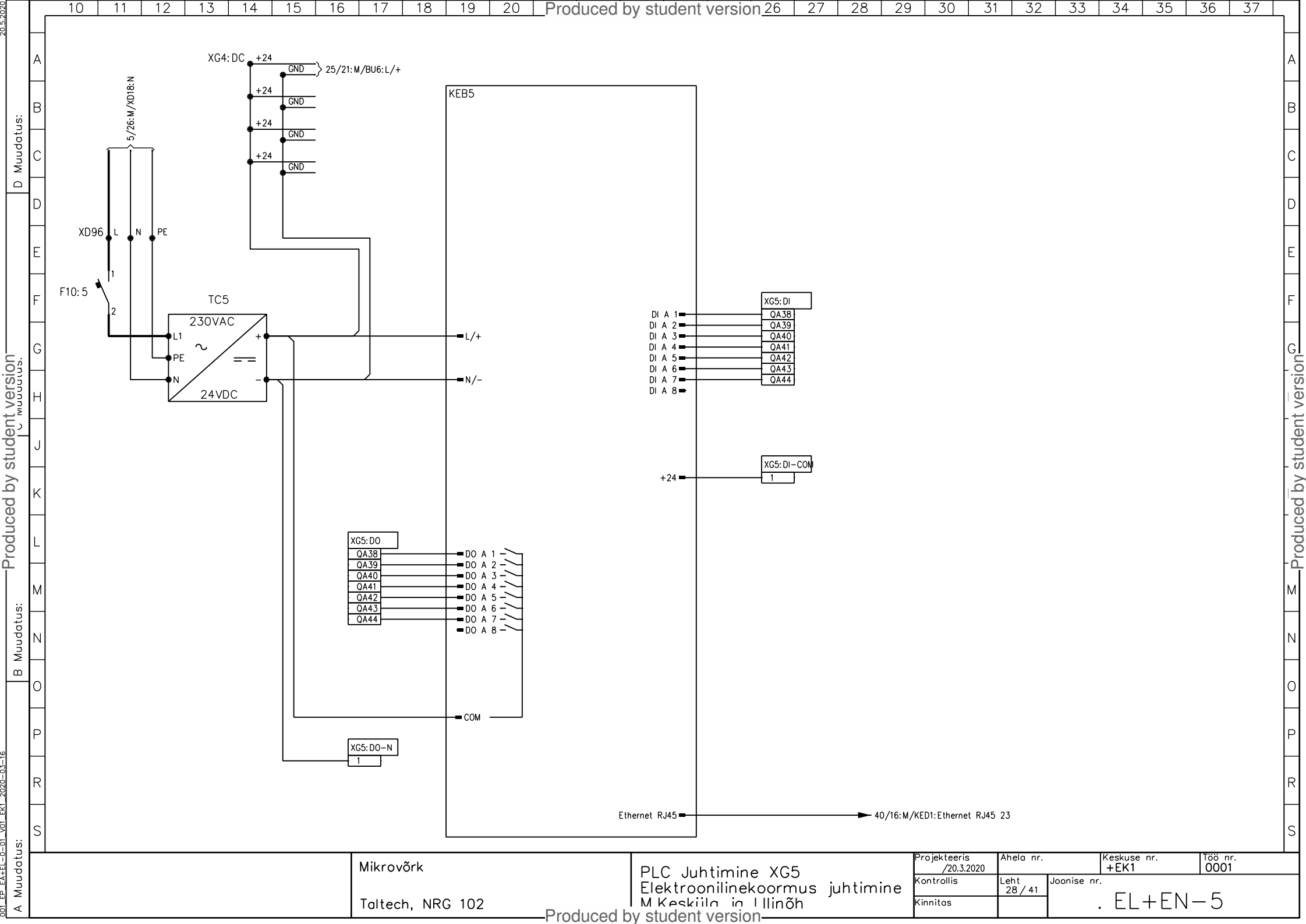
Taltech, NRG 102

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



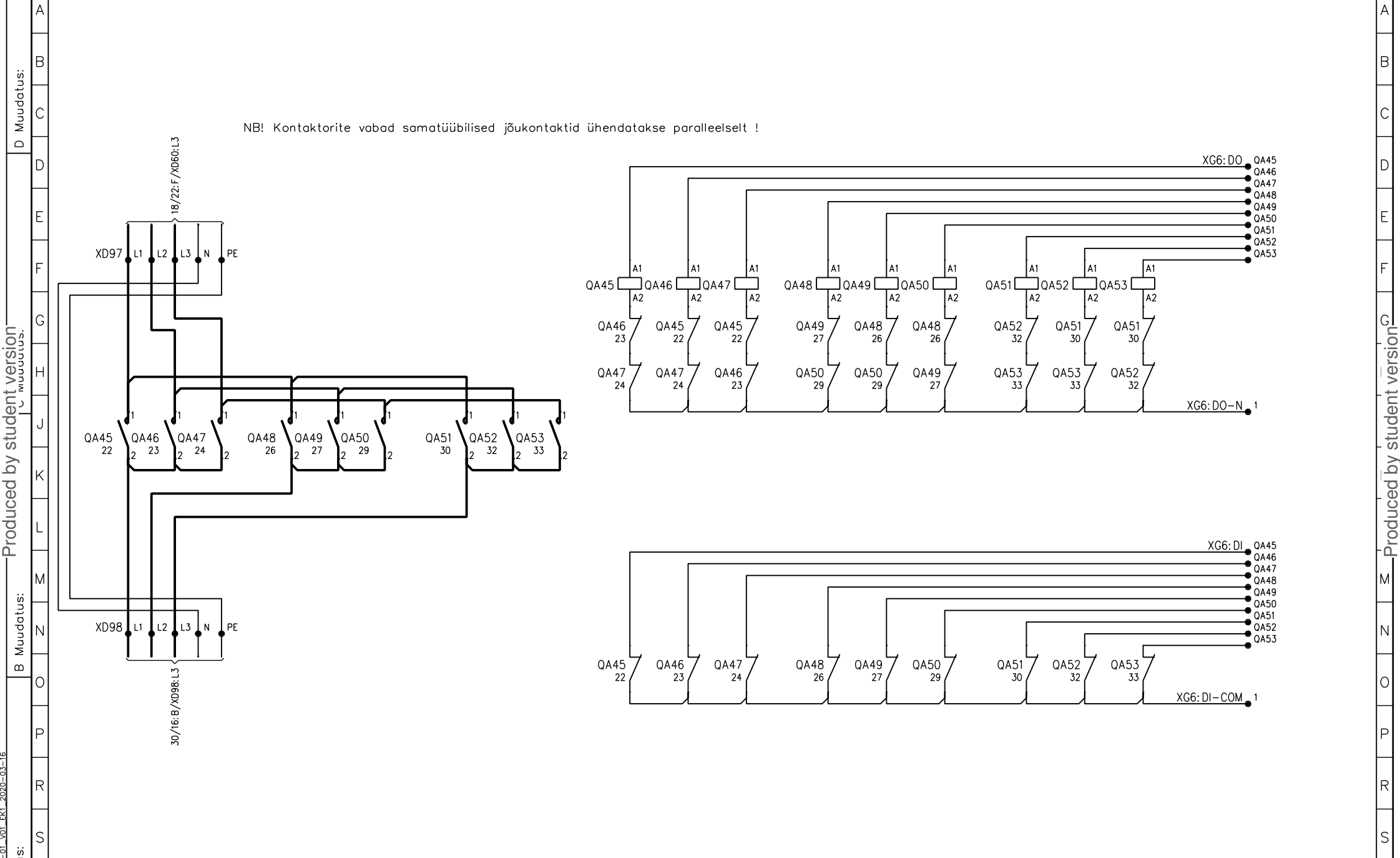
20.5.2020
 A Muudatus: /20.3.2020
 B Muudatus: /20.3.2020
 C Muudatus: /20.3.2020
 D Muudatus: /20.3.2020
 E Muudatus: /20.3.2020
 F Muudatus: /20.3.2020
 G Muudatus: /20.3.2020
 H Muudatus: /20.3.2020
 I Muudatus: /20.3.2020
 J Muudatus: /20.3.2020
 K Muudatus: /20.3.2020
 L Muudatus: /20.3.2020
 M Muudatus: /20.3.2020
 N Muudatus: /20.3.2020
 O Muudatus: /20.3.2020
 P Muudatus: /20.3.2020
 R Muudatus: /20.3.2020
 S Muudatus: /20.3.2020

A Muudatus: /20.3.2020
 B Muudatus: /20.3.2020
 C Muudatus: /20.3.2020
 D Muudatus: /20.3.2020
 E Muudatus: /20.3.2020
 F Muudatus: /20.3.2020
 G Muudatus: /20.3.2020
 H Muudatus: /20.3.2020
 I Muudatus: /20.3.2020
 J Muudatus: /20.3.2020
 K Muudatus: /20.3.2020
 L Muudatus: /20.3.2020
 M Muudatus: /20.3.2020
 N Muudatus: /20.3.2020
 O Muudatus: /20.3.2020
 P Muudatus: /20.3.2020
 R Muudatus: /20.3.2020
 S Muudatus: /20.3.2020

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

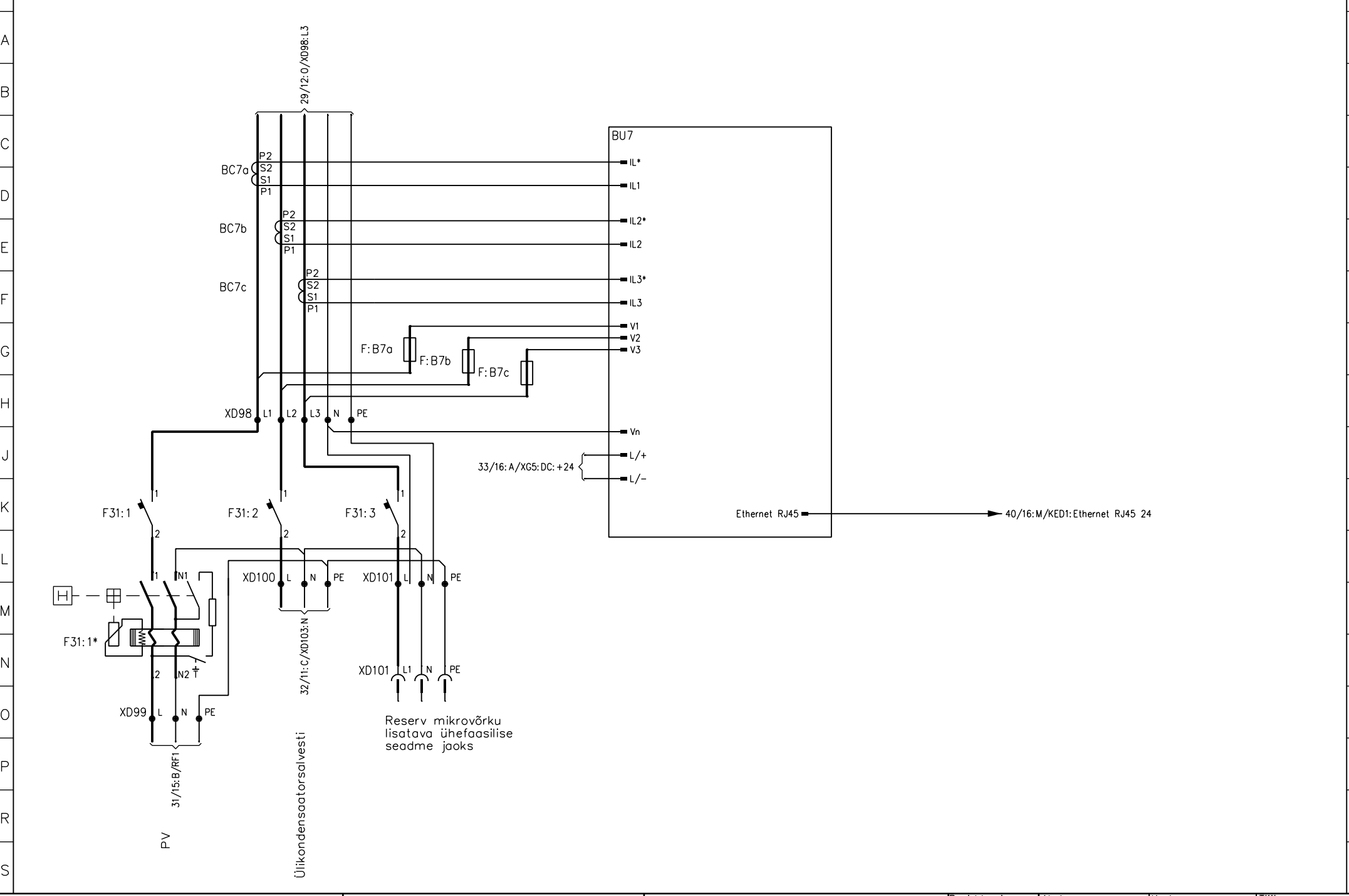


D Muudatus:

Produced by student version

B Muudatus:

A Muudatus:



D Muudatus:

Produced by student version

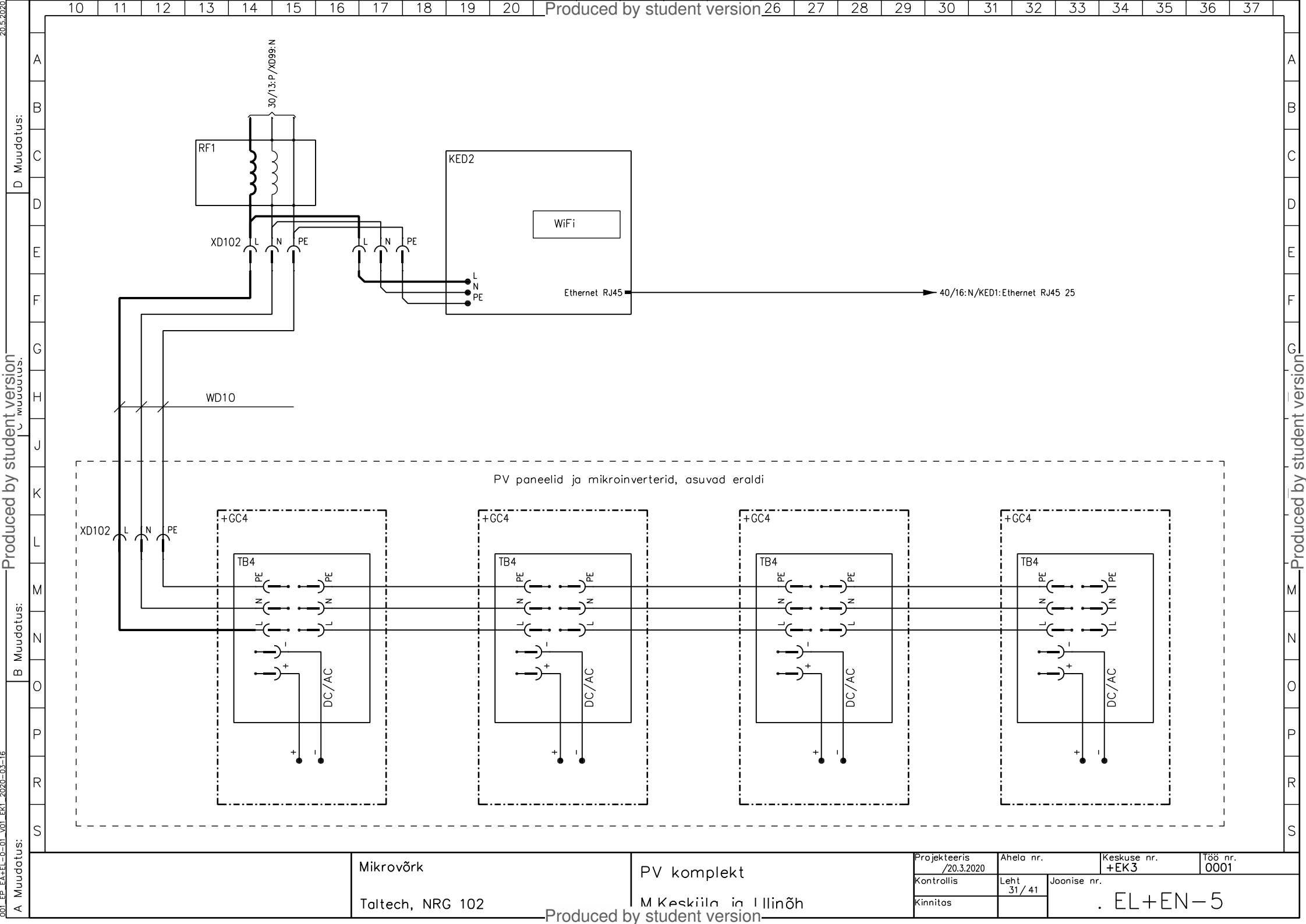
B Muudatus:

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



D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:

D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

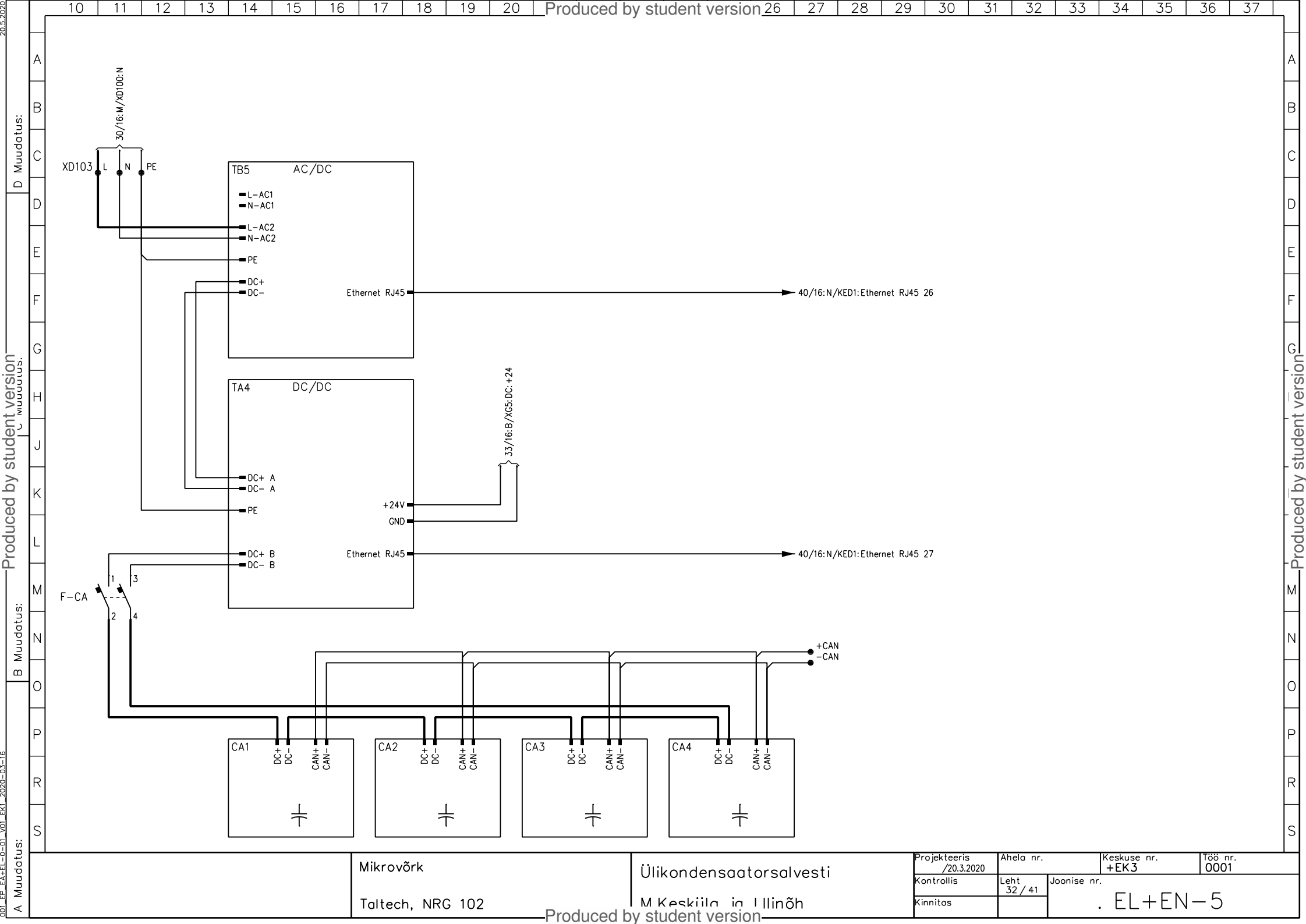
A Muudatus:

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

PV komplekt
M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK3	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 31/41	Joonise nr.	
Kinnitas			

. EL+EN-5	
-----------	--



20.5.2020

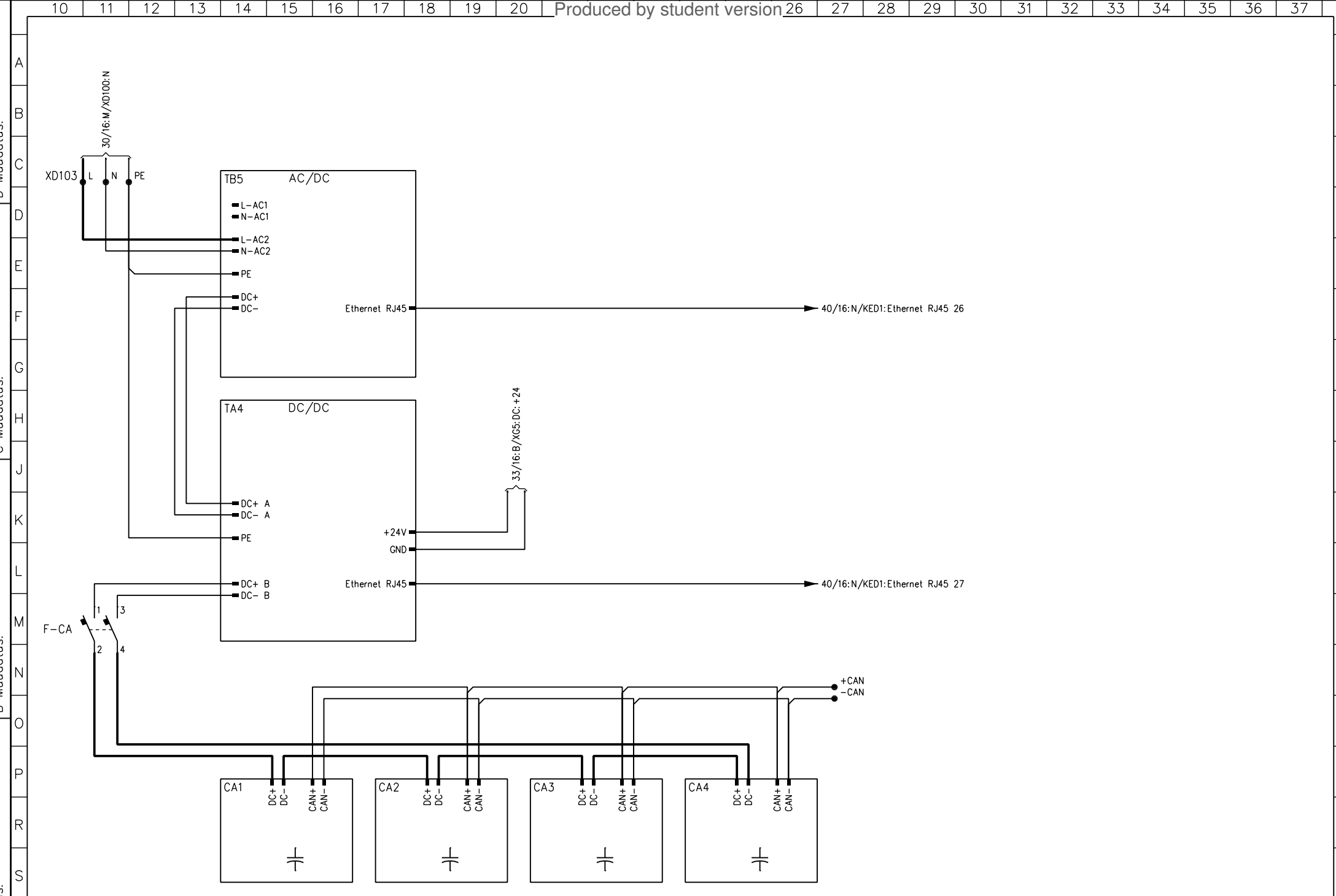
Produced by student version

D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:



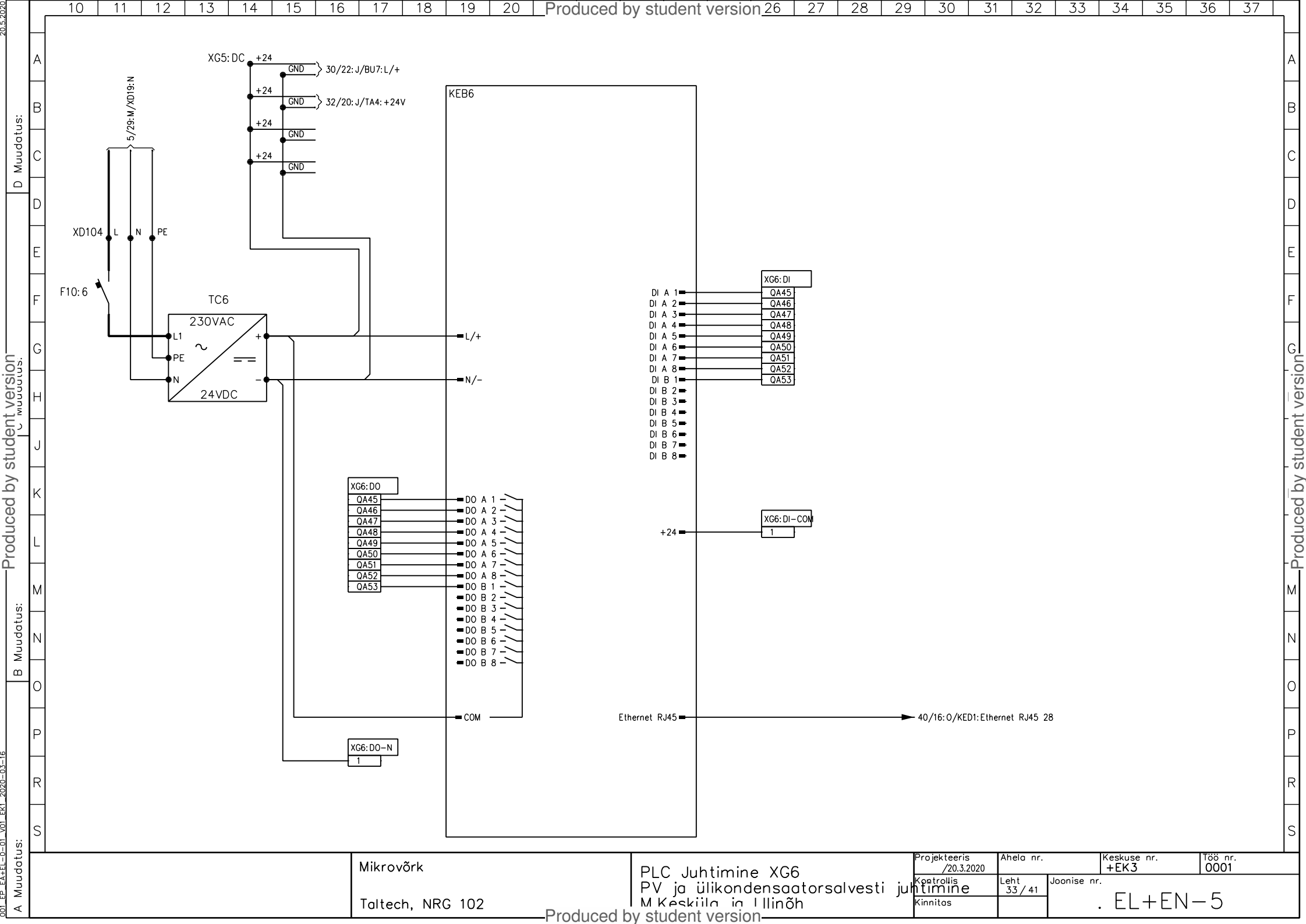
Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Ülikondensaatorsalvesti
M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK3	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 32 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas	. EL+EN-5		

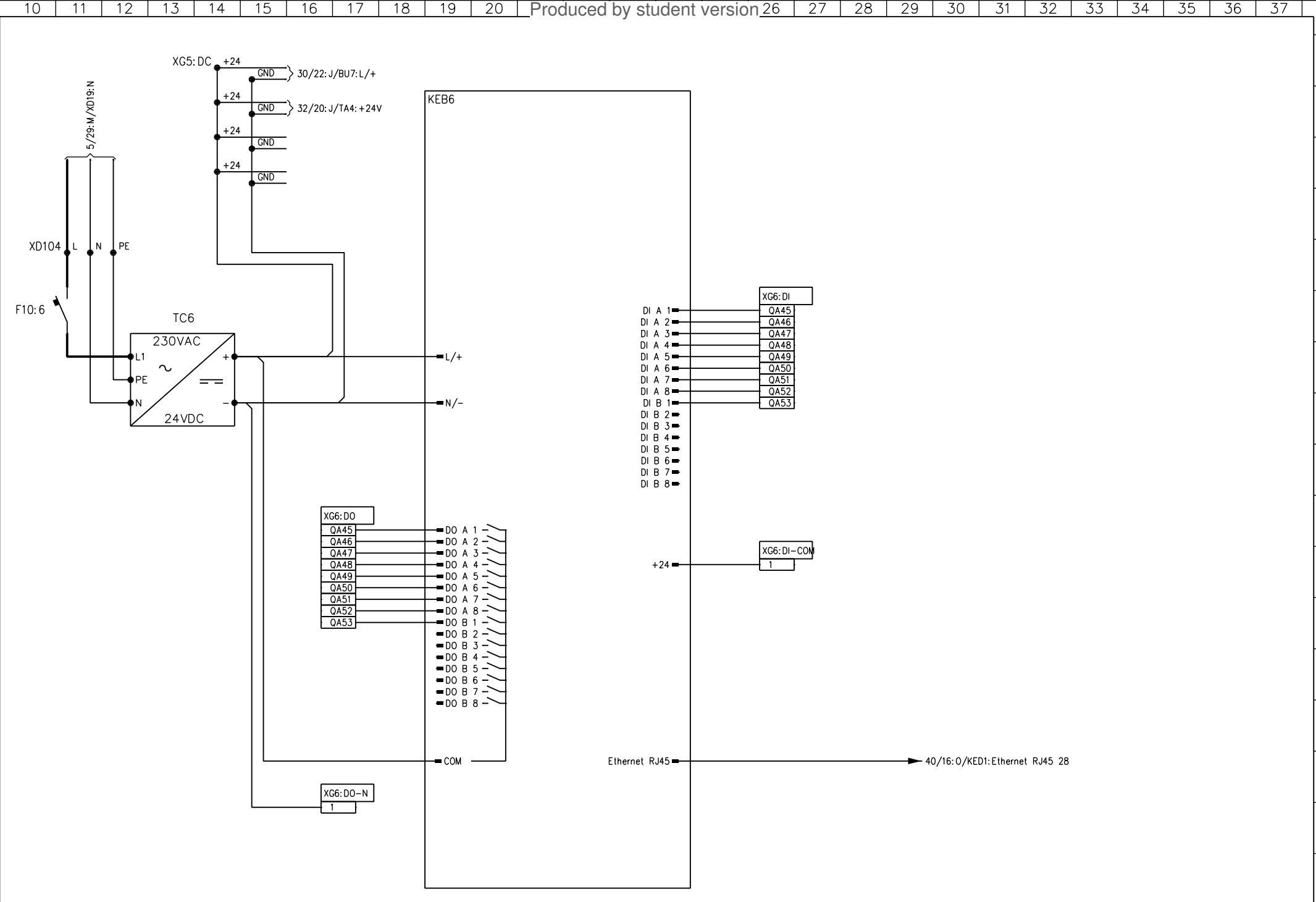
Produced by student version

Produced by student version

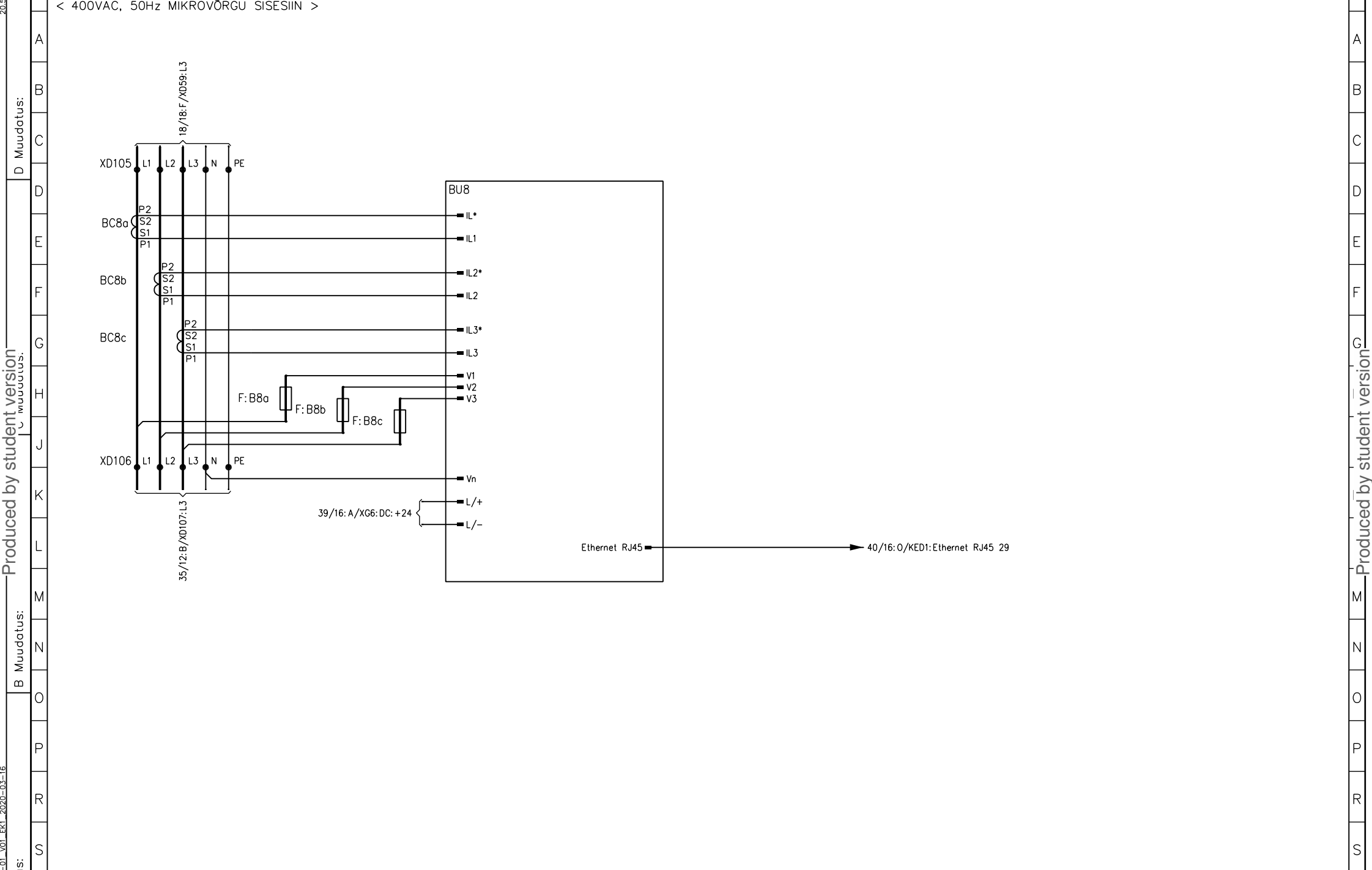


20.5.2020
 A Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 B Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 C Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 D Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 E Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 F Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 G Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 H Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 I Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 J Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 K Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 L Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 M Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 N Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 O Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 P Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 R Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16
 S Muudatus: 001.EP.EA+EL-0-01_X01.EKL.2020-03-16

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

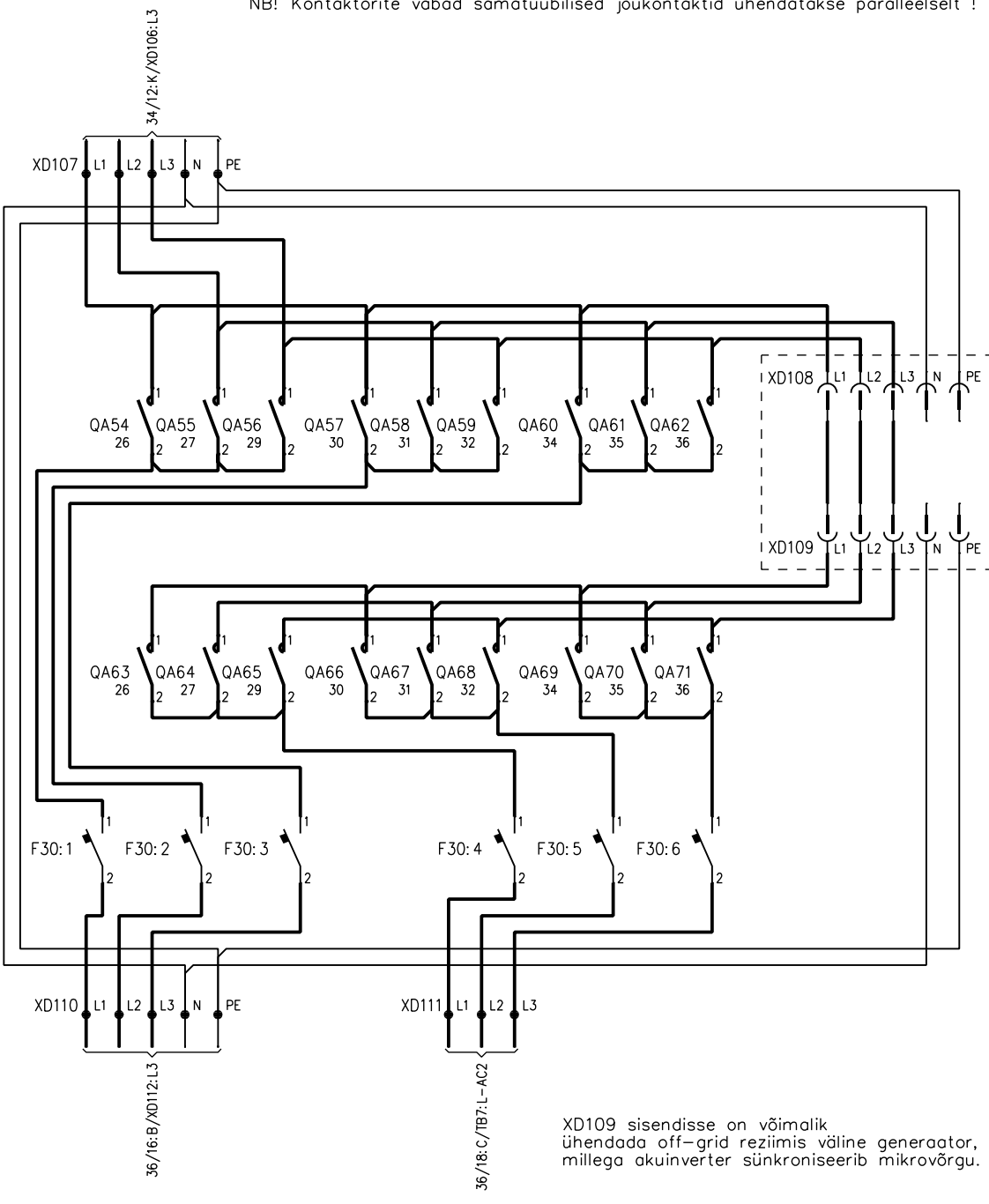


Produced by student version

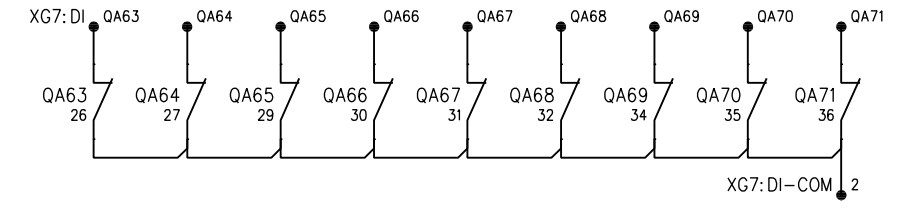
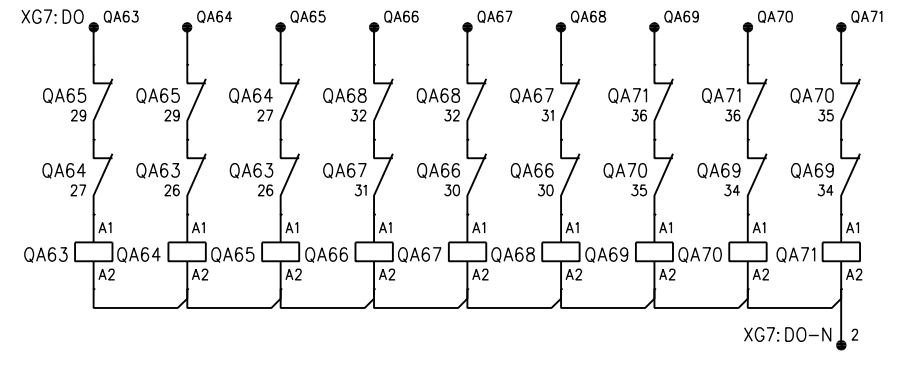
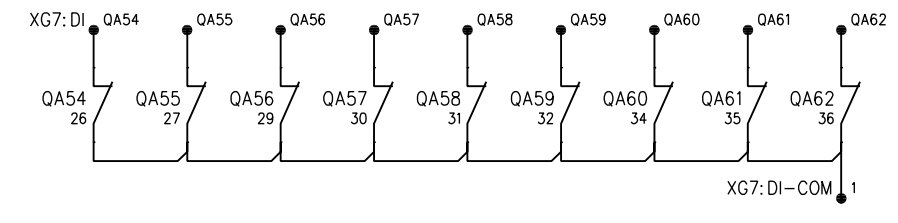
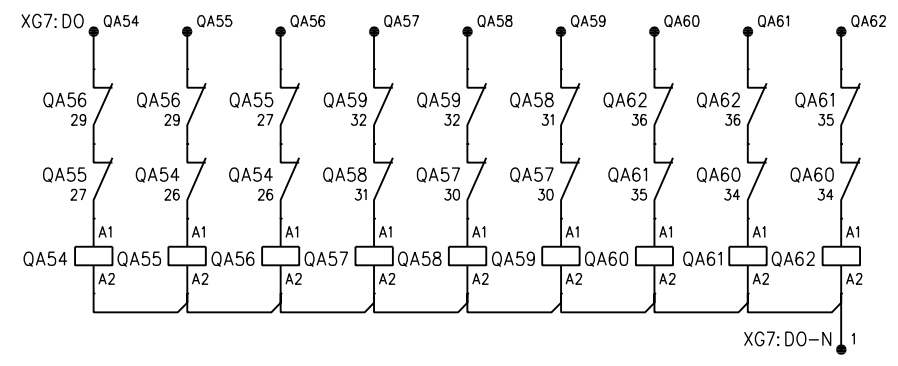
Produced by student version

A Muudatus:	Mikrovõrk	Akusalvesti	Projekteeris /20.3.2020	Aheala nr.	Keskuse nr. +EK2	Tõõ nr. 0001
	Taltech, NRG 102	M Keskiöla ja Illinõh	Kontrollis	Leht 34 / 41	Joonise nr.	
			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

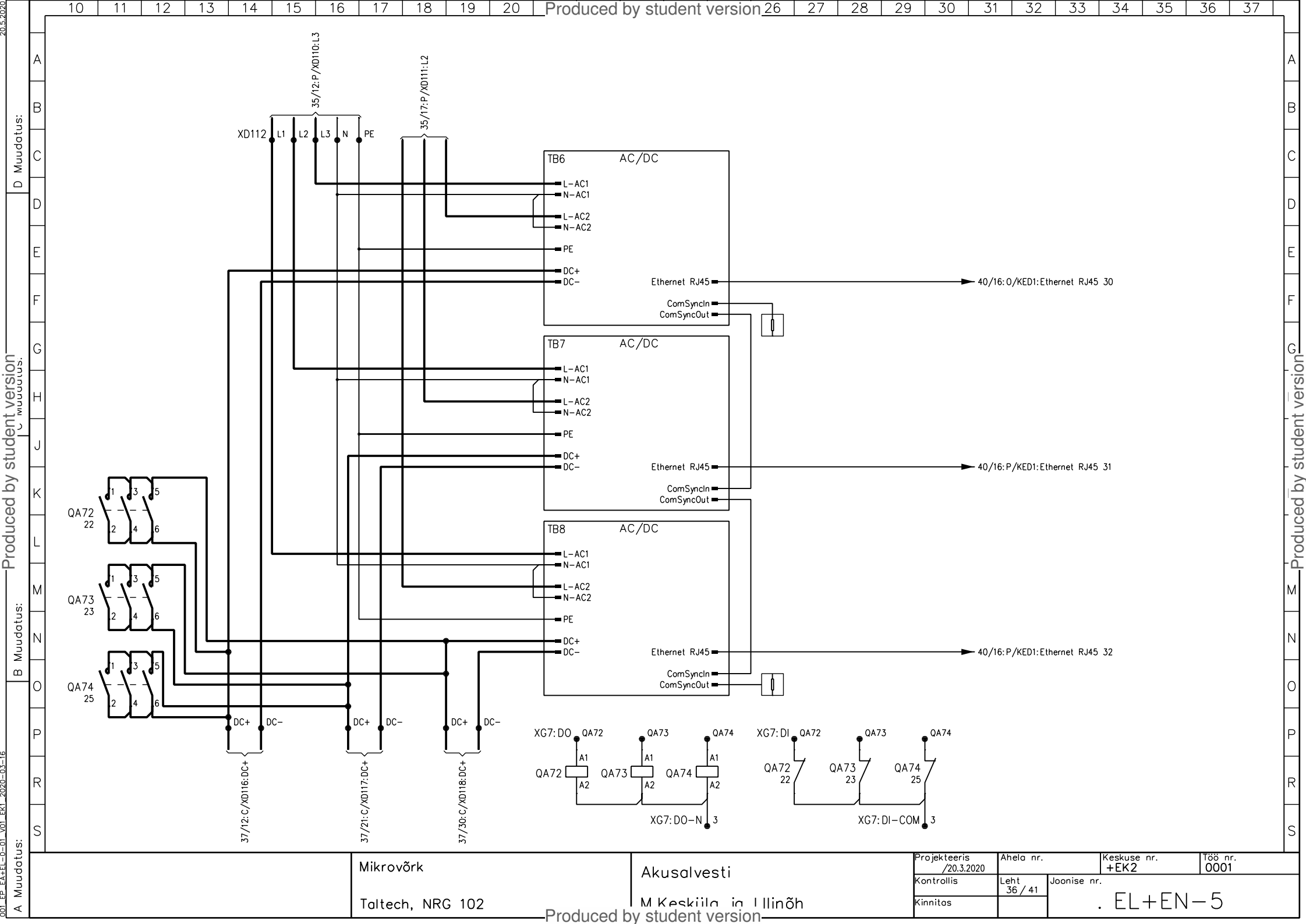
Produced by student version

A Muudatus:

Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

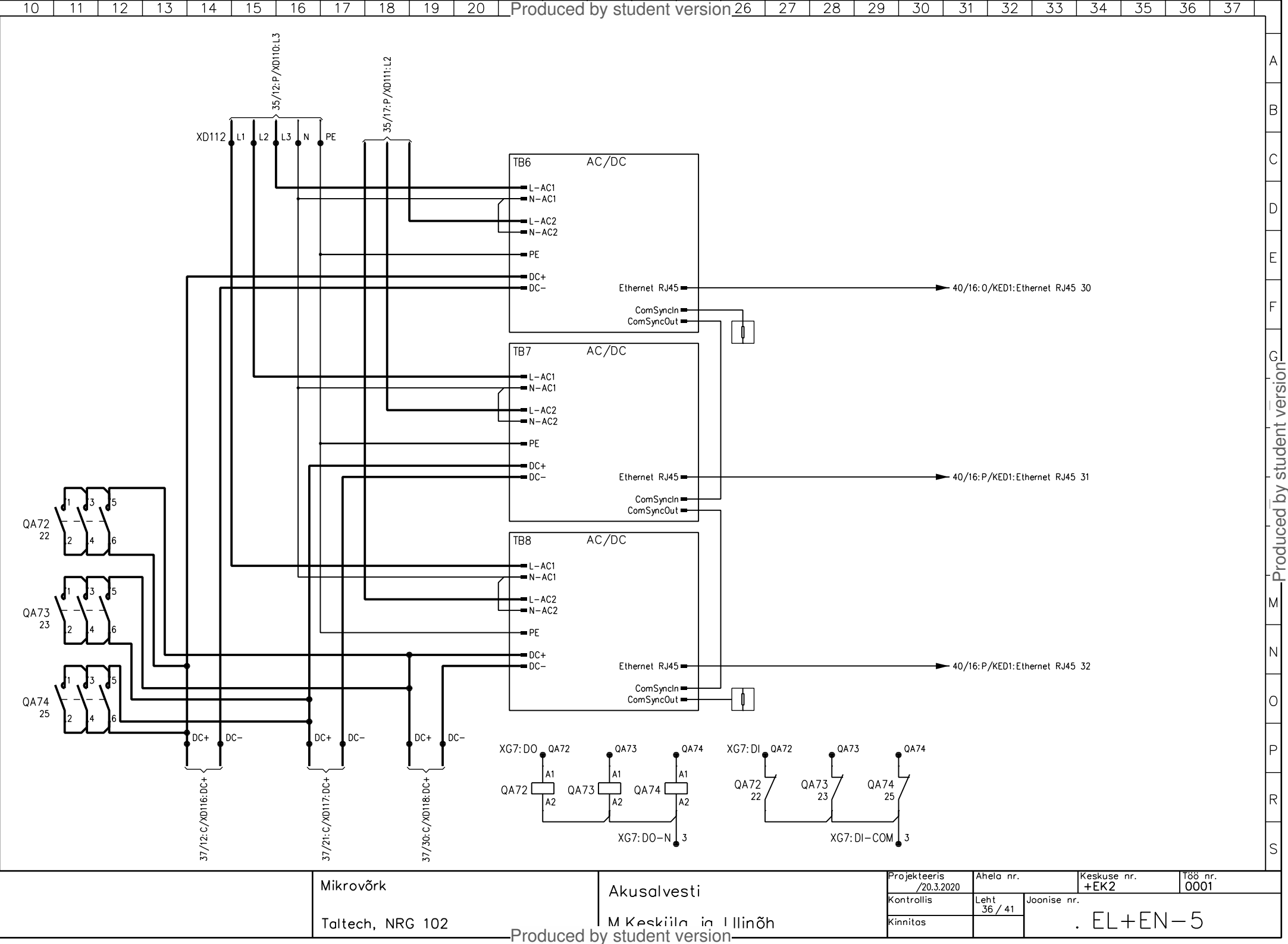
Akusalvesti
M Keskiöla

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



20.5.2020
 Produced by student version
 A Muudatus:

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



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

Mikrovõrk
 Taltech, NRG 102

Akusalvesti
 M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK2	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 36 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas			. EL+EN-5

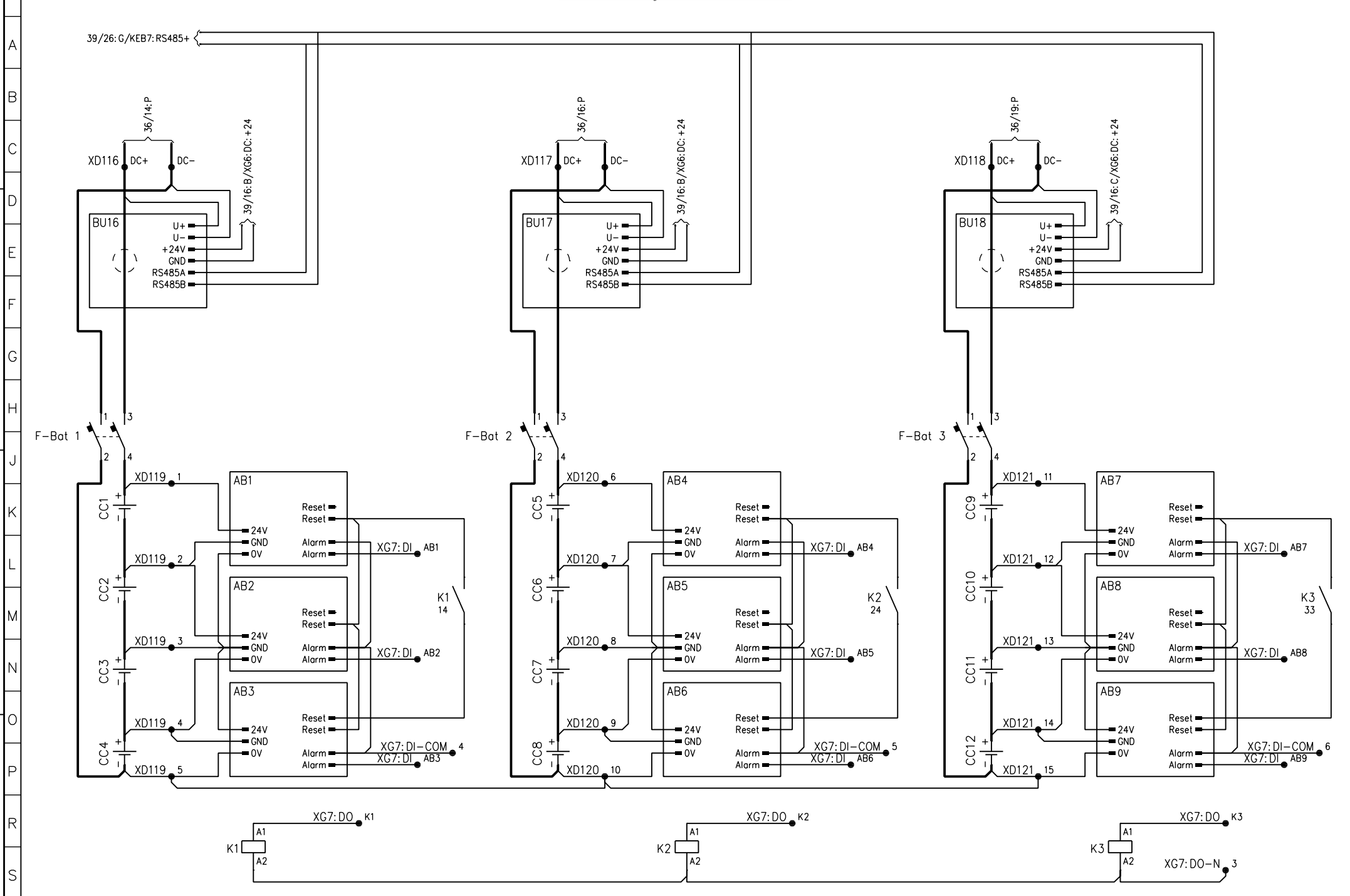
Produced by student version

D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

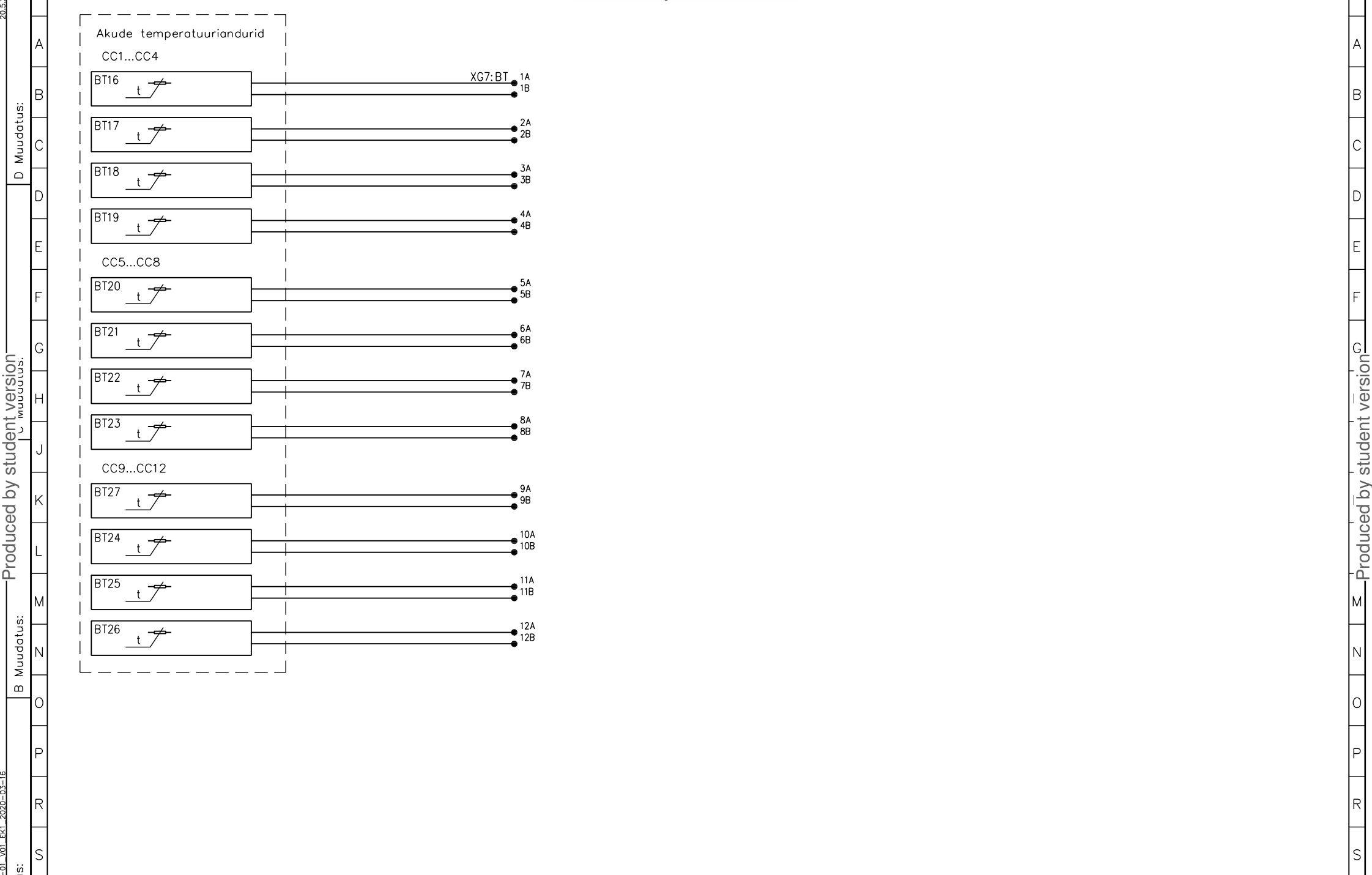
A Muudatus:



Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Akusalvesti
M Keskiöla ja Illinõh

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK2	T88 nr. 0001
Kontrollis	Leht 37 / 41	Joonise nr.	
Kinnitas			. EL+EN-5



D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

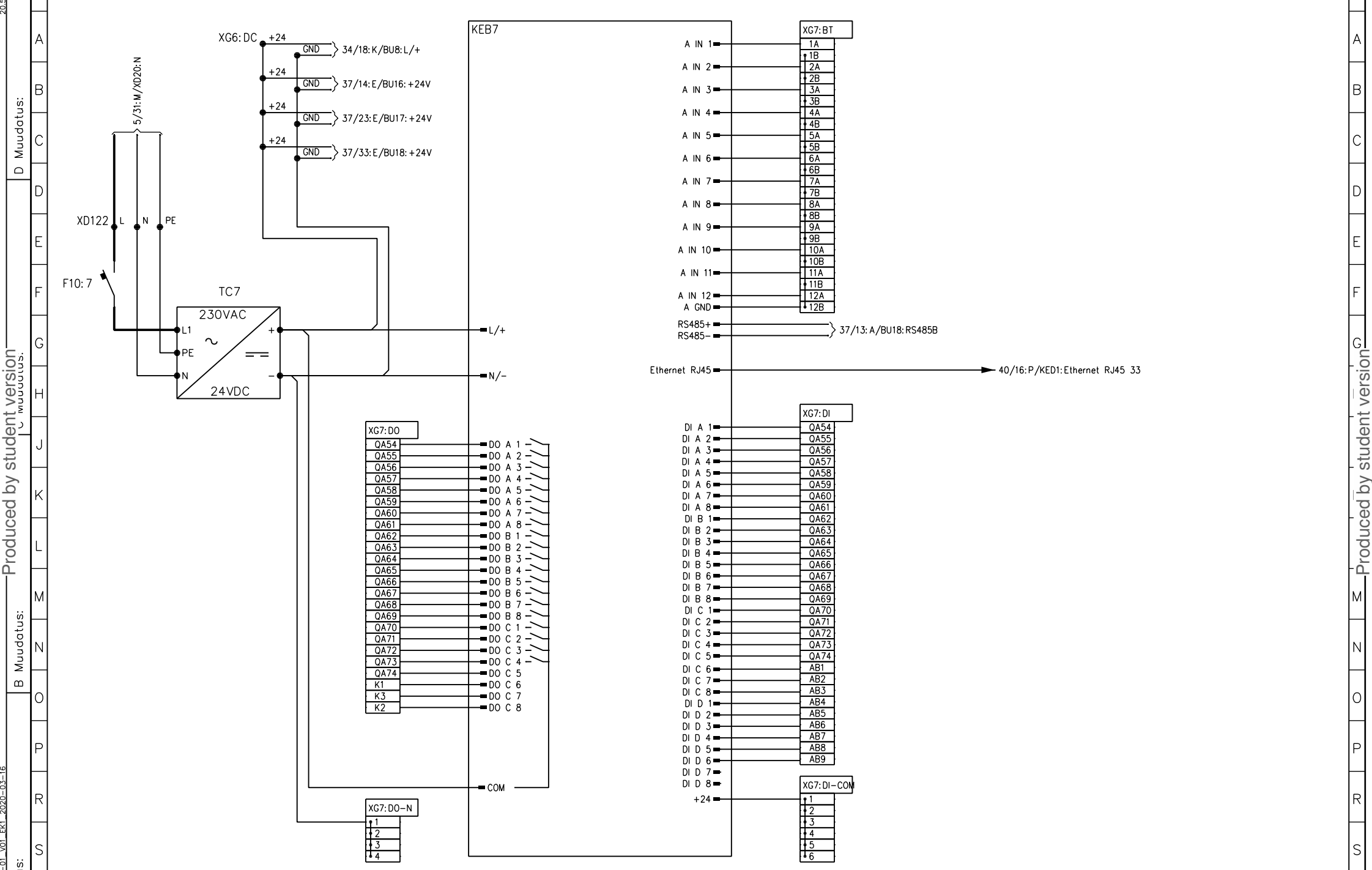
A Muudatus:

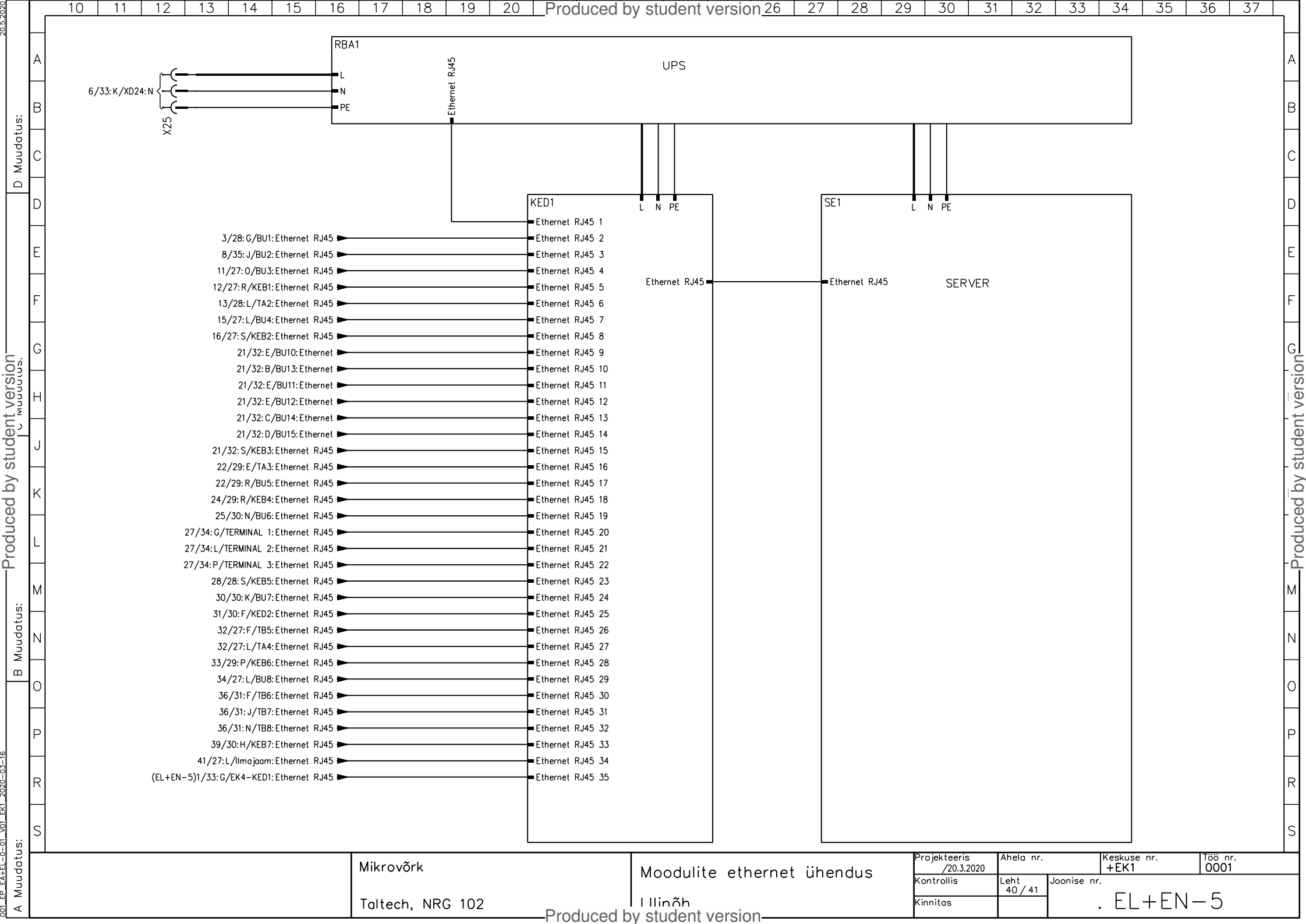
A

G

M

S





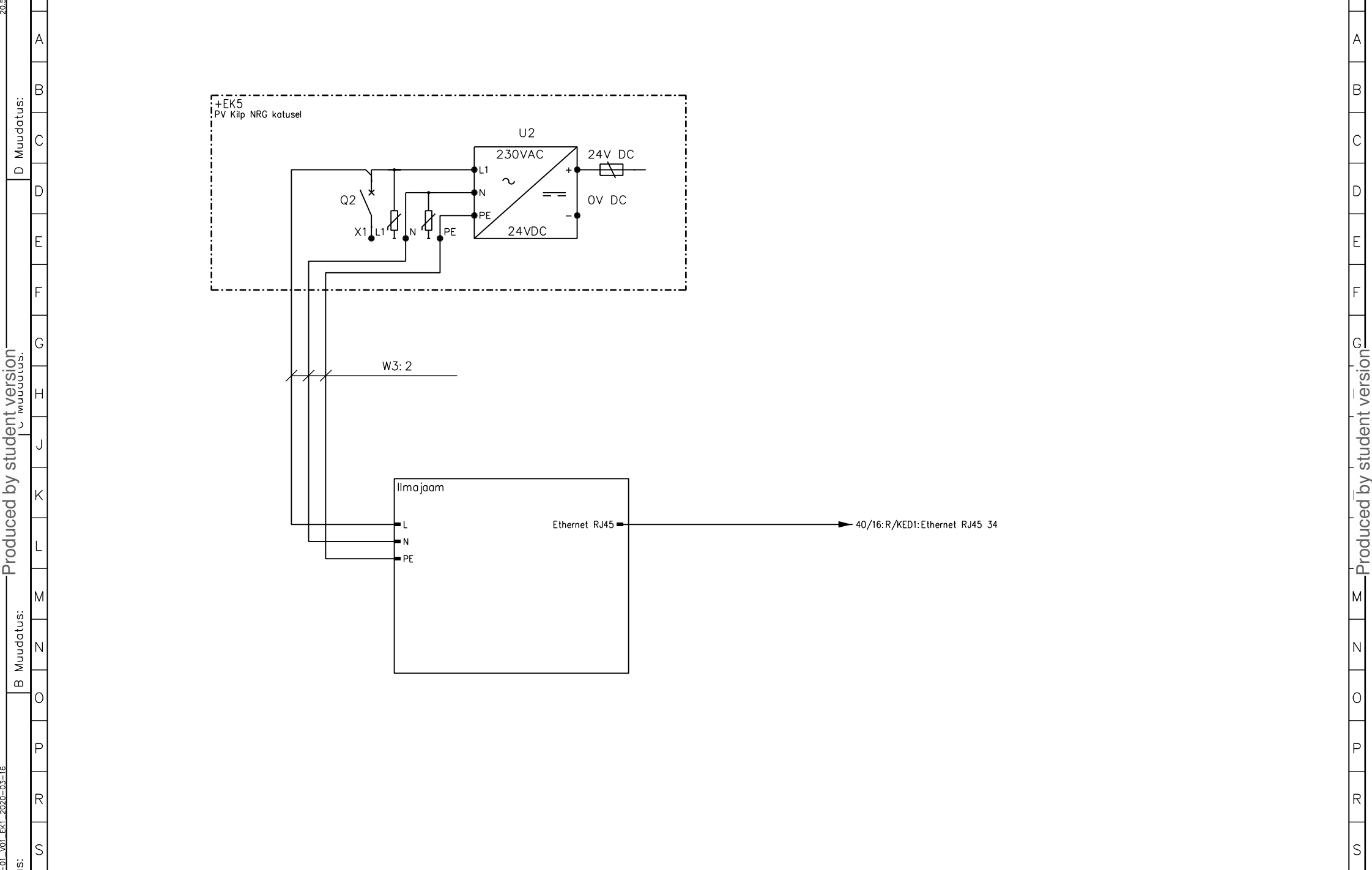
Produced by student version

Produced by student version

Produced by student version

Produced by student version

A Muudatus:		Mikrovõrk		Moodulite ethernet ühendus		Projekteeris /20.3.2020		Aheala nr.		Keskuse nr. +EK1		T88 nr. 0001	
B Muudatus:		Taltech, NRG 102		I Ilinõh		Kontrollis		Leht 40 / 41		Joonise nr.		. EL+EN-5	
C Muudatus:						Kinnitas							
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:													
Q Muudatus:													
R Muudatus:													
S Muudatus:													



D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:

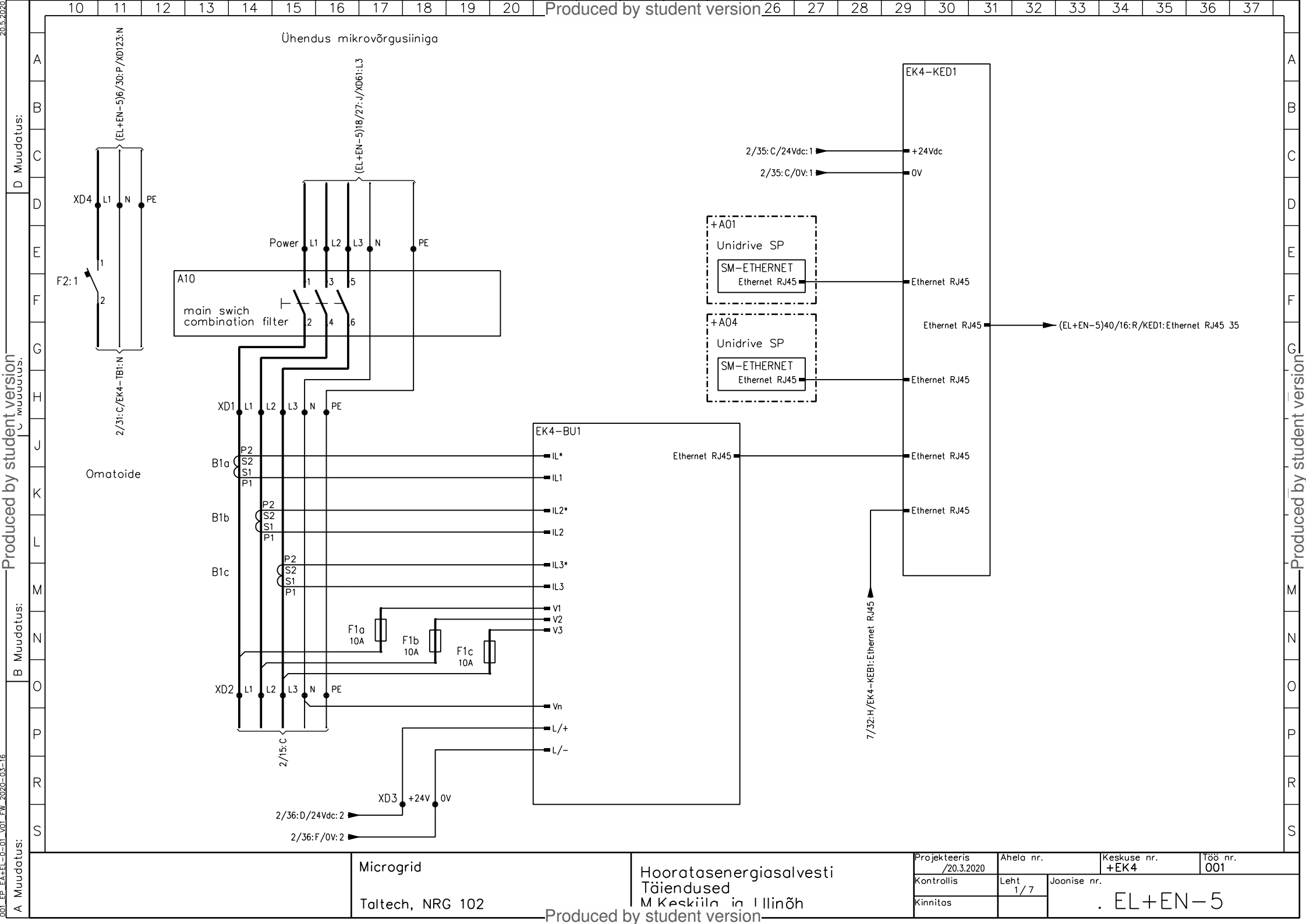
Mikrovõrk
Taltech, NRG 102

Ilmajaam
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



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:
 J Muudatus:
 K Muudatus:
 L Muudatus:
 M Muudatus:
 N Muudatus:
 O Muudatus:
 P Muudatus:
 R Muudatus:
 S 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	

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:

D Muudatus:

Produced by student version

B Muudatus:

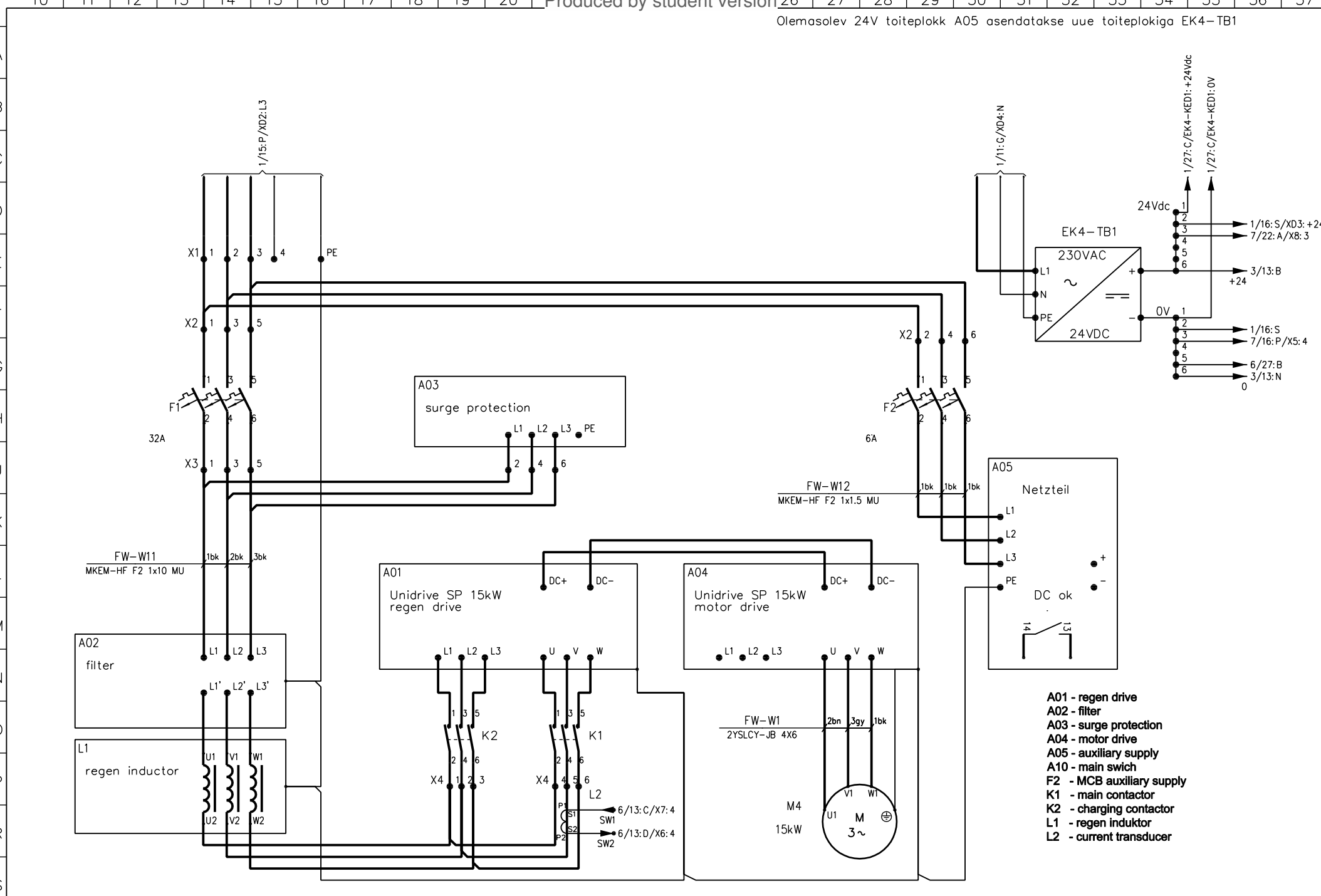
A Muudatus:

A

Produced by student version

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

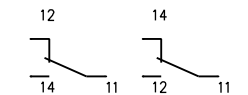
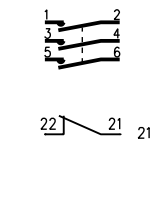
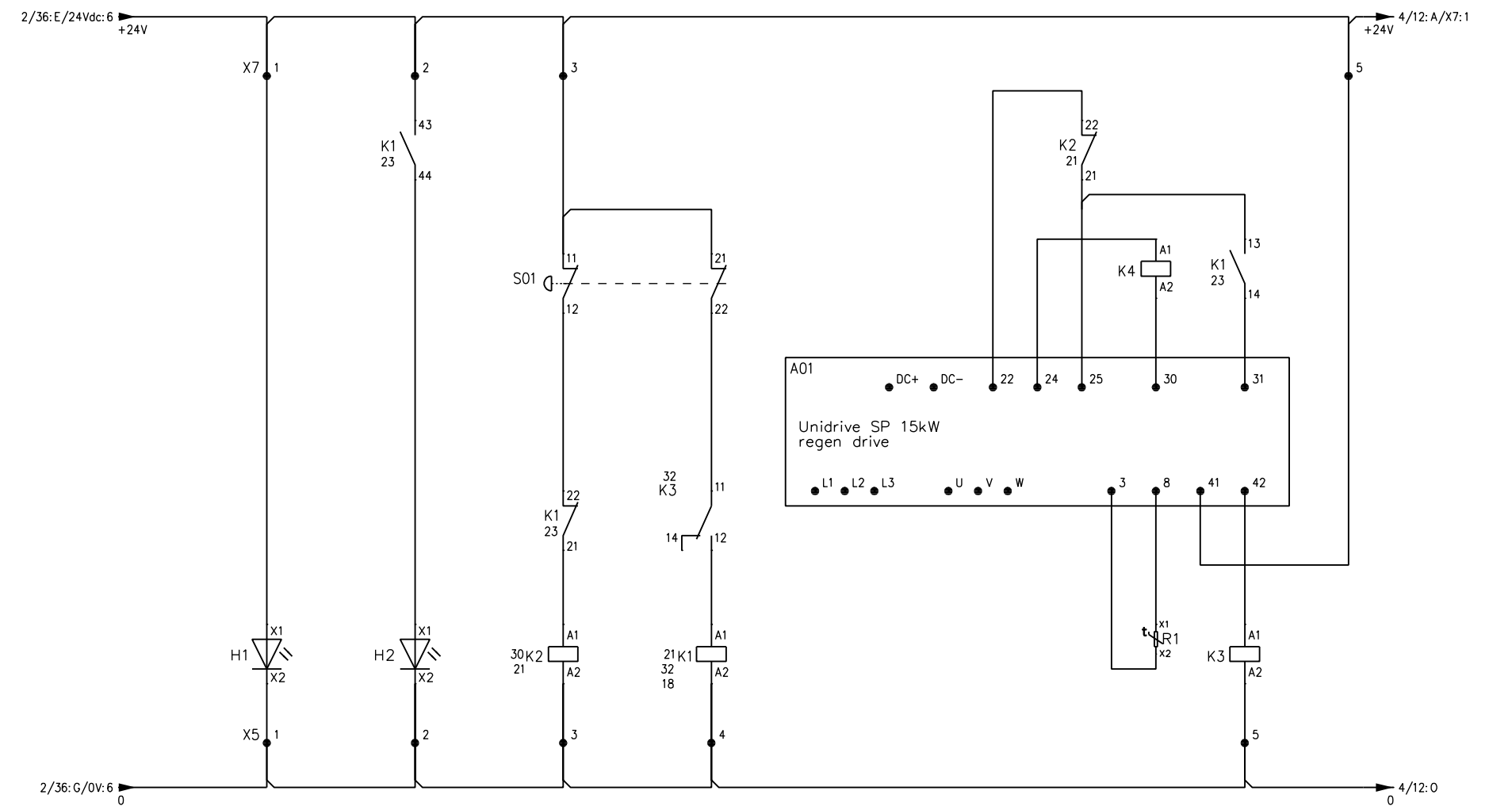
Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK4	T88 nr. 001
Kontrollis	Leht 2/7	Joonise nr.	
Kinnitas			. EL+EN-5

D Muudatus:

C Muudatus:

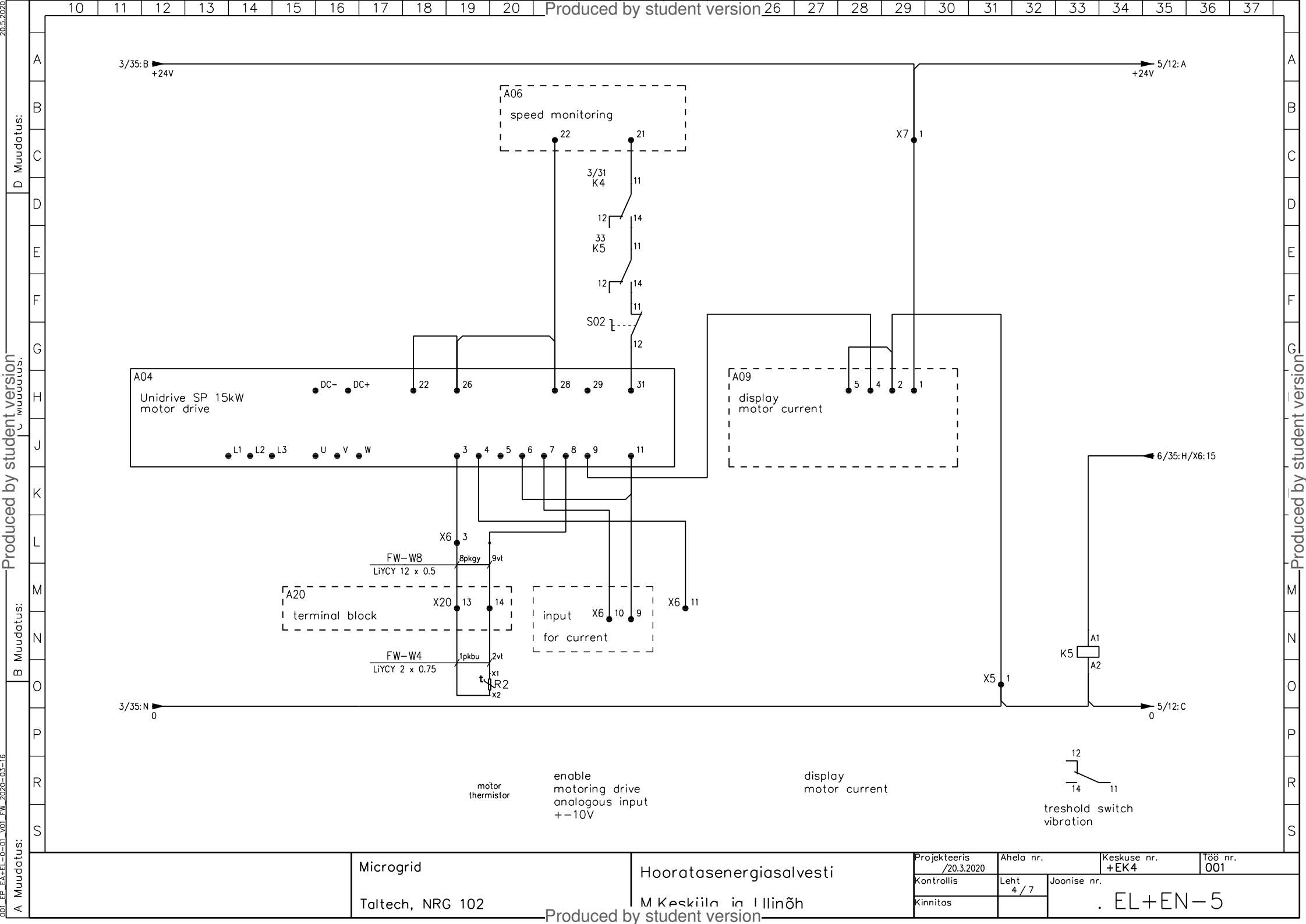
B Muudatus:

A Muudatus:



auxiliary voltage ok main contactor closed charging contactor main contactor PTC regen inductor

Microgrid	Hooratasenergiasalvesti	Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK4	T88 nr. 001
Taltech, NRG 102	M Keskiöla ja Illinõh	Kontrollis	Leht 3/7	Joonise nr.	. EL+EN-5
		Kinnitas			



A Muudatus: 20.5.2020
 B Muudatus: /20.3.2020
 C Muudatus:
 D 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

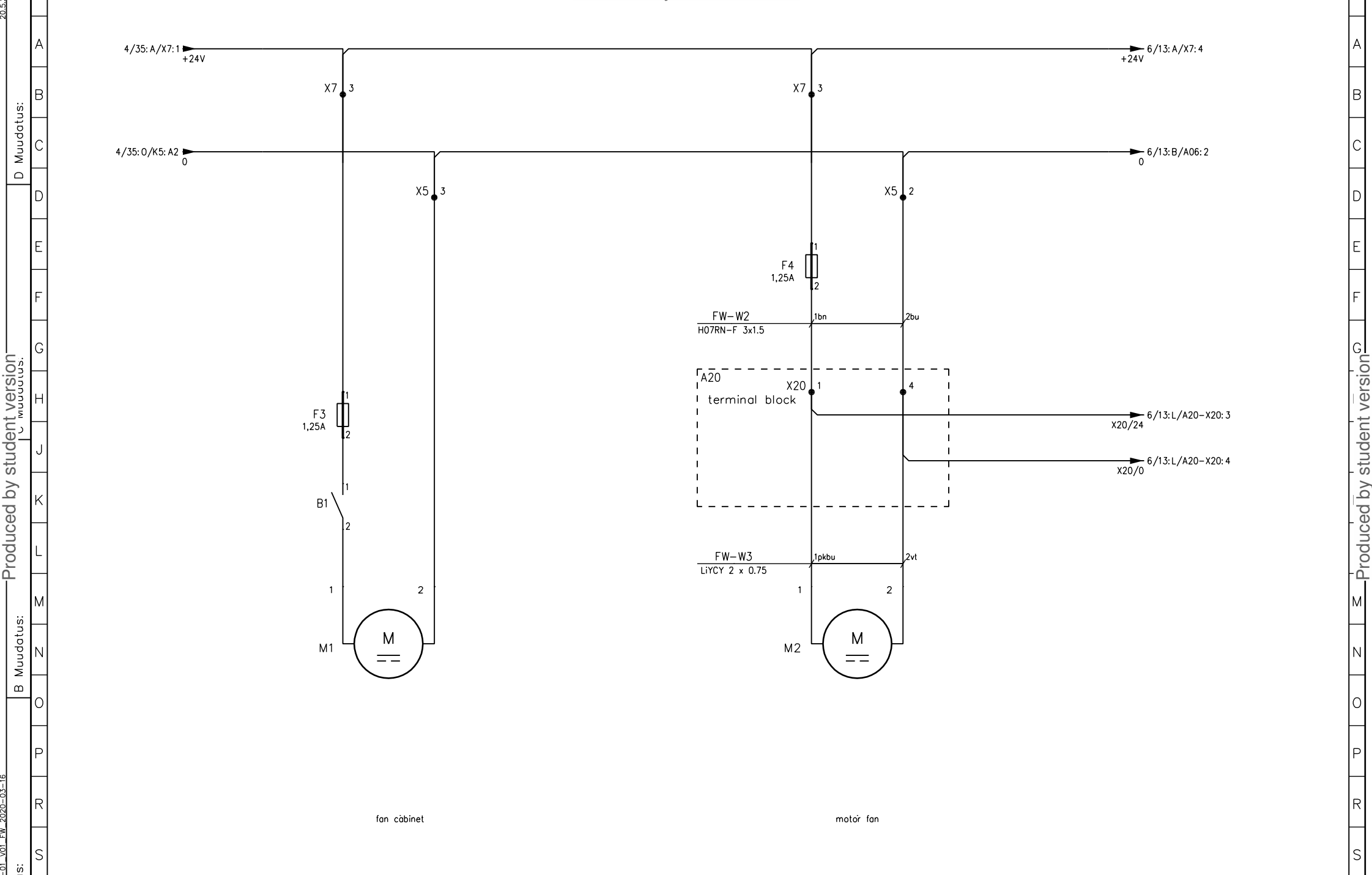
Hooratasenergiasalvesti
M Keskiölä ja Illinööh

Projekteeris /20.3.2020
Kontrollis
Kinnitas

Ahela nr.
Leht 4 / 7

Keskuse nr.
+EK4

Töö nr.
001
EL+EN-5



D Muudatus:

C Muudatus:

B Muudatus:

A Muudatus:

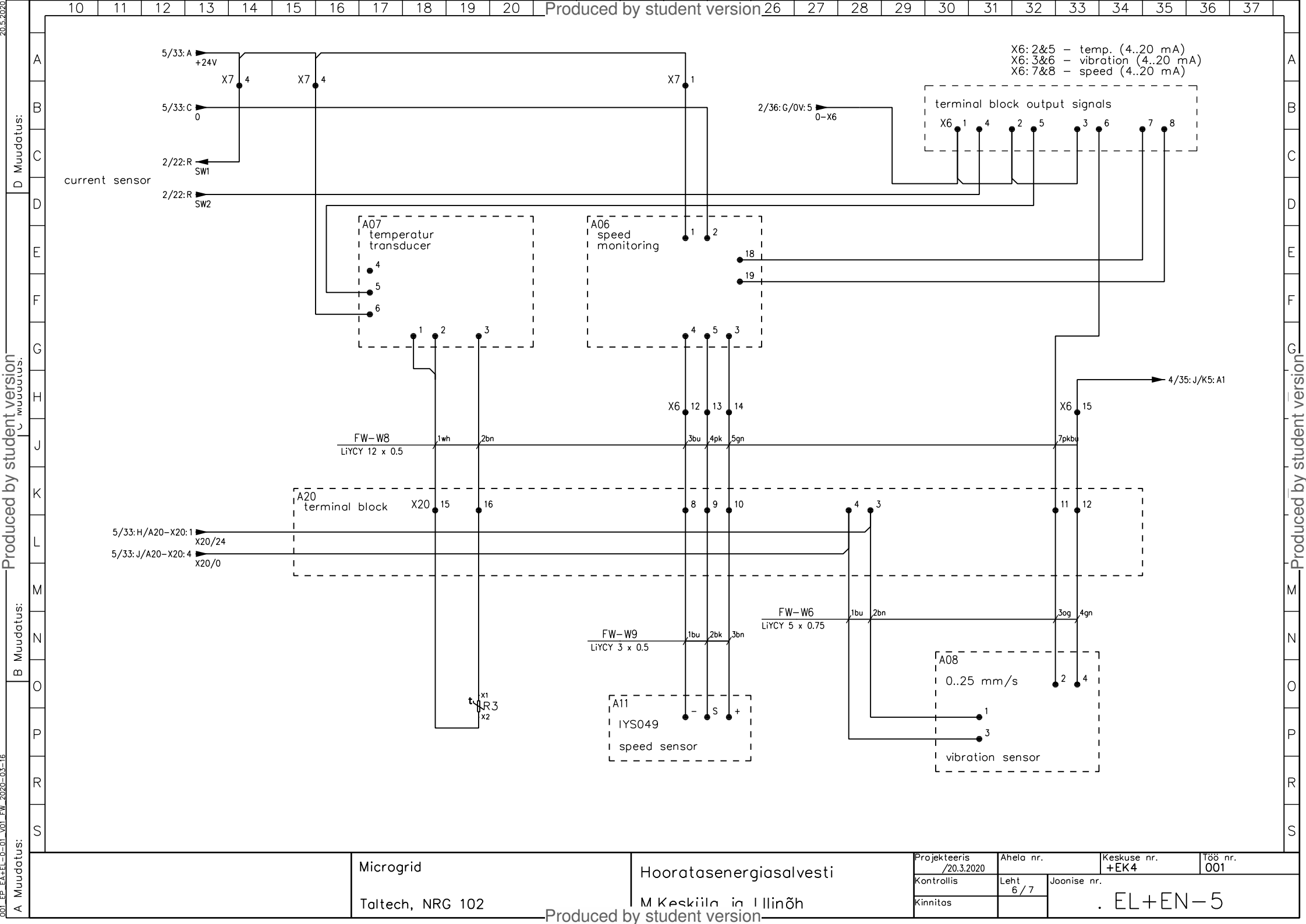
Microgrid
Taltech, NRG 102

Hooratasenergiasalvesti
M Keskiöla ja Illinöñ

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

Produced by student version

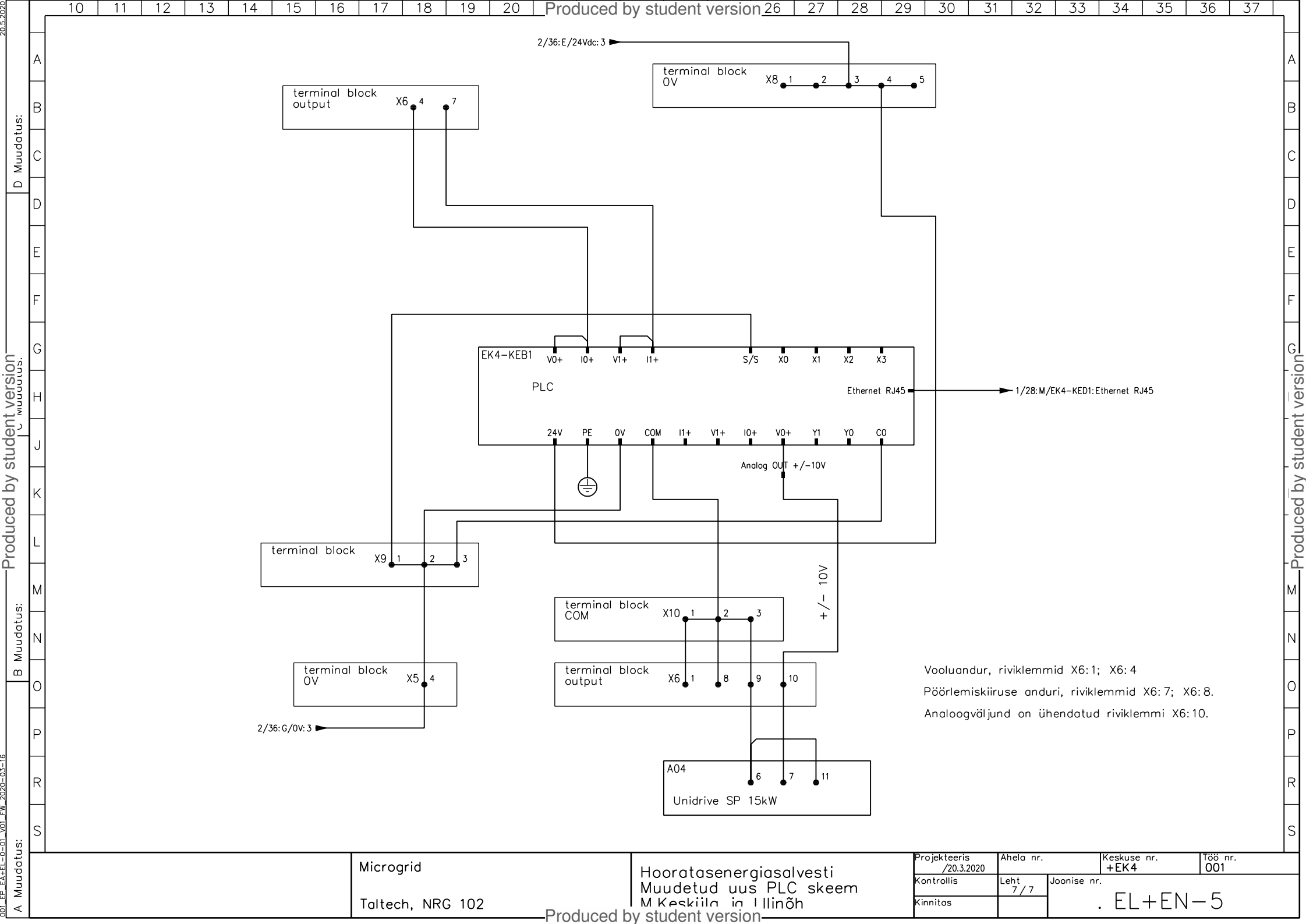
Produced by student version



Microgrid
Taltech, NRG 102

Hooratasenergiasalvesti
M Keskiölä ja Illinöhn

Projekteeris /20.3.2020	Ahela nr.	Keskuse nr. +EK4	T88 nr. 001
Kontrollis	Leht 6/7	Joonise nr.	
Kinnitas	. EL+EN-5		



2/36: G/0V: 3

2/36: E/24Vdc: 3

Vooluandur, rivi клемmid X6:1; X6:4
 Pöörlemiskiiruse anduri, rivi клемmid X6:7; X6:8.
 Analogväljund on ühendatud rivi клемmi X6:10.

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																																
A	Produced by student version																											A																															
B	Produced by student version																											B																															
C	Produced by student version																											C																															
D	Produced by student version																											D																															
E	Produced by student version																											E																															
F	Produced by student version																											F																															
G	Produced by student version																											G																															
H	Produced by student version																											H																															
I	Produced by student version																											I																															
J	Produced by student version																											J																															
K	Produced by student version																											K																															
L	Produced by student version																											L																															
M	Produced by student version																											M																															
N	Produced by student version																											N																															
O	Produced by student version																											O																															
P	Produced by student version																											P																															
R	Produced by student version																											R																															
S	Produced by student version																											S																															
A Muudatus:										B Muudatus:										C Muudatus:										D Muudatus:																													
Microgrid										Hooratasenergiasalvesti										Projekteeris										Ahela nr.										Keskuse nr.										T88 nr.									
Taltech, NRG 102										Muudetud uus PLC skeem										/20.3.2020										7/7										+EK4										001									
										M Keskiöla ja Illinõh										Kinnitas										Leht										Joonise nr.										. EL+EN-5									
Produced by student version																																																											