

Hybridilämmitysjärjestelmän automaation suunnittelu



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Valkeakoski, Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

Syksy, 2016

Matti Kaartinen

Koulutus Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Kampus Valkeakoski

Tekijä Matti Kaartinen **Vuosi** 2016

Työn nimi Hybridilämmitysjärjestelmän automatisoinnin suunnittelu

TIIVISTELMÄ

Tässä työssä suunniteltiin yksi mahdollinen automaatio-ohjaustoteutus Pirkanmaanliiton Tarkalla ohjauksella energiatehokkuutta -hankkeeseen. Työssä perehdyttiin nykyisiin lämmitysjärjestelmiin ja niiden käyttömahdollisuuksiin automaatiojärjestelmän osana. Tämän lisäksi työn aikana tutkittiin kahta eri faasinmuutosmateriaalia ja niiden toimintaperiaatetta. Työn tavoitteena oli luoda selkeä, helposti toteutettava ja laajennettava kokonaisuus, joka myöhemmässä vaiheessa voidaan suunnitelman pohjalta rakentaa työssä esitellylle lämmityskokonaisuudelle.

Lämmitysjärjestelmistä työn aikana tutkittiin öljyn ja hakkeen polttamisen ohella mahdollisuuksia käyttää kaasua lämmityksessä sekä erilaisia aurinkolämpöjärjestelmiä. Eri lämmitystekniikoiden yhdistäminen oli yksi koko opinnäytetyön keskeisimmistä teemoista, koska automaatio-ohjauksella pyrittiin optimoimaan paloprosessi ja näin vähentämään poltossa tapahtuvia päästöjä.

Työn aikana tutkittiin myös erilaisia suoloja faasinmuutosmateriaalina, sillä vaikka faasinmuutosta on tutkittu jo pitkään mitään käytännön sovellusta suolojen käytöstä ei ole tullut vastaan. Faasinmuutosmateriaalin tutkimisella oli tarkoitus selvittää, voidaanko vesivaraajaan sijoitettulla kapseloidulla faasinmuutosmateriaalilla varastoida samaan tilavuuteen enemmän lämpöä kuin veteen.

Tässä työssä esitelty lämmityskokonaisuus ja automaatiojärjestelmä tullaan tulevan 1 - 1,5 vuoden aikana toteuttamaan työmaakonttiin, minkä jälkeen polttoprosessin optimointi ohjausta hyödyntämällä voidaan aloittaa.

Avainsanat Energiatehokkuus, faasinmuutos, hybridilämmitys, ohjausjärjestelmä

Sivut 83 sivua, joista liitteitä 42 sivua

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Valkeakoski

Author	Matti Kaartinen	Year 2016
Subject	Designing automatisisation of a hybrid heating system	

ABSTRACT

The author designed one possible automation control implementation for the project: "Energy efficiency with precise control" of Pirkanmaa union was designed in this thesis. Current heating systems and their possible uses as parts of automation systems were studied here at first. After that the focus was turned on to examining two different phase-change materials and their working principles. The focus of this thesis work was on creating automation system which was to be clear, easy to implement and to expand. The design work of this thesis project can later be used for building the automation control for the heating system presented here in this thesis.

Different solar heating systems and the possibility to use different biogases for heating systems were examined together with oil and woodchips. Integrating multiple heating sources into one system and controlling them through automation were one of the main focuses of this thesis because in the project we tried to optimize the burning process and thus lessen the exhaust gasses there.

Different salts were studied as phase-change materials because even though phase-change has been examined for a time, there are no practical applications of using salts. The main focus of studying the phase-change materials was to actually find out if the capsulated phase-change material could store more heat energy in the same volume as water.

The heating and automation system examined here will be implemented to a movable container during the next 1-1.5 years and there by closer examination of the burn process optimization and energy efficient controlling of the system will be carried out.

Keywords Automation control, energy efficiency, hybrid heating, phase-change material.

Pages 83 pages including appendices 42 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TAUSTAA.....	2
2.1	Työnkuvaus.....	2
2.2	Lämmitysjärjestelmät yleisesti.....	2
2.3	Lämmitysjärjestelmän ohjaus yleisesti	2
2.4	Öljylämmitys.....	3
2.5	Hakelämmitys.....	5
2.6	Aurinkoenergia	6
2.6.1	Aurinkopaneeli	6
2.6.2	Aurinkokeräin	7
2.6.3	Hybridikeräin	8
2.7	Hybridivaraaja	8
2.8	Faasinmuutosvaraaja	9
2.9	Ohjelmoitava logiikka.....	10
2.9.1	Beckhoff.....	11
2.9.2	Siemens.....	11
2.9.3	Phoenix contact.....	11
2.10	I/O-määritelmät	12
2.10.1	Hajautettu I/O.....	12
2.10.2	I/O-määritykset	12
2.10.3	Järjestelmän ohjaus.....	13
2.11	Toimilaitteet	13
2.11.1	Kiertovesipumput	14
2.11.2	Venttiilit	14
2.12	Anturit	15
3	OHJATTAVAN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN RAKENNE	17
3.1	Kattila	19
3.2	Öljypoltin	20
3.3	Hakepoltin	21
3.4	Lämminvesivaraaja aurinkokierukalla.....	22
3.5	Faasinmuutosvaraaja	22
3.6	Aurinkolämpö.....	24
4	VALITTU LOGIikka JA TOIMILAITTEET	24
4.1	Logiikka.....	25
4.2	Venttiilit.....	25
4.2.1	Magneettiventtiili	25
4.2.2	Moottorihjattu sekoitusventtiili	26
4.3	Pumput.....	27
4.4	Anturit	28
4.4.1	Lämpötila-anturi	28
4.4.2	Painelähetin.....	29
4.4.3	Virtausanturi.....	30

4.4.4	Upotettava painelähetin	30
4.4.5	Savukaasuanturi	31
4.4.6	Puristusanturi	31
5	KOMMUNIKOINTIVÄYLÄN VALINTA	32
6	ENERGIAMITTAUKSET.....	33
7	AUTOMAATION TOTEUTUS	34
7.1	Keskuspiirros	34
7.2	Johdotuskaaviot	34
7.3	LVI-kaaviot.....	35
8	TULOKSET JA JATKOKEHITYS.....	35
	LÄHTEET.....	37

Liitteet

Liite 1	Pääkeskuksen layout
Liite 2	Ohjauskeskus 1 layout
Liite 3	Ohjauskeskus 2 layout
Liite 4	Ohjauskeskus 3 layout
Liite 5	Ohjauskeskus 4 layout
Liite 6	Ohjauskeskus 5 layout
Liite 7	Pääkeskuksen johdotuskaaviot
Liite 8	Ohjauskeskus 1 johdotuskaaviot
Liite 9	Ohjauskeskus 2 johdotuskaaviot
Liite 10	Ohjauskeskus 3 johdotuskaaviot
Liite 11	Ohjauskeskus 4 johdotuskaaviot
Liite 12	Ohjauskeskus 5 johdotuskaaviot
Liite 13	PI-kaaviot

1 JOHDANTO

Uusiutuvat energialähteet alkavat vallata alaa energiantuotannossa myös Suomessa. Tuulivoimaloita rakennetaan rannikkojen lisäksi myöskin sisämaahan esimerkiksi vaarojen huipuille. Tuulivoimalla onkin merkittävä rooli kasvihuonekaasujen vähentämisessä Suomessa ja muualla maailmassa. Toinen energiamuoto, jota hyödynnetään pienessä mittakaavassa kotitalouksissa ja suuremmissa mittakaavassa esimerkiksi Keravan aurinkovoimalassa, on auringosta saatava energia. Auringon säteilystä voidaan sähkön lisäksi kerätä myös lämpöä.

Puhuttaessa lämmityksestä useimmille tulee varmasti mieleen oman kodin lämmittäminen. Osalla voi olla kokonaan sähkölämmitteinen asunto, taas toisilla voi olla öljy- tai puukattila lämmitykseen. Tälläkin saralla muutosta ovat tuoneet kattiloiden lisäksi ilmavesi- ja maalämpöpumput, joilla saadaan alennettua lämmityksestä aiheutuvaa sähkönkulutusta sekä muita kuluja.

Toinen muutos, jota voidaan seurata yhä enenevässä määrin arjessa, on päästöistä puhuminen. Poliittiset päätökset ajavat yhä enemmän päästöjen rajoittamista ja sitä kautta uusiutuvien energiamuotojen käyttöä. Lisäksi autojen kehitys on mennyt jo pidemmän aikaa vähäpäästöisempien autojen suuntaan mm. sähkö- ja hybriditekniikkojen kehittyessä sekä vallatessa markkinoita.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään hybridilämmityksen yhteen toteutustapaan ja sen mahdolliseen optimiohjaukseen ohjelmoitavia logiikoita hyödyntämällä. Tavoitteena on tutkia, miten faasinmuutosmateriaaleilla voidaan lähes samalla lämmitysenergiämäärällä tallettaa suurempi määrä lämpöä yhtä suureen tilavuuteen verrattuna veteen. Toinen tutkimuskohde on, voidaanko ohjauksella vähentää lämmityksestä aiheutuvia kustannuksia ja optimoida polttoaineen palamista ja näin vähentää päästöjä.

Työssä käydään läpi keskeisimmät lämmitykseen liittyvät komponentit ja niiden valintaan johtaneet asiat, logiikan valinta sekä työssä käytettävät kenttäväylät. Näiden pohjalta tehdään kytkentäkaaviot, joiden perusteella voidaan myöhemmin tehdä täysi ohjaus lämmitykselle.

2 TAUSTAA

2.1 Työnkuvaus

Pirkanmaan liiton rahoittaman Tarkalla ohjauksella energiatehokkuutta -hankkeen (TOE-hanke) tavoitteena on tutkia ja rakentaa energiatehokas ja energiaa säästävä lämmityskokonaisuus. Projekti aloitettiin keväällä 2016 yhteistyössä HAMKin Valkeakosken automaatiokoulutusohjelman kanssa ja laitteiston suunnittelu alkoi kesällä. Kuten hankkeen nimikin jo kertoo, tavoitteena on saada hybridilämmitysjärjestelmään automaatio-ohjaus, mikä mahdollistaa halvimman energiamuodon käyttämisen laitteistolla.

TOE-hankkeen aikana tutkitaan erilaisten lämmityskokonaisuuksien hyviä ja huonoja puolia, pyritään löytämään yhdistelymahdollisuuksia eri lämmitysmuotojen välille ja suunnitellaan pilottilaitteisto, jonka ohjaukseen tämän työn automaatiolaitteistosuunnitelmaa voidaan käyttää.

Hankkeessa tutkitaan myös uusiutuvien energiamuotojen, kuten bioöljyn, käyttämistä ja tutkitaan uusia lämmitysenergian varastointitekniikoita. Varastointitekniikoista yksi mielenkiintoinen pitkään tutkittu tekniikka on faasinmuutos, johon myös tässä työssä perehdytään syvemmin.

2.2 Lämmitysjärjestelmät yleisesti

Lämmitysjärjestelmällä tarkoitetaan yleensä laitetta tai laitteita, joilla lämmitetään tai varastoidaan lämmitettyä vettä lämmitysverkoston tarpeisiin. Lämmitysverkostoja voi olla niin patteri- kuin lattialämmitysverkostot. Omakotitalouksissa lämmitys voidaan suorittaa öljy-, pelletti- tai hakekattilalla ja kattilaan soveltuvalla polttimella, ilma-vesilämpöpumpulla tai maalämpöpumpulla. Tässä työssä lämmityslaitteisto koostuu kahdesta eri kattilasta, hybridikeräimestä, aurinkokierukalla varustetusta lämminvesivaraajasta ja faasinmuutosvaraajasta. Näitä laitteita on tarkoitus ohjata myöhemmin esitellyllä automaatiolaitteistolla.

2.3 Lämmitysjärjestelmän ohjaus yleisesti

Kotitalouksissa lämmitysjärjestelmän ohjaukset ovat yleensä erittäin yksinkertaisia. Helpoimmillaan lämmityskattilaan on liitetty ulkolämpötilan kiertoveden lämpötilaa säästävä termostaatti, esimerkiksi Ouman EH-80. Termostaatista säädetään suora, jonka mukaan vettä lämmitetään ulkolämpötilan mukaan. Vanhemmissa kattilajärjestelmissä on yleensä yksi vakionopeussäädettävä kiertovesipumppu läm-

mitysjärjestelmän veden kiertoon. Nykyään kiertovesipumput ovat itesäätyviä, jolloin ne pyörivät aina optiminopeudella ilman erillistä säätöä. Suuremmissa talouksissa lämmitysjärjestelmässä voi olla lisäksi lämminvesivaraaja, jolloin pumppuja on kaksi kappaletta. Käytöveden kierto tapahtuu vedenpaineen avulla.

Kattilajärjestelmien rinnalle on myös yleistynyt muita lämmitysmuotoja, kuten aurinkokeräimet ja erilaiset lämpöpumput. Kuten jo kappaleen 2 aurinkokeräin osiossa mainittiin, aurinkokeräinten lämpöenergia pumpataan pumpun avulla kierukan kautta lämminvesivaraajaan. Lämpöpumppujen lämpöenergia voidaan johtaa joko kierukan tai levylämmönvaihtimen avulla lämminvesivaraajaan. (Jodat Ympäristöenergia a n.d.)

Aurinkolämpöjärjestelmiin on olemassa automaatio-ohjauksia ja pumppuryhmiä, joissa on järjestelmän tehokkaaseen ohjaukseen tarvittavat laitteet. Pumppuryhmässä näitä laitteita ovat pulssinleveys-säädettävä kiertovesipumppu, lämpötila-anturit, paisuntasäiliö ja venttiili sekä täyttö- ja ilmausventtiili. Ohjausyksikössä on releitä, anturituloja ja muita automaatiossa yleisiä liityntöjä, joita tarvitaan lämmitysjärjestelmän ohjaukseen ja säätöön. (Sundial a n.d.)

Tässä työssä esitellyn lämmitysjärjestelmän ohjaus tulee poikkeamaan paljon edellä esitetyistä ohjausmuodoista. Esimerkiksi lämmityskattilalta lähtevää veden lämpötilaa ohjataan ohjelmoitavan logiikan ja moottoriohjatun 3-tieventtiilin avulla. Kattilalta lähtevä lämmin vesi voidaan ohjata magneettiventtiilien avulla eri varaajille ja sieltä edelleen järjestelmään kytkettyyn lämmitysverkkoon. Myös aurinkolämpöjärjestelmän ohjaus tehdään itse, koska näin järjestelmä saadaan liitettyä helpommin ohjauksiin ja logiikkaan.

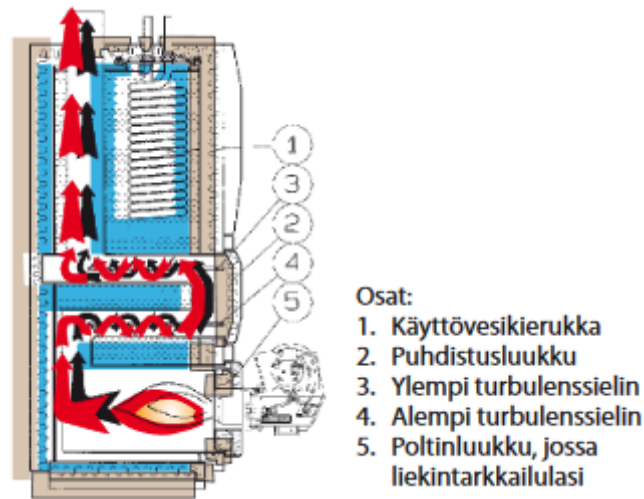
2.4 Öljylämmitys

Öljylämmitysjärjestelmä koostuu öljykattilasta, polttimesta, säätölaitteista ja polttoainesäiliöstä. Lisäksi suurten kulutusten kiinteistöissä tai laitoksissa lisänä voi olla lämminvesivaraaja. Nykyaikaisten kattiloiden ja öljypoltinten hyötysuhde on n. 90 - 95% ja palaminen erittäin puhdasta. Puhdas palaminen vähentää lämmityslaitteiston huollon tarvetta. (Motiva a n.d.)

Öljykattiloiden rinnalle voidaan kytkeä muita lämmitysjärjestelmiä kuten ilmalämpöpumppuja ja aurinkolämpöjärjestelmiä. Näin saadaan vähennettyä öljyn kulutusta ja poltosta tulevia päästöjä. (Motiva a n.d.)

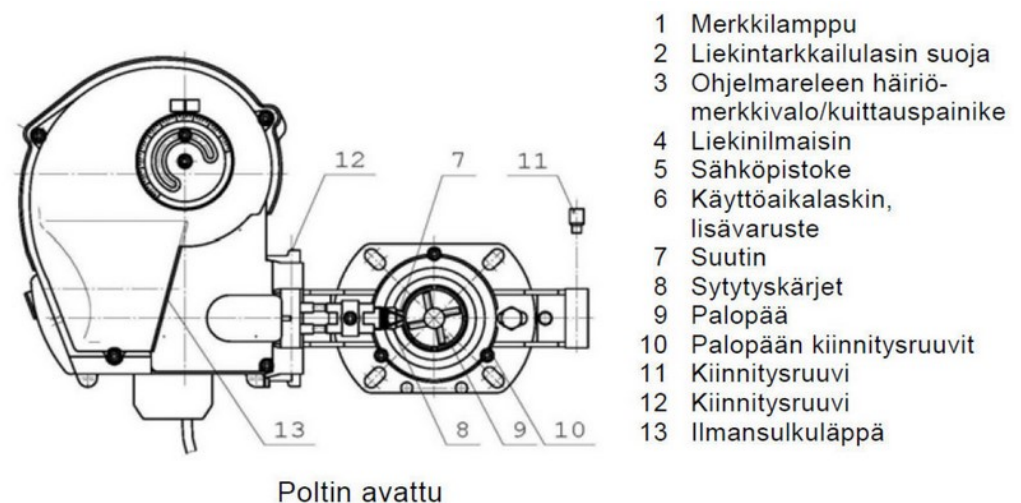
Öljykattilan lämmityisperiaate on yksinkertainen. Kun kattilan termostaatti havaitsee kattilassa olevan veden lämpötilan laskeneen alle säädetyin raja-arvon, ohjataan öljypoltin käynnistymään. Öljy esilämmitetään, minkä jälkeen se puhalletaan pieniksi pisaroiksi, jotka sekoittuvat ilman kanssa. Tämä seos puhalletaan lämmitystilaan, missä se sytytetään valokaarella. Öljyn palaessa lämpö siirtyy kaasukonvektion avulla,

kattilan seinien kautta vesitilaan, jossa vesi alkaa lämmetä. Lämmitetty vesi ohjataan säätölaitteiden avulla patteriverkoston. Kattilassa on myös käyttövedelle oma liitäntä. Kun verkoston vesi on lämmennyt asetettuun ylärajaan saakka, sammuu öljypoltin automaattisesti. Kattiloissa on nykyään myös sähkövastus mahdollisten öljypoltin häiriöiden varalle. Kuvassa 1 polttotoimisen kattilan toiminta periaate. (Kaukora a 2015).



Kuva 1. Polttotoimisen lämmityskattilan toiminta ja osat. (Kaukora a 2015)

Öljypoltin tarkkailee lämmityksen aikana paloliekkiä erillisellä valo-sensorilla. Jos havaitaan, että liekki on jostain syystä sammunut, poltin menee häiriötilaan. Näin varmistetaan, ettei palotilaan syötetä polttoainetta, sillä se voi aiheuttaa räjähdysvaaran seuraavalla kerralla, kun lämmitys aloitetaan. Kuvassa 2 öljypoltin ja sen keskeiset komponentit. (Oilon a n.d.).



Kuva 2. Öljypoltin ja keskeiset komponentit. (Oilon a n.d.)

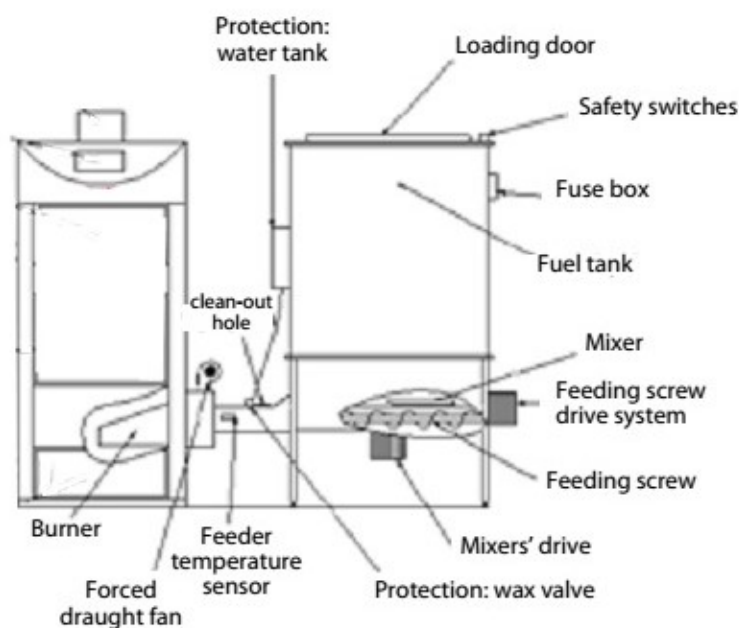
Lämmitysöljyissä alkaa yhä enenevässä määrin olemaan mukana myös bioöljyä. Tämä vähentää polttamisesta tulevia kasvihuonekaasuja. Ainakin Oilon tarjoaa jo nyt öljypolttimia, joilla voidaan polttaa jopa 100% bioöljyä. Koska maailman öljyvarannot alkavat ehtyä vähitellen on bioöljyn tarve koko ajan nousussa. (Oilon b n.d.).

2.5 Hakelämmitys

Hakelämmitys koostuu kattilasta, hakepolttimesta, syöttöruuvista, polttimesta ja polttoainesäiliöstä. Polttoaine syötetään syöttöruuvilla kattilan palotilaan, jossa se sytytetään palamaan ulkoisella sytyttimellä. Kun kattila on poissa käytöstä niin sanotulla nollaenergialla, pidetään kattilassa yllä kytevää hiillosta, jolla puhalletaan uusi sytytys lämmitystä tarvittaessa. Koska hakekattila vaatii koko ajan pienen kydön poltinpesässä ei sitä voida varsinaisesti ohjata automatiikalla. Hakepoltin voidaan liittää puukattilaan, jolloin voidaan hyödyntää vanhoja, jo olemassa olevia lämmityskattiloita. Hyvän puukattilan hyötysuhde on yli 80%. (Kaukora b 2016).

Hakelämmitys mahdollistaa lähes minkä tahansa palavan materiaalin käyttämisen polttoaineena. Puuhake voi olla peräisin metsästä tai vaikka teollisuuden jätepuusta. Puun lisäksi hakepolttimella voidaan polttaa pellettiä, palaturvetta, turvepellettiä tai vaikka maatalouksissa tulevaa heinän kortta. Hakekattilan käyttäminen lämmityksessä onkin mielekästä maatiloilla, joissa tulee paljon erilaista palavaa materiaalia.

Lämmityskattilan ja polttimen mitoituksessa voidaan käyttää samoja periaatteita kuin öljylämmityksessä eli lasketaan tarvittava lämmitysmäärä kiinteistölle. Kuvassa 3 hakelämmityksen toiminta periaate.



Kuva 3. Hakelämmityksen toimintaperiaate. (Kotituli n.d.)

2.6 Aurinkoenergia

Auringosta on mahdollista saada kahdenlaista energiaa, jotka ovat sähkö- ja lämpöenergia. Sähköä auringosta saadaan generoitua aurinkopaneeleilla, kun taas lämpöä tuotetaan erilaisilla aurinkokeräimillä. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi aurinkosähkön ja -lämmön tuoton perusteita sekä niiden vaikutusta käytettävään aurinkoenergia ratkaisuun.

2.6.1 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneeli tuottaa sähköä auringon säteilystä. Aurinkokenno on kuin fotodiodi, johon osuessaan auringon säteet irrottavat elektroneja. Tästä muodostuu sähkövirtaa, jota voidaan hyödyntää kiinteistöissä. Aurinkopaneeli vaatii inverterin, jotta tuotetusta energiasta saadaan 230 V vaihtojännitettä. Yleisin valmistusmateriaali aurinkopaneeleille on pii. (Suntekno n.d. .)



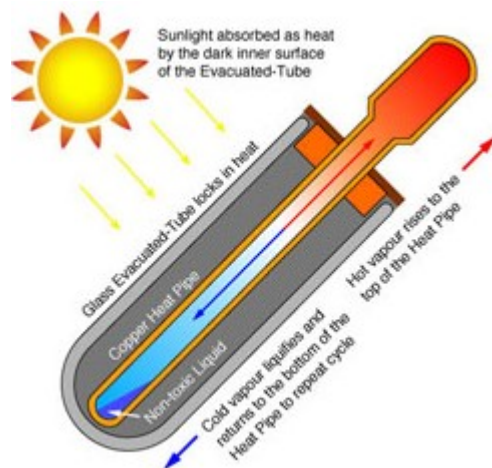
Kuva 4. Yksikiteinen piikenno. (Suntekno.)

Tällä hetkellä aurinkopaneelien hyötysuhde on n. 18%, mutta paneeleissa käytettyjen piikennojen teoreettinen hyötysuhde on jopa 31%. Hyötysuhdetta huonontaa esimerkiksi paneelin päällä oleva lasipinta. Auringon säteilyteho on 1000 W/m^2 hyvissä sääolosuhteissa. (Suntekno n.d. .)

Aurinkopaneelin suuntaus vaikuttaa myös paneelin tuottoon. Paneeli täytyy olla suunnattu optimaalisesti, jotta siitä saadaan paras mahdollinen tuotto päivästä riippumatta. Suomessa aurinkopaneeli on hyvä asentaa n. 30-40 asteen kulmaan ja mielellään etelään päin. Jos tämä ei kuitenkaan ole mahdollista voidaan paneelia kääntää itä-länsi suuntaan tai muuttaa paneelin kallistuskulmaa. Tällöin tosin paneelin maksimituotto laskee. (Suntekno n.d. .)

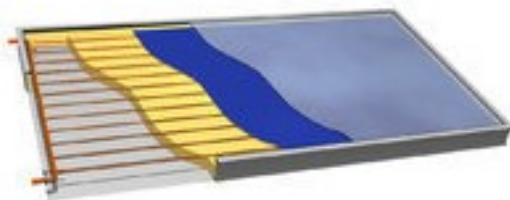
2.6.2 Aurinkokeräin

Aurinkokeräin kerää auringon säteilystä lämpöenergiaa, jota voidaan hyödyntää lämmitysjärjestelmissä. Yksi tekniikka lämmön keräämiseen on tyhjiöputkikeräin. Tyhjiöputkikeräin koostuu lasiputkesta, jonka sisään asennetun toisen lasiputken pinnalle on asennettu lämpöä absorboiva kalvo. Lämpö johdetaan kalvolta suljettuun kupariputkeen, jonka sisällä oleva neste höyrystyy ja johtuu putken yläpäähän. Ylhäällä neste tiivistyy nesteeksi ja luovuttaa lämpöenergiaa järjestelmässä kiertävällä nesteellä. Tällä nesteellä lämmitetään kierukan kautta, jos varaajassa on erillinen kierukka, varaajassa olevaa vettä. Muutoin käytetään levylämmönvaihdinta. (Novafuture 2010).



Kuva 5. Tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate. (Ruukin rakennus ja LVI-palvelu n.d.).

Toista aurinkokeräintekniikkaa kutsutaan tasokeräimeksi. Siinä hitsataan putkia alumiinisen keräinelementin alapintaan. Elementti päällystetään auringonsäteilyä keräävällä pinnalla, jolloin säteilystä aiheutuva lämpö siirtyy pinnalta keräinelementin kautta putkistossa olevaan nesteeseen. Kuvassa 6 tasokeräimen rakenne.



Kuva 6. Tasokeräimen rakenne (Jodat Ympäristöenergia b n.d.).

Aurinkokeräin vaatii toimiakseen lämpöantureita järjestelmän nestelämpötilan tarkkailuun, pumpun nestekiertoa ja eri venttiileitä varmistamaan nesteen kierron sujumisen.

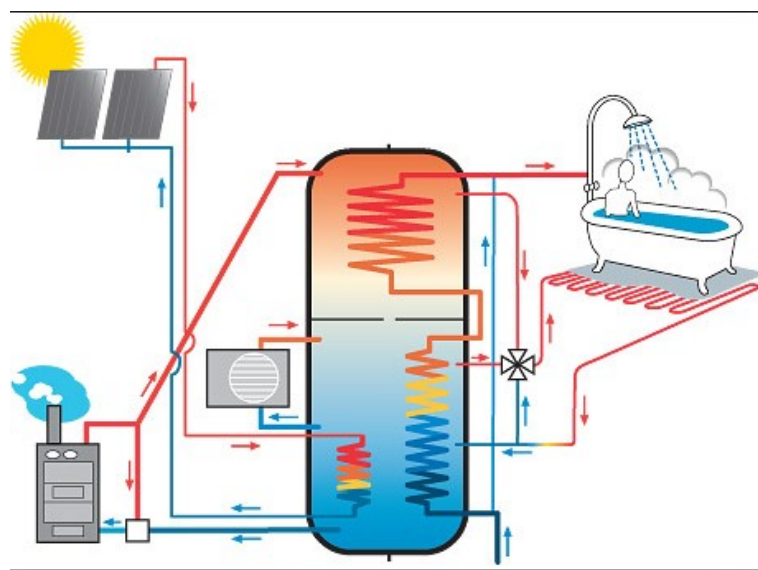
Aurinkokeräimen asennuksessa pätevät samat säännöt kuin aurinkopaneelissakin. Keräin täytyy asentaa mahdollisimman optimaaliseen suuntaan ja kallistuskulmaan, jotta siitä saadaan suurin mahdollinen hyöty.

2.6.3 Hybridikeräin

Hybridikeräimessä yhdistyvät aurinkopaneelin ja -keräimen energian tuottomenetelmät. Keräimeen on asennettu pinnalle aurinkopaneeleita, joilla tuotetaan sähköä auringon säteilystä. Paneelien alle taas on asennettu putkisto, joka kiertää paneelin alla. Tähän putkistoon pumpataan nestettä samaan tapaan kuin aurinkokeräimeen. Neste lämpeene kulkessaan putkistossa, minkä jälkeen se voidaan viedä aurinkokierukalla varustettuun lämminvesivaraajaan. Hybridikeräin mahdollistaa näin auringon energian talteenoton kahdella eri tavalla yhdessä asennuksessa. Hybridikeräin näyttää ulospäin pitkältä tasokeräimeltä.

2.7 Hybridivaraaja

Hybridivaraaja on lämminvesivaraaja, johon on asennettu lisäksi aurinkokierukka normaaleiden varaajan liitännöiden lisäksi. Tällöin lämmitystä voidaan tehostaa aurinkokeräimellä tai muulla lisälämmitys lähteellä kattilajärjestelmän rinnalla. Aurinkokeräimen ohella varaajaan voidaan siis kytkeä ilmavesi- tai maalämpöpumppu. Varaajassa on yleensä käyttövesikierukka ja mahdollisesti esilämmityskierukka. Hybridivaraajan osat ja mahdolliset lämmitysjärjestelmät kuvassa 7. (Rakentaja 2012).



Kuva 7. Hybridivaraajan toiminta (Rakentaja 2012).

2.8 Faasinmuutosvaraaja

Yksi projektin mullistavimmista komponenteista on faasinmuutosvaraaja. Jotta sen toiminta periaate avautuu paremmin, täytyy ensin tutustua jonkin verran faasinmuutokseen ja lämmitys-/jäähdytysratkaisuissa käytettyihin materiaaleihin.

Faasinmuutos on aineen olomuodonmuutosta muodosta toiseen, kuten esim. jään sulaminen vedeksi. Faasinmuutosta on tutkittu jo useita kymmeniä vuosia lämmön varastointiin, mutta vasta viime vuosina se on noussut kunnolla pinnalle erilaisten toteutusten kautta uudeksi energian varastointimenetelmäksi.

Aineen olomuodon muutos sitoo itseensä energiaa ilman aineen lämpötilan nousemista. Kaavalla 1 saadaan laskettua kiinteän aineen sulamiseen kuluva energia. Yksi kilowattitunti vastaa 3,6 megajoulea. (Hautala & Peltonen 2014, 160-162.)

$$Q = m * s \quad (1)$$

missä Q = lämpöenergia [J], m = kappaleen massa [kg] ja s = sulamislämpö [J/kg]. (Hautala & Peltonen 2014, 160-162.)

Tällä laskukaavalla 1 kg jäätä sulattamiseen vaaditaan energiaa.

$$Q = m * s = 1,0 \text{ kg} * 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 333 \text{ kJ}$$

Tämä energiamäärä vastaa 0,0925 kWh.

Nesteen lämmittämiseen vaadittava energiamäärä voidaan laskea kaavalla 2.

$$Q = m * c * \Delta T \quad (2)$$

missä Q = lämpöenergia [J], m = kappaleen massa [kg], c = aineen ominaislämpökapasiteetti [J/(kg * K)] ja ΔT = lämpötilan muutos Kelvineinä tai asteina [K/°C]. (Hautala & Peltonen 2014, 160-162.)

Esimerkiksi 20 asteen muutos vedessä vaatii energiaa.

$$Q = 1,0 \text{ kg} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ \text{C}} * 20 ^\circ \text{C} = 83 800 \text{ kJ}$$

Tämä energiamäärä vastaa 0,023278 kWh.

Yksi tutkituimpia faasinmuutosmateriaaleja on glaubersuola. Glaubersuolan tärkeimpiä ominaisuuksia taulukossa 1.

Taulukko 1. Glaubersuolan tärkeimmät ominaisuudet verrattuna veteen

	Glaubersuola	Vesi
Sulamislämpö (asteina)	32,22 °C	0 °C
Ominaislämpökapasiteetti	3248,62 J/(kg °C), T < 32,22 °C	2090 J/(kg °C) < 0 °C
Latenttilämpö (Q _s)	251 kJ/kg T = 32,22 °C	333 kJ/kg T = 0 °C
Ominaislämpökapasiteetti	5197,79 J/(kg °C), T > 32,22 °C	4190 J/(kg °C) T > 0 °C
Tiheys	0,2664 kg/m ³	1000 kg/m ³

Yhden kilon glaubersuolaa sulattamisen ja lämmittämiseen 30 °C:sta 60 °C :n saadaan varastoitua energiaa kaavojen 1 ja 2 avulla.

$$Q_{GS} = 151606,54 \text{ J}$$

Kun tähän lisätään glaubersuolan sulamiseen sitoutuva lämpömäärä saadaan.

$$Q_{TOT} = Q_{GS} + Q_s = 402606,54 \text{ J}$$

Veden lämmittäminen 30 °C:sta 60 °C:n taas varastoi.

$$Q_v = 125700 \text{ J}$$

Laskelmista havaitaan, että glaubersuola varastoi noin 3,2 kertaa enemmän lämpöenergiaa kuin vesi. Laskennoissa täytyy tämän lisäksi ottaa huomioon, että glaubersuola on lämpöakuissa yleensä liuotettuna veteen jolloin sen ominaislämpö kapasiteetti tuo lisää lämmönvarastointikykyä ennen aineen sulamista ja sulamisen jälkeen. Esimerkkilaskut on otettu tarkoituksella sellaiselta alueelta, jossa glaubersuola sulaa.

2.9 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitava logiikka eli PLC on tietokone, jota käytetään automaatio-prosessien ohjauksessa. Sopivilla sisään- ja ulostulokorteilla varustettuna PLC:llä pystytään toteuttamaan ohjauksia yksinkertaisesta anturin lukemisesta aina monimutkaisiin prosessien ohjauksiin ja monitorointiin. Seuraavaksi käymme läpi muutaman PLC-valmistajan ja heidän tuotteidensa mahdollisuudet tämän projektin toteutuksen kannalta. (PLCTutor n.d.).

2.9.1 Beckhoff

Beckhoff on saksalainen automaatiolaitteita valmistava yritys, joka toimii ympäri maailmaa. Yritys keskittyy PC-pohjaiseen automaatioteknologiaan ja tarjoaa erilaisia ratkaisuja yksittäisistä komponenteista järjestelmäratkaisuihin. (Beckhoff a 2015).

Beckhoff tarjoaa rakennusautomaatiossa kattavan ja skaalautuvan ohjausjärjestelmän. Ohjausjärjestelmän avulla on mahdollista saavuttaa EN 15232 standardin mukainen energiatehokkuusluokka A. (Beckhoff b 2013)

Rakennusautomaatiossa Beckhoff tarjoaa kokonaisvaltaista ohjausta lämmitykseen, ilmanvaihtoon, valaistukseen, turvallisuuteen ja AV-integrointiin. Kun koko rakennuksen energian kulutusta voidaan ohjata ja hallinnoida automaation avulla vältetään turhalta energian kulutukselta. (Beckhoff b 2013)

Beckhoff tarjoaa myös mahdollisuuden mitata energian kulutusta suoraan pistorasioilta, jolloin pystytään tarkkailemaan kuinka paljon laitteet kuluttavat sähköä. (Beckhoff b 2013)

2.9.2 Siemens

Siemens on saksalainen yritys, joka tarjoaa automaatiolaitteita ja ratkaisuja teollisuuteen, kaupunkeihin, liikenteeseen, kiinteistöihin ja sähköverkkoihin. Kiinteistöpuolella ratkaisut ovat ympäristöystävällisiä ja mahdollistavat säästöjä energiakuluissa. (Siemens n.d.).

Talotekniikassa Siemens tarjoaa kokonaisvaltaisia ratkaisuja lähinnä suurempien kiinteistöjen turvallisuuteen ja säätöön. Logiikkaa ja laitteistoja voidaan myös käyttää pienemmissä kohteissa kuten omakotitaloissa. Siemens tarjoaa asiakaskohtaiset räätälöidyt ratkaisut, jolloin saadaan asiakasta tyydyttävä paras mahdollinen lopputulos. (Siemens n.d.).

2.9.3 Phoenix contact

Phoenix Contact tarjoaa monipuolisesti ratkaisuja elektroniikkaan, sähkötekniikkaan ja automaatiojärjestelmiin. Phoenix Contact suunnittelee ratkaisuja, jotka sisältävät koko järjestelmän ohjauskeskuksesta yhteyksiin asti, yhdessä asiakkaidensa ja yhteistyökumppaneidensa kanssa. (Phoenix Contact n.d.).

Phoenix Contactin HMI-laitteet ja I/O-kortit mahdollistavat järjestelmän toteutuksen yhden valmistajan komponenteilla, sillä Phoenix Contact valmistaa logiikoiden lisäksi kaiken muun mitä automaatiojärjestelmässä voi tarvita. Kuten Beckhoffin ohjelmoitavat logiikat, myös

Phoenix Contactin HMI:t käyttävät Windowsiin pohjautuvaa käyttöjärjestelmää. (Phoenix Contact n.d.).

2.10 I/O-määritelmät

I/O-laitteet käsittää yleisesti kaikki laitteet, jotka kommunikoivat PLC:n kanssa. Input-laitteet, kuten anturit, lähettävät tietoa mitattavan prosessin tilasta. Output-laitteet taas säätävät prosessia ohjelmoitujen arvojen mukaan.

I/O-signaalit voivat olla joko analogisia tai digitaalisia. Analogisignaali tarkoittaa, että signaali voi vaihdella jännitteen tai virran suhteen. Automaatiossa analogisignaalit ovat virtapuolella 4 - 20 tai 0 - 20 mA:n välillä ja jännitepuolella 0 - 10 V, ± 10 V tai ± 5 V välillä.

Digitaaliset signaalit koostuvat biteistä, joihin arvo kirjoitetaan. Signaalissa käytettävien bittien lukumäärä riippuu käytettävästä kenttäväylästä. Koska bitit ovat luvun 2 eri potensseja esiintyy mittaustuloksissa jonkin verran pyöristysvirhettä. Tämä aiheutuu signaalin kvantisoinnista. Kvantisointi tarkoittaa, että mitattu analoginen tulos muutetaan binääri muotoon.

2.10.1 Hajautettu I/O

Hajautetulla I/O:lla tarkoitetaan ohjauspiirin sisään- ja ulostulosignaalien jakamista pääkeskukselta pienempiin ryhmäkeskuksiin. Hajautuksella saadaan vietyä kytkennät lähelle toimilaitteita, jolloin säästytään pitkiltä kaapeloinneilta. Suurissa tehdashalleissa ja prosesseissa hajautetun I/O:n käyttäminen on erittäin hyödyllistä.

Tässä projektissa hajautetulla I/O:lla pyritään vähentämään kaapeloinnin tarvetta ja signaalihäiriöitä johtimissa. Koska kommunikointi osassa toimilaitteista toteutuu käyttäen Modbus RTU-kenttäväyläprotokollaa, olisi osa toimilaitteiden kytkennöistä jouduttu kuitenkin kytkemään erilliseen kenttäkoteloon.

2.10.2 I/O-määrytykset

I/O-määrittelyt kertovat miten eri laitteet yhdistyvät ohjelmoitavaan logiikkaan. Automaatiossa tämä tarkoittaa, miten kenttälaitteet yhdistyvät logiikan tulo- ja lähtöportteihin. Kun laitteisto on kytketty oikein, voidaan ohjausta testata ja tarkistaa, että laitteet on varmasti kytketty oikein ja ohjaus toimii.

2.10.3 Järjestelmän ohjaus

Järjestelmän ohjauksessa toimilaitteet jaetaan loogisiin kokonaisuuksiin, jotka ohjaavat tai säätävät yhtä kohtaa lämmityspiirissä. Taulukossa 2 järjestelmän ohjauspiirit ja niiden kuvaukset.

Taulukko 2. Ohjauspiirit ja niiden kuvaukset.

Piiri	Kuvaus
FICA-100	Säätää lämmitetyn veden kierron joko kattilan hulkikiertoon, varaajille tai suoraan lämpöverkkoon.
TICA-100	Tarkkailee ja säätää kattilalta lähtevän veden lämpötilaa.
FV-110	Kontrolloi ensimmäisen varaajan tulopuolen magneettiventtiileitä lämmönvarastoinnissa.
FV-120	Kontrolloi ensimmäisen varaajan lähtöpuolen magneettiventtiileitä varaajan purkamiseksi lämmitysverkkoon.
FV-130	Kontrolloi toisen varaajan tulopuolen magneettiventtiileitä lämmönvarastoinnissa.
FV-140	Kontrolloi toisen varaajan lähtöpuolen magneettiventtiileitä varaajan purkamiseksi lämmitysverkkoon.
FV-150	Kontrolloi kolmannen varaajan tulopuolen magneettiventtiileitä lämmönvarastoinnissa.
FV-160	Kontrolloi kolmannen varaajan lähtöpuolen magneettiventtiileitä varaajan purkamiseksi lämmitysverkkoon.
TICA-170	Kontrolli- ja säätöpiiri patterilämmitysverkon veden lämpötilalle sekä kierrolle.
TICA-180	Kontrolli- ja säätöpiiri mahdollisen lattialämmitysverkon veden lämpötilalle sekä kierrolle.
TICA-190	Kontrolli- ja säätöpiiri käyttöveden lämpötilalle sekä kierrolle.
FICA-200	Ohjauspiiri varaajien keskinäiseen lämmön siirtoon
TIA-VS1	Toisen vesivaraajan lämpötilan monitorointipiiri.
TIA-VS2	Ensimmäisen vesivaraajan lämpötilan monitorointipiiri.
TIA-VS3	Kolmannen vesivaraajan lämpötilan monitorointipiiri.
TDICA-330	Aurinkolämmityspiirin lämpötilan mittaus ja neste-kierto.

2.11 Toimilaitteet

Tässä projektissa toimilaitteita ovat venttiilit, kiertovesipumput, erilaiset mittausanturit ja energiankulutusmittarit. Koska toimilaitteita on

monia erilaisia myös niiden tapa kommunikoida PLC:n kanssa voi olla erilainen, sillä jotkin laitteet lähettävät pelkkää signaalitietoa, kun taas toiset laitteet voivat vaatia kommunikointiin kenttäväylän. Toimilaitteiden valinnassa pyrittiin valitsemaan laitteet, joiden käyttöjännite on 24V tasajännite ja viestisignaalina 4-20mA virtaviesti. Energiakulutusmittauksista tarkemmin kappaleessa 6.

2.11.1 Kiertovesipumput

Kiertovesipumpun tehtävä on pumpata vettä kiinteistön lämmitysverkkoon. Pumpun teho riippuu kiinteistön koosta, tarvittavasta nostokorkeudesta ja mahdollisesta etäisyydestä kiinteistöön. Pumppujen toiminnoissa on myös eroja, sillä jotkin pumput toimivat vakionopeudella, jolloin ne säädetään asennusvaiheessa oikealle kierrosnopeudelle, kun taas toiset pumput voivat säätää itse sopivan pyörimisnopeuden tarpeen mukaan. (Perttula 2000, 93-98).

2.11.2 Venttiilit

Venttiileillä ohjataan nesteen tai kaasun virtauksia ja niiden olennaisia osia ovat yhteen ja sulkuelimet. Sulkuelin voi olla lautanen, pallo tai istukka. Palloventtiileillä voidaan säätää virtauksen suuruutta, joten tämän tyyppisiä venttiilejä voidaan käyttää lämmitysjärjestelmissä sekoitusventtiileinä. Istukkaventtiilit taas ovat tyypiltään auki/kiinni-venttiileitä, joten niillä voidaan ohjata virtauksia haluttuun suuntaan. Lämmitysjärjestelmistä löytyy sekoitusventtiilin lisäksi paineensäätöventtiili ja takaiskuventtiili. Tässä työssä keskeisimpiä venttiileitä ohjauksen kannalta on istukka- ja palloventtiili, joiden ohjauksesta kerrotaan lyhyesti seuraavaksi. (Joronen, Kovács & Majanne 2007, 119-129)

Magneettiventtiili

Magneettiventtiili on sähköisellä apulaitteella, yleensä kelalla, toimiva venttiili, jolla voidaan ohjata nesteiden tai kaasujen kulkua prosessissa. Yleisimmin käytetään 2-tieventtiiliä, jolla ohjataan virtaus päälle tai pois päältä. Magneettiventtiilejä voidaan ohjata joko 12 tai 24 voltin tasajännitteellä.

Moottoriohjattu venttiili

Moottoriohjatulla venttiiliä voidaan virtauksen ohjaamisen lisäksi käyttää lämmitysprosessista lähtevän veden lämmönsäätelyyn. Moottori kääntää venttiiliä kiinni tai auki esimerkiksi prosessiin menevän veden lämpötilan mukaan. Venttiiliä ohjaavan moottorin käyttöjännite voi olla 24 V tasajännite tai 24/230 vaihtojännite.

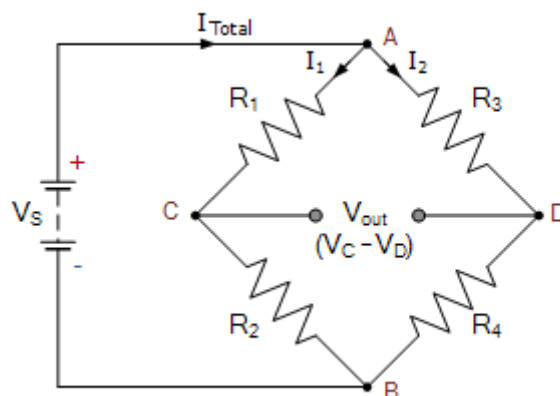
2.12 Anturit

Mittausantureilla saadaan tietoa prosessin eri vaiheista. Lämmitysverkostossa näitä suureita ovat lämmitysverkon paine, lämpötila ja virtausnopeus. Näitä suureita tarkkailemalla saadaan prosessin eri osista tarkka kuva. Antureiden mittausperiaatteisiin on useita erilaisia toteutustapoja, joihin ei tässä opinnäytetyössä perehdytä sen tarkemmin.

Paineanturi

Paineanturilla tarkkaillaan nesteen tai kaasun vaikutusta putken tai säiliön seinämään mittaamalla voimaa pinta-alayksikköä kohden. Lämmitysjärjestelmässä paineantureilla voidaan tarkkailla ja valvoa, että lämmitys ei nosta järjestelmän sisäistä painetta niin suureksi, jotta laitteet tai putkisto vaurioituisi. Paineanturi voidaan toteuttaa resistiivisesti venymäliuskoilla sekä kapasitiivisesti tai induktiivisesti erilaisilla kalvoratkaisuilla. (Aumala 2006, 92-94)

Yksi yleisin ratkaisu venymäliuska-antureille on Wheatstonen silta, jossa mitataan kahden rinnan kytketyn johtimen välistä jännitettä. Mittauksesta saadaan sitä tarkempi, mitä useampi vastus on korvattu venymäliuskalla. Kuvassa 8 esimerkki Wheatstone kytkennästä. (Electronics Tutorials n.d.)



Kuva 8. Wheatstone kytkentä (Electronics Tutorials n.d.).

Tässä projektissa paineantureilla monitoroidaan putkiston painetta järjestelmän eri osissa. Kriittisin painealue sijoittuu lämmityskattilaan ja sen välittömään läheisyyteen, mutta paineen tarkkailulla voidaan myös havaita mahdollisia vuotoja järjestelmän putkissa, sillä vuoto aiheuttaa paineen alenemista järjestelmän siinä osassa, jossa vuoto sijaitsee.

Lämpötila-anturi

Lämpötila-anturilla voidaan tarkkailla mitattavan kohteen lämpötilaa paikoista joista ei voida suorittaa mittauksia käsin. Tällaisia paikkoja voivat olla kuumat tai räjähdysherkät tilat. Lämmityksessä tarkkaillaan lämmitysverkon meno- ja paluuputkien lämpötiloja sekä käyttöveden lämpötilaa. Lämmityksestä lähtevän käyttöveden lämpötila ei saa ylittää +55 °C palovammojen aiheutumisen vuoksi. (Smith C. L. 2009), (Motiva b n.d.)

Lämpötilan tarkkailu automaatiolla mahdollistaa kiertoveden lämpötilan tarkan säädön ja lämmitysenergian kulutuksen laskemisen. Antureilla voidaan myös tarkkailla lämminvesivaraajan lämpötilaa, jolloin tiedetään, milloin varaajaan täytyy saada lisää lämmintä vettä.

Virtausanturi

Virtausanturilla voidaan tarkkailla putkissa virtaavan nesteen tai kaasun virtausta. Virtauksesta voidaan mitata virtausnopeutta, tilavuusvirtaa, massavirtaa tai vaikka nesteen viskositeettia. Nesteen ominaisuuksien tietäminen on jossain tapauksissa tärkeää, mutta lämmitysjärjestelmissä kiertää yleensä vettä tai aurinkolämpöjärjestelmien glycolia, jolloin nesteen ominaisuudet voidaan tarkastaa helposti. Virtauksen mittaamisella on myös mahdollista tarkkailla mahdollisia vuotoja, kun tarkkaillaan lämpöverkon meno- ja paluulinjoja. (Aumala 2006, 94-97).

Puristusanturi

Puristusanturin toiminta perustuu venymäliuskaan. Kun anturin päälle tulee painoa, anturin vastuskytkennän venymäliuskojen vastus muuttuu, jolloin voidaan mitata muuttunut jännite-ero anturin lähdöistä. Tämä arvo kertoo punnittavan esineen tai aineen massan. (Aumala 2006, 92-94).

Tässä systeemissä puristusantureita käytetään hakemäärän mittaamiseen. Mittaus suoritetaan nelipistemittauksena asettamalla anturi jokaisen stokeripolttimen jalan alle. Järjestelmä täytyy kalibroida tyhjällä polttimella ja sen jälkeen jollakin tietyllä massalla esimerkiksi yhden henkilön painolla.

Pinnanmittausanturi

Pinnanmittausanturi nimensä mukaan mahdollistaa säiliöiden nestepinnan korkeuden mittaamisen. Mittaukseen on olemassa monenlaisia antureita, kuten esimerkiksi ultraäänianturi ja uimurikytkin. Pinnanmittaus voidaan toteuttaa erillisen pinnanmittausanturin ohella myös upotettavalla painelähtetimellä. Tärkeintä kuitenkin on, että valitulla

anturilla voidaan mitata tarkasti koko säiliön korkeudella, anturi kestää nesteen aiheuttaman paineen ja sillä voidaan mitata myös mahdollisesti happamia aineita. (Smith C.L. 2009, 196-197)

Savukaasuanturi

Savukaasuanturilla voidaan mitata polttoprosessin päästökaasuja. Päästökaasujen avulla voidaan tutkia polttoprosessin puhtautta, sillä mitä puhtaampi palo on, sitä vähemmän tuotetaan haitallisia päästökaasuja. Näitä kaasuja ovat typpioksidi NO, rikkidioksidi SO₂, häkä eli hiilimonoksidi CO. Puhtaassa palamisessa näitä kaasuja syntyy erittäin vähän ja savukaasu koostuu enimmäkseen hiilidioksidista ja vesihöyrystä. (Joronen, Kovács & Majanne 2002, 106-114).

3 OHJATTAVAN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN RAKENNE

Lämmityskokonaisuuden suunnittelu aloitettiin tutkimalla kontteja, joiden sisään suurin osa komponenteista mahtuisi. Aluksi suunnitelman pohjaksi otettiin 10-jalan kontti eli puolikas merikontti. Tähän konttiin tehtiinkin ensimmäinen suunnitelma, johon sisältyi n. 20 kW:n öljy- ja pellettikattila.

$$P_{\text{tarve}} = A * h * P_{\text{m}^2} \quad (3)$$

missä A = lämmitettävä huonepinta-ala, h = huonekorkeus ja $P_{\text{m}^2} = 35 \text{ W/m}^3$.

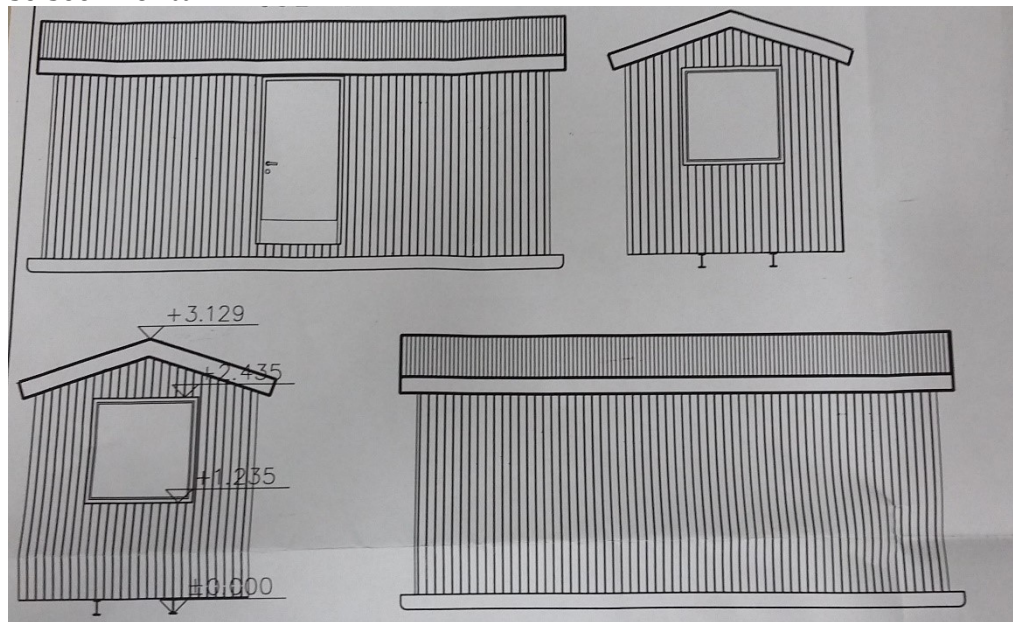
Kattiloiden mitoitukseen voidaan käyttää kaavaa 3, jolla saadaan arvio, kuinka paljon kiinteistössä tarvitaan tehoa lämmitykseen. Laskutulokset ovat suuntaa antavia ja niiden lisäksi täytyy ottaa huomioon myös talon energialuku ja käyttöveden kulutus. Koska mahdollisista käyttökohteista ei ollut saatavilla kattavia selvityksiä, kattilat valittiin laskutuloksien perusteella. (Säätötuli a)

Kattiloita ja polttimia valittaessa tärkeimmät kriteerit olivat tehoalu-
een lisäksi uusiutuvien polttoaineiden käyttäminen, hyötysuhde ja kattilassa oleva sähkövastus. Mitä parempi hyötysuhde kattilassa ja öljypolttimessa on, sitä enemmän lämmitysmateriaalista saadaan lämpöenergiaa talteen. Yleisimmin öljykattilan ja -polttimen hyötysuhde on 90 - 95 %. (Öljyalan palvelukeskus n.d.).

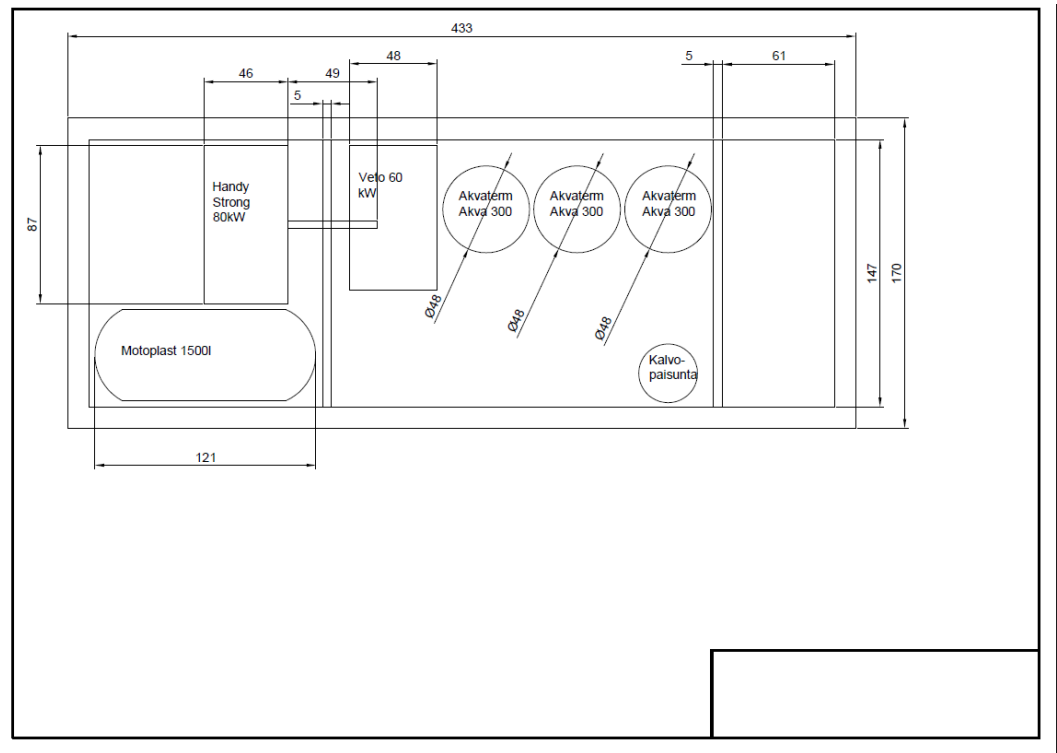
Taulukko 3. Lämmitys polttoaineiden energiat (Bioenergieneuvoja).

Aine	Energiamäärä	Suhteellinen kosteus
Kevyt polttoöljy	10 kWh/litra	
Pelletti	4,75 kWh/kg	10 %
Puuhake	10 kWh/12,5dm ³	< 25-30 %
Palaturve	3,58 kWh/kg	25-40 %
Halko (pinokuutio koi- vua)	10 kWh/0,6dm ³	15-25 %

Kuvassa 9 mallipiirros laitteiston kontista ja kuvassa 10 sijoittelu kyseiseen konttiin.



Kuva 9. Esimerkki mahdollisesta laitteiston sijoituskontista.



Kuva 10. Lämmityslaitteiden sijoittelumalli 6,5m konttiin 1:15 mittakaavassa.

3.1 Kattila

Projektiin valittiin lämmönlähteeksi kattila, jossa voidaan käyttää rinnakkain hake- ja öljypoltinta. Tämä tekee järjestelmän ohjauksen suunnittelun helpommaksi, koska ohjausta ei tarvitse suunnitella kahdelle kattilalle erikseen, vaan riittää kun suunnitellaan yksi kattilapiiri. Öljy valittiin toiseksi poltettavaksi materiaaliksi siksi, koska lämmitysöljyssä on jo nyt olemassa biokomponentti ja sen osuutta nostetaan koko ajan. Lisäksi öljyllä on selkeästi paras suhde kulutetun polttoaineen määrän ja tuotetun lämpöenergian suhteen (ks. taulukko 2). Oikeanlaisella polttimella varustettuna öljykattilassa voidaan käyttää kokonaan uusiutuvaa bioöljyä eli uusiutumaton koko ajan hupenevaa maapallon öljyvarantoa ei kuluteta. Hakkeen puolesta puhui mahdollisuus polttaa lähes mitä tahansa kuivaa materiaali, kuten palaturvetta ja vaikka hedelmän kuoria.

Kattilaksi valittiin lopulta Veto 60 lämmityskattila. Kattilan teholuokka mahdollistaa suurempien kiinteistöjen lämmittämisen ja siihen on mahdollista liittää hake- ja öljypoltin. Järjestelmään valittu kattila kuvassa 11.



Kuva 11. Ala-Talkkarin Veto 60 lämmityskattila (Ala-Talkkari n.d.).

3.2 Öljypoltin

Öljypoltin voidaan valita kattilan valitsemisen jälkeen. Hyvä ohjesääntö on, että kattilan maksimi teho osuu polttimen tehoalueelle. Tällä varmistetaan se, että polttimen ei tarvitse olla koko ajan päällä. (Oilon c)

Tämän projektin tärkeimpiä kriteereitä lämmitysjärjestelmän tarpeeksi suuren tehon ohella oli siinä käytettävä polttoaine. Tämä tarkoittaa, että öljypolttimella täytyy voida polttaa bioöljyä, koska TOE-hankkeen yksi kantavia teemoja on käyttää uusiutuvia luonnonvaroja. Käytettäessä bioöljyä polttoaineena täytyy huomioida sen happamuus eli ph, sillä tarpeeksi hapan, ph-luku 2 - 3, öljy voi syövyttää putkistot, pumpun ja venttiilit. (Green Fuel Nordic).

Öljypoltin valmistajista ainakin Oilonin polttimilla voidaan polttaa bioöljyä ilman, että poltinta tarvitsee mitenkään muokata, joten projektin öljypolttimeksi valittiin Oilonin Junior Pro 2 LJ50 öljypoltin. Polttimen tehoalue on 27 - 77kW. Oilonin Junior Pro poltin kuvassa 12. (Oilon d n.d.)



Kuva 12. Oilon Junior Pro-öljypoltin (Oilon d n.d.).

3.3 Hakepoltin

Hakepolttimen valinnassa käytetään samaa valintaperustetta kuin öljypolttimessakin, joten hakepoltin on valittava kattilan tehoalueen maksimiarvon mukaan. Hakepolttimessa on myös huomioitava mahdollinen automatisointi sytytyspuolelle, sillä muutoin polttimessa on koko ajan pientä polttoaineen kulutusta, mikä lisää sen käyttökustannuksia.

Hakepoltinta valitessa suurin ongelma oli polttimen koko, joka ainakin muodostui Ala-Talkkareiden polttimien kompastuskiveksi. Lopulta Säätötulelta löytyi Handy Strong-hakepoltin, jota on saatavilla 40, 60 ja 80 kW teholuokissa. Koska lämmityskattilan teho on 60 kW, valittiin Säätötulen 80 kW:n hakepoltin projektiin. Kuvassa 13 Handy Strong hakepoltin. (Säätötuli b n.d.).



Kuva 13. Säätötulen Handy Strong-hakepoltin (Säätötuli b n.d.).

3.4 Lämminvesivaraajaa aurinkokierukalla

Lämminvesivaraajan tärkein tehtävä on toimia puskurina lämmitysjärjestelmässä. Varsinkin suurten kulutuspiikkien aikana varaaja mahdollistaa lämpimän veden riittävyyden. Tämän lisäksi varaaja voidaan niin sanotusti ladata täyteen, kun se on edullisinta.

Tähän projektiin valittiin etsintöjen ja mallipiirrosten jälkeen Akva-term Akva 300-varaaja. Varaajassa on kaikki tarvittavat ominaisuudet ja liitännät. Varaajasta löytyy perinteisten kierukoiden ja liitäntöjen ohella myös mahdollisuus aurinkokierukalle, johon voidaan kytkeä järjestelmässä oleva aurinkokeräin ja näin hyödyntää auringosta saatavaa lämpöenergiaa.

3.5 Faasinmuutosvaraaja

Faasinmuutosvaraaja on koko lämmitysjärjestelmän työlain osa. Varaaja vaatii jo tehtyjen tutkimusten lisäksi paljon omaa selvitystyötä eri materiaalien soveltuvuudesta ja niiden mitoittamisesta. Tärkeintä on materiaalin toiminta mahdollisimman lähellä järjestelmän lämpötilaa. Projektissa käytetyt varaajat pystytään lataamaan maksimissaan 110 asteisella vedellä, joten myös faasinmuutosmateriaalin olisi hyvä toimia mahdollisimman lähellä tätä lämpötilaa. Koska vettä voidaan lämmitellä vain 85 asteen tienoille, voidaan faasinmuutosmateriaalikin valita pienemmällä lämpötilalla. Vaikka faasinmuutosmateriaaleja on suolojen ohella esimerkiksi rasvahappoja ja sokereita, vaikutti suolaliuoksen tekeminen varminmalta ratkaisulta tässä projektissa.

Kesän aikana projektissa testattiin glaubersuolaa faasinmuutoksessa ja ensimmäiset tulokset vaikuttivatkin erittäin lupaavilta. Myöhemmät testit kuitenkin paljastivat, että pelkkä 30 % suolaliuos ei varaa lämpöä sen paremmin kuin vesi, kun se lämmitetään 57 - 58 asteiseksi. Taulukossa 4 testituloksia. Testien jälkeen päätettiin etsiä toinen materiaali ja testata sen ominaisuuksia. 90 % suolaliuoksessa oli ilmestynyt liuoksen sekoittamisen jälkeen suolakiteitä, jotka lämmittäessä sulivat kokonaan tunnin jälkeen. 1,5 tunnin kohdalla pullojen mahdollinen lämpökerrostuminen poistettiin ravistelemalla.

Taulukko 4. Faasinmuutosmateriaaliliuoksen lämmittämisen testitulokset veteen verrattuna.

Kulunut aika (min)	Lämpötila 90% suola- liuos (°C)	Lämpötila vesi (°C)
0	22	22
15	28	28
30	32	35
45	36	39
60	39	43
75	41	45
90	43	46
105	-	-
120	47	51
135	49	52

Faasinmuutosvaraajalle on oikeastaan yksi keskeinen kriteeri. Siinä täytyy olla kansi tai aukko, josta faasinmuutosmateriaali kapselit voidaan syöttää varaajaan. Kapseliksi käy mikä tahansa hapettumaton ja syöpymätön materiaali kuten esimerkiksi muovipallo. Kapseloinnilla varmistetaan, että faasinmuutosmateriaali pysyy halutussa säiliössä ja ettei se kiinteydy lämmitysverkostoon. Tässä projektissa faasinmuutosvaraajaksi valittiin Akvatermin Akva 300-varaaja. Valinnan suurin peruste on 20 cm halkaisijalla oleva luukku varaajan etuosassa. Kuvassa 6 Akvatermin varaaja ja sen kytkennät kattilaan, lämmitysverkostoon ja käyttövesiverkkoon. Kuvassa 14 faasinmuutos- ja hybridivaraajaksi suunniteltu Akvatermin Akva-varaaja.



Kuva 14. Akvatermin Akva-varaaja ja sen kytkentä (Akvaterm 2013).

3.6 Aurinkolämpö

Aurinkojärjestelmäksi valittiin Sundialin hybridikeräin, jolla saadaan auringon energiasta otettua sekä lämpö- että sähköenergiaa talteen. Lämpöenergiaa hybridikeräimellä saadaan kerättyä vähän vajaa 900 W paneelia kohden ja sähköä voidaan tuottaa 300 W verran. Sähköä voidaan hyödyntää järjestelmässä esimerkiksi lataamalla akkuja ja käyttämällä logiikkaa akkujen varauksella. Kuvassa 15 Sundialin hybridikeräin. (Sundial b n.d.).



Kuva 15. Hybridikeräin (Sundial b n.d.)

4 VALITTU LOGIIKKA JA TOIMILAITTEET

Logiikan valinta aloitettiin pohtimalla eri PLC-valmistajia, minkä jälkeen käytiin läpi kyseisten valmistajien tarjoamat mahdolliset PLC-mallit, joista valittiin sopivin tähän työhön. Tässä kappaleessa käydään harkittujen PLC-valmistajien tarjoamat mahdollisuudet ja perustellaan miksi päädyttiin käyttämään tietyn valmistajan logiikkaa.

Mahdolliset logiikkavalmistajat valittiin opintojen aikana tutuiksi tulleista sekä muista tiedetyistä tai projektin aikana löydettyistä valmistajista. Tärkeimpinä kriteereinä oli ohjausohjelmiston helppo toteutus ja järjestelmän laajennusmahdollisuus tietyn kokoonpanon jälkeen.

Toimilaitteiden kohdalla valintakriteereinä oli mahdollisimman monipuolisesti hyödynnettävät yhdistelmälaitteet, kuten kiertovesipumppu, jossa on sisäänrakennettu paine- ja lämpötila-anturi sekä erilaiset anturiyhdistelmät. Näiden kriteerien ohella viestisignaalit pyrittiin valitsemaan virtaviestin 4 - 20mA:n mukaan.

Venttiilien valinnassa suurin kriteeri oli ohjausjännitteen suuruus, sillä tämä tahdottiin pitää 24 VDC:n suuruisena. Yllättäen moottoriohjatuisissa venttiileissä löytyi yllättävän paljon tuotteita, jotka täyttivät nämä kriteerit.

4.1 Logiikka

Logiikan lopulliseen valintaan vaikutti järjestelmän helppo laajennettavuus, ohjauksen toteutuksen helppous ja jonkin verran myös laitteiston hankintakustannukset. Tässä vertailussa Beckhoffin CX9020 PLC valikoitui laajennettavuutensa ja ohjausohjelmiston toteutuksen osalta järjestelmässä käytettäväksi logiikaksi. Myös muiden laitteiden kuten Raspberry Pi mikrotietokoneen, näppäimistön, hiiren ja näyttöpäätteen liittämismahdollisuudet tukivat Beckhoffin logiikan valintaa.

4.2 Venttiilit

Venttiileitä on tässä projektissa käytetty kahta tyyppiä, magneettiventtiili ja moottoriohjattu venttiili. Molemmilla tyypeillä on oma käyttötarkoituksensa, sillä moottoriohjatulla venttiilillä kontrolloidaan lämmityskattilasta varaajille menevän veden lämpötilaa, kun taas magneettiventtiileillä ohjataan vesi tiettyyn varaajaan. Varaaja päätetään varaajissa olevan lämpötilan mukaan.

4.2.1 Magneettiventtiili

Magneettiventtiileillä ohjataan lämmitysvesi haluttuun sijaintiin, oli se sitten kattilalta varaajille, kattilalta suoraan lämmitysverkkoon, varaajalta toiselle tai varaajista lämmitysverkkoon. Tärkeimpänä kriteerinä magneettiventtiilille oli 24 V tasajännitteen käyttö ohjauksessa. Kuvassa 16 järjestelmään valittu Sirai L113 magneettiventtiili.



Kuva 16. Sirai L113 magneettiventtiili (Wexon a n.d.).

4.2.2 Moottoriohjattu sekoitusventtiili

Sekoitusventtiileillä pidetään lämmitysverkkoon menevä vesi halutun lämpöisenä. Tämä tapahtuu sekoittamalla lämmitysverkon paluuvettä lähtevään veteen. Tässä työssä sekoitusta tahdotaan ohjata manuaalisesti, joten valittuun Esben VRG130 3-tieventtiiliin asennetaan siihen sopiva moottori. Moottoriksi valittiin Esben ARA 639 moottori, jota voidaan ohjata vaihtojännitteen lisäksi myös 24 V tasajännitteellä. Kuvassa 17 Esbe VRG-venttiili käsisäädöllä ja kuvassa 18 ARA 639-moottori.



Kuva 17. Esbe VRG130 3-tie sekoitusventtiili (Esbe n.d.).



Kuva 18. ARA 639-moottori Esben venttiilille. (Gebo n.d.).

4.3 Pumput

Järjestelmään sopivia pumppuja löydettiin kahdelta eri valmistajalta, jotka ovat Grundfosin Magna 3 ja Wilo. Molempien pumpuista löytyy ulkoinen ohjaus pumpun käynnistykseen, Modbus-kenttäväylä yhteensopivuus ja pumpun sisällä olevat paine- ja lämpötila-anturi. Järjestelmän kannalta molemmat pumput soveltuvat suunniteltuun toimintaan. Liitteiden 8, 9 ja 10 johdotuskaavioissa on käytetty Grundfosin pumpua. Kuvassa 19 järjestelmässä mahdollisesti käytettävä Grundfos Magna 3 kiertovesipumppu.



Kuva 19. Grundfos Magna 3 kiertovesipumppu (Grundfos n.d.).

Tässä työssä päätettiin aurinkolämpöpiirin ohjaus suunnitella ja toteuttaa itse, koska kyseistä kokonaisuutta halutaan ohjata itse. Ohjausta ei ole järkevää toteuttaa valmiilla aurinkolämpöpiireihin tulevilla ohjauksilla, sillä niiden liittäminen PLC:hen ja ohjaaminen on vähintään epävarmaa, ellei jopa mahdotonta. Tutkimalla aurinkopiirejä päätettiin järjestelmän aurinkopiirin nestekierto toteuttaa käyttämällä Wilon PWM (pulssinleveysmodulaatio) ohjattavaa kiertovesipumppua. Liitteestä 12 löytyy pumpun PWM-kytkentä logiikkaan ja kuvassa 20 aurinkolämpöjärjestelmään suunniteltu PWM-ohjattava Wilo Yonos Pico kiertovesipumppu.



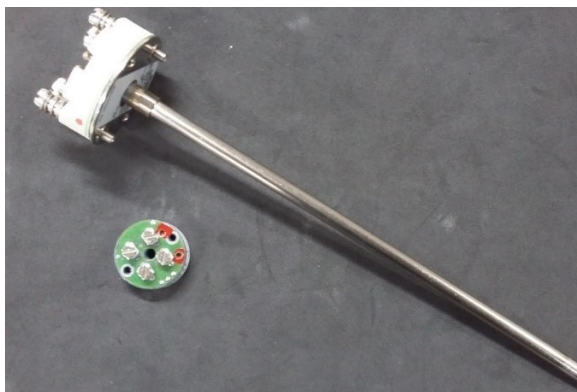
Kuva 20. Wilo Yonos Pico kiertovesipumppu (Wilo n.d.).

4.4 Anturit

Tässä kappaleessa käydään läpi järjestelmään valitut anturit ja niiden toiminta periaatteet.

4.4.1 Lämpötila-anturi

Lämpötila-anturiksi valittiin hyvin yleisesti käytetyt Pt-100 ja Pt-1000 anturit. Molemmat ovat vastusantureita, joiden vastusarvo muuttuu lämpötilan muuttuessa. Pt-100 anturin vastus on 100Ω ja tarkkuus $0,385 \Omega/^\circ\text{C}$, kun Pt-1000 anturin vastus on 1000Ω ja tarkkuus $3,85 \Omega/^\circ\text{C}$. Pt-100 antureita käytetään aurinkopiirissä ja Pt-1000 anturi on yhdistettynä virtausantureihin. Kuvassa 21 esimerkki Pt-100 anturista ja siihen liittyvästä lähettimestä sekä kuvassa 22 esimerkki erilaisista Müllerin Pt-100 antureista. (SKS Sensors n.d.).



Kuva 21. Pt-100 lämpötila-anturi ja lähetin.



Kuva 22. Müllerin Pt-100 anturi (Wexon b n.d.).

4.4.2 Panielähetin

Tässä työssä käytettävän paineanturi on paksukalvoanturi, jonka kalvo on valmistettu keraamista, joka on Al_2O_3 . Kalvoon asennettujen venymäliuskojen vastus muuttuu, kun kalvoon kohdistuu painetta. Anturissa hyödynnetään Wheatstonen siltakytkentää. Projektissa käytettävän painelähttimen mitta-alue on 0 - 2,5 baria. Kuvassa 23 projektissa käytettävä painelähetin. (Wexon c n.d).



Kuva 23. Trafag ECT 2.5 painelähetin (Wexon c n.d).

4.4.3 Virtausanturi

Tässä työssä käytetään kahta Huba Controlin saman mallin eri versioista virtausanturia, joista toiseen on yhdistetty lämpötila-anturi Pt-1000 ja toinen on vain virtauksen mittaamiseen. Virtausmittaus perustuu pyörremittaukseen ja anturi hyödyntää pietsosähköistä anturia mittauksessa. Kuvassa 24 työssä käytetty virtausanturi (Huba Control 2016).



Kuva 24. Huba Controlin 230 virtausanturi (Huba Control 2016).

4.4.4 Upotettava painelähetin

Työssä käytettävä öljymäärän mittaamiseen upotettavan painelähettimen toimintaperiaate on sama kuin aiemmin esitellyssä painelähettimessä. Keraamiselle kalvolle asennettujen venymäliuskojen vastusarvo muuttuu, kun kalvoon kohdistuu painetta. Kuvassa 25 upotettavan painelähettimen yksi malli. (Wexon d 2015).



Kuva 25. Trafagin upotettava painelähetin (Wexon d 2015).

4.4.5 Savukaasuanturi

Tässä työssä on kaksi eri päästöjen mittausperiaatetta ja kaksi erilaista mittarityyppiä. Mittausperiaatteet ovat, joko päästökaasujen happipitoisuuden mittaaminen, tai eri päästökaasujen pitoisuuksien mittaaminen. Molemmat mittausperiaatteet voidaan suorittaa kannettavalla savukaasumittarilla tai savuhormiin asennettavalla anturilla, In-situ-asennus. Vaikka työhön onkin piirretty kytkennät käyttäen SICK GM35-anturin tietoja, ei ole vielä täysin varmaa mitä päästömittausperiaatetta lopulta käytetään.

Kaasujen mittaaminen In-situ-asennuksella tapahtuu mittaamalla infrapunalähttimen lähettämän ja heijastinyksikön takaisin heijastaman säteilyn välistä eroa voimakkuudessa, sillä osa infrapunasäteilystä absorboituu savukaasuihin. Kuvassa 26 SICK GM35 savukaasuanalysaattori.



Kuva 26. Sick GM35-savukaasuanalysaattori (SICK).

4.4.6 Puristusanturi

Puristusanturin mittausperiaate perustuu Wheatstonen siltaan pääasiassa samalla periaatteella kuin painelähttimessäkin. Tässä työssä puristusantureilla suunniteltiin toteutettavaksi hakepolttimen polttoaineen punnitseminen. Tarkin punnitus saadaan käyttämällä kolmea puristusanturia, minkä lisäksi punnituskokonaisuus vaatii vielä lähetinyksikön. Lähetinyksikkö lähettää mittaustuloksen 4 – 20 mA virtaviestinä logiikalle. Kuvassa 27 esimerkki puristus anturista ja kuvassa 28 puristusanturin lähetinyksikkö.



Kuva 27. Sartorius Intec PR6211 puristusanturi (Sintrol n.d.).



Kuva 28. Puristusantureiden lähetinyksikkö (Lahti Precision n.d.).

5 KOMMUNIKOINTIVÄYLÄN VALINTA

Eri prosesseissa on mahdollista, ellei jopa välttämätöntä, saada tietoa prosessin eri vaiheista. Tiedonsaanti mahdollistaa prosessin säätämisen ja valvonnan. Tiedon keräämisessä kenttäväylä onkin merkittävässä roolissa, sillä sen pitää välittää tieto muuttumattomana ohjauskeskukseen, jossa mittaustulosten perusteella säädetään prosessia. Aikakriittisissä prosesseissa myös kenttäväylän tiedonsiirtonopeudella on suuri merkitys oikean väylän valinnassa.

EtherCAT

EtherCAT-kenttäväylä protokolla on Beckhoffin luoma kenttäväyläprotokolla, joka pohjautuu Ethernet-protokollaan. EtherCATilla on mahdollista lukea ja kirjoittaa mittaustieto antureilla, kun datapaketti liikkuu tiedonsiirtokanavassa anturin ohi. Koska EtherCAT pohjautuu Ethernet-protokollaan, tukee se kaikkia yleisimpiä verkkotopologioita renkaasta mesh-verkkoon. (RTA a n.d.).

EtherCAT valittiin päätiedonsiirto väyläteknikaksi logiikan ja hajautettujen I/O-koteloitten välille, koska sillä päästään nopeisiin tiedonsiirtonopeuksiin ja datan lukeminen väylästä on helppoa.

Modbus RTU

Modbus RTU on sarjakommunikointi protokolla, joka hyödyntää master/slave kommunikointia. Protokollaa käytetään rakennusten hallinta ja teollisuuden automaatiojärjestelmissä. Modbus RTU käyttää yksinkertaisia 16-bitin viestejä. Modbus RTU viestissä signaali osoitetaan kaksijohtokytken jännite-erona. (RTA b n.d.).

Modbus RTU valittiin kommunikointiväyläksi kiertovesipumppujen ja mahdollisten ulkoisten energiankulutusmittareiden vuoksi. Protokolla ei ole niin virheherkkä kuin jotkin muut kenttäväylät ja tiedonsiirtonopeudet ovat kuitenkin riittävät lyhyillä etäisyyksillä.

6 ENERGIAMITTAUKSET

Energiamittauksilla voidaan mitata kahta asiaa, järjestelmän sähkönkulutusta ja käytetyn lämpöenergian määrää. Molemmat mittaukset antavat mielenkiintoista tietoa järjestelmän toiminnasta.

Sähkön kulutuksen mittaaminen tapahtuu mittaamalla vaiheiden syöttämää sähköä järjestelmälle. Esimerkiksi kotitalouksien sähkömittarit perustuvat liittymän kolmivaihesyötön mittaamiseen. Sähkönkulutuksen mittaamisella voidaan tarkkailla, mikä lämmitysmuoto on sähkönkulutuksen kannalta edullisin ja miten paljon toimilaitteet kuluttavat sähköä lämmityksen aikana. (Beckhoff c n.d.).

Koska kyseessä on lämmitysjärjestelmä, jossa on useita erilaisia lämmönlähteitä ja varastoja, on energiankulutuksen mittaaminen lämpöverkosta järkevää. Lämpöenergian kulutus saadaan laskettua, kun mitataan lähtevän ja palaavan kiertoveden lämpötilaeroja. Lämminvesivaraajien lämpötiloja seuraamalla tiedetään, paljonko lämpöä on vielä mahdollista saada järjestelmästä. Lämmönsäätelyssä on hyvä myös muistaa, että lämpötilan pudottaminen 1 asteella voi tuottaa jopa 5 % energiasäästön. (Värjä & Mikkola 2009, 31-33).

Lämmön ja sähkön kulutuksien lisäksi yksi mielenkiintoinen mittauskohde on, paljonko lämmityksessä käytetyistä polttoaineista saadaan tuotettua lämpöä. Kuten taulukossa 2 jo listattiin yleisimpien poltettavien aineiden antamat lämpöenergiat, voidaan polttoaineen kulutusta ja talteen otettua lämpöä vertailemalla saada tietoa kattilan ja polttimien yhteishyötysuhteesta.

7 AUTOMAATION TOTEUTUS

Tässä kappaleessa käydään läpi lämmitysjärjestelmän yksi mahdollinen automaatio-ohjaustratkaisu. Suunnitelmassa on pyritty ottamaan huomioon automaatiojärjestelmän helppo laajentaminen, asennuksen helppous ja mahdollisuus tuottaa ohjaus mahdollisimman pitkälle ilman tarkempaa tietoa käytettävästä PLC:stä. Vaikka automaatiojärjestelmä on suunniteltu kokonaisuudessaan Beckhoffin tuotteista, voidaan siihen liittää sopivilla moduuleilla käytännössä mitä tahansa. Kaikki kuvat on piirretty joko AutoDeskin AutoCAD tai KymDatan CADS ohjelmalla.

7.1 Keskuspiirros

Keskuspiirros näyttää miten laitteet ovat asennettuna kenttäkoteloihin. Tässä projektissa pääkoteloon sijoitettiin pääkytkin, ohjelmoitava logiikka ja jännitesyötöt kenttäkoteloille. Jokaisessa kenttäkotelossa on 24 VDC jännitelähde, jolla saadaan syötettyä jännitettä toimilaitteille, jotka vaativat 24 V tasajännitettä. 230 VAC toimilaitteet kytketään suoraan ohjauskeskuksen pääkytkimeen, jolloin niiden ohjaus hoidetaan releillä ja ohjaussignaaleilla. Liitteissä 1-6 pää- ja ohjauskeskusten layoutit.

Keskusten layout-piirroksat on tehty Kymdatan CADS-ohjelman keskuslayout-sovelluksella.

7.2 Johdotuskaaviot

Johdotuskaavioista ilmenee mihin kenttäkoteloon kenttälaite on kytketty. Kaavioilla pyritään selkeyttämään asennuksen aikana tehtävää kaapeleiden asentamista, sillä niissä kerrotaan selkeästi miten laitteet kytkeytyvät keskuksissa oleviin tulo- ja lähtöportteihin. Kaavioissa voidaan määrittää kytkennöissä käytettävä kaapelityyppi, mutta tässä työssä se päätettiin jättää pois. Liitteissä 7 - 12 pää- ja ohjauskoteloiden johdotukset.

7.3 LVI-kaaviot

LVI-kaavioilla kuvataan, miten lämmitettyä vettä voidaan ohjata tässä järjestelmässä. Vaikka kaaviot onkin piirretty, ei järjestelmän putkikojoja ole vielä päätetty. Arvioissa putkikooksi on ajateltu 25-28 mm halkaisijalla olevia putkia, mutta tämä jätetään ammattilaisten asiantuntemukselle. Tämän työn PI-kaaviot on piirretty Autodeskin AutoCAD-ohjelmalla ja siihen lisätyillä PI-kaavisymboleilla.

LVI-kaavioilla kerrotaan miten venttiilit ja pumput kytketään järjestelmään. Automaatio-ohjattujen venttiilien lisäksi järjestelmässä on käsi-käyttöisiä venttiilejä esimerkiksi varaajien erottamiseen ja tyhjentämiseen huoltojen ajaksi. Liitteessä 13 laitteiston PI-kaavio.

8 TULOKSET JA JATKOKEHITYS

Tässä työssä esitellyn automaatiosuunnitelman pohjalta voidaan lähteä toteuttamaan projektissa suunnitellun mukaisen lämmitysjärjestelmän ohjauslogiikkaa. Suunnitelmassa on pyritty ottamaan huomioon järjestelmän helppo käytettävyys ja laajennettavuus. Esitelty suunnitelma on yksi mahdollinen toteutustapa ohjaukselle.

Suunnittelu onnistui kokonaisuutena hyvin. Logiikan valinnan jälkeen toimilaitteiden etsiminen sujui suhteellisen helposti, ainoastaan suunnitteluvaiheessa muuttunut lämmityskokonaisuus vaati tekemään muutoksia toimilaittekokonaisuuteen. Jotkin lämmityskokonaisuuden muutokset taas helpottivat suunnittelua huomattavasti, kuten alkuperäisen suunnitelman mukaisesta kahden kattilan järjestelmästä yhdistelmäkattilaan vaihtaminen.

Tämän työn aikana lämmitysjärjestelmät ja automaatiosuunnittelun eri vaiheet sekä esimerkiksi kattiloiden ja polttimien mitoitus tuli erittäin tutuksi lämmityskokonaisuuksia mietittäessä. Automaatiosuunnittelussa tärkeimpänä oppina tuli kokonaisuuksien hahmottaminen, sillä kytkentöjen suunnittelu ja piirtäminen vaatii toimilaitteiden ja logiikan I/O-liitännöiden vertailua sekä hahmottamista. Automaation suunnittelua vaikeutti lämmitysjärjestelmän oleminen vasta suunnitteluvaiheessa. Jo olemassa olevan fyysisen laitteiston ohjauksen suunnittelu olisi paljon helpompaa, koska järjestelmästä saisi paremman kokonaiskuvan näkemällä sen toiminnassa. Tämän työn aikana saatu tietotaito järjestelmäsuunnittelussa auttaa kuitenkin tulevaisuudessa erittäin paljon.

Järjestelmän jatkokehityksen kannalta selvitystä vaatii vielä hakepolttimen automaattisen sytytyksen suunnittelu ja testaus. Sytytykseen on olemassa useita eri toteutusmahdollisuuksia, mutta pellettipolttimissa käytetty lämpövastus-puhallinyhdistelmä vaikuttaa kaikista turvallisimmalta toteuttaa. Toinen hakkeen polttoon liittyvä lisäys, jota ei

tässä työssä ehditty suunnitella on liekkivahdin suunnittelu ja ohjaus. Tämä laajennus on mahdollista tehdä jo nykyiseen järjestelmään, sillä logiikkakortit on mitoitettu siten, että järjestelmään voidaan lisätä muutama toimilaite ilman keskusten kokoonpanojen muutoksia.

Jatkokehitykseen jäi myös kaksi mielenkiintoista osa-aluetta polttoaineiden analysoinnista. Nämä ovat biopolttoöljyn pH-arvojen mittaaminen ja hakepolttimessa käytettävän polttoaineen kosteudenmittaus sekä sen vaikutus päästökaasuihin. Näiden lisäksi järjestelmään on jo kehitetty pörssisähköä ja säätietoa seuraava ohjelma, joka olisi tarkoitus liittää osaksi ohjausta projektin myöhemmässä vaiheessa. Ohjelman avulla järjestelmään voidaan tehdä lämmityssuunnitelma seuraavalle päivälle ja suunnitelmaa tarkennettaisiin lähituntien säätiedon mukaan. Lämmityksestä voidaan tällöin saada tehokkaampaa, koska lämpöenergian tarpeeseen voidaan reagoida ennakkoon, esimerkiksi kovilla pakkasilla.

LÄHTEET

Akvaterm (2013). *Akvaterm – lämmönydin*. Haettu 11.10.2016 osoitteesta http://www.akvaterm.fi/files/akvaterm_yleisesite_11_2013_fin_n.pdf

Ala-Talkkari (n.d.). *Veto 60 kW-stokerikattila*. Haettu 11.10.2016 osoitteesta <http://ala-talkkari.fi/lammityskattila-veto-60-stokerikattila/>

Aumala, O. (2006). *Mittaustekniikan perusteet*. Otatieto. Painos 13.

Beckhoff a (2015). *Beckhoff Building Automation*. Haettu 29.10.2016 osoitteesta http://www.beckhoff.fi/fi/default.htm?applicat/building.htm&utm_campaign=Rakennusautomaatio&utm_source=google&utm_medium=ppc&utm_term=rakennusautomaatio&utm_content=1369472x847005427374359364

Beckhoff b (2013). Haettu 29.10.2016 osoitteesta <http://www.beckhoff.fi/fi/default.htm?applicat/etusivu.html>

Beckhoff c (n.d.). *EL3403 – 3 Phase power measurement terminal*. Haettu 10.11.2016 osoitteesta https://download.beckhoff.com/download/Document/Catalog/Main_Catalog/english/separate-pages/EtherCAT/EL3403.pdf

Bioenergianeuvoja (n.d.). *Biopolttoaineet*. Haettu 5.10.2016 osoitteesta <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/pelletti/pelletti/>

Electronics Tutorials (n.d.). *Wheatstone bridge*. Haettu 9.11.2016 osoitteesta <http://www.electronics-tutorials.ws/blog/wheatstone-bridge.html>

Esbe (n.d.). *Mixing valve VRG130*. Haettu 8.11.2016 osoitteesta <http://www.esbe.eu/pt/en/products/rotary-valves/vrg130>

Gebo (n.d.). *Esbe ARA 639*. Haettu 8.11.2016 osoitteesta <http://www.geboshop.fi/ara63924vacdc0-10v153060>

Green Fuel Nordic (2012). *Bioöljy*. Haettu 11.10.2016 osoitteesta <http://www.greenfuelnordic.fi/biooljy>

Grundfos (n.d.). *Magna 3*. Haettu 8.11.2016 osoitteesta <http://fi.grundfos.com/tuotteet/etsi-tuote/magna3.html#overview>

Hautala, M., Peltonen, H. (2014). *Insinöörin (AMK) fysiikka osa 1*. Lahden Teho-opetus Oy. Saarijärven OFFSET Oy. Painos 11.

Huba Control (2016). *Flow sensor type 230 for liquid media*. Haettu 8.11.2016 osoitteesta https://www.hubacontrol.com/fileadmin/user_upload/domain1/Produkte/EN/Datenblatt/230_Flow_sensor.pdf

Jodat Ympäristöenergia a (n.d.). *Levylämmönvaihdin ja kierukka*. Haettu 9.11.2016 osoitteesta <http://www.energiakauppa.com/Levylämmönvaihdin-kierukka>

Jodat Ympäristöenergia b (n.d.). *Tasokeräimet*. Haettu 11.10.2016 osoitteesta <http://www.energiakauppa.com/Aurinkokerain/Tasokeräimet>

Joronen, T., Kovács, J., Majanne, Y. (2002). *Voimalaitostekniikka*. Suomen automaatioseura ry.

Kaukora a (2015). *Öljykattila esite*. Haettu 5.10.2016 osoitteesta http://www.kaukora.fi/sites/default/files/kaukorafiles/esitteet/Oljykattilat_esite_0915.pdf

Kaukora b (2016). *Jäsپی puukattila*. Haettu 9.11.2016 osoitteesta http://kaukora.fi/sites/default/files/kaukorafiles/esitteet/Jaspi_Puukattilat_0116_web.pdf

Kotituli (n.d.). *Hakekattila*. Haettu 5.10.2015 osoitteesta http://kotituli.fi/index.php?main_page=product_info&cPath=2&products_id=9

Lahti Precision (n.d.). *TPL400 digitaalinen punnituslähetin kenttäasennukseen*. Haettu 9.11.2016 osoitteesta http://lahtiprecision.com/wp-content/uploads/2014/10/Lahti_Precision_TPL400_FI.pdf

Luukko, K. (2008). *Puun pienpoltto ja hiukkaspäästö*. Haettu 29.10.2016 osoitteesta <https://planeetta.wordpress.com/2008/12/27/puun-pienpoltto-ja-hiukkaspäästö/>

Motiva a (n.d.). *Öljylämmitys*. Haettu 25.9.2016 osoitteesta http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/oljylammitys

Motiva b (n.d.). *Lämmityksen säätökäyrä ja lämpimän käyttöveden oikea lämpötila*. Haettu 25.9.2016 osoitteesta http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiöt/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen_tutustuminen/lammituksen_saatokayra_ja_lampiman_kayttoveden_oikea_lampotila

Novafuture (n.d.). *Tyhjiökeräimen toimintaperiaate*. Haettu 11.10.2016 osoitteesta <http://novafuture.fi/putket.html>

Perttula, J. (2000). *Energiatekniikka*. WS Bookwell Oy. Werner Söderström Oy.

Phoenix Contact (n.d.). Haettu 6.11.2016 osoitteesta https://www.phoenixcontact.com/online/portal/pc?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/pcen/web/corporate/company/entry_page/entry_page

PLCTutor (n.d.). Haettu 9.11.2016 osoitteesta <http://www.plctutor.com/>

Oilon a (n.d.). *Oilon Junior Pro – polttimen käyttöohjeet*. Haettu 5.10.2016 osoitteesta <http://www.oilon.com/uploadedFiles/Oilon-Home/Materials/Junior%20PRO%20MINI%20FI%20Manual.pdf>

Oilon b (n.d.). *Polttimet*. Haettu 9.11.2016 osoitteesta <http://www.oilon.com/oilon-home/tuotteet/polttimet/>

Oilon c (2012). *Polttimien soveltuvuustaulukko*. Haettu 25.9.2016 osoitteesta http://www.oilon.com/uploadedFiles/OilonHome/Products/Burners/Compatibility_Table/Polttimien%20soveltuvuustaulukko%201_7_2012.pdf

Oilon d (n.d.). *Öljypolttimet omakotitaloihin*. Haettu 8.11.2016 osoitteesta <http://www.oilon.com/oilon-home/tuotteet/polttimet/oljypolttimet/>

Rakentaja (2012). *Saneerauskohteiden varaajat sopivat ahtaisiin koloihin*. Haettu 11.10.2016 osoitteesta http://www.rakentaja.fi/artikkelit/9327/saneeraus_varaaja_akvaterm.htm

RTA a (n.d.). *Ethercat*. Haettu 29.10.2016 osoitteesta <http://www.rtaautomation.com/technologies/ethercat/>

RTA b (n.d.). *Modbus RTU*. Haettu 29.10.2016 osoitteesta <http://www.rtaautomation.com/technologies/modbus-rtu/>

Ruukin Rakennus ja LVI-palvelu (n.d.). *Tehokas ja edullinen aurinkolämmitys*. Haettu 11.10.2016 osoitteesta <http://www.ruukinrakennuspalvelu.fi/aurinko.html>

SICK (n.d.). *In-situ gas analyzers – GM35*. Haettu 9.11.2016 osoitteesta <https://www.sick.com/us/en/product-portfolio/gas-analyzers/in-situ-gas-analyzers/gm35/c/g56969>

Siemens (n.d.). *Älykäs yhteiskunta*. Haettu 6.11.2016 osoitteesta http://www.siemens.fi/fi/alykas_yhteiskunta.htm

Sintrol (n.d.). *PR6211 puristusanturi*. Haettu 9.11.2016 osoitteesta <http://www.sintrol.fi/tuotteet/prosessimittaukset-ja-automatio/punnitus-ja-annostelu/punnituskomponentit/anturit-ja-asennus-sarjat/pr6211>

SKS Sensors (n.d.). *Miten toimii Pt100-anturi*. Haettu 9.11.2016 osoitteesta <http://www.skssensors.fi/faq/miten-pt100-anturi-toimii/>

Smith, C. L. (2009). *Basic Process Measurements*. John Wiley & Sons Inc.

Sundial a (n.d.). *Resol DeltaSol MX*. Haettu 9.11.2016 osoitteesta <http://www.sundial.fi/resol-deltasol-p-330.html>

Suntekno b (n.d.). *Aurinkopaneelit*. Haettu 25.9.2016 osoitteesta <http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>

Sundial c (n.d.). *Sundial SFH-300 - Hybridikeräin*. Haettu 8.11.2016 osoitteesta <http://www.sundial.fi/sundial-hybridikerin-p-54.html>

Säätötuli a (n.d.). *Tehontarve*. Haettu 7.11.2016 osoitteesta http://www.saatotuli.fi/tmp_saatotuli2010_site_0.asp?sua=2&lang=1&s=194

Säätötuli b (n.d.). *Handy Strong*. Haettu 8.11.2016 osoitteesta <http://www.saatotuli.fi/product.asp?sua=2&lang=1&s=165&nav=7001001>

Värjä, P., Mikkola, J-M. 2009. *Uusi kiinteistöautomaatio*. Cadnet Oy. Korian kirjapaino. Painos 9.

Wexon a (n.d.). *Magneettiventtiilit L113 Sirai*. Haettu 8.11.2016 osoitteesta <http://www.wexon.fi/tuotteet/venttiilit/magneettiventtiilit/2-tie-magneettiventtiilit-2-2/0-paine-erolle/magneettiventtiilit-l113-sirai/>

Wexon b (n.d.). *Pt-100 anturit*. Haettu 8.11.2016 osoitteesta <http://www.wexon.fi/tuotteet/lampotila/lampotila-anturit/pt100-anturit/>

Wexon c (2013). *Trafag Economic industrial pressure transmitter ECT*. Haettu 8.11.2016 osoitteesta http://www.wexon.fi/sites/default/files/pdf/trafag_ect.pdf

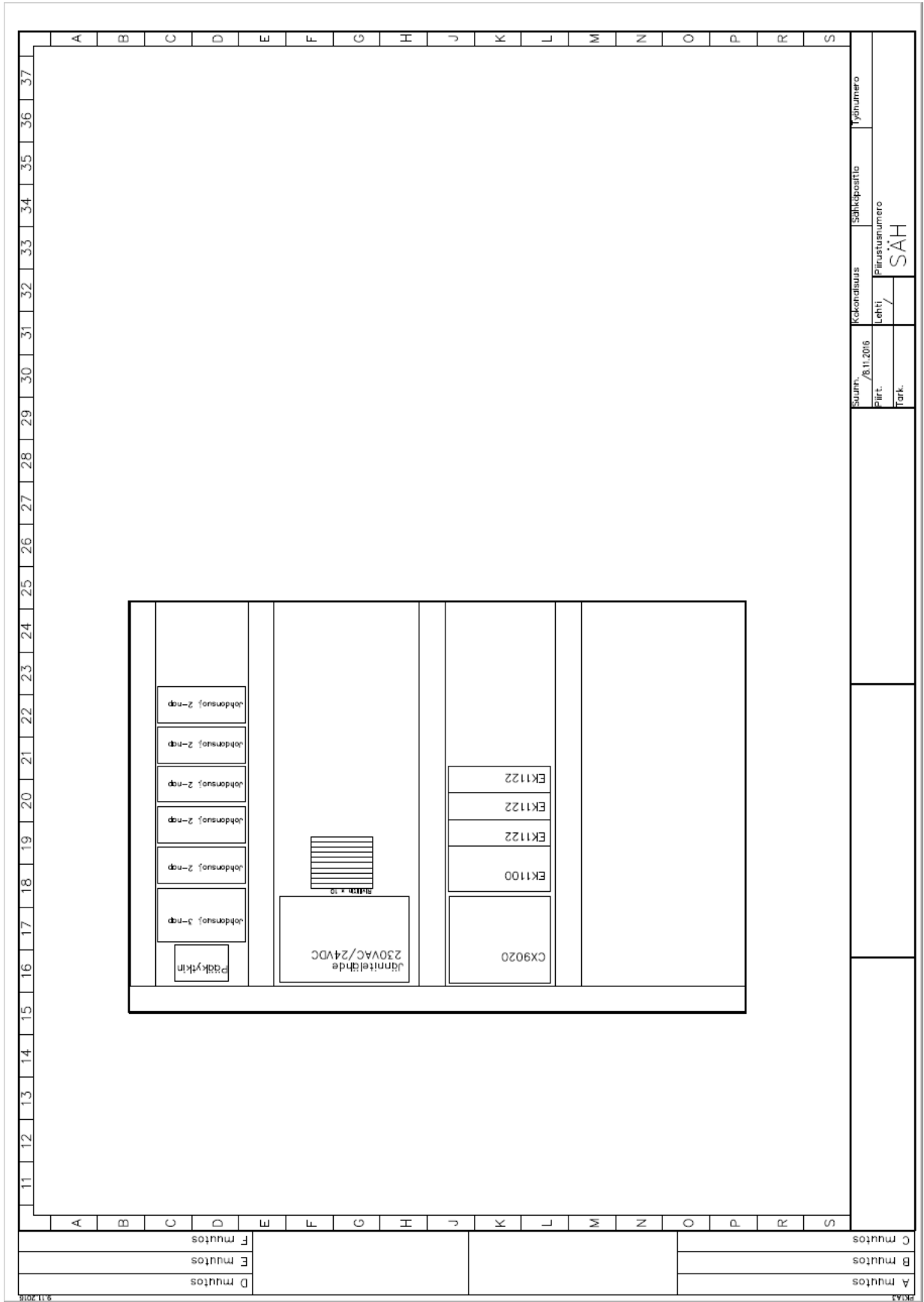
Wexon d (2015). *Submersible pressure transmitter*. Haettu 8.11.2016 osoitteesta http://www.wexon.fi/sites/default/files/pdf/h72328f_en_8438_ecl_submersible_pressure_transmitter-1.pdf

Wilo (n.d.). Haettu 8.11.2016 osoitteesta <http://productfinder.wilo.com/fi/fi/c00000049000165be00020023/product.html#tab=1>

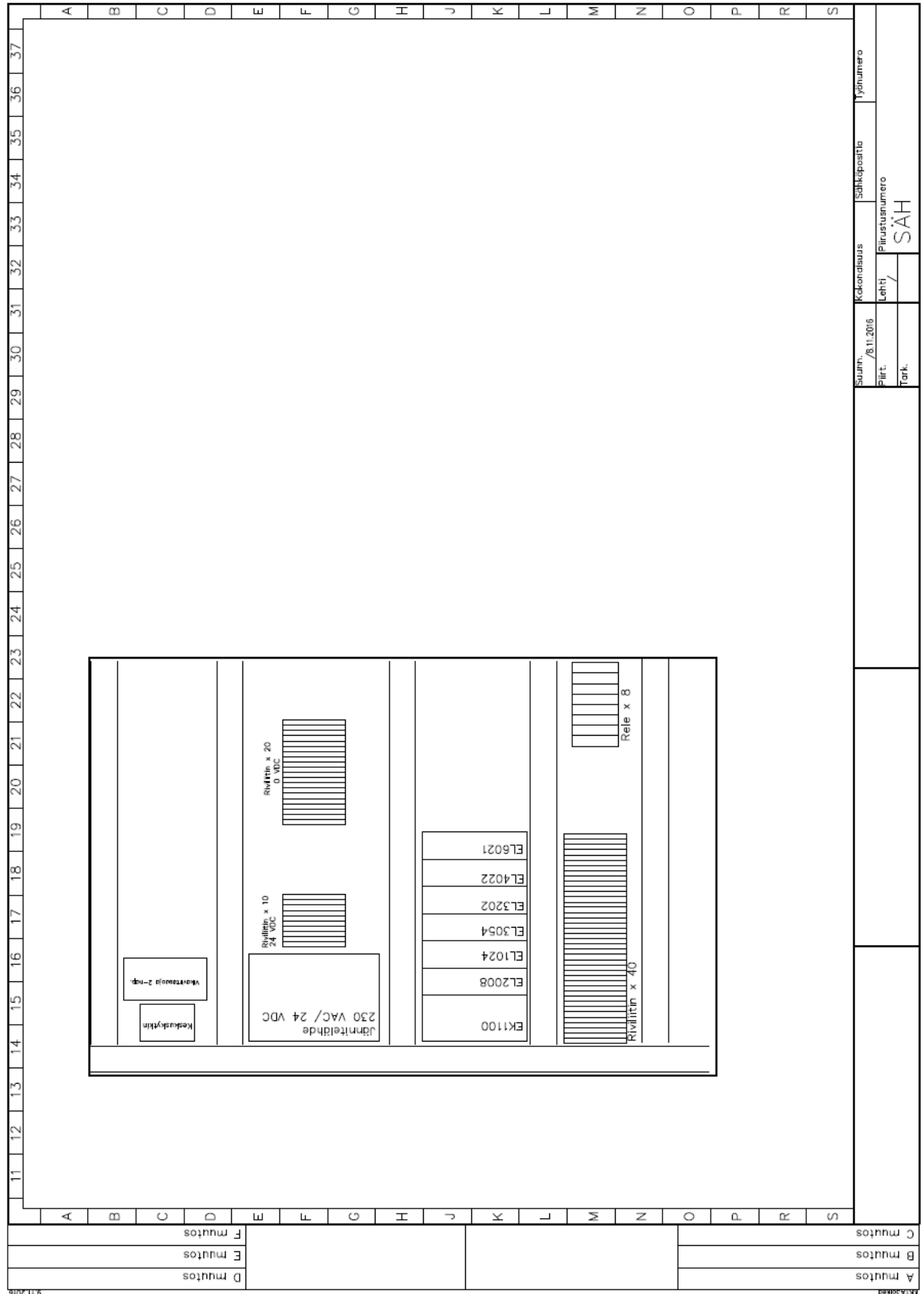
Öljyalan palvelukeskus (n.d.). *Öljylämmitysjärjestelmän energiatehokkuus*. Haettu 7.11.2016 osoitteesta <http://www.oljylammitys.fi/energiatehokkuus/oljylammitysjarjestelman-energiatehokkuus>

Liite 1

Pääkeskuksen layout

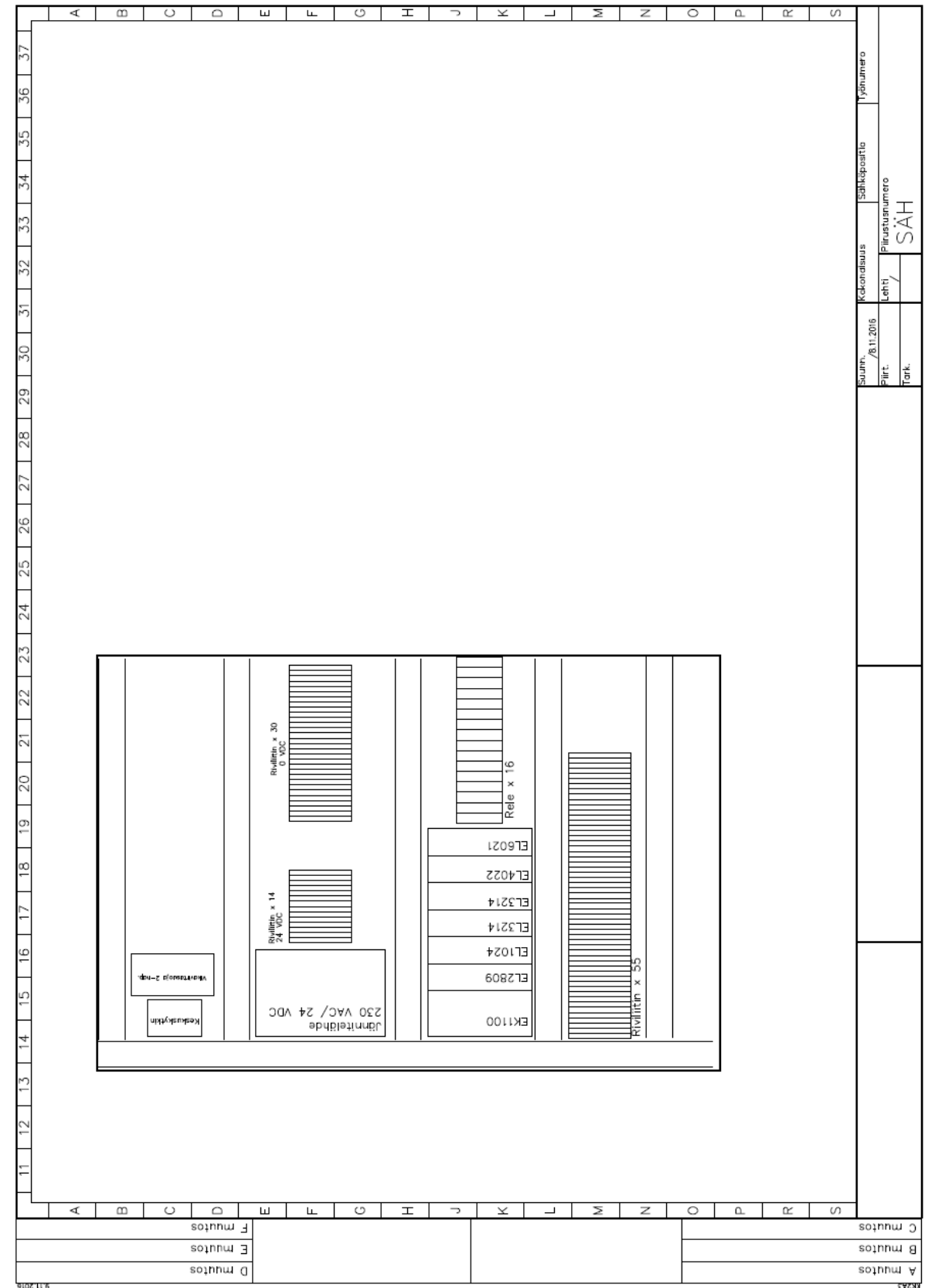


Ohjauskeskus 1 layout



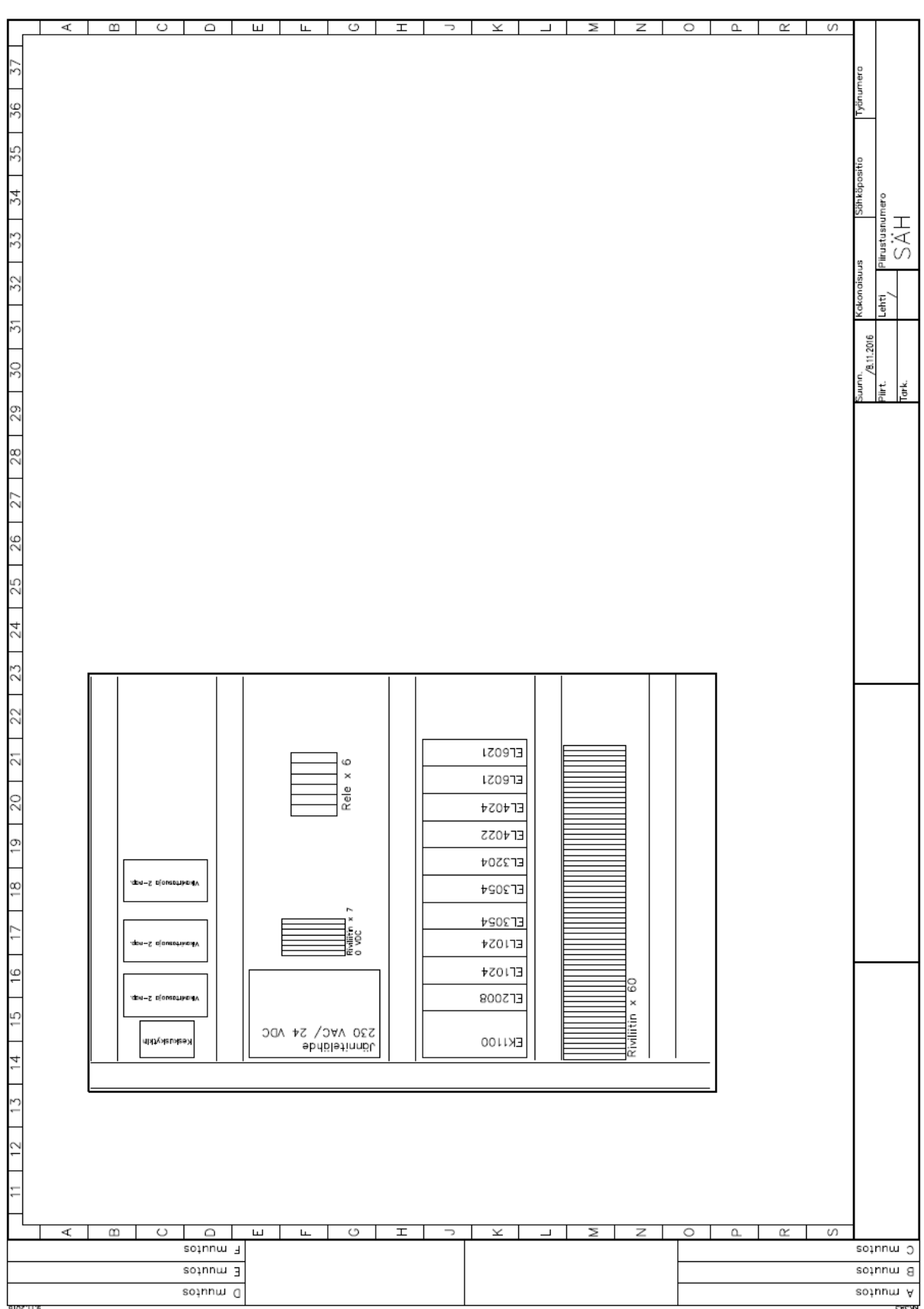
Liite 3

Ohjauskeskus 2 layout

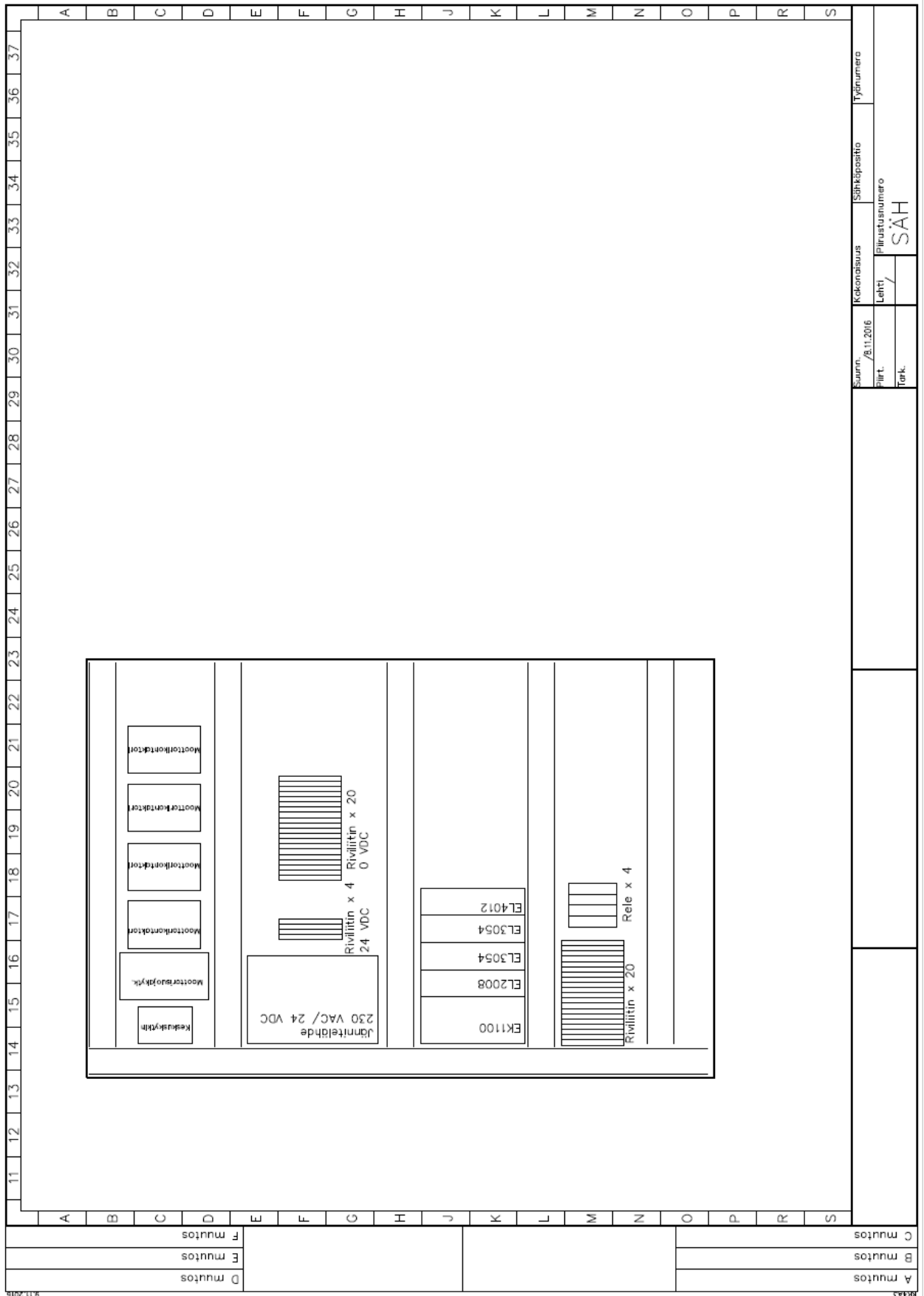


Liite 4

Ohjauskeskus 3 layout



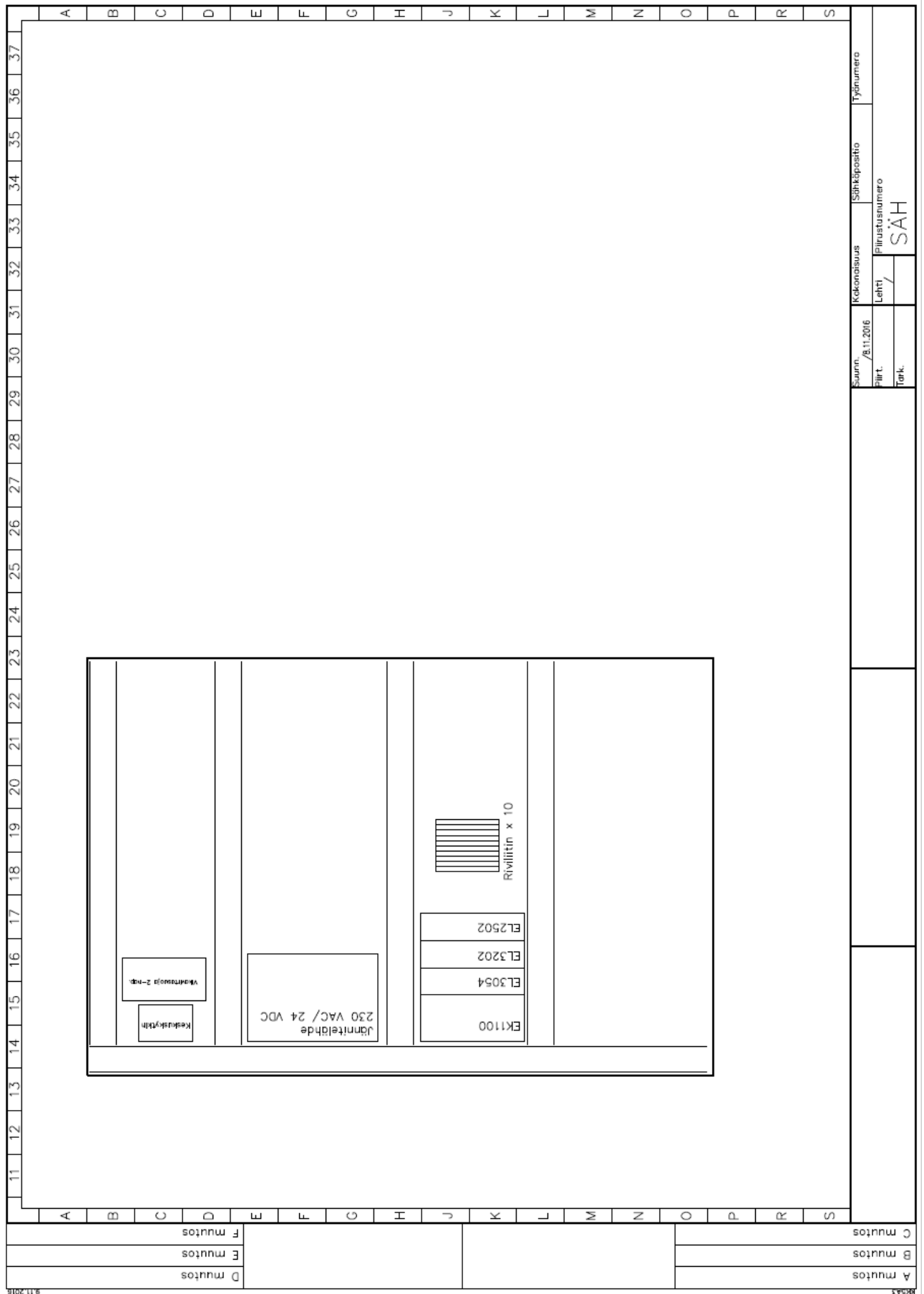
Ohjauskeskus 4 layout



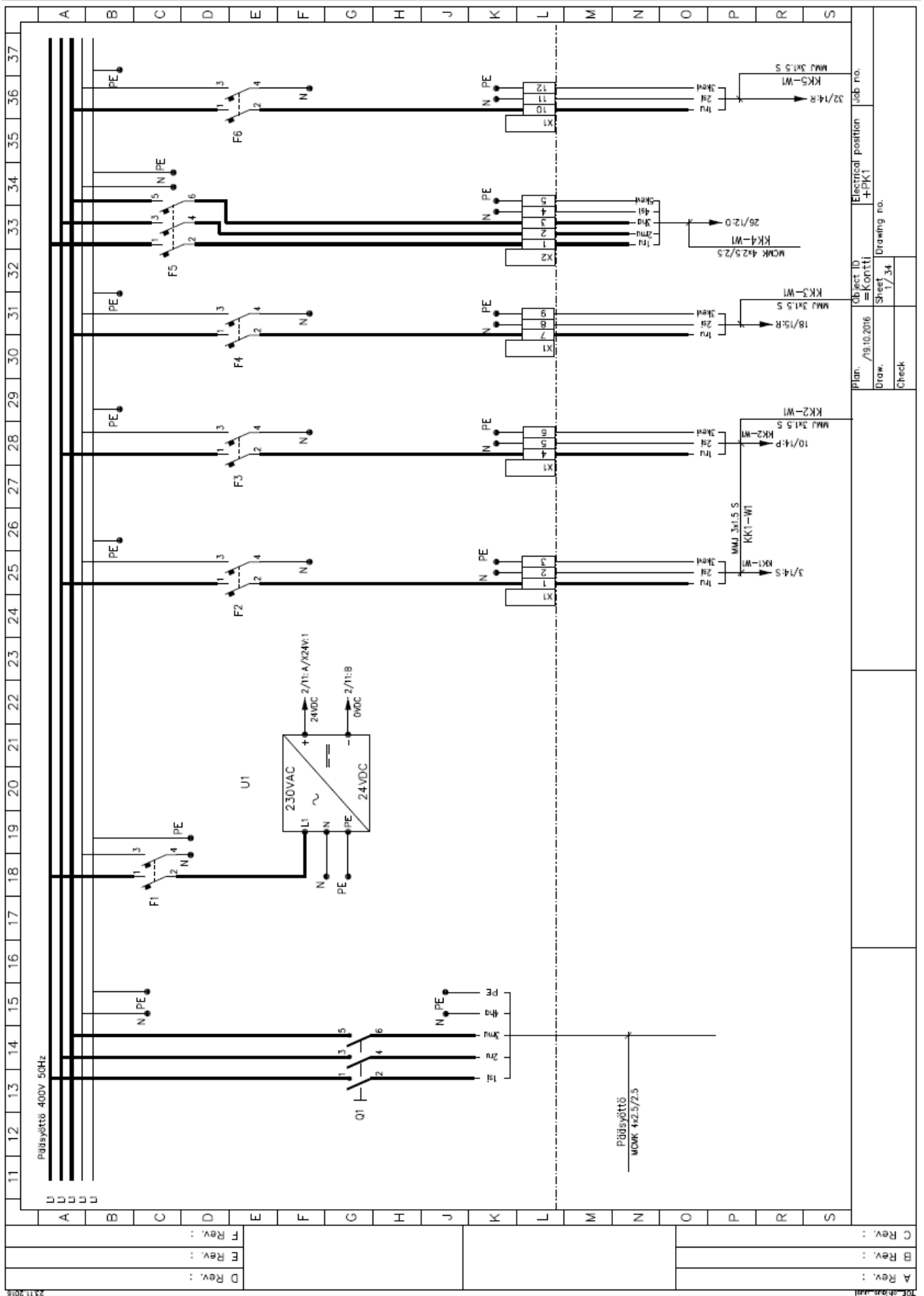
9.11.2016

RK43

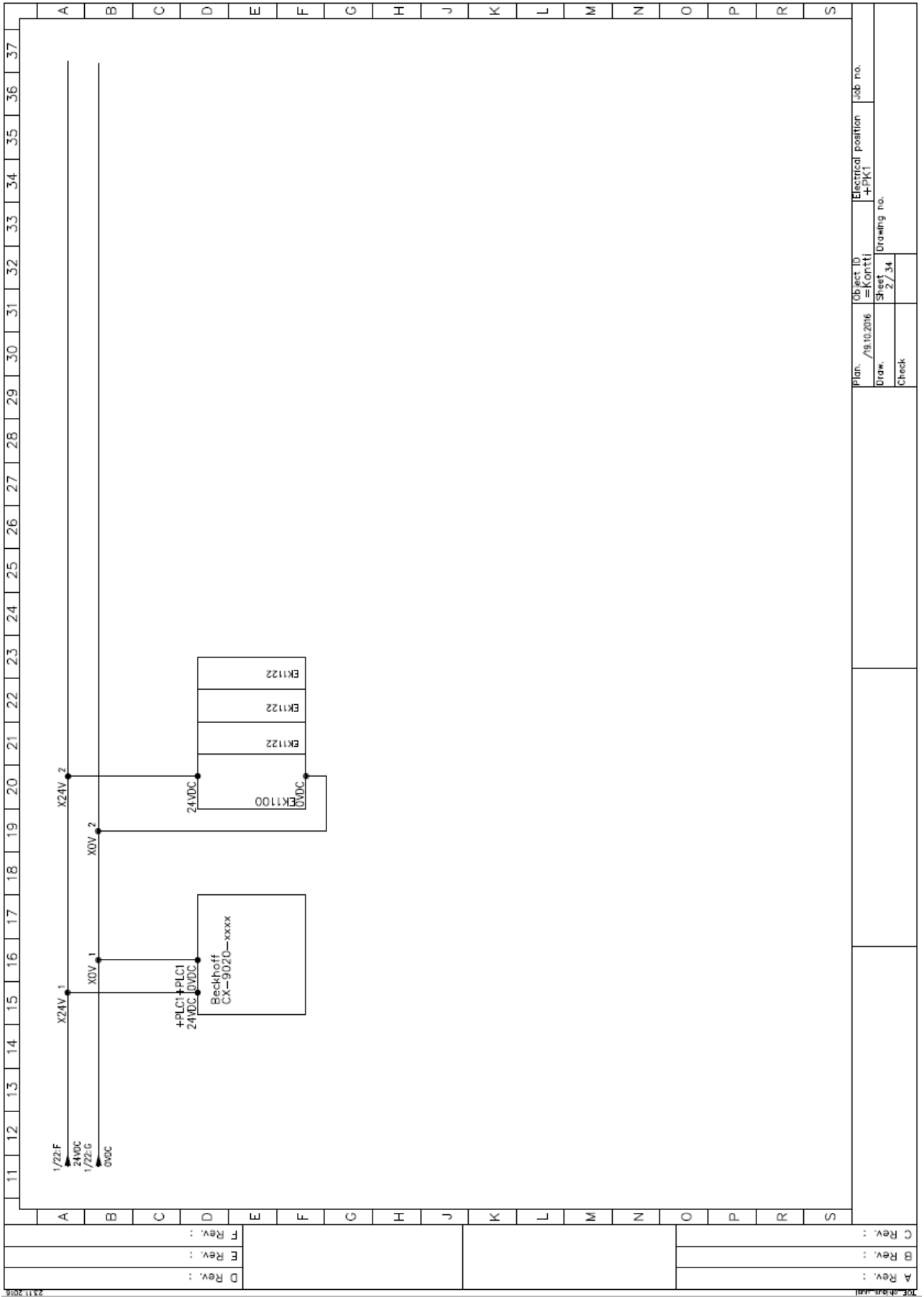
Ohjauskeskus 5 layout



Pääkeskuksen johdotuskaaviot



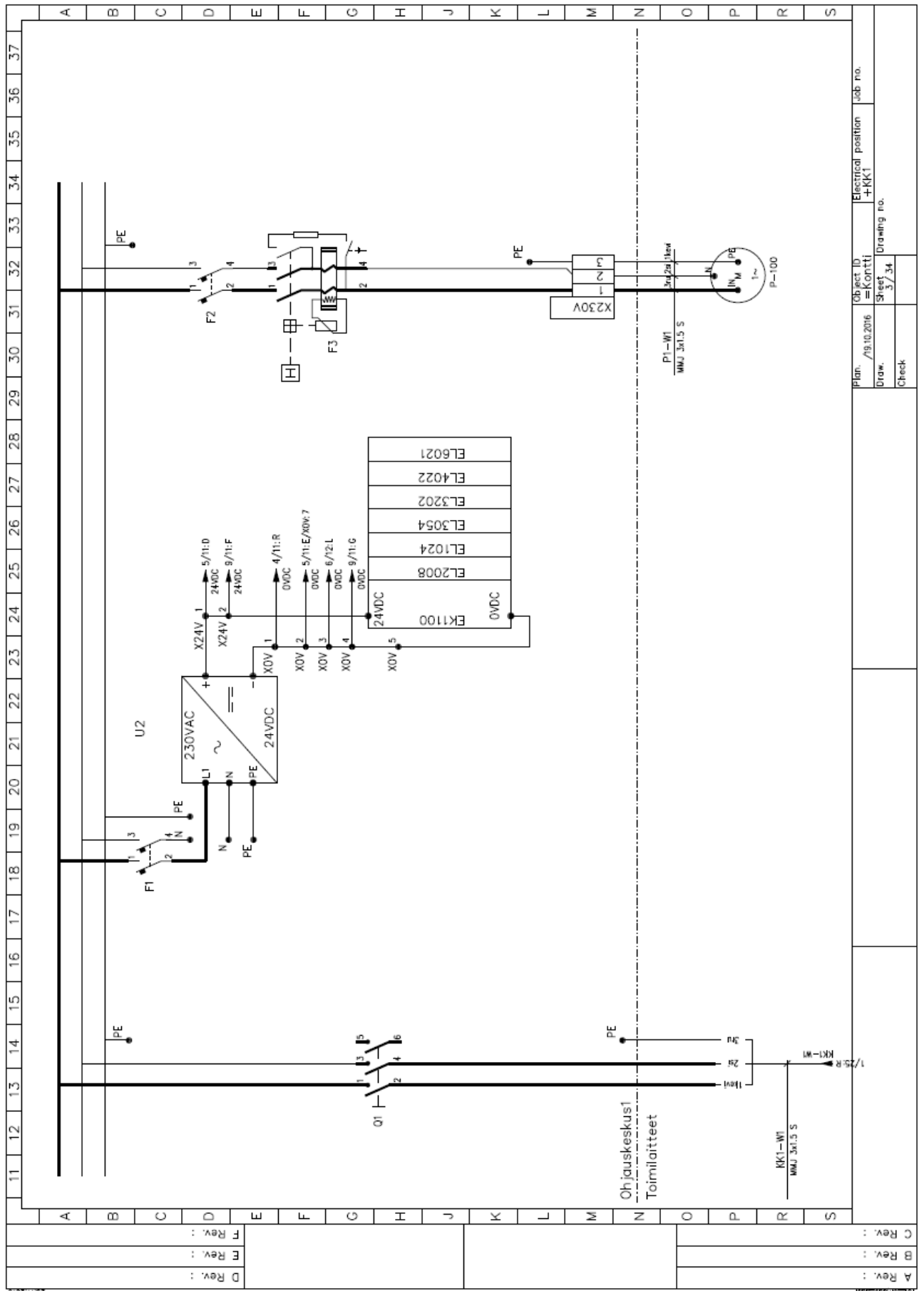
D Rev. :		E Rev. :		F Rev. :		A Rev. :		B Rev. :		C Rev. :	



A Rev. :	
B Rev. :	
C Rev. :	
D Rev. :	
E Rev. :	
F Rev. :	

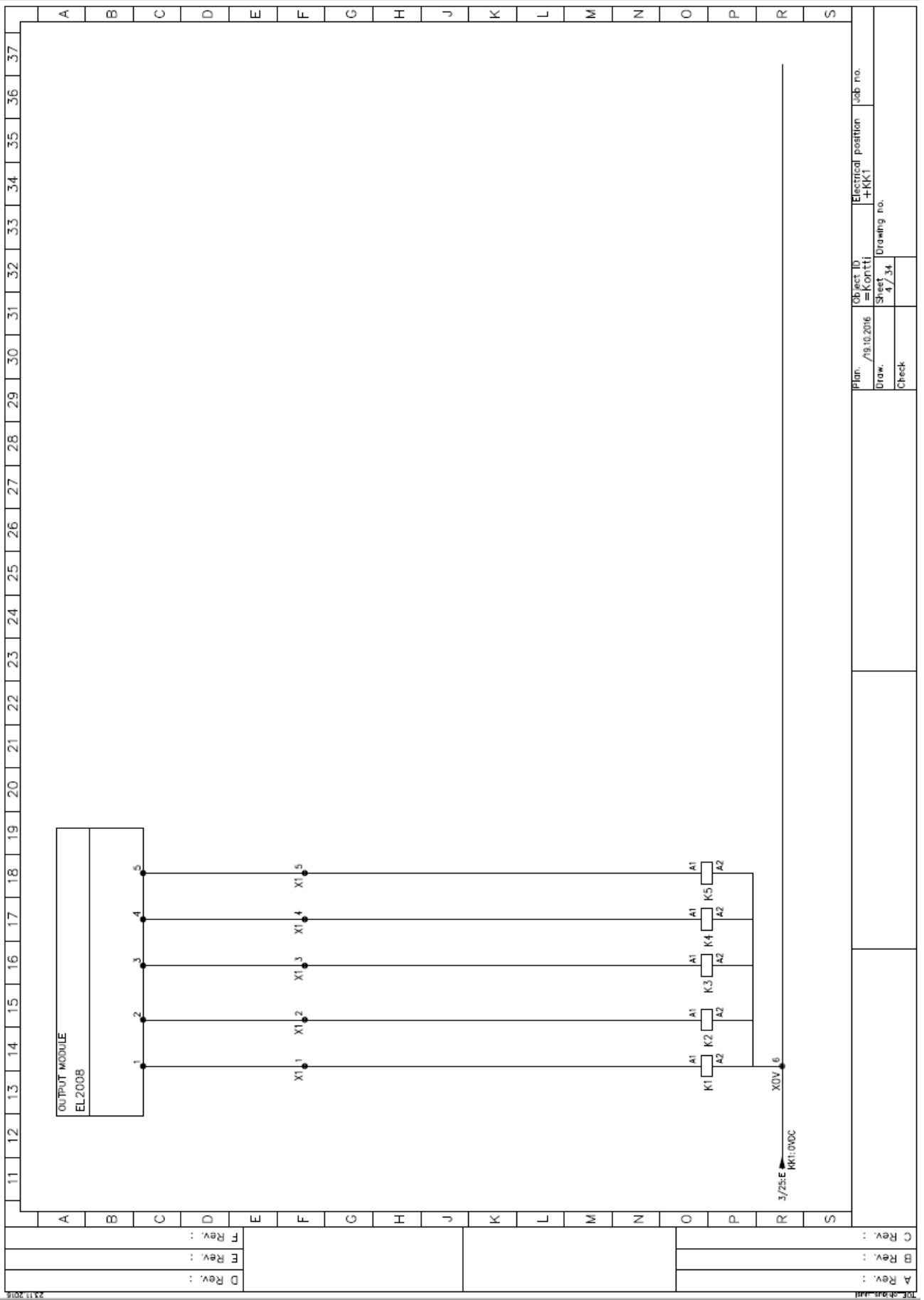
Plan. / 19.10.2016	Object ID	Electrical position	Job no.
Draw. / Shey	==Kontti	+PK1	
Check	2, 34	Drawing no.	

Ohjauskeskus 1 johdotuskaaviot



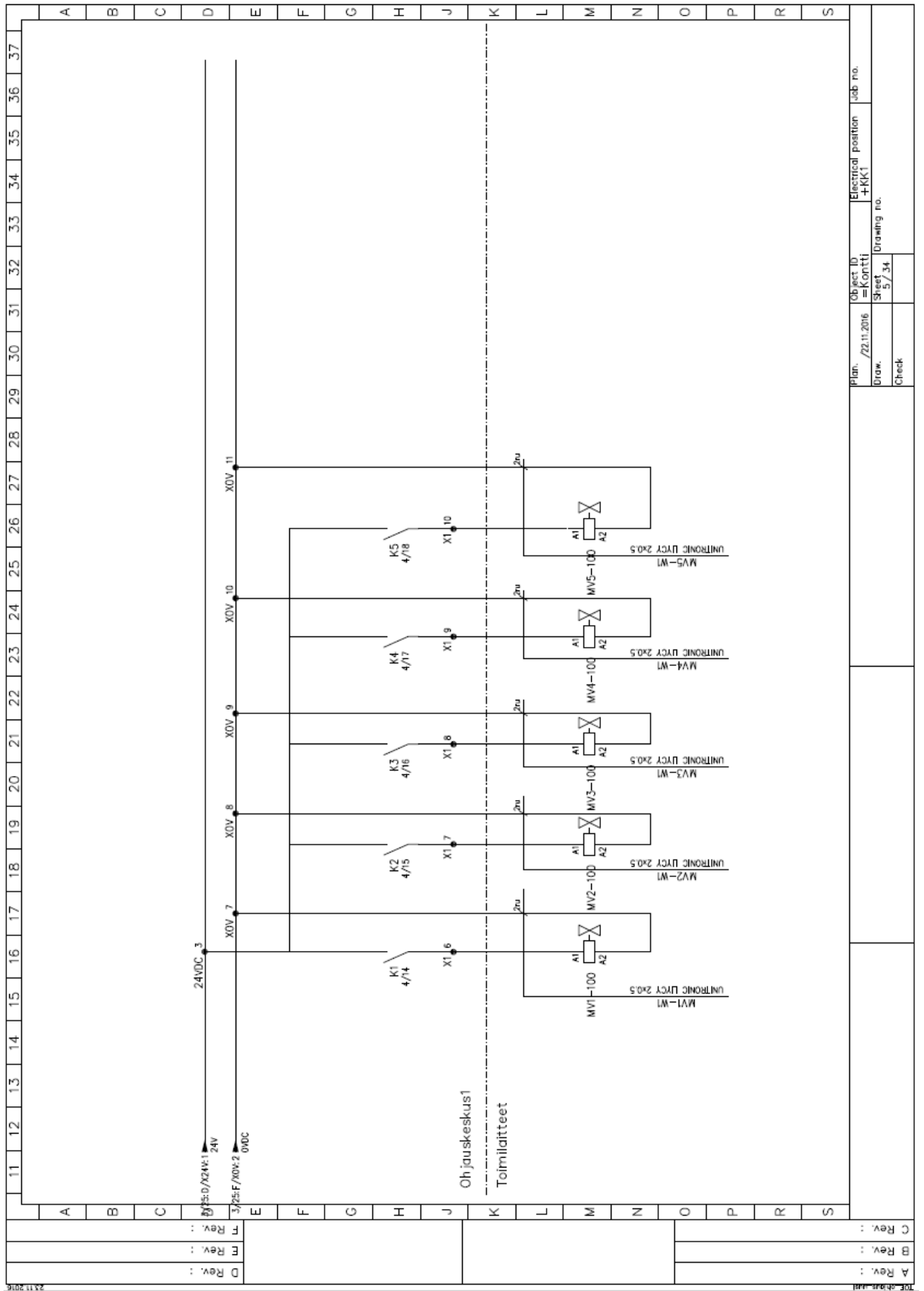
A Rev. :	
B Rev. :	
C Rev. :	
D Rev. :	
E Rev. :	
F Rev. :	

Object ID	Job no.
=Kontti	
Electrical position	+KK1
Plan. /19.10.2016	
Draw. /3/34	
Sheet	Drawing no.
3/34	
Check	



A Rev. :	
B Rev. :	
C Rev. :	
D Rev. :	
E Rev. :	
F Rev. :	

Plan. /19.10.2016	Object ID =Conti	Electrical position +KK1	Job no.
Draw.	Sheet 4/34	Drawing no.	
Check			

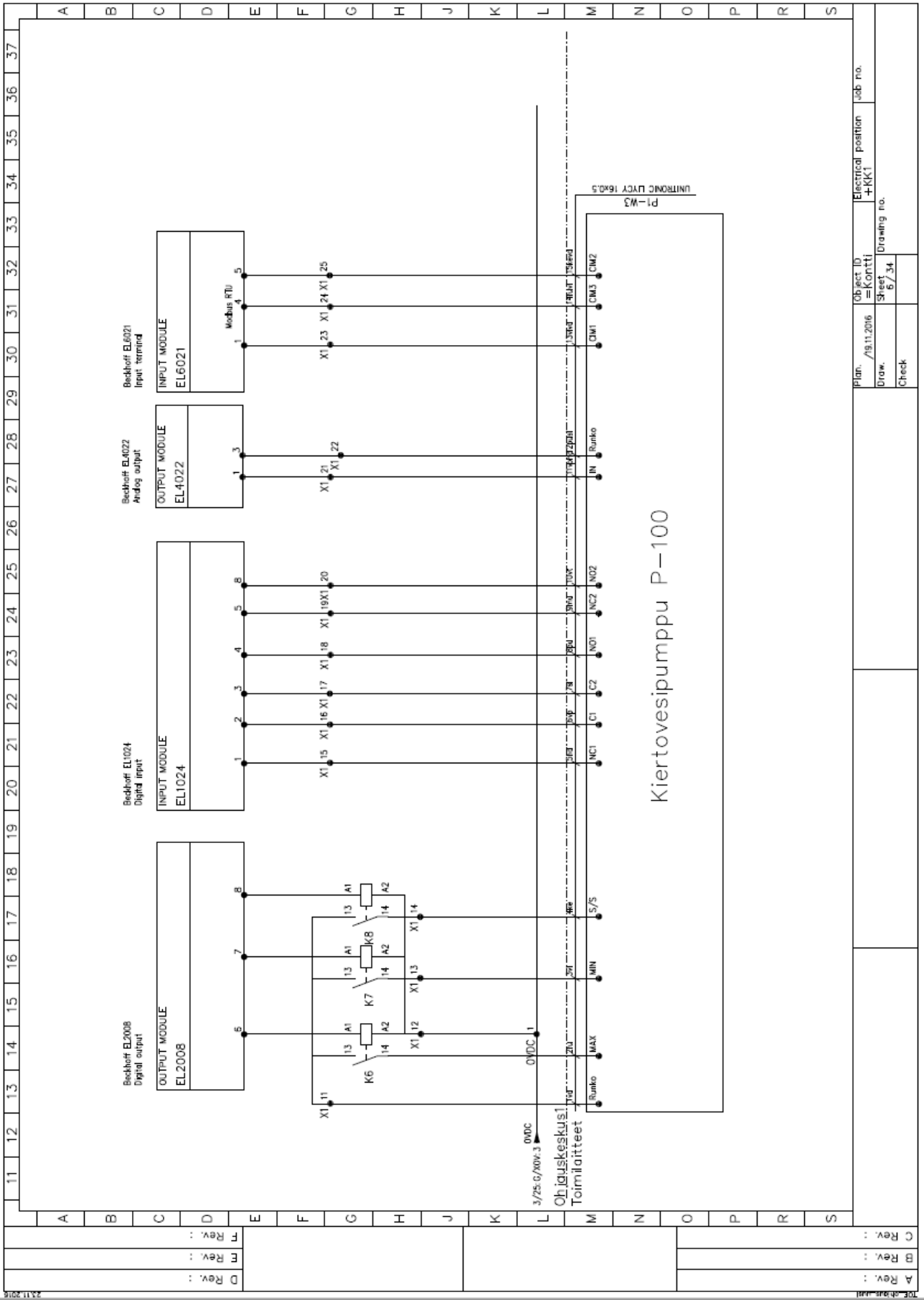


23.11.2016

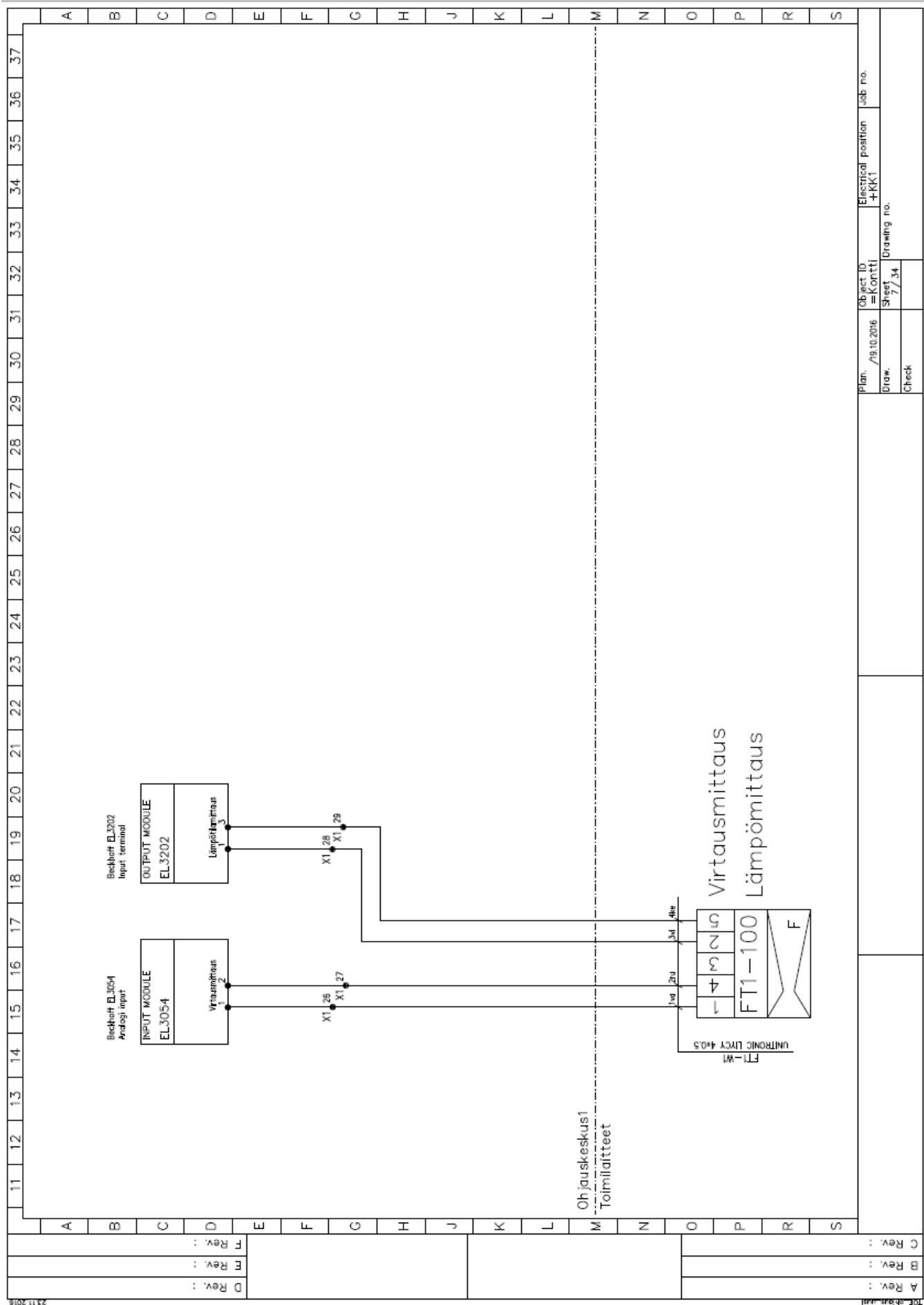
A Rev: ..
B Rev: ..
C Rev: ..
D Rev: ..
F Rev: ..

A Rev: ..
B Rev: ..
C Rev: ..

23.11.2016

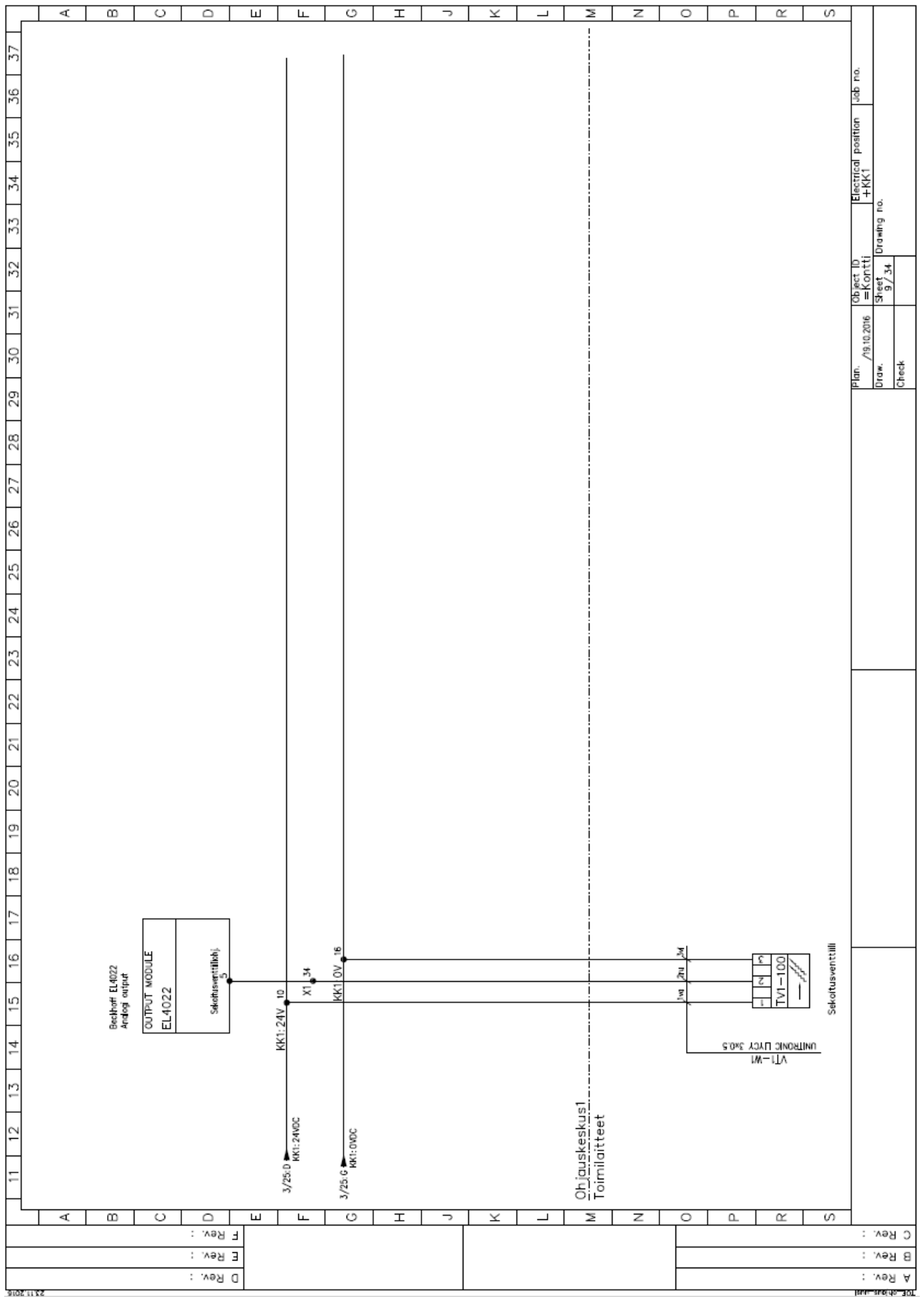


Object ID	Electrical position	Job no.
Plan. / 9.11.2016	+KK1	
Draw. / 6/34	Drawing no.	
Check		



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

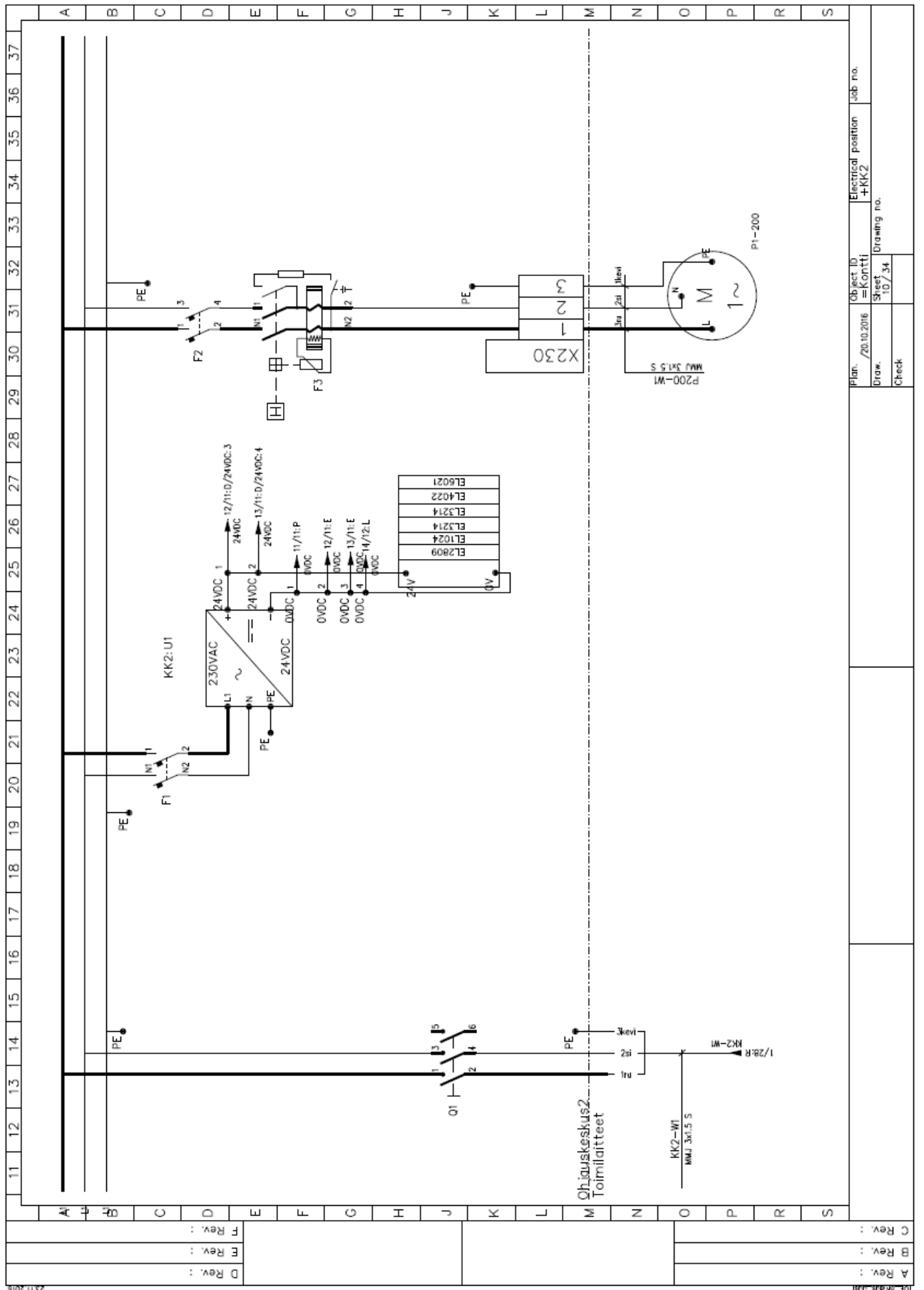
Plan. /19.10.2016	Object ID =Kontti	Electrical position +KK1	Job no.
Draw. /7/34	Sheet	Drawing no.	
Check			

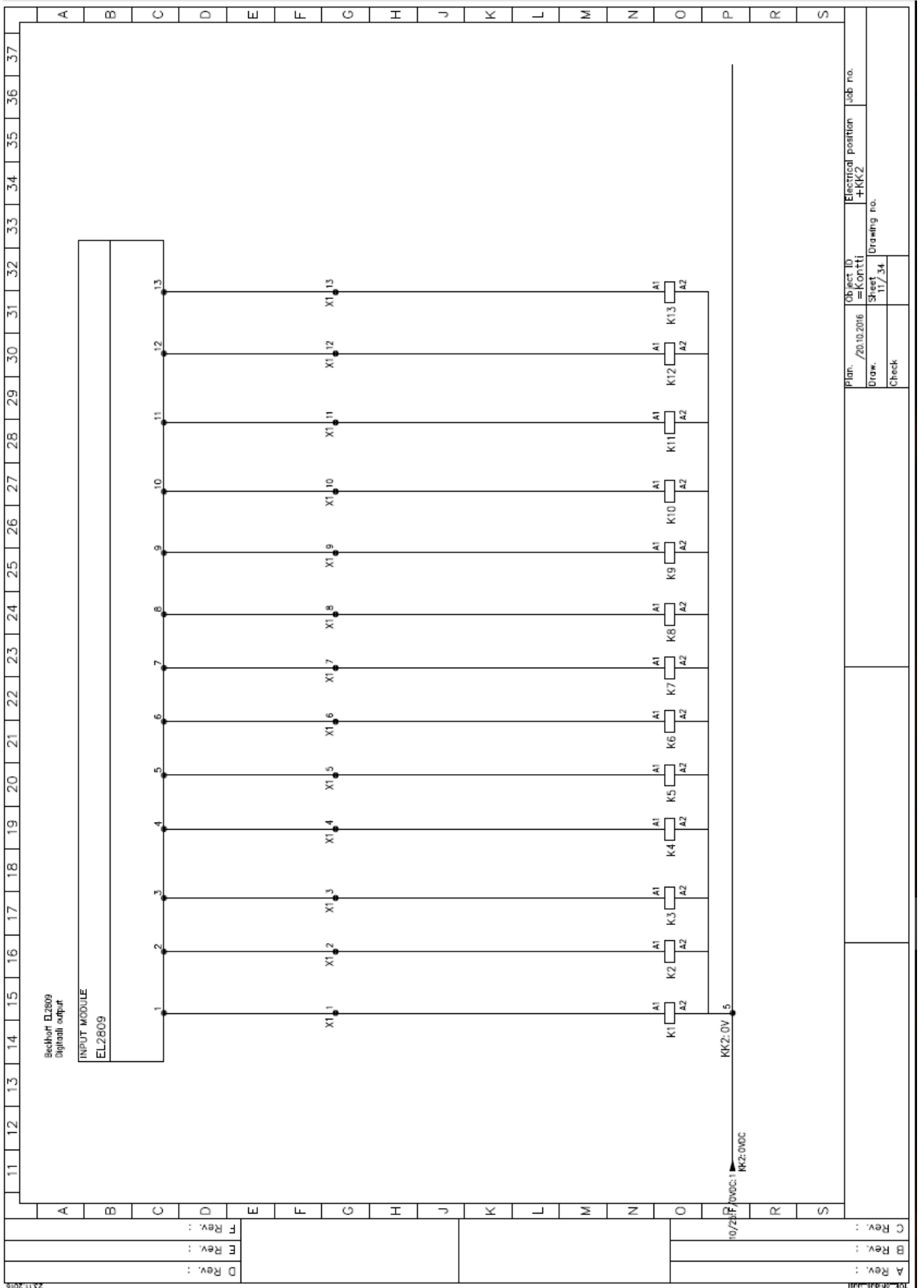


Rev. : A	Rev. : B	Rev. : C
Rev. : D	Rev. : E	Rev. : F

Plan: /19.10.2016	Object ID =Kontti	Electrical position +KK1	Job no.
Draw. Sheet 9/34	Drawing no.		
Check			

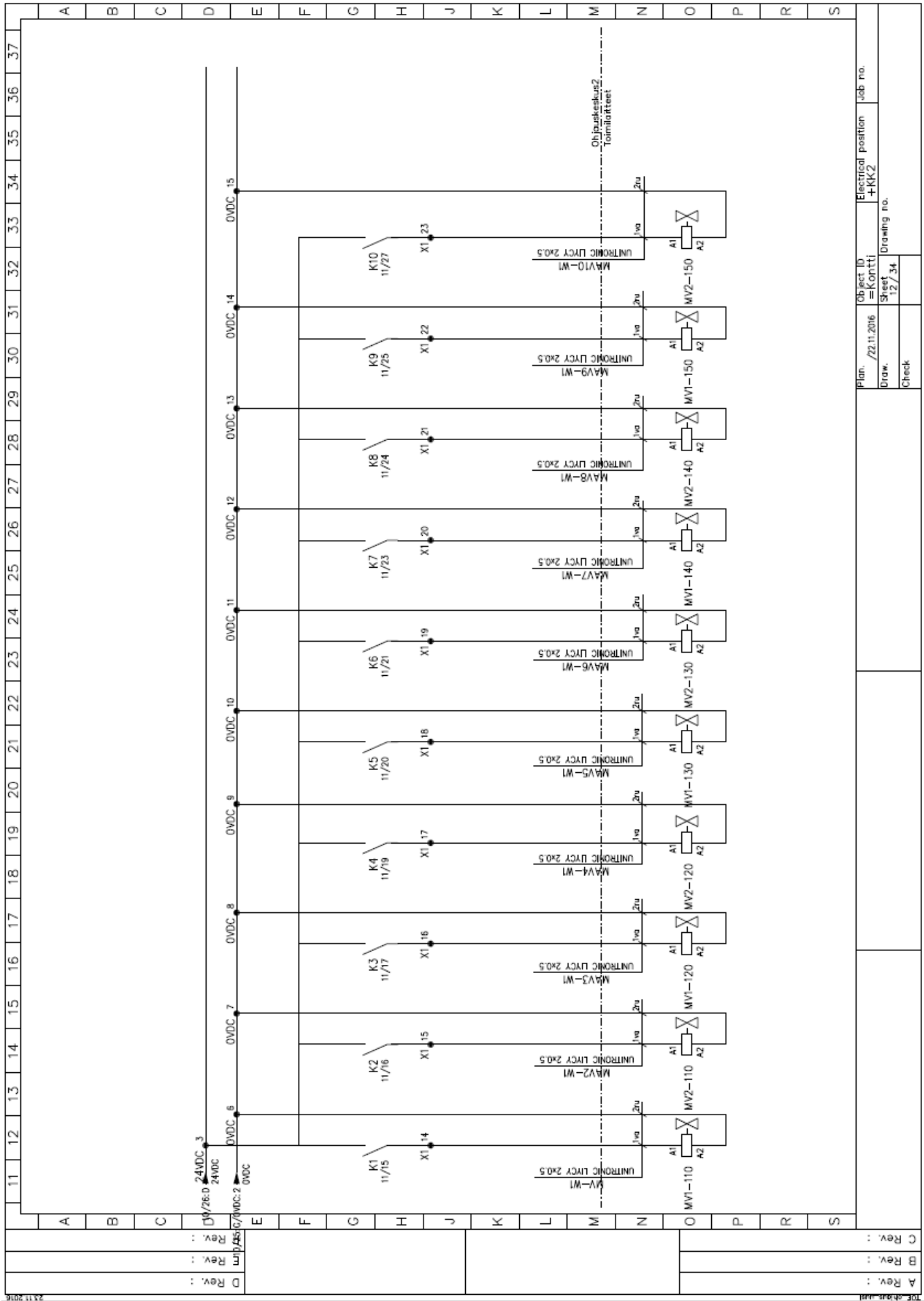
Ohjauskeskus 2 johdotuskaaviot



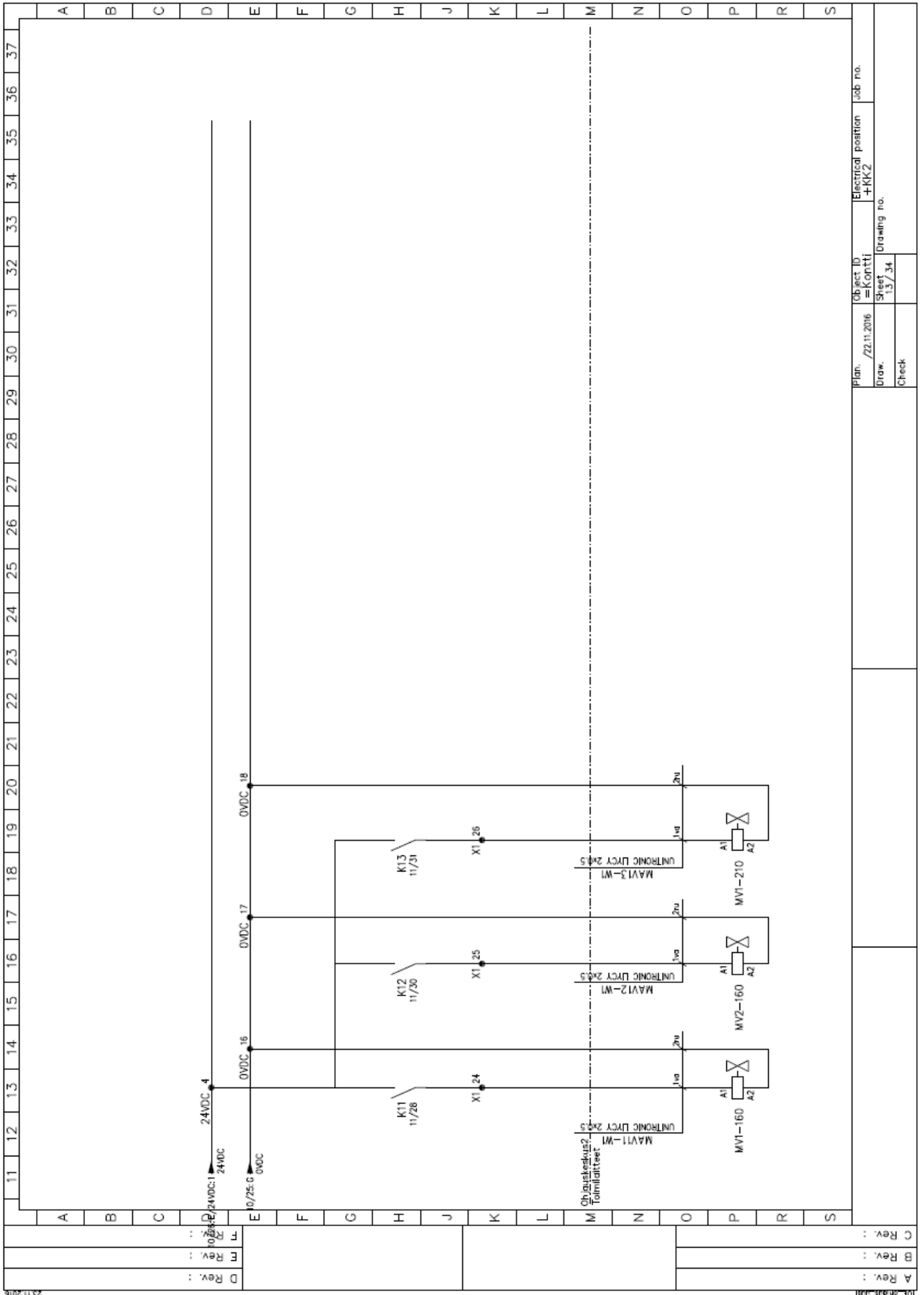


A Rev. :		Plan. /20.10.2016	Object ID =Kontti	Electrical position +KK2	Job no.
B Rev. :		Draw.	Sheet 11/ 34	Drawing no.	
C Rev. :		Check			

D Rev. :	
E Rev. :	
F Rev. :	

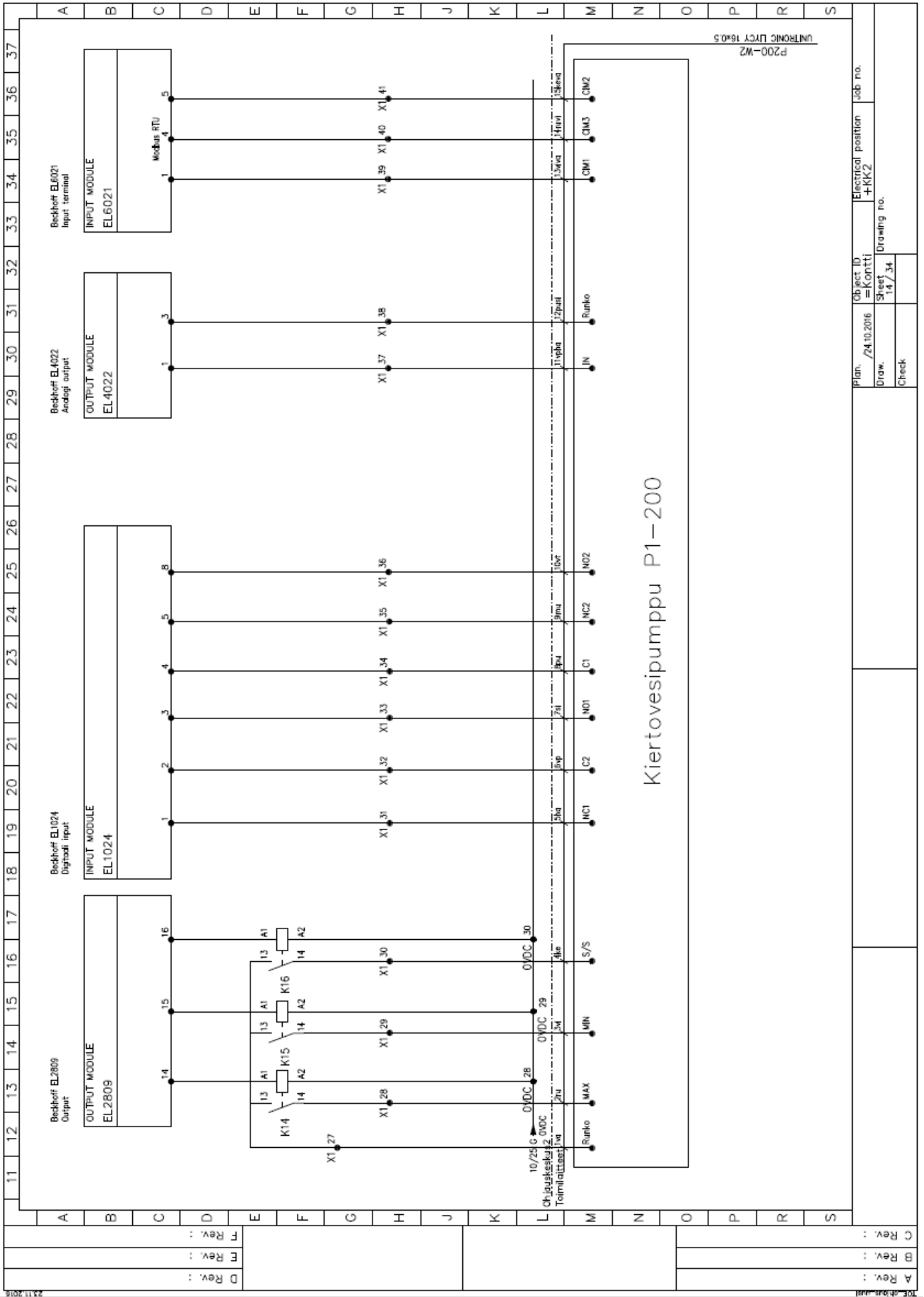


Rev. : D	Rev. : C	Rev. : B	Rev. : C
Plan. /22.11.2016 Object ID =Kontti Electrical position +KK2 Job no.		Drawing no. Sheet 12 / 34 Check	



A Rev :	
B Rev :	
C Rev :	

Plan. /23.11.2016	Object ID =Kortti	Electrical position +KK2	Job no.
Draw.	Sheet 13 / 34	Drawing no.	
Check			



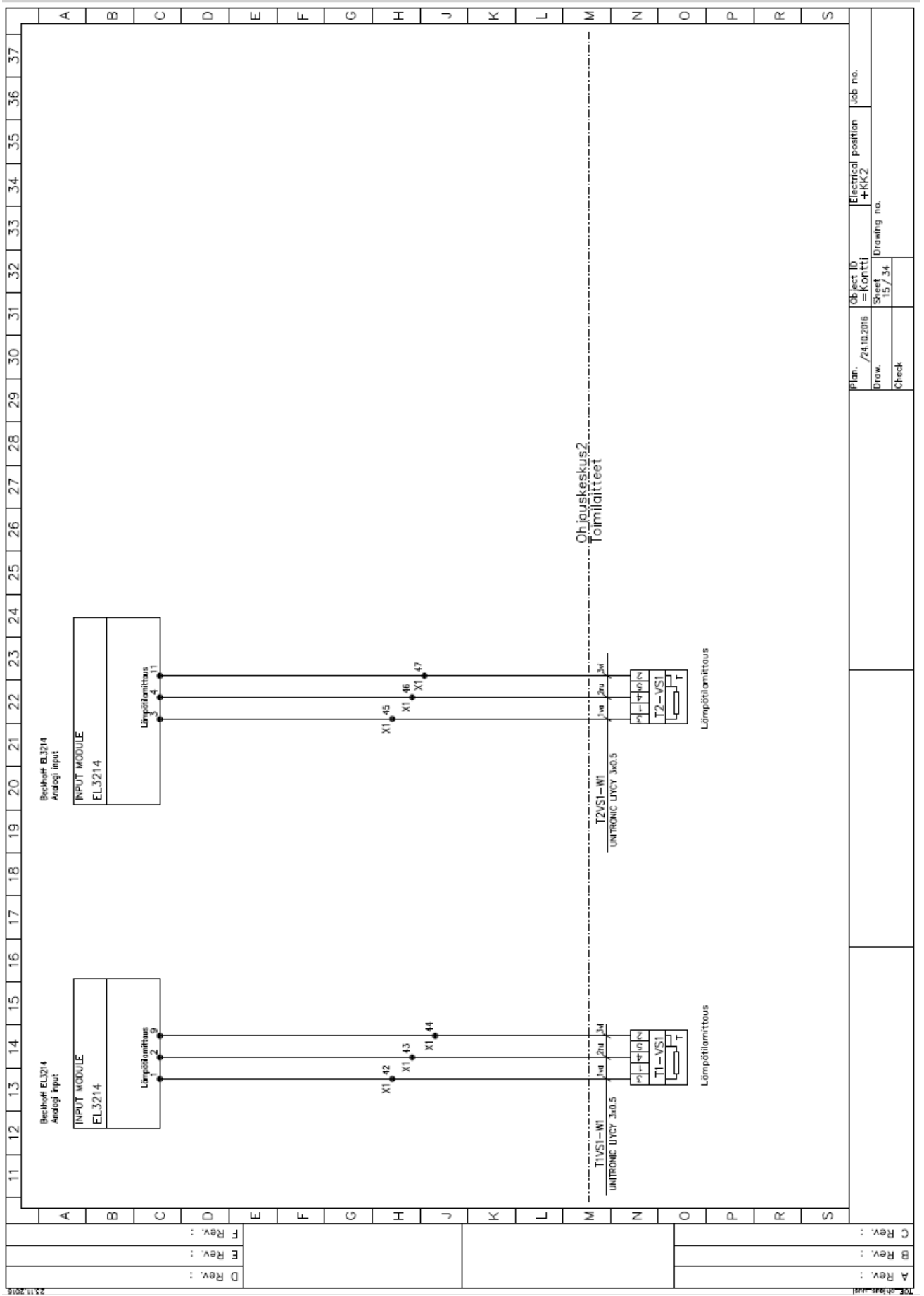
Kiertovesipumppu P1-200

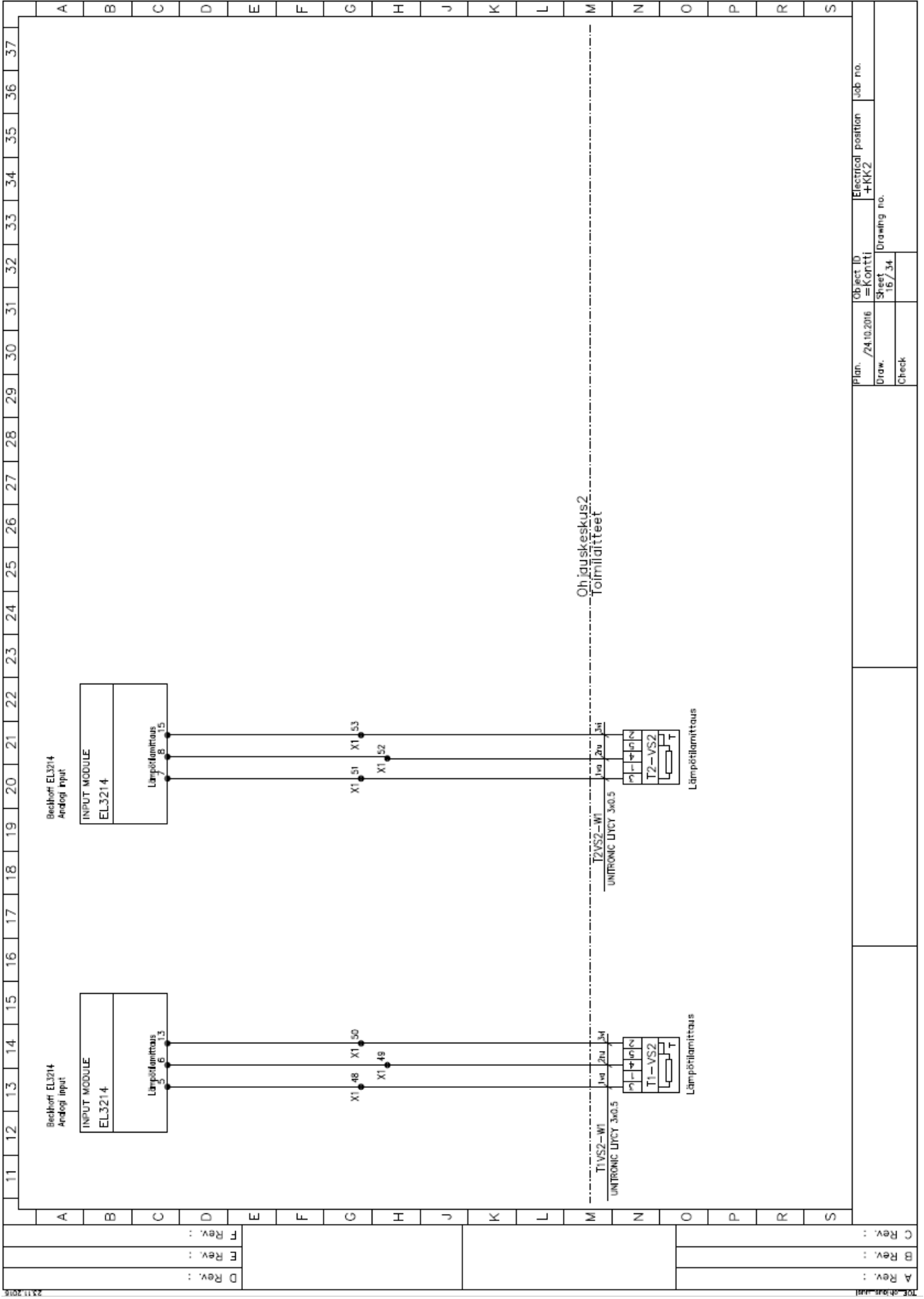
P200-W2
UNTRONIC ULYCY 16x0.5

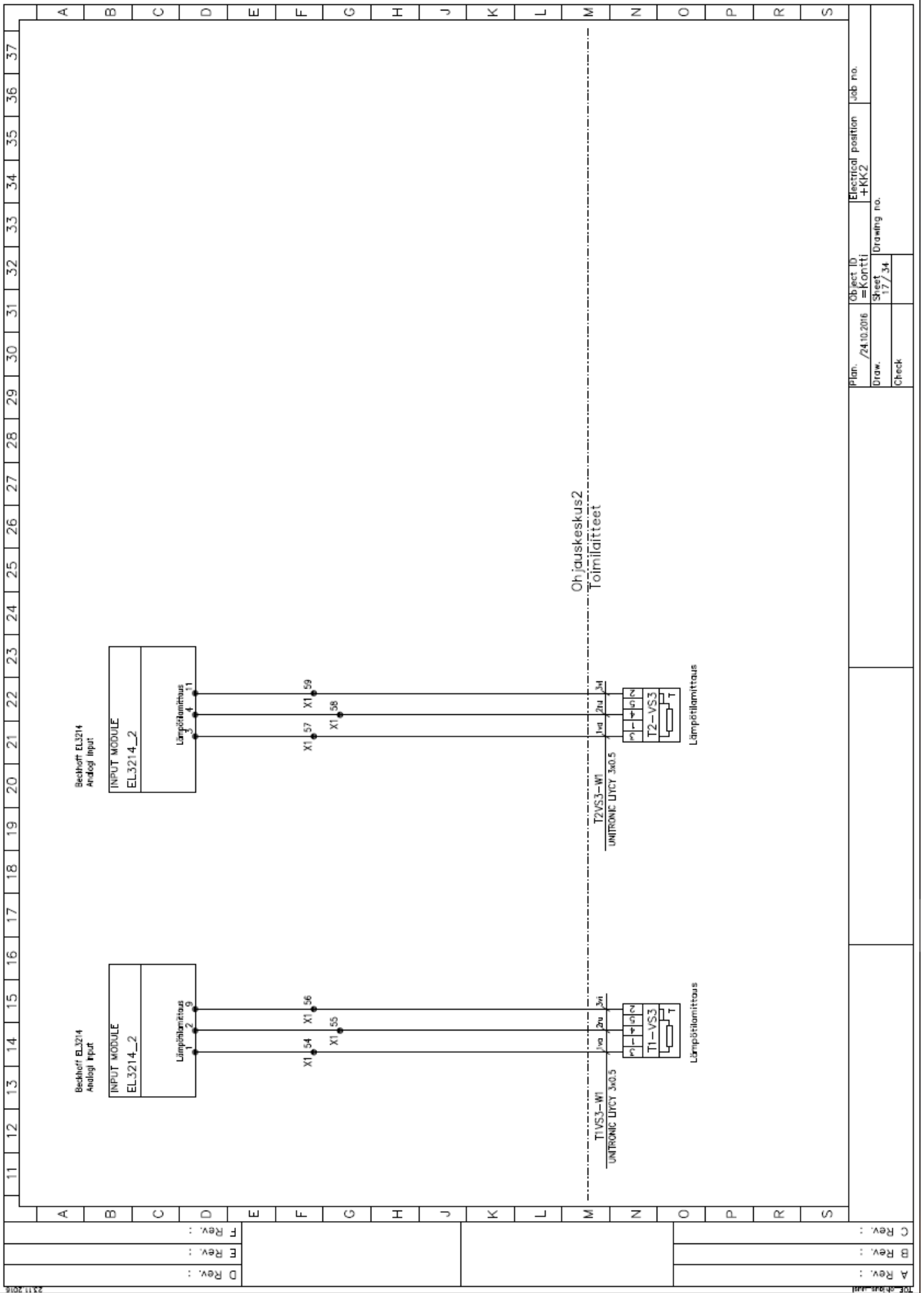
A Rev. :	
B Rev. :	
C Rev. :	

D Rev. :	
E Rev. :	
F Rev. :	

Plan. /24.10.2016	Object ID =Kontti	Electrical position	Job no.
Draw. 14 / 34		+KK2	
Check.		Drawing no.	



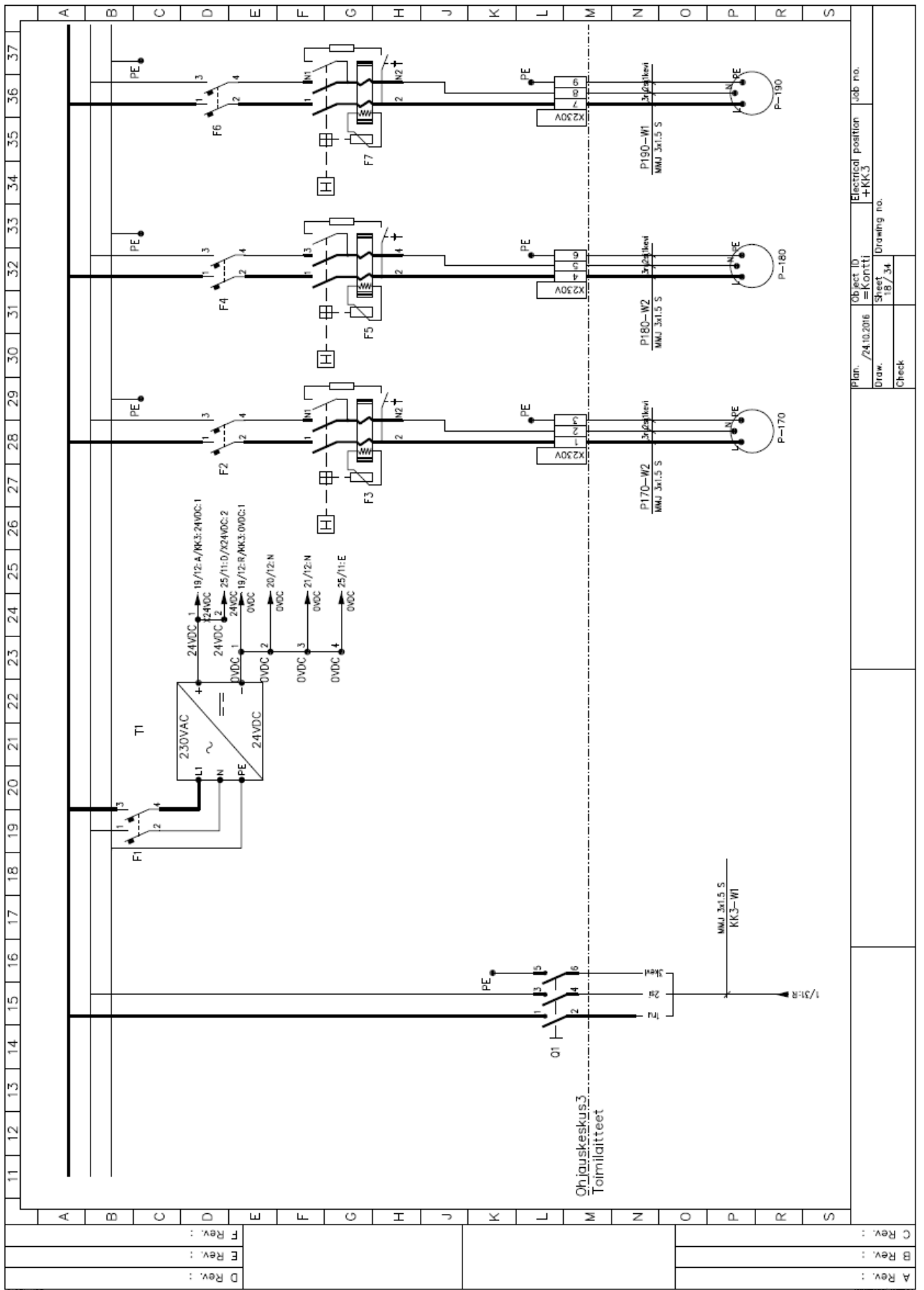


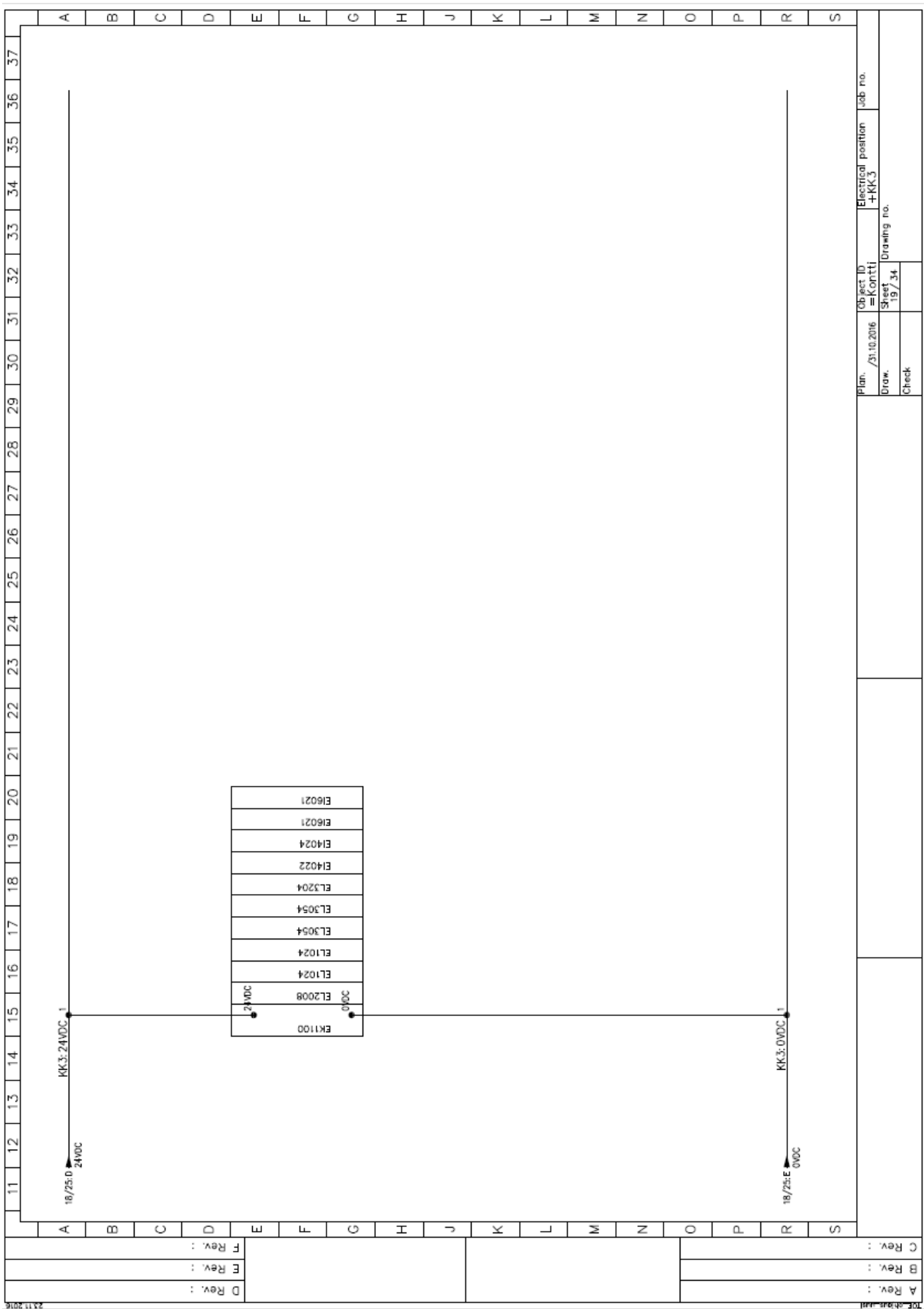


A Rev. :	
B Rev. :	
C Rev. :	

Plan. /24.10.2016	Object ID =Kortti	Electrical position +KK2	Job no.
Draw. 17/34	Sheet 17/34	Drawing no.	
Check			

Ohjaukskotelon 3 johdotuskaaviot

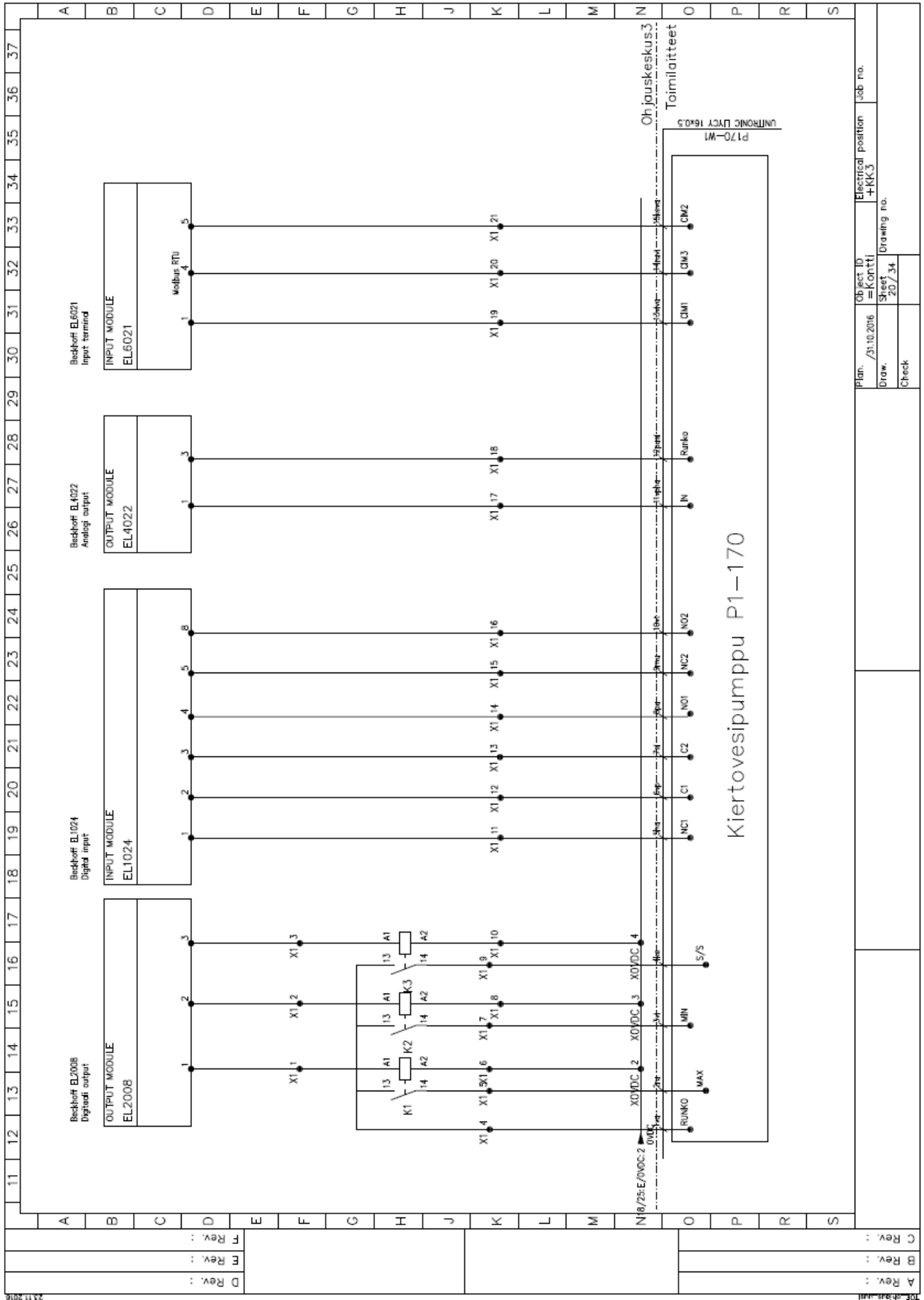




23.11.2016

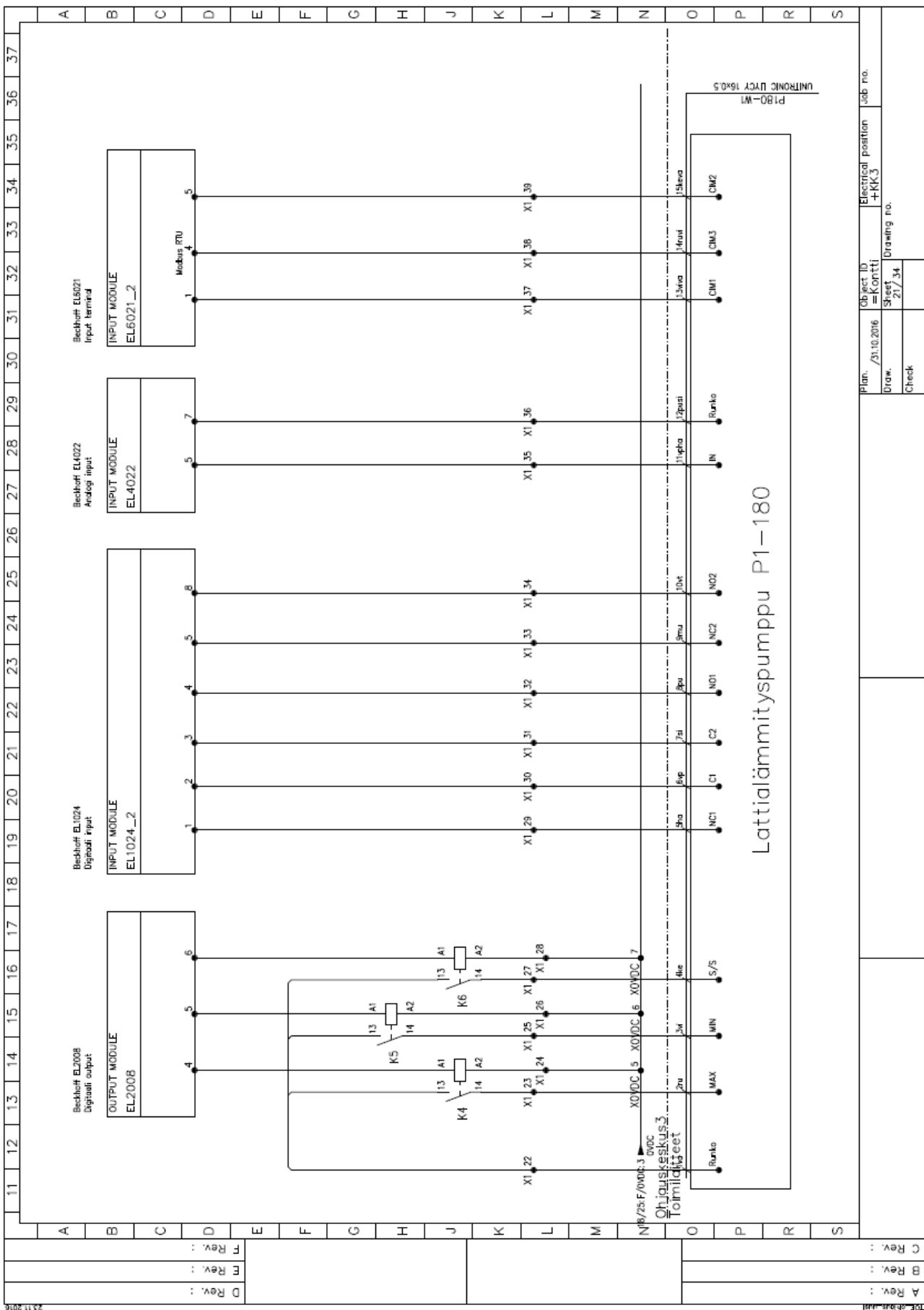
A Rev. :		C Rev. :	
B Rev. :		D Rev. :	
E Rev. :		F Rev. :	

Plan. /31.10.2016	Object ID =Kontti	Electrical position	Job no.
Draw. 19 / 34	Sheet 19 / 34	+KK3	
Check			



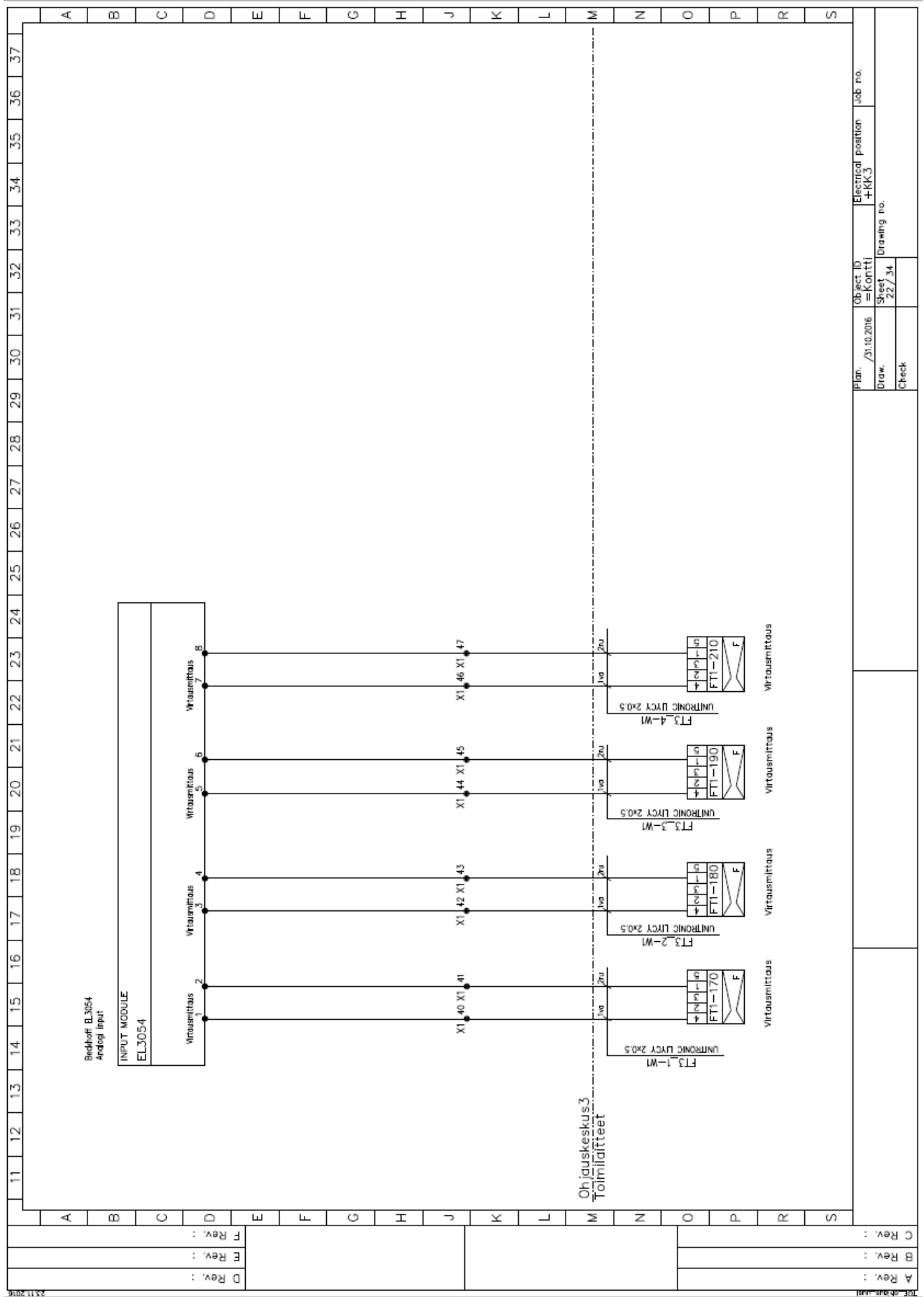
Kiertovesipumppu P1-170

A Rev. :		Plan. Object ID =Kontti	Electrical position +KKJ	Job no.
B Rev. :		Draw. /31.10.2016	Sheet 20/34	Drawing no.
C Rev. :		Check		



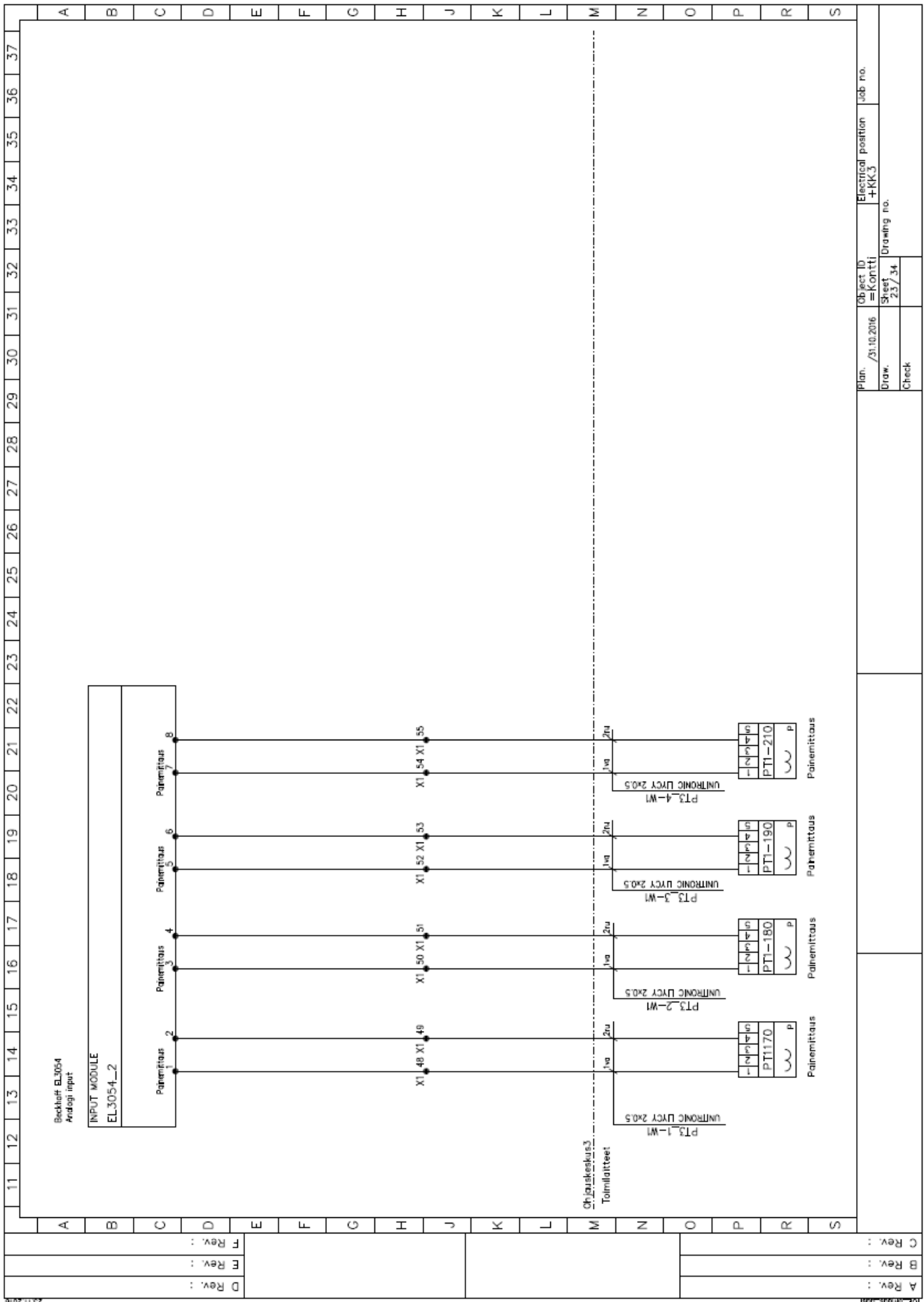
Lattialämmityspumppu P1-180

A Rev. :		B Rev. :		C Rev. :	
D Rev. :		E Rev. :		F Rev. :	
Plan. /31.10.2016		Object ID = Kontti		Electrical position +KK-3	
Draw. /21/34		Sheet 21/34		Drawing no.	
Check				Job no.	



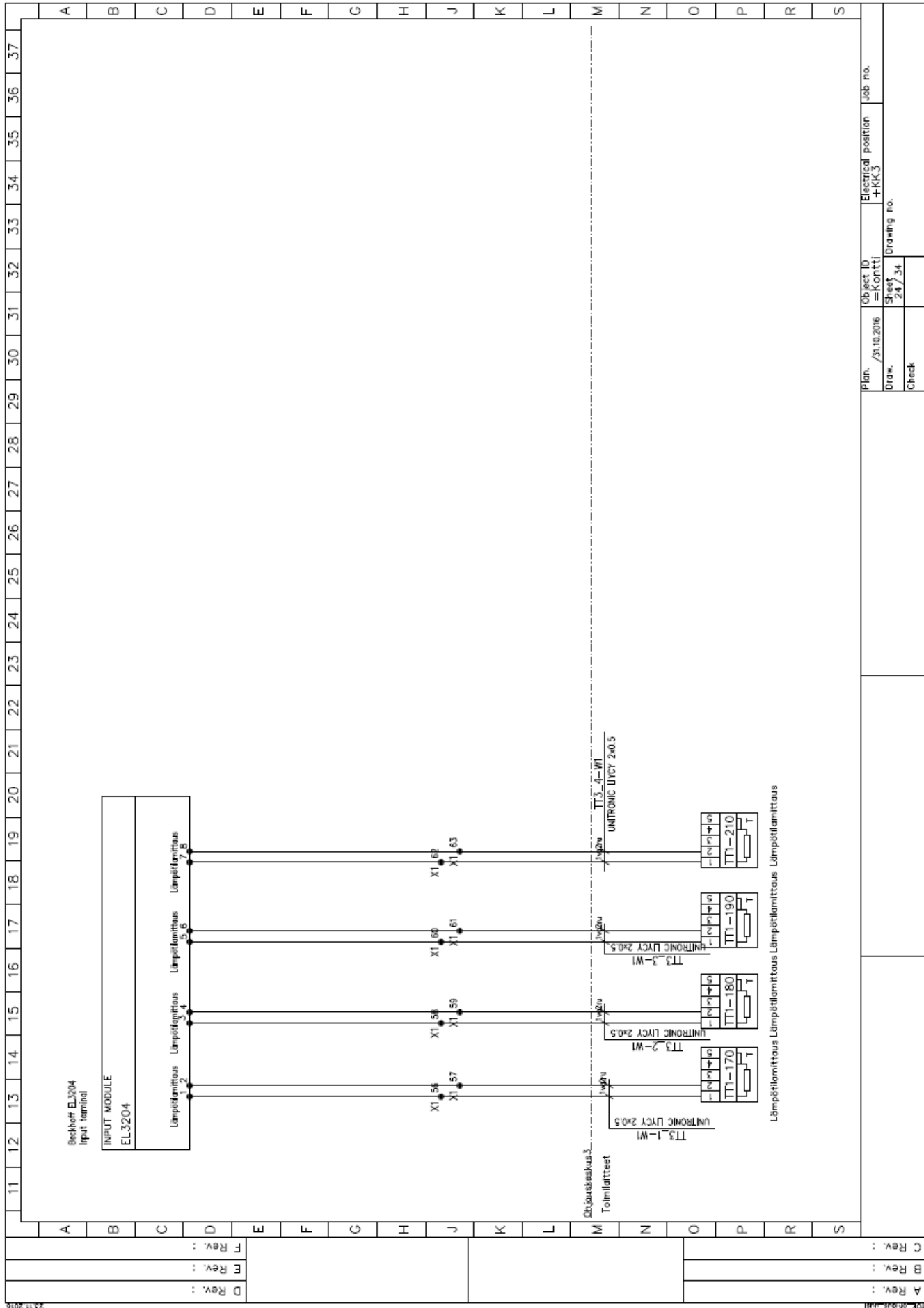
A Rev. :	
B Rev. :	
C Rev. :	

Plan. /31.10.2016	Object ID =Kontti	Electrical position =KKK3	Job no.
Draw.	Specy 22 / 34	Drawing no.	
Check			



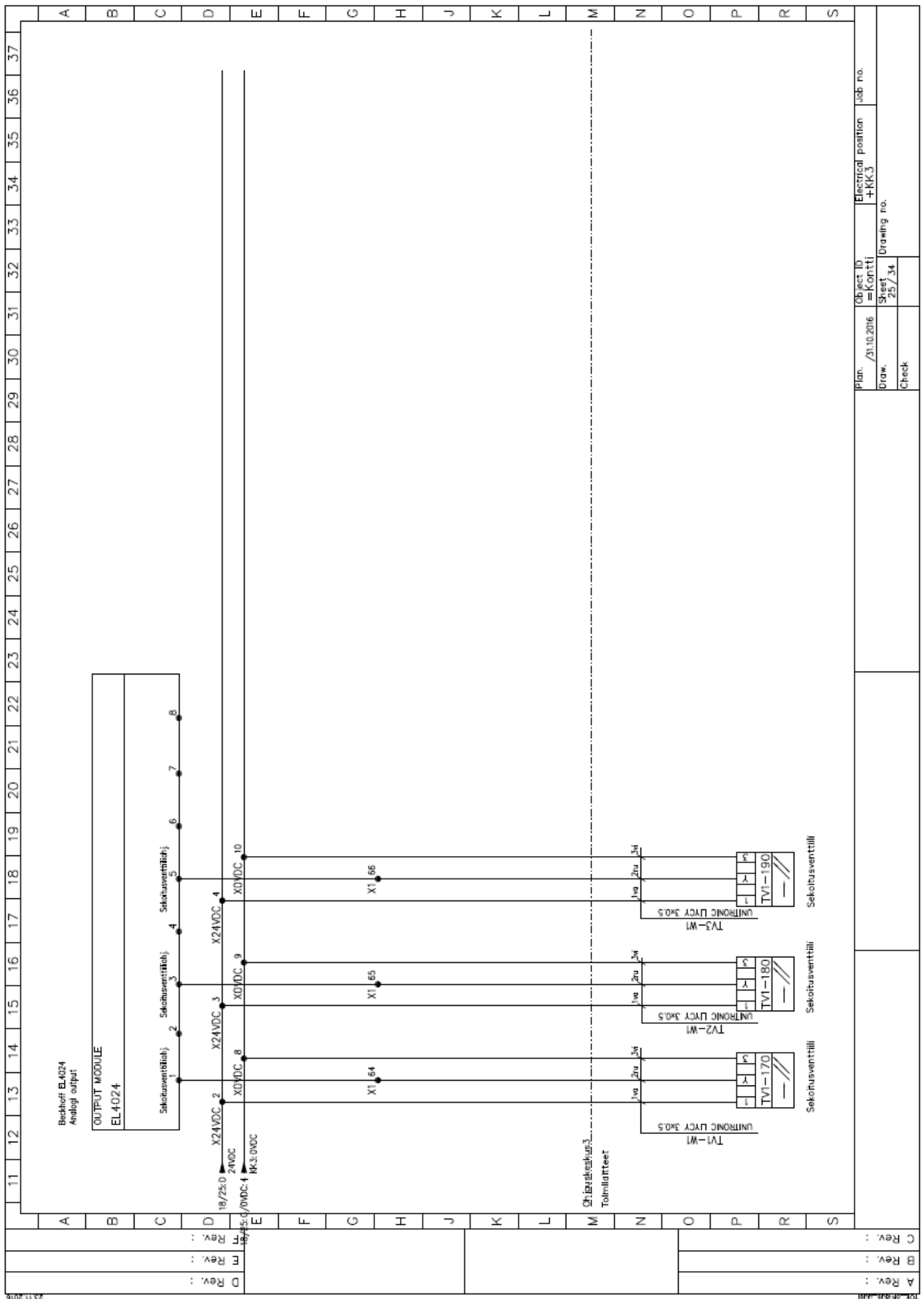
A Rev :	
B Rev :	
C Rev :	
D Rev :	
E Rev :	
F Rev :	

Plan. /31.10.2016	Object ID =Kontti	Electrical position +KK3	Job no.
Draw.	Sheet 237/34	Drawing no.	
Check			



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

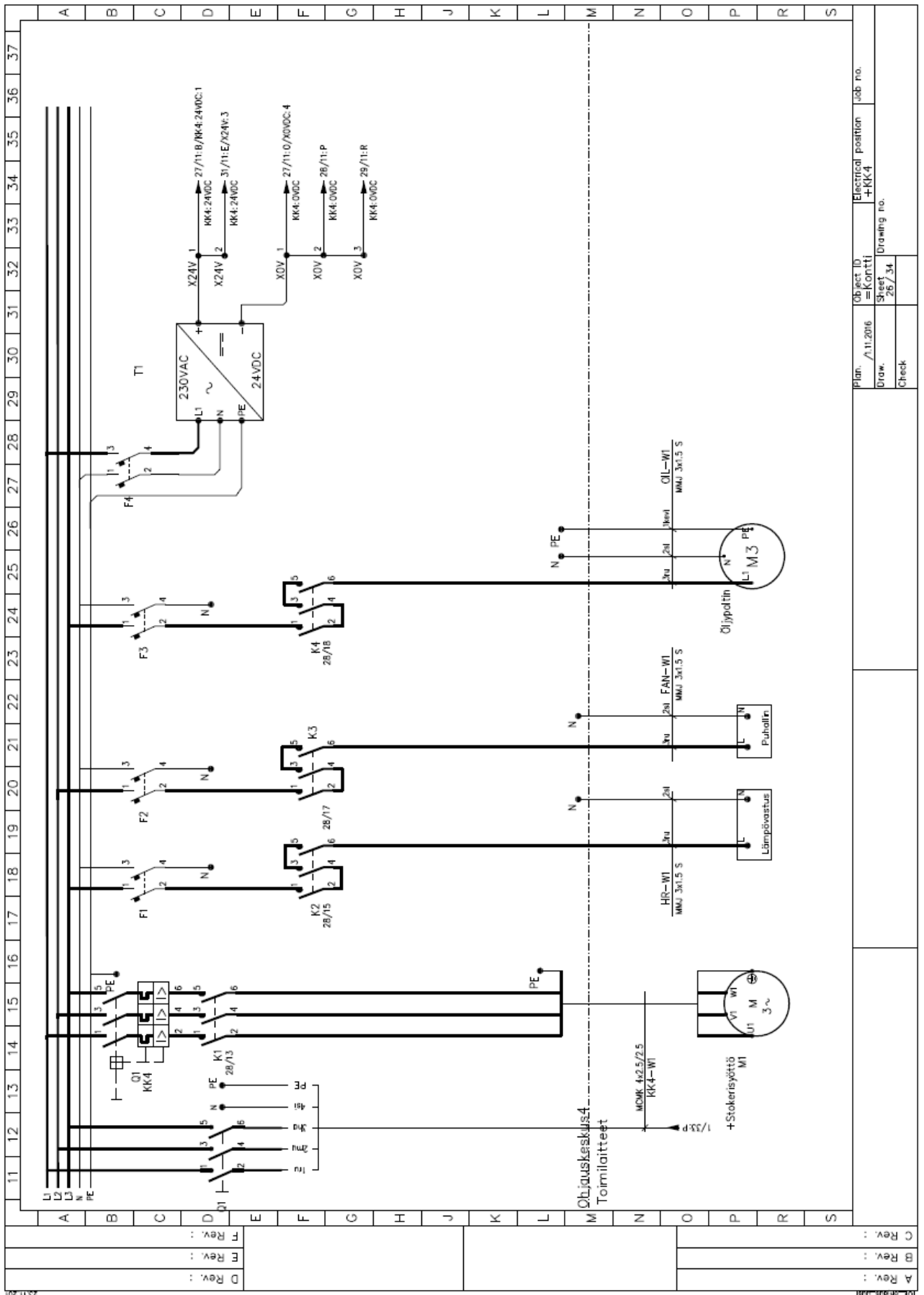
Plan. /31.10.2016	Object ID =Kontti	Electrical position +KK3	Job no.
Draw.	Sheet 24 / 34	Drawing no.	
Check			



A Rev :
B Rev :
C Rev :

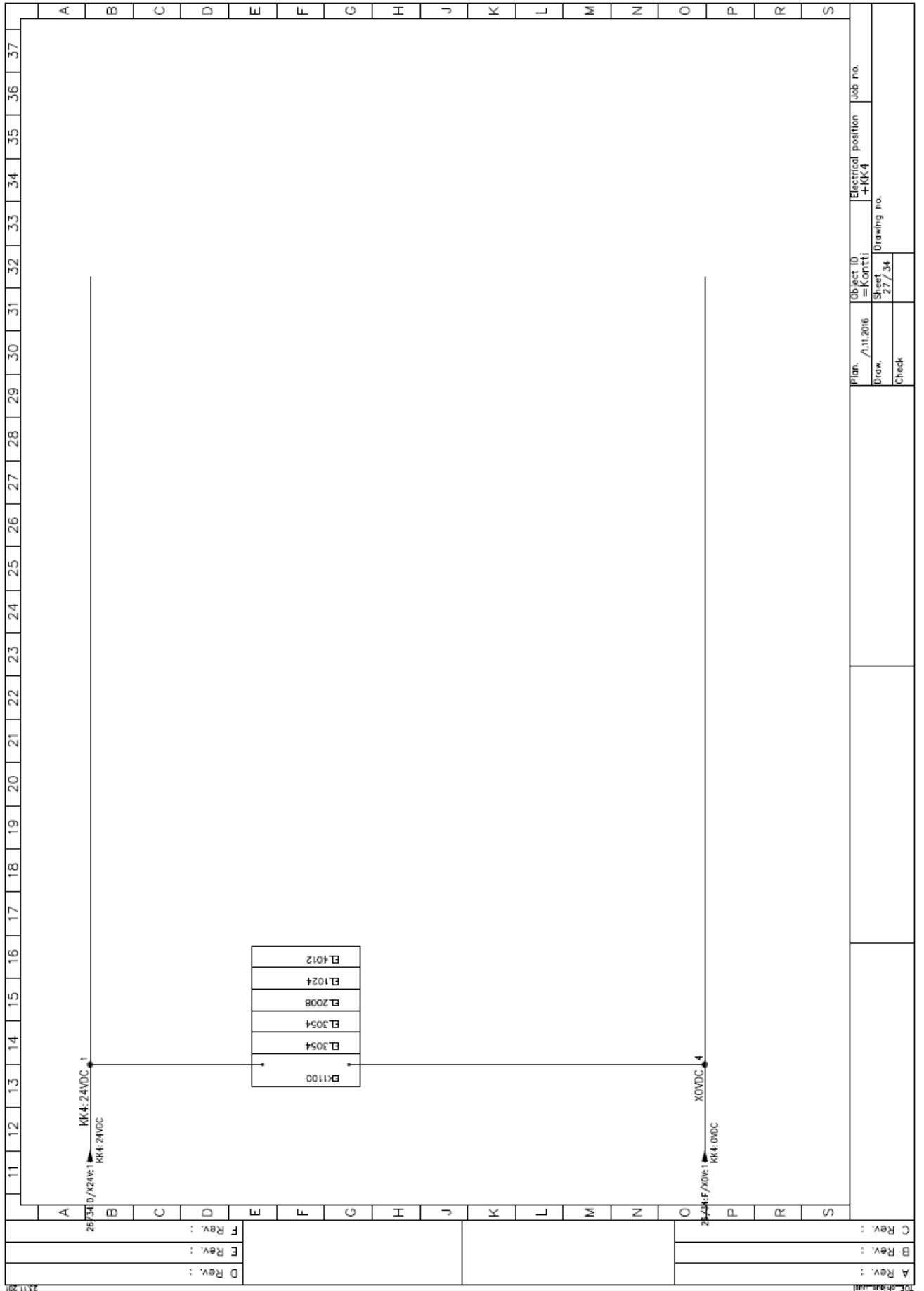
Plan. /31.10.2016
Draw. 25/34
Object ID =Kortti
Electrical position +KKJ
Drawing no.
Job no.

Ohjaukotelo 4 johdotuskaaviot



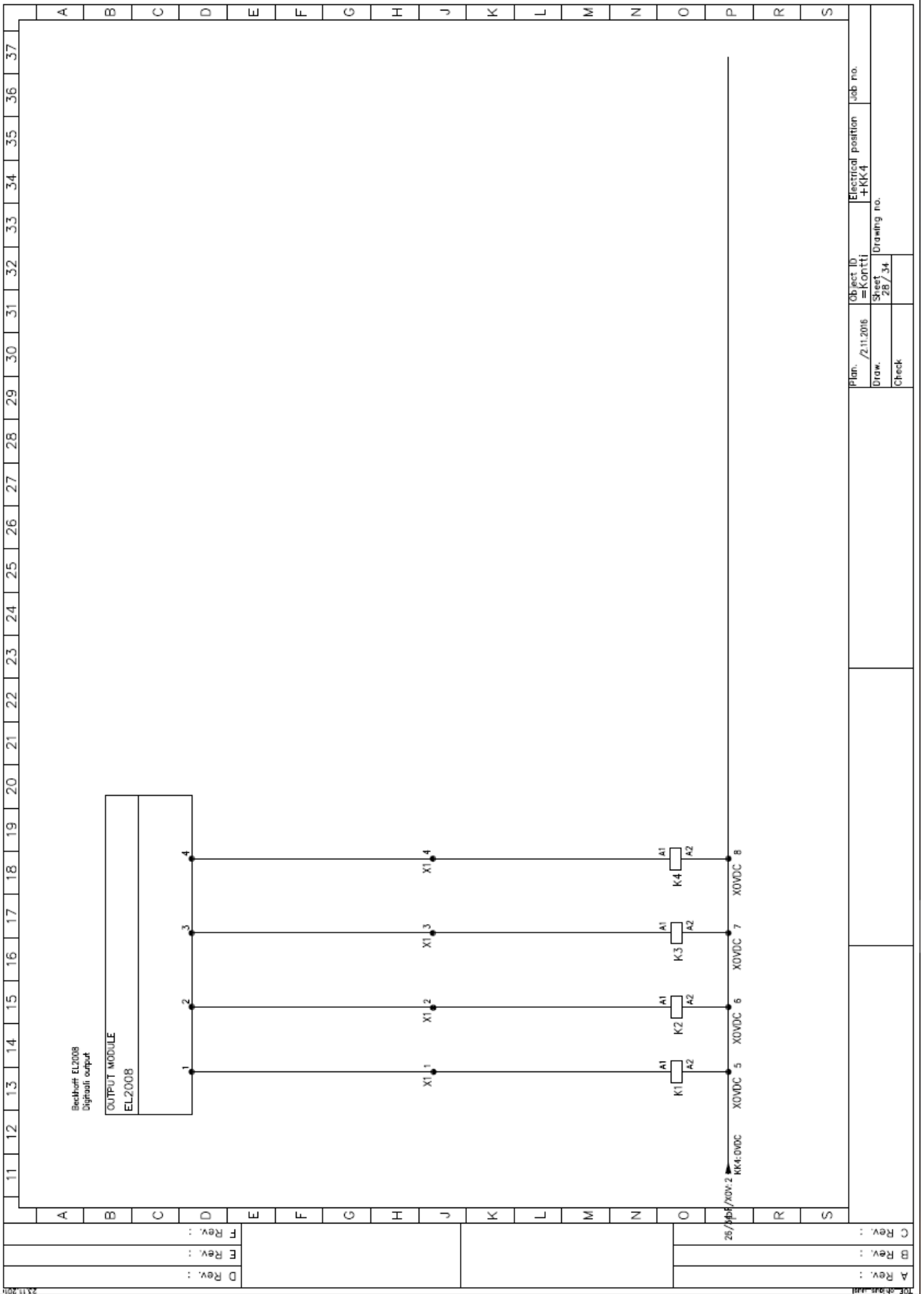
A Rev. :	
B Rev. :	
C Rev. :	
D Rev. :	
E Rev. :	
F Rev. :	
G Rev. :	
H Rev. :	
J Rev. :	
K Rev. :	
L Rev. :	
M Rev. :	
N Rev. :	
O Rev. :	
P Rev. :	
R Rev. :	
S Rev. :	

Object ID	Electrical position	Job no.
=Kontti	+KK4	
Plan. /11/2016		
Draw. /25/14	Drawing no.	
Check		



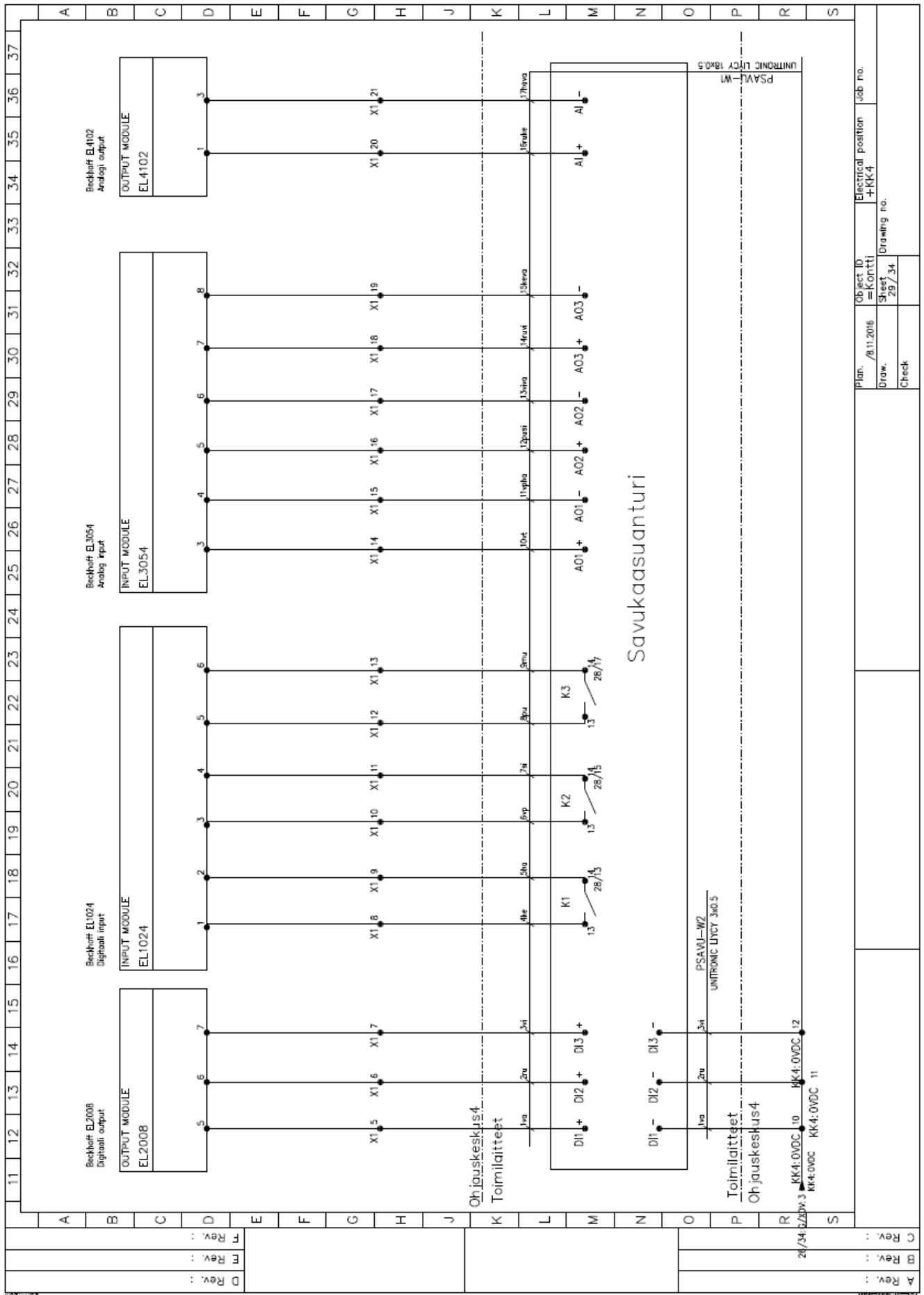
A Rev. :	
B Rev. :	
C Rev. :	
D Rev. :	
E Rev. :	
F Rev. :	
G Rev. :	
H Rev. :	
I Rev. :	
J Rev. :	
K Rev. :	
L Rev. :	
M Rev. :	
N Rev. :	
O Rev. :	
P Rev. :	
Q Rev. :	
R Rev. :	
S Rev. :	

Plan. /1.11.2016	Object ID =Kontti	Electrical position +KK4	Job no.
Draw. 27/34	Street 27/34		
Check	Drawing no.		



A Rev. :	
B Rev. :	
C Rev. :	
D Rev. :	
E Rev. :	
F Rev. :	

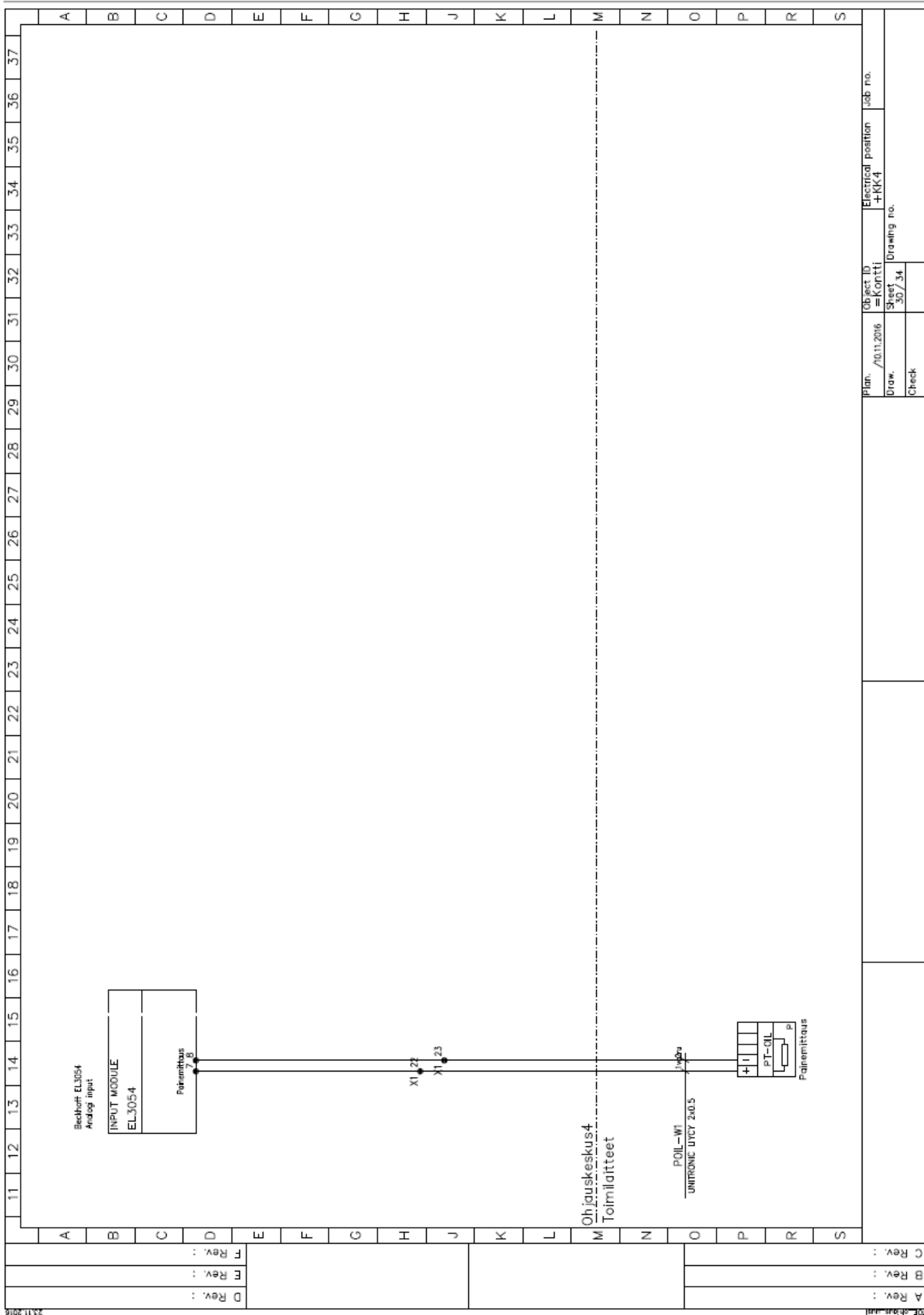
Plan. /2.11.2016	Object ID =Kontti	Electrical position +KK4	Job no.
Draw. 28 / 34	Sheet 28 / 34	Drawing no.	
Check			



D Rev. :	
E Rev. :	
F Rev. :	

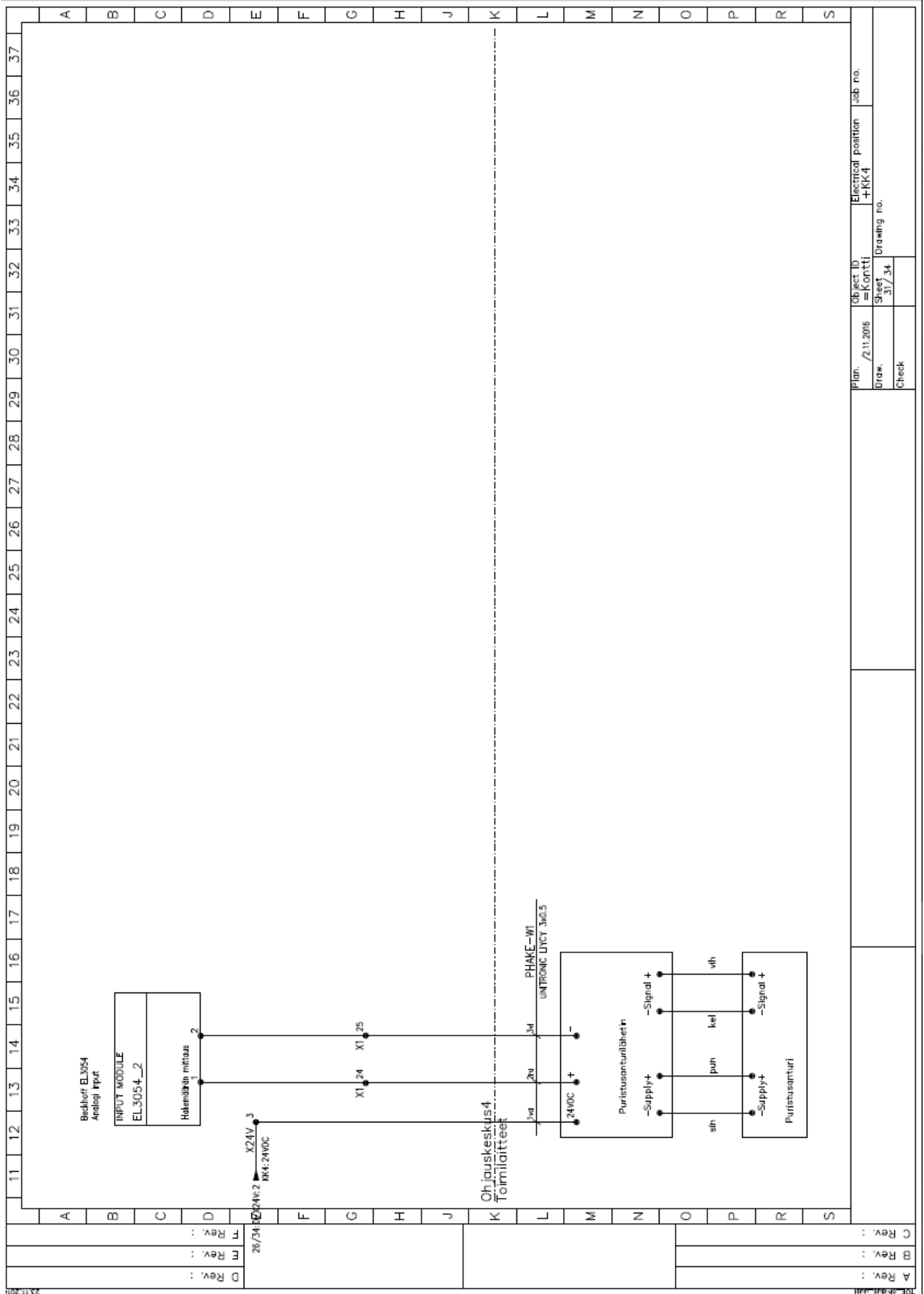
A Rev. :	
B Rev. :	
C Rev. :	

Plan. /8/11/2006	Object ID =Kortti	Electrical position	Job no.
Draw.	Sheet 29/34	+KK4	
Check	Drawing no.		



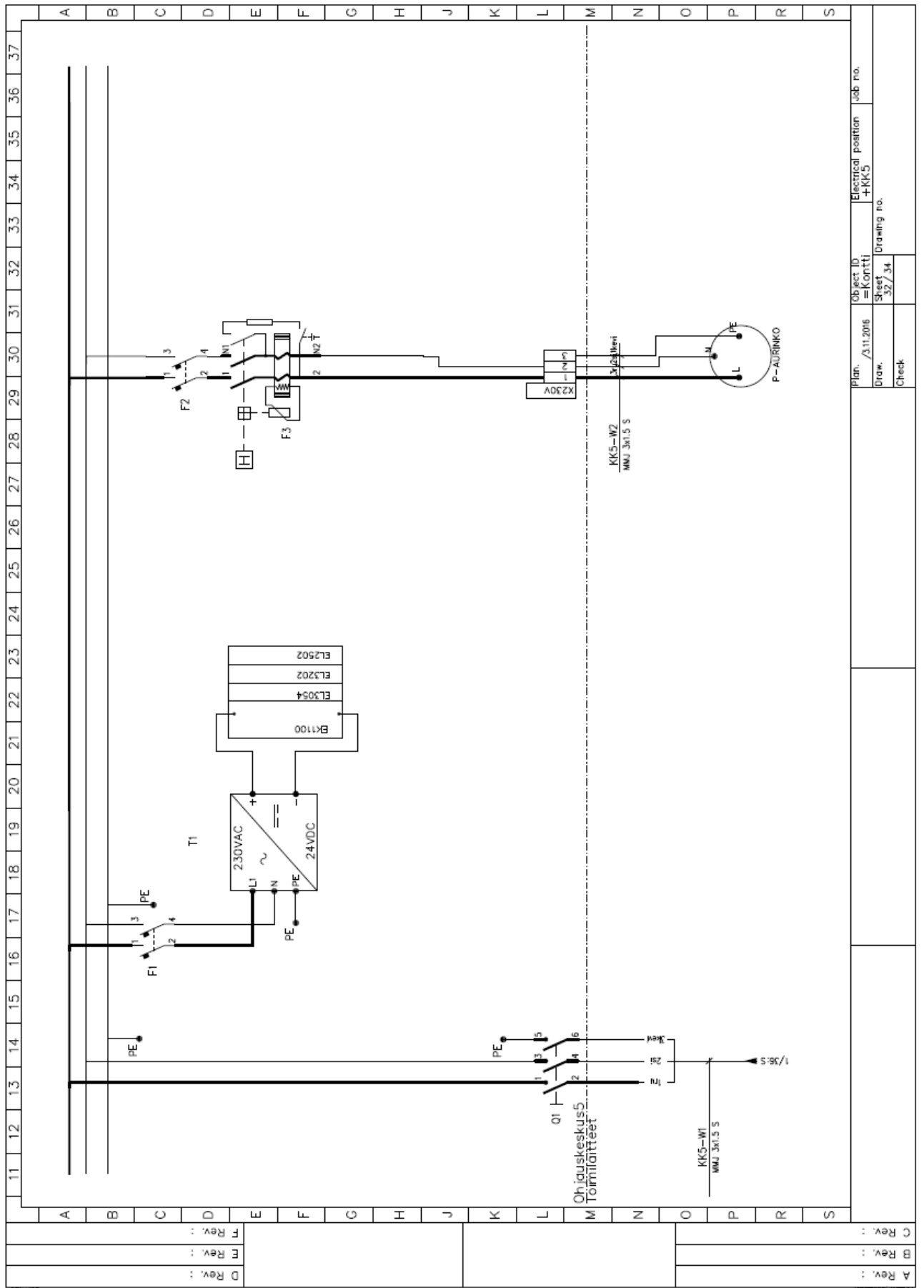
23.11.2016	A Rev :	
	B Rev :	
	C Rev :	
	D Rev :	
	E Rev :	
	F Rev :	

Plan. /10.11.2016	Object ID =Kontti	Electrical position	Job no.
Draw. /30/34	Sheet 30/34	+KK4	
Check	Drawing no.		

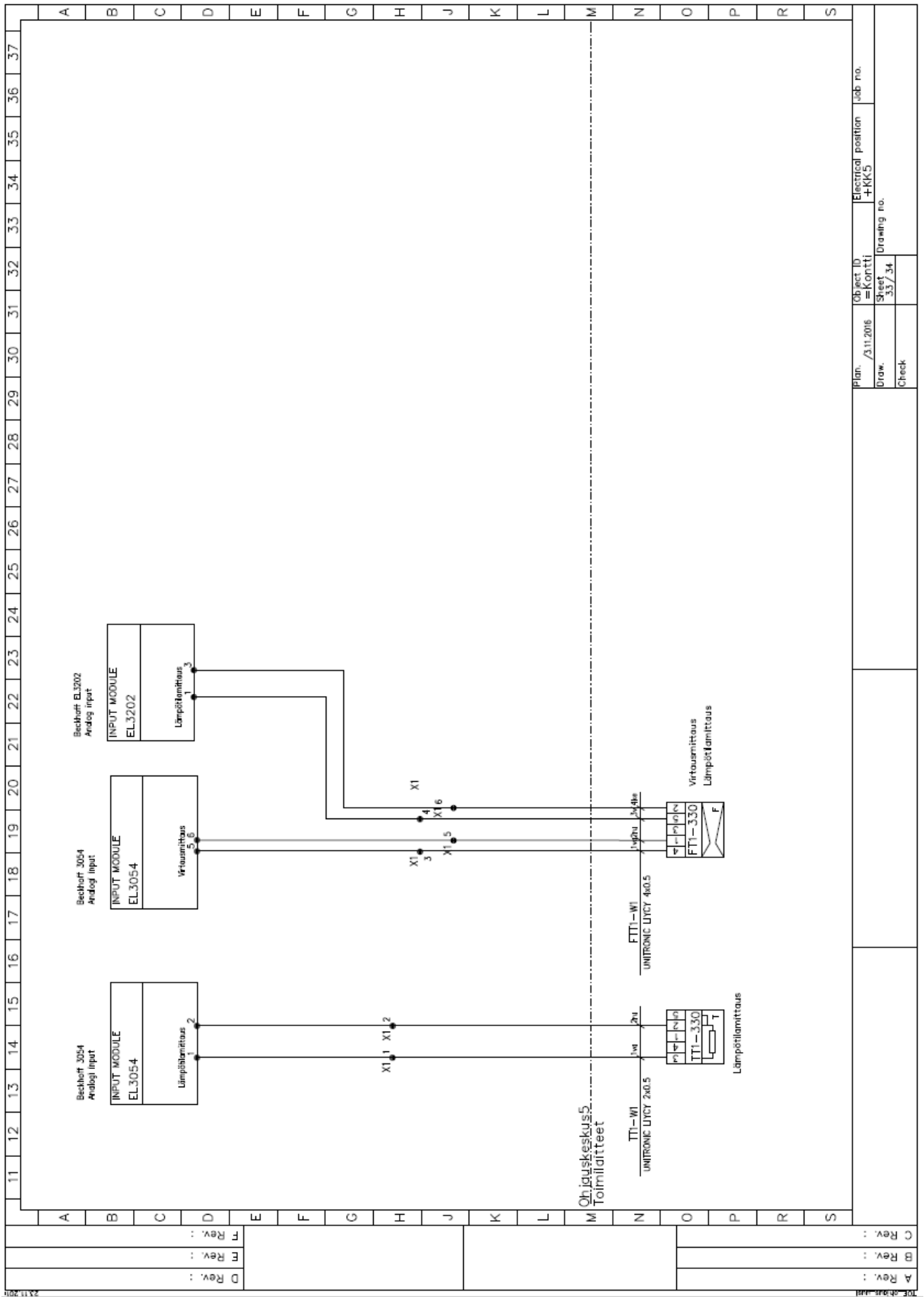


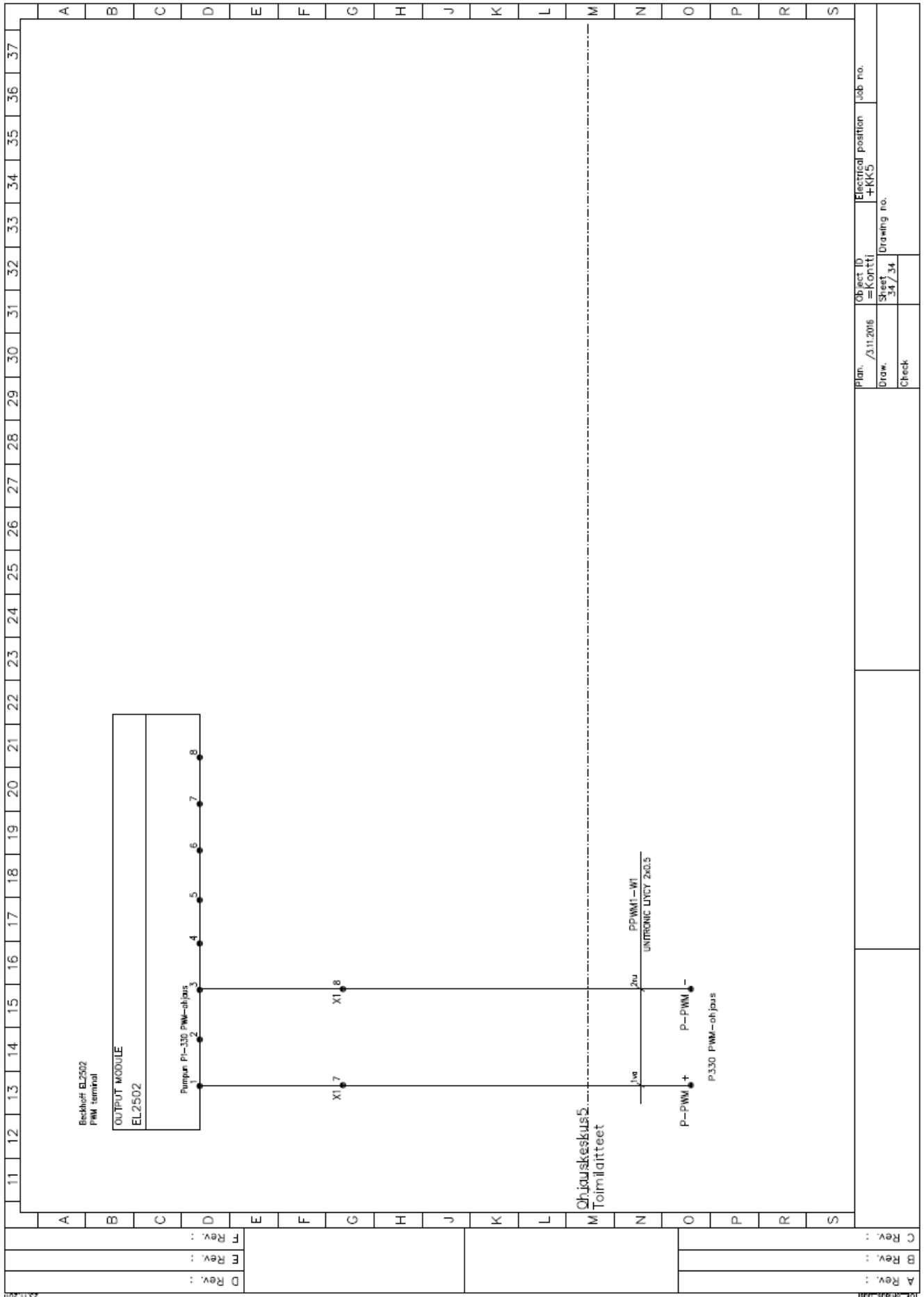
A Rev :	
B Rev :	
C Rev :	

Ohjaukotelon johdotuskaaviot



A Rev. :	
B Rev. :	
C Rev. :	
D Rev. :	
E Rev. :	
F Rev. :	





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

Plan. /31.1.2006	Object ID =Kontti	Electrical position +KKS	Job no.
Draw.	Sheet 34 / 34	Drawing no.	
Check			

Pi-kaaviot

