



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Waltteri Finni

# Piirikaavioiden generoiminen CADS-ohjelmistolla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

01.11.2019

Tekijä Otsikko	Waltteri Finni Piirikaavioiden generoiminen CADS-ohjelmistolla
Sivumäärä Aika	30 sivua + 17 liitettä 01.11.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Vesa Sippola varatoimitusjohtaja Jonne Järvinen
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli perehtyä CADS-suunnitteluohjelman mahdollisuuteen generoida piirikaavioita valmiin kaaviopohjan sekä Excel-taulukon perusteella. Piirikaaviopohjat laadittiin yleisimmin sähkösuunnittelualalla käytetyistä piirikaavioista. Excel-taulukosta oli määrä tulla helposti ymmärrettävä, jotta menetelmän pystyy kouluttamaan myös muille toimistossa työskenteleville suunnittelijoille.</p> <p>Piirikaaviot ovat osa sähkökeskusten suunnittelua ja rakentamista. Keskusvalmistajan on oleellista saada tietää, millaisia ohjaustoimintoja ryhmäkeskusten lähtöihin halutaan. Työssä esitetään valaistusjärjestelmien toimintaperiaatetta ja ohjausmahdollisuuksia Lämmitys, vesi ja ilmanvaihtojärjestelmien peruseriaatetta sivutaan työssä sähkösuunnittelijan näkökulmasta, sillä ne oleellisesti liittyvät piirikaavioiden suunnitteluun.</p> <p>Työssä tutustuttiin lyhyesti myös sähköinsinöörikoulutuksen historiaan sekä tehtiin selvitystä sähkösuunnittelijan tämänhetkistä työkaluista ja menetelmistä.</p> <p>Suunnittelualalla, jonka käytössä on huomattava määrä digitalisaation tuotoksia sekä teknologisia työkaluja, on vaikea pysyä kehityksen perässä. CADS-suunnitteluohjelman toimintoihin perehtymällä saatiin laajempi käsitys itse ohjelman toiminnasta sekä mahdollisista sovelluksista. Työn lopputuloksesta muovautuvan työkalun on tarkoitus tulevaisuudessa palvella suunnittelutoimisto Stacon Oy:tä ja se on osa laajempaa mallikirjastoa, jota kootaan suunnittelutyön tehostamiseksi.</p> <p>Työssä luotiin myös suuntaviivoja sille, minkälaista sähkösuunnittelu tulee olemaan tulevaisuudessa. Luvussa 7 on esitetty omat johtopäätökset sähkösuunnittelualan kehityksestä ja siitä, millaista se luultavasti tulee olemaan lähitulevaisuudessa.</p>	
Avainsanat	CADS, piirikaavio, sähkösuunnittelu, tulevaisuus, digitalisaatio

Author Title	Waltteri Finni The Generation of Circuit Diagrams with CADS-Software
Number of Pages Date	30 pages + 17 appendices 1 November 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Vesa Sippola, Senior Lecturer Jonne Järvinen Executive Vice President
<p>The goal of this thesis study was to clarify the possibility to generate circuit diagrams with CADS-software using created templates of diagrams and Excel spreadsheet. The templates were created from most commonly used diagram circuits in electrical planning industry. Excel spreadsheet was meant to be as easy as possible to understand and to use for all co-workers.</p> <p>Circuit diagrams are part of designing and building a switchboard. The manufacturer of switchboards needs to know what kind of control functions the designer wants. The thesis presents basic principles of lighting, heating, water and air condition systems from the perspective of electrical designer as these are relevant matters to designing diagram circuits.</p> <p>The thesis also briefly presents the history of electrical engineering education, work methods and tools of electrical design.</p> <p>It is hard to keep up with technology development in the industry of electrical designing because there are a notable amount of products and tools created by digitalization. Clarifying the functions of CADS-software created wider vision to the possibilities of computer based programs. The tool which is a result from this thesis work is meant to serve the engineering office Stacon Oy. It is part of a wider library that is being assembled to overcome the challenges in electrical design and make the work more efficient.</p> <p>The thesis work also considered what electrical design will be like in the future. The chapter 7 presents my own opinion regarding the development of the industry and how electrical design will change in short-term future.</p>	
Keywords	CADS, diagram circuit, electrical design, future, digitalization

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sähkösuunnittelu	2
2.1	Sähköinsinöörikoulutuksen historia	2
2.2	Sähkösuunnittelun historia	3
2.3	Sähköstandardoinnin historia Suomessa	4
2.4	Sähkösuunnittelijan työnkuva	5
3	Rakennusautomaatio	10
3.1	Keskitetty järjestelmä	11
3.2	Kenttä- ja ohjausväylä	12
4	LVI-sähköistys	15
4.1	IV-laitteiden sähkösuunnittelu	15
4.2	Pakettikoneet ja modulaariset koneet	17
4.3	Taajuusmuuttajat ja EC-moottorit	17
5	Piirikaavioiden generoiminen	19
5.1	Generoiminen CADS-ohjelmistolla	19
5.2	Yleisimmät piirikaaviot	21
6	Piirikaaviopohjat ja generoitava Excel-taulukko	23
6.1	LVI-keskuksen piirikaaviot	24
6.2	Ryhmäkeskuksen piirikaaviot	24
7	Johtopäätökset	25
	Lähteet	27
	Liitteet	
	Liite 1. Tuloilmapuhallin, pakettikone	
	Liite 2. Poistoilmapuhallin	
	Liite 3. Lämmityspumppu	
	Liite 4. IV-hätäseis	
	Liite 5. Ensimmäinen varalähtö, 3as	
	Liite 6. Varalähtö, 3as	

Liite 7. Ensimmäinen varalähtö, 2as

Liite 8. Varalähtö, 2as

Liite 9. Poistumistievalaistus, LVI

Liite 10. Varasäikeet, LVI

Liite 11. Ensimmäinen valaistus, painike

Liite 12. Ensimmäinen valaistus, VAK

Liite 13. Valaistus, painike

Liite 14. Valaistus, VAK

Liite 15. Poistumistievalaistus

Liite 16. Varasäikeet

Liite 17. Lämpökojeet

## 1 Johdanto

Tekniikan kehitykseen sopeutuminen on iso ongelma suunnittelualojen yrityksille. Tietokonepohjaiset suunnitteluohjelmat päivittyvät jatkuvasti, tuoden lisää mahdollisuuksia suunnittelu- ja mallinnustyöhön. Insinöörityöni tarkoituksena on tehostaa sähkösuunnittelutyötä insinööritoimisto Stacon Oy:llä. Suunnittelutyötä tehostamalla päästään nopeammin ja varmemmin haluttuun lopputulokseen. Työ on osa laajempaa mallikirjastoa, josta voidaan luoda sähkötekniisiä suunnittelupohjia nopeuttamaan suunnittelijan tehtäviä. Työssä perehdytään sähköinsinöörien historiaan, sähkösuunnittelijan työmenetelmiin sekä suomalaisen CADS-suunnitteluohjelman ominaisuuteen generoida piirikaavioita Excel -taulukon perusteella.

Piirikaaviot ovat suuri osa-alue suunnittelualaa. Keskusvalmistaja ei pysty kokoamaan keskusta, ellei kaavioita toimiteta ajoissa. Piirikaaviot tulee olla jokaisesta keskuksista, jossa on vähänkään monimutkaisempia ohjauslähtöjä. Haastatellun Stacon Oy:n nuoremman suunnittelijan mukaan piirikaaviot ovat osana projekteja viikoittain [17]. Suunnittelutoimistojen piirtämät piirikaaviot eivät aina täysin aukottomia, joten keskusvalmistaja tekee usein muutoksia kaavioihin virheitä huomatessaan [23]. Keskusvalmistajien muutosten sekä kommunikaatio-ongelmien vuoksi suunnittelutoimistoilla harvoin on lopullisia piirikaavioita keskuksista. Virheiden minimoiminen on siis todella tärkeää kaavioiden laatimisessa. Insinöörityössä perehdytään mahdollisuuksiin vähentää sähkösuunnittelijan tekemiä virheitä automatisoimalla piirikaavioiden ristiin viittaukset.

Yksi piirikaaviosivu on ryhmäkohtainen, eli yhdestä keskuksen ryhmästä tehdään yksi kaaviosivu. Piirikaaviot koostuvat keskuksen sisäisistä komponenteista sekä viittauksista. Yksi tärkeimmistä elementeistä kaavioissa ovat riviliitinrimat sekä liittimien määrä. Viittauksista on hyötyä keskusvalmistajalle ainoastaan silloin, kun niissä ei esiinny yhtäkään virhettä. Usein yhdenkin virheen huomatessaan keskusvalmistaja joutuu tarkastamaan jokaisen viittauksen erikseen, joten suunnittelijan tekemästä työstä on ollut vain haittaa [23]. Viittauksissa virheitä sattuu helposti, sillä viitattuaan esimerkiksi riviliittimeltä kytkimelle tulee myös viitata kytkimeltä riviliittimelle. Tätä kutsutaan ristiinviittaukseksi. Työni lopputuloksesta on tarkoitus tulla suunnittelijoiden käyttämä aputyökalu piirikaavioiden laatimiseen, jolla välttää usein havaitut virheet kaavioiden ristiin viittauksissa.

Valmiiden piirikaaviopohjien käyttämisessä on kuitenkin riskinsä. Projektien sisältö vaihtelee paljon, joten pohjissa saattaa olla ristiinviittauksia, jotka eivät ole asianmukaisia

kyseisessä työssä. Suunnittelijan tehtävään kuuluu tarkastaa valmiin piirikaavion oikeellisuus sekä pitää huolta, ettei virheitä tule kopioitua.

## 2 Sähkösuunnittelu

### 2.1 Sähköinsinöörikoulutuksen historia

Sähköinsinöörikoulutus sai alkunsa myöhään 1882-luvulla Thomas Edisonin, sähkölampun keksijän ideasta aloittaa nuorten opiskelijoiden perehdytys sähkölakeihin sekä toimintatapoihin Columbian yliopistossa. Myöhemmin samana vuonna Edison julkaisi ensimmäisen sähköaseman Manhattanilla luoden tarpeen myös työpaikoille sähköalalla. Thomas Edisonin idea sekä lahjoitukset laittoivat alulle keskustelun koulutuksen aloittamisesta yliopistossa. Vuonna 1889 Columbian johtajat lopulta tulivat päätökseen rakentaa sähköinsinöörien koulutukseen tarkoitettua yksikön. [1.] 1882 syksyllä, Edisonin otettua yhteyttä Columbiaan ja aloitettuaan keskustelut koulutuksesta, Massachusetts Institute of Technology (MIT) oli kuitenkin jo laatimassa ensimmäistä sähköinsinöörien opetussuunnitelmaa, jonka pääpaino oli nimenomaan langattomassa kommunikoinnissa sekä elektroniikassa. Tästä alkoi insinöörien polku tekniikan alalla. [4.]

Insinöörikoulutusta kuvaillaan usein välimuodoksi tieteestä sekä tekniikasta. 1800-luvun lopussa, insinööri-termin alkuvaiheilla, tiede ei vielä ollut tarpeeksi korkealla tasolla tulevan teknologian kehitykselle. Tästä esimerkkinä Nikola Teslan esittelemä AC-jännite, jonka huomattiin olevan paljon Thomas Edisonin sähkölaitoksen käyttämää DC-jännitettä käytännöllisempi. [4.]

Sähköinsinöörien pioneerit ovat kehityksen alkuvuosina keksineet lukuisia hyödyllisiä laitteita, jotka tänäkin päivänä näyttelevät merkittävää osaa arkielämässä. Näistä tunnetuimpana aiemmin mainittu Thomas Edisonin keksimä hehkulamppu. Langattoman kommunikoinnin, eli radion, keksiminen oli myös yksi suurimpia kulmakiviä sähkötekniikan historiassa. Italialaisen Guglielmo Marconin [lanseeraama](#) radio sekä vastaanotin antoivat merkittävän etulyöntiaseman Amerikan Yhdysvaltojen armeijalle ensimmäisessä maailmansodassa [2]. Maailmansodan jälkeen laitteen hyödyn ymmärsivät myös siviilit, kun radio tuotiin markkinoille. Siviilien käyttöön saatu FM-vastaanotin mahdollisti myös kansalliset radiolähetykset. [3.]

Suomessa sähköinsinöörien koulutus alkoi vuonna 1911, kun tehtiin päätös rakentaa teknillinen opisto Tampereelle. Kaksi kertaa sisällissodan aikana palanut koulu oli aluksi jatkuissa vaikeuksissa opiskelijoiden puutteen sekä koulutuksen heikon tason vuoksi. Kymmenen vuotta kestäneen laman jälkeen, vuonna 1930, teollisuus lähti Suomessa valtavaan nousuun. Suosio korkeakoulutetuksi tekniikan alan osaajaksi kasvoi rakennusalan insinöörien pulan vuoksi. Vuosina 1938–1941 uusien opintosuuntien, kuten heikkovirtatekniikan lisääminen sähköteknilliseen opintosuunnitelmaan varmisti opiskelijoiden jatkuvan virran. Tämä lisäys asetti suunnan sähköinsinöörin koulutuksen jatkuvalle kysynnälle. Valtion rahoittama koulu oli maamme ainoa aina vuoteen 1943, jolloin opiskelijoiden määrän jatkuvan kasvun vuoksi perustettiin teknilliset opistot myös Helsinkiin sekä Turkuun. [13, s. 9–12.]

## 2.2 Sähkösuunnittelun historia

Vaikka ensimmäiset arkistoidut arkkitehtuurilliset pohjakuvat ovat vuodelta 900, [5] katsotaan pohjakuvien juontavan juurensa vuoteen 1842, jolloin kemisti John Herschel kehitti sinikopion: helpon ja halvan tavan piirtää useita pohjakuvia samanaikaisesti. Prosessissa käytettiin kemiallisesti kyllästettyjä, osittain läpinäkyviä papereita, jotka pidettiin painojen avulla päällekkäin. Arkkitehdin piirrettyä päällimmäiselle paperille pohjakuvansa altistettiin koko pino valolle. Kuvien altistuttua valolle ne muuttuivat sinisiksi, pois lukien piirretyt viivat, jotka pysyivät valkoisina. Arkkitehtuurilliset pohjakuvat saivat näin nimensä: Blueprints. [6.]

Noin sata vuotta myöhemmin, 1900-luvun puolivälissä, tulivat kopiokoneet, jolloin kopioiminen helpottui ja siirryttiin valkoiselle paperille piirrettyihin kuviin prosessin ollessa halvempi ja käytännöllisempi. [6.]

Tietokoneiden vallankumouksen jälkeen 1980-luvun lopulla kehitettiin tietokonepohjainen suunnittelu (CAD, englanniksi Computer-Aided Design). Tietokonepohjainen suunnittelu mullisti suunnittelijoiden työn. Pohjakuvien piirtäminen helpottui, ja suunnittelijan työ yleistyi. Tietokoneiden myötä tulivat myös sähköiset kommunikointivälineet, joilla pohjakuvia pystyi helposti siirtämään työmaille esimerkiksi PDF-muodossa lähtemättä itse työpaikaltaan. [5.]

Suunnittelun helpottuminen loi kuitenkin ongelman dokumentoinnissa. Vasta viime vuosikymmenellä kehitettyjen pilvipalveluiden puuttuminen oli suuri haaste pienellä muistilla



varustetuille tietokoneille. Dokumentointi sekä arkistointi jouduttiin siis vieläkin hoitamaan suurimmaksi osaksi manuaalisesti paperikopioilla. [6.]

Suomessa sähkösuunnittelu alkoi virallisesti vuonna 1948 tamperelaisen Risto Mäenpään perustettua ensimmäisen insinööritoimiston. Insinööritoimisto Risto Mäenpäästä tuli välittömästi maan johtava suunnittelutoimisto, jonka erikoisaloina olivat turvallisuusjärjestelmät sekä näyttämötekniikka. [7.]

Sähkösuunnittelun toiminta järjestyi vasta vuonna 1966, kun Suomeen perustettiin Neuvottelevat Sähkösuunnittelijat yhdistys (NSS) valvomaan suunnittelijoiden etuja ja nostamaan tietoisuutta sähköalasta insinöörin näkökulmasta. Sähkösuunnittelutoimistot päätettiin ottaa mukaan toimintaan vasta vuonna 1986, jolloin pystyttiin aloittamaan yhteistyö muiden järjestöjen kanssa. NSS aloitti päämääräisen ja ammattitaitoisen toimintansa 2002, jolloin sille valittiin ensimmäinen toimitusjohtaja. [8, s. 3.]

## 2.3 Sähköstandardoinnin historia Suomessa

Sähköstandardointi sai Suomessa alkunsa vuonna 1926, jolloin Suomen sähköinsinööriliitto yhteistyössä sähköalan yhdistysten kanssa asetti standardoimiskomitean. Komitea nimitti itsensä SESKO:ksi vuonna 1943. Komitea lopetti toimintansa vuonna 1965 ja tilalle perustettiin jäsenten toimesta Suomen Sähköteknilinen Standardoimisyhdistys, joka säilytti nimensä SESKO. [9; 10, s. 9.] SESKO:n tehtävänä on luoda kansainvälisistä IEC -standardeista Suomessa käytettäviä SFS -standardeja sekä toimia edustajana neuvotteluissa CENELEC:in ja IEC:n kanssa [9, s. 11].

Lontoossa perustetun IEC:n päämäärä vuonna 1906 oli luoda sähköalalla työskenteleville henkilöille ohjeistavia sääntöjä sekä menetelmiä [11]. Nykyään itsestäänselvyytenä pitämämme yksiköt ja suureet ovat tulleet kansojen tietoisuuteen yksinomaan IEC:n ansiosta. Yhdysvaltojen sekä Britannian yhteistyössä perustettu komitea halusi toiminnastaan maailmanlaajuisen, joten vuonna 1908 järjestettyyn ensimmäiseen kokoukseen osallistui jopa 15 maata. Näin sai alkunsa kansainvälisesti tärkein standardointielin, jonka toiminta on jatkunut yli sata vuotta. [12, s. 1–4.]

## 2.4 Sähkösuunnittelijan työnkuva

Sähkösuunnittelijan työnkuvaan tyypillisesti kuuluu valmiiden kokonaisuuksien tai pelkkien osa-alueiden suunnittelu ja dokumentointi. Suurimpiin projekteihin saattaa kokonaisuudessaan kulua vuosia. Suunnittelussa saattaa kuitenkin tulla pidempiäkin taukoja, kun odotetaan muiden suunnittelualojen laitetietoja sekä työmaan saavan suunnitelmien mukaiset asennukset valmiiksi. Dokumentointi toteutetaan tietokonepohjaisesti CAD-ohjelmistoilla tai poikkeustapauksissa tehdään PDF-tiedostoihin muutoksia.

Suunnitteluprosessin alkuvaiheilla sähkösuunnittelijan tulee yhdessä arkkitehdin kanssa määritellä rakennuksen sähköpäätilat sekä näiden tilantarve ja liittymismahdollisuudet. Teknisten tilojen sijainti ja saatavuus on keskeisessä roolissa hyllyreittien suunnittelussa, joka on koko prosessin tärkeimpiä vaiheita. [29.]

Sähkösuunnittelijan työnkuvaan kuuluu yleensä myös sähköteknisistä laitteista muodostuvien kustannusten arviointi ja laskelmat. Kustannusarvio on tärkeä elementti tilaajalle hänen hahmotellessaan kokonaiskustannusta rakennusprosessista. Suunnittelun kustannusarvioon lasketaan mukaan sähkötekniikan laitteiden ostokustannukset laitetöitä tekevien hintojen mukaan. [16.]

### Sähkösuunnittelu yleisesti

Suunnittelu on tyypillisesti työpäivästä eniten aikaa vievä prosessi, joka pitää sisällään kaiken sähkötekniikan suunnittelun aina valaisinten määrittämisestä oikosulkulaskelmiin. Vanhemmalla suunnittelijalla, joka yleensä toimii sähköpuolen projektipäällikkönä, on vastuu omien suunnitelmien oikeellisuudesta, vaikka usein nuoremman suunnittelijan työhön kuuluu niiden puhtaaksi piirtäminen. Nuoremman ja vanhemman suunnittelijan nimitykset sekä tehtävät ovat SKOL:in henkilöryhmittelyn mukaisia, koulutustasoon ja kokemukseen pohjautuvia tittelit. [30].

Sähkösuunnittelijaa on harvoin kiinnitetty pelkästään yhteen projektiin, vaan samanaikaisesti työn alla voi olla useita eri kohteita. Projektiin kiinnitetyn suunnittelijan on määrä olla tietoinen kyseisen kohteen vaiheista. Erityisesti isommissa kokonaisuuksissa perehtyminen vaatii useita käyntejä rakennustyömaalla. Suunnittelijan tehtävään kuuluu myös hankkia saatavilla oleva tieto asianomaisilta laitevalmistajilta sekä toimia tilaajan ja asiakkaan niin sanottuna välikätenä. [16, 17.]

Sähkösuunnittelijan työstä on vaikea puhua päivittäisellä tasolla, sillä työtehtävät vaihtelevat laajalti. Viikoittaisella tasolla työhön kuuluu oleellisesti itse suunnittelutyö, dokumentoinnin hallinta, työmaakäynnit sekä erilaiset suunnittelukokoukset projektiin liittyvien tahojen kanssa. Suunnittelukokoukset järjestetään joko sähkösuunnittelijoiden kesken sisäisesti tai otetaan tarvittaessa muiden alojen suunnittelijoita mukaan. [15.]

Keskeistä suunnittelutyössä ovat asianmukaiset ja ajantasaiset viiteaineistot. Standardeja tulisi noudattaa mahdollisimman tarkasti, vaikka ne lain puitteissa ovat sovellettavissa. Suunnitellessa viiteaineistoja käyttäen sekä standardeja noudattaen taataan hyvä sähköturvallisuus sekä mahdollistetaan viittaaminen standardiin ongelmatapauksissa. Myös tilaajan näkökulmasta on luotettavinta käyttää sellaisen suunnittelijan palveluita, joka noudattaa standardeja parhaan kykynsä mukaan. [16.]

Sähkösuunnittelijan viiteaineistot tulisi olla jokaisen yrityksessä työskentelevän saatavilla. Aineistojen sisältö voi vaihdella yrityksen erityisalan mukaan. Suunnittelutoimistot työstävät yleisesti erittäin laajoja kokonaisuuksia, joten viiteaineistoja tulisi olla kaikilta tarvittavilta osa-alueilta. Näitä aineistoja voivat esimerkiksi olla

- SFS-6000 Pienjännitesähköasennukset -standardisarja
- SFS-6001 Suurjännitesähköasennukset -standardisarja
- SFS-6002 Sähkötyöturvallisuus -standardisarja
- D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista
- ST-kortisto.

Suomen Sähköteknillinen Standardoimisyhdistys päivittää teoksiaan jatkuvasti, joten ajantasaisten aineistojen hankkiminen on välttämättömyys. [10; 16.]

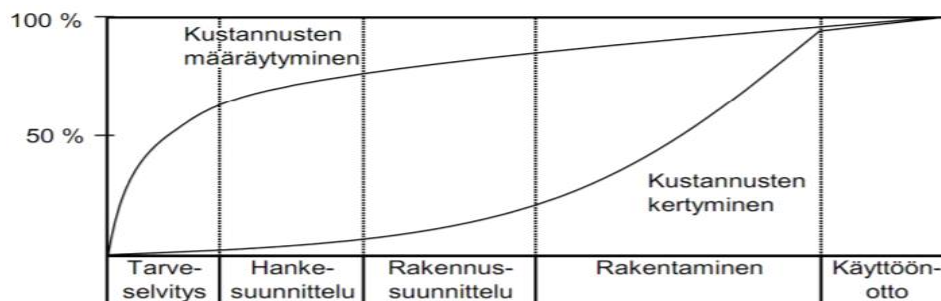
### Suunnitteluprosessi

Suunnitteluprosessi alkaa tilaajan tarveselvityksestä, jossa määritetään tarpeet muutoksille tai uudisrakennukselle. Tarveselvityksen jälkeen tilaaja aloittaa eri suunnitteluvaiheiden valmistelun. Kokonaisuudessaan prosessiin kuuluu 11 eri vaihetta. Sähkösuunnittelijalle näistä oleellimmat ovat

- hankesuunnittelu
- ehdotussuunnittelu
- yleissuunnittelu
- toteutussuunnittelu
- rakentaminen

Projektien pituus vaihtelee kohteesta riippuen todella paljon. Suuremmissa kohteissa sähkösuunnitteluprosessi saattaa kokonaisuudessaan kestää useita vuosia, kun taas pienemmissä muutostöissä vain viikkoja. [16; 24.]

Kustannukset sähkösuunnitteluprosessissa noudattavat pääsääntöisesti samaa kaavaa, kuin koko rakennushankkeen kustannukset (kuva 1). Suurin osa hankkeen kokonaiskustannuksesta määräytyy hankesuunnitteluvaiheessa, joten suunnitteluvaiheen onnistuttua moitteettomasti tiedetään jo suurimmaksi osin projektin kokonaiskustannus. Kustannukset alkavat kertymään rakentamisvaiheessa, kun työmaa laitetaan käyntiin ja aloitetaan laitehankinnat. Tässäkin vaiheessa korostuu hankesuunnittelun tärkeys.



Kuva 1. Kustannusten määräytyminen ja kertyminen [31].

### Hankesuunnittelu

Hankesuunnittelussa suunnittelijan tehtävät ovat pääsääntöisesti tilaajaa opastavia. Kohteesta selvitetään rakennettavuuden ja energiankulutuksen lisäksi suunnittelutavoitteet ja näiden menetelmien soveltaminen kyseisessä projektissa. Opastavien tehtävien lisäksi suunnittelija laatii hankesuunnitelman, joka antaa suuntaa hankkeen kustannukselle. Hankesuunnittelun jälkeen tilaaja aloittaa suunnittelun valmistelun, jossa järjestetään mahdolliset kilpailutukset ja valitaan projektin suunnittelutoimistot. [24.]

## Ehdotussuunnittelu

Ehdotussuunnittelussa suunnittelija pyrkii laatimaan vaihtoehtoisia ratkaisuja hankkeelle. Suunnittelija määrittelee erilaisia teknisiä menetelmiä, joilla päästään tilaajan tavoitteeseen mahdollisesti halvemmalla ja toimivammalla lopputuloksella. [24.]

## Yleissuunnittelu

Yleissuunnitteluvaiheessa pyritään ehdotussuunnitelmasta laatimaan toteutettava suunnitelma. Tässä suunnitteluvaiheessa varmistetaan tilaajan tavoitteet ja tullaanko näitä toteuttamaan laaditulla ehdotussuunnitelmalla. Korjausten mukaan ehdotussuunnitelmasta laaditaan toimiva yleissuunnitelma. [24.]

## Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnittelun tarkoituksen on viimeistellä yleissuunnitelma sekä määrittää kohteeseen sijoitettavat laitteistot. Toteutussuunnittelussa on kaksi eri vaihetta, joista toinen koskee projektin hankintoja ja toinen itse suunnitelmia. Hankintoja palvelevassa vaiheessa tyypitetään valaisimet sekä muut sähkötekniset kalusteet, jotta saadaan tarkempi arvio projektin kustannuksesta. Suunnitelmia koskevassa vaiheessa yleissuunnitelmasta laaditaan toteutuskelpoinen ryhmitelty suunnitelma, jotta kuvat voidaan välittää eteenpäin työmaalle ja tarvittavien laitteiden tilaaminen onnistuu. Tämä suunnittelun vaihe on laajin sähkösuunnittelijan näkökulmasta. [24.]

Suunnittelutoimistojen sisäisen prosessi alkaa tyypillisesti tilauksen jälkeisestä ensimmäisestä suunnittelukokouksesta, jossa sovitaan eri suunnittelualojen kanssa tilaajan toiveiden mukaisesti yhtenevät suunnittelukäytännöt. Prosessi jatkuu aloituspalaverilla, jonka tarkoitus on käydä läpi tilaus, odotukset suunnittelutoimistolta sekä laatia seuraavat selvitykset:

- alustava aikataulu
- lähtötiedot
- resurssit suunnittelutoimiston sisällä
- dokumenttiluettelo / päätetään laatija

- alustavien piirustus pohjien luominen / päätetään laatija.

Kokouksen tarkoitus on valmistella suunnitteluvaiheraporttiin vaadittavia alustavia tietoja, kuten henkilöiden projektipankkioikeuksia, oman työn aikataulutusta sekä itse työn kulkua.

Seurantakokouksessa, joka pidetään työn aikana, käydään läpi tehdyt sekä tekemättömät suunnitelmat, selvitetään lisäsuunnittelun tarve, ristiriidat sekä lähtötietojen mahdollinen puuttuminen. Omantönaikataulu tarkastetaan, sekä varmistetaan, että suunnitelmat ovat aikataulussa.

Useiden seuranta- ja suunnittelupalaverien jälkeen tulee suunnitteluvaiheen luovutusajankohta, jolloin pidetään viimeinen seurantakokous. Kokouksessa tarkastetaan lähtötietojen mukaiset dokumentit sekä niiden oikeellisuus. Viimeisessä kokouksessa sovi-  
taan projektipankitusten, tulostusten sekä toimituksen vastuuhenkilöt. [16.]

## Rakentaminen

Rakentamisvaiheessa varmistetaan, että toteutussuunnitelman mukaiset suunnitelmat ovat mahdollisia toteuttaa ja aloitetaan rakentaminen. Prosessin edetessä työmaalle toimitetaan työsuunnitelmia, jos tarvittavia muutoksia ilmenee. Työmaan dokumentointi tulee olla ajan tasalla ja piirustusten paikkaansapitäviä sekä toteutuskelpoisia. [24.]

## Nuorempi suunnittelija

Nuoremaksi suunnittelijaksi kuvaillaan henkilöä, jolle ei projektin johtovastuuta vielä ole yrityksessä annettu. Nämä, alan niin sanotut noviisit, toimivat pääsääntöisesti sähköteknisinä dokumentoijina, jotka saavat ohjeistuksensa vanhemmilta, kokeneemmilta suunnittelijoilta. Korkeakoulusta vastikään valmistuneet suunnittelijat mielletään usein nuoremaksi suunnittelijoiksi, ennen noin viiden vuoden työkokemusta. Nuoremman suunnittelijan työpäivästä kuluu keskimäärin noin puolet dokumentointiin. Kokemuksen puutteesta johtuen myös suuri osa päivästä kuluu viiteaineistojen lukemiseen sekä keskusteluihin laitevalmistajien kanssa. Suunnitteluun täytyy olla saatavilla konsultointia kollegoilta ja lopputuloksen vastuu on pääsääntöisesti projektipäälliköllä, jonka tulee tarkastaa ja vahvistaa suunnitelmat. [17.]

## Vanhempi suunnittelija

Työkokemuksen karttuessa suunnittelutyössä pääsee suunnittelija ottamaan vastuuta projektikokonaisuuksista. Vastuun myötä suunnittelijaa aletaan nimittää vanhemmaksi suunnittelijaksi. Projektipäälliköt ovat lähes aina vanhempia suunnittelijoita, joilla on vastuu koko sähköteknisestä suunnittelusta ja piirtämisestä. Vanhemman suunnittelijan työnkuvaan kuuluu aikataulutus, projektipalaveriin osallistuminen parhaan mahdollisuuden mukaan, suunnitelmien oikeellisuuden tarkastaminen sekä yleinen kokonaisuuden hallinta, johon kuuluu mm. alla lueteltujen asiakirjojen laatiminen:

- valaistuslaskelmat
- kustannuslaskelmat
- oikosulkulaskelmat
- vahvavirtajohdotuspiirustukset
- sähkötyöohje.

Tilaaaja harvoin on sähköalan ammattilainen, joten projektin sähkösuunnittelija on velvollinen laatimaan vaadituista dokumenteista riittävän selkeät. [13, s. 65].

Vanhemman suunnittelijan työpäivästä kuluu noin kaksi kolmasosaa suunnitteluun. Suunnitteluun kuuluu kokonaisuuden hahmottaminen ja hallinta, joten usein hahmoteltujen suunnitelmien dokumentointi on nuoremman suunnittelijan työ. Projektipäällikön on oltava myös jatkuvasti yhteydessä muiden alojen suunnittelijoihin sekä tilaajaan ja rakennuttajaan. [16.]

## 3 Rakennusautomaatio

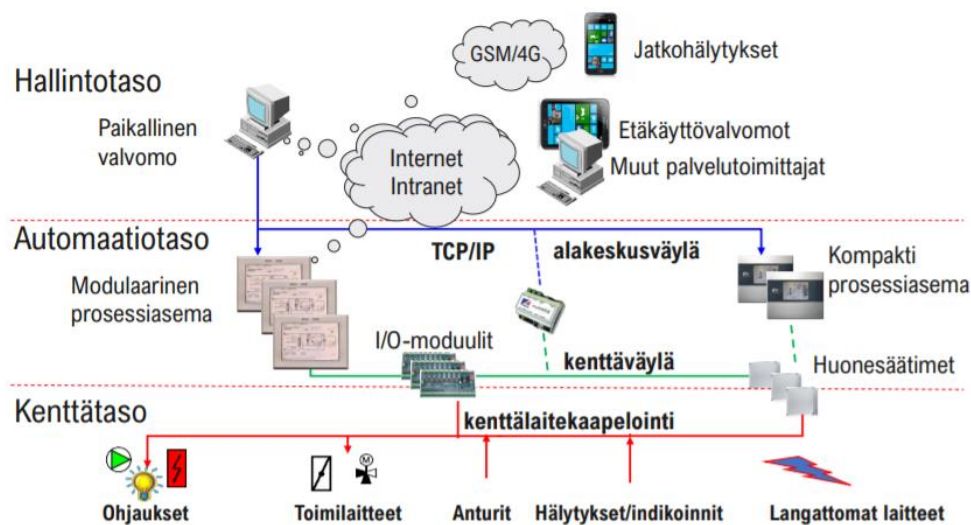
Kiinteistöautomaatiolla pyritään luomaan rakennuksista mahdollisimman energiatehokkaita ja toimintatehokkaita ohjaamalla kiinteistön eri prosesseja väylätekniiikan avulla. Kolme neljäsosaa rakennuksen elinkaaren aikana muodostuvista kustannuksista koostuu käyttökustannuksista, joita voidaan huomattavasti pienentää rakennusautomaation

avulla. [20.] Rakennusautomaatio on tulevaisuuden näkökulmasta oleellinen osa rakentamisen prosessia, ja tulee suurelta osin syrjäyttämään keskuksiin asennettavan relelogiikan.

### 3.1 Keskitetty järjestelmä

Keskitetyissä järjestelmissä rakennusautomaation pohjana toimii alakeskukset. Alakeskukset ohjaavat I/O-pisteisiin liitettyjä laitteita, joiden kautta automaatioprosessi saadaan toivotuksi. Hierarkian rajat ovat häilyviä, sillä älyä hajautetaan itse laitteisiin. Kuten kuvasta 2 huomataan, perinteisessä keskitetyssä järjestelmässä on kolme tasoa:

- hallintotaso (valvomot)
- automaatiotaso (I/O-moduulit, alakeskukset, prosessiasemat)
- kenttätaso (anturit, laitteet, säätimet).



Kuva 2. Perinteisen rakennusautomaation hierarkia [18].

Kommunikaatio hallintotasolla tapahtuu yleisesti WLAN-verkon avulla. Automaatiotason ja suurin osa kenttätason laitteista keskustelee puolestaan väyläyhteyden avulla. Paikallisverkon kaapelointi toteutetaan CAT-standardien mukaan tai kuituyhteyksillä. [18.]



### 3.2 Kenttä- ja ohjausväylä

Kenttätasolla olevat laitteet ja säätimet liittyvät alakeskuksiin kenttäväyläksi kutsutulla toteutuksella. Kenttäväylä on tiedonsiirtoratkaisu, joka yhdistää koko rakennuksen automaation. Kommunikointi kenttäväylässä toteutetaan yleensä parijohdolla tai sähkö- ja radioverkoilla. Samassa väylässä saattaa olla useita eri laitevalmistajan tuotteita, joten laitteiden on noudatettava samaa protokollaa, jotta ne pystyvät toimimaan yhdessä. Tunnetuimpia kenttäväyläratkaisuja standardointinsa vuoksi ovat ModBus sekä KNX. [18.] Kenttätasolla sijaitsevat ohjausväylät ovat tarkoitettu yksilöllisempään laitteiden ohjaukseen. Ohjausväylät eivät tarvitse kenttäväylää toimiakseen, vaan prosessi luonnistuu laitteiden- ja ohjausyksikön sisään asennettuun ja ohjelmoituun älyyn. Ohjausväylistä tunnetuin on valaistuksen ohjaukseen tarkoitettu DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*), joka yksinkertaisuutensa vuoksi on järkevintä jättää pois kiinteistöautomaatiojärjestelmästä ja käyttää sitä itsenäisenä ohjausjärjestelmänä. [19.]

#### KNX

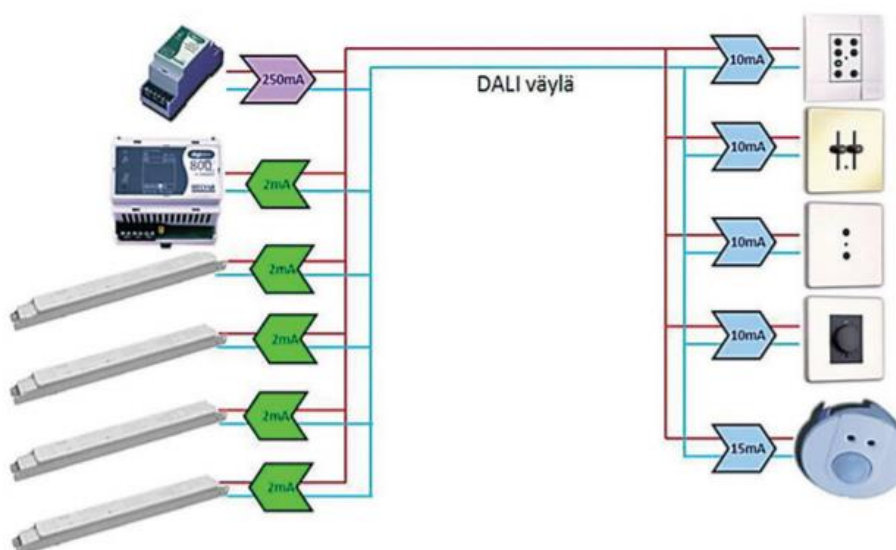
KNX-väylästandardissa on yhdistetty kolmen Euroopan merkittävimmän kenttäväylän parhaat puolet. BatiBUS, EIB ja EHS yhdistyivät luoden markkinoiden johtavan väyläjärjestelmän [18]. KNX on saavuttanut Suomessa johtava rakennusautomaatiojärjestelmän tittelin, joka on käytössä kiinteistöissä, teollisuudessa sekä kaupungeissa. Järjestelmän tarkoitus on luoda rakennuksista itsenäisesti toimivia, jotka ennakoivat ulkoisiin muutoksiin ilman erillistä ohjausta. KNX on avoin ja standardoitu järjestelmä, johon voidaan liittää useiden eri laitevalmistajien tuotteita, kunhan nämä ovat yhteensopivia protokollan kanssa. [21.]

#### DALI

Valaistuksenohjaukseen tarkoitettu ohjausväyläjärjestelmä DALI perustuu ohjaussignaaliin, jolla ohjataan valaisimissa olevia liitäntälaitteita sekä ohjauspainikkeita. DALI-järjestelmä on syrjäyttänyt 1–10 V ohjausjärjestelmän lähes kokonaan. Järjestelmällä pystytään luomaan monia erilaisia valaistustilanteita käyttökohteen mukaan. DALI itsessään ei tarvitse erillistä sähkönsyöttöä, vaan ottaa käyttöjännitteensä väylästä. [19.]

Tekniikka toimii parikaapeloinnilla, johon sopeutuu mikä tahansa verkkojännitekaapeli. Parikaapeli kytketään valaisinten ja ohjauspainikkeiden välillä samaan väylään. Väylä

kytketään usein keskuksessa sijaitsevaan ohjausyksikköön, joka toimii ohjelmoinnin mukaan. DALI:n jokaisella laitteella on yksilöllinen osoite, joten yksittäistä valaisinta pystytään ohjaamaan haluttaessa, vaikka se on kytketty yhteiseen väylään. Tämä tuo jo itsessään huomattavan edun 1–10 V järjestelmään. Valaisimet voidaan liittää valaistusryhmiksi, joita voi yhdessä väylässä olla 16, joissa jokaisessa voi olla 16 mukautuvaa valaistustilannetta. Yhteen väylään voidaan kytkeä 64 yksilöllistä osoitetta, tai kuten kuvassa 3 esitettynä, yhteisvirraltaan 250 mA:n edestä toimilaitteita. Liitäntälaitteita ohjataan ennalta ohjelmoiduin ryhmin tai yksittäin. Kaikkia liitäntälaitteita voi halutessaan ohjata samanaikaisesti broadcast-toiminnolla. [22.] Tarpeen vaatiessa voidaan tilata ohjausyksikkö, johon voidaan kytkeä useampi väylä, jolloin mahdollistetaan laajempienkin kiinteistöjen valaistuksenohjaus [19].



Kuva 3. DALI-järjestelmä [22].

Väyläkaapeloinnin jännitteenalenema tulee Suomen sähköverkon vaatimusten mukaan alittaa 2 V:n kynnys. Tämän vuoksi kaapelointi tulee olla maksimissaan noin 300 m, jos ohjauskaapelina käytetään kuparijohdinta sekä virta on DALI-väylän maksimivirta; 250 mA (Kaava 1).[19.]

$$U_V = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\gamma \cdot S} \quad (1)$$

$U_V$  on jännitteen alenema,  $l$  on syöttöjohdon pituus,  $S$  johtimen poikkipinta-ala ja  $\gamma$  on kuparin sähkönjohtavuus

Thoughtco.com:n johtavuustaulukon mukaan kuparikaapelilla sähkön johtavuus on  $56 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$  [25], joten jännitteen alenemaksi  $U_V$  saadaan

$$\frac{2 \cdot 300 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ A}}{56 \cdot 1,5 \text{ mm}^2} = 1,67 \text{ V}$$

Näin voidaan todeta 300 m syöttökaapelin alittavan vaadittu 2 V:n raja.

## DALI 2

DALI:n versio 2 tuotiin kokonaisuudessaan julki vuonna 2017, tarkoituksenaan päivittää ilmenneet aukot DALI:n alkuperäisessä rekisteröinnissä. Versio toi mukanaan uusien päivitettyjen ominaisuuksien lisäksi myös ensimmäisen standardoinnin ohjausyksiköille sekä liitäntälaitteille. [33.]

Uudet ominaisuudet liitäntälaitteissa tuovat paremman mahdollisuuden tärkeän tiedon siirtoon, kuten energian kulutuksesta sekä valaisinten lämpötilasta, joka vaikuttaa suoraan LED:ien elinikään. Tämä edesauttaa valaistuksen elinkaaren suunnittelua sekä lisää valaisinten käyttötunteja. [33; 34.]

DALI:n uuden version myötä osoitteiden määrä ohjausyksikössä lisättiin 64:stä 128:aan. Tämän myötä useampia sensoreita sekä kytkimiä voidaan kytkeä saman ohjauksen taakse. Käyttäjien saatua tuplasti enemmän osoitteita, vähentyy suurten laitteistojen määrä ja saavutetaan helpommin ohjelmoitava kokonaisuus kiinteistön valaistuksesta. Helposti ohjelmoitavat ja suuremmat ohjausyksiköt mahdollistavat joustavuutta itse ohjelmointiin valaistuksen elinkaarta silmällä pitäen, sillä suunnittelijaa ei ole enää sidottu ohjelmoimaan valaistustilanteita kaapelointi-infran perusteella. [33; 34; 35.]

DALI 2 sertifiointiin lisääntyä markkinoille saadaan todella joustavia valaisinratkaisuja laitevalmistajien välillä. Joustavuus helpottaa sähkösuunnittelijan sekä arkkitehdin työtä huomattavasti. [33.]

## 4 LVI-sähköistys

Lämmityksen, veden sekä ilmanvaihdon (LVI) toimilaitteet usein tarvitsevat myös sähkönsyötön toimiakseen. LVI-sähköistuksen piirustukset erotetaan sähköjärjestelmistä laatimalla omat dokumentit sekä piirustukset. Tällä mahdollistetaan kuvien täsmällisyys ja luettavuus.

Vesi- ja lämmitysjärjestelmissä sähköä vaativat mm. jakotukit, sähkötoimiset hanat, rät-tipatterit, saattolämmitykset sekä kattokaivojen sulana pidot. Sulanapidot ja saattolämmitykset toteutetaan kohteeseen sopivalla lämmityskaapelilla. Muut vesi- ja lämmitysjärjestelmien sähköä tarvitsevat laitteet vaativat tyypillisesti normaalin 1-vaiheisen syötön. [35.]

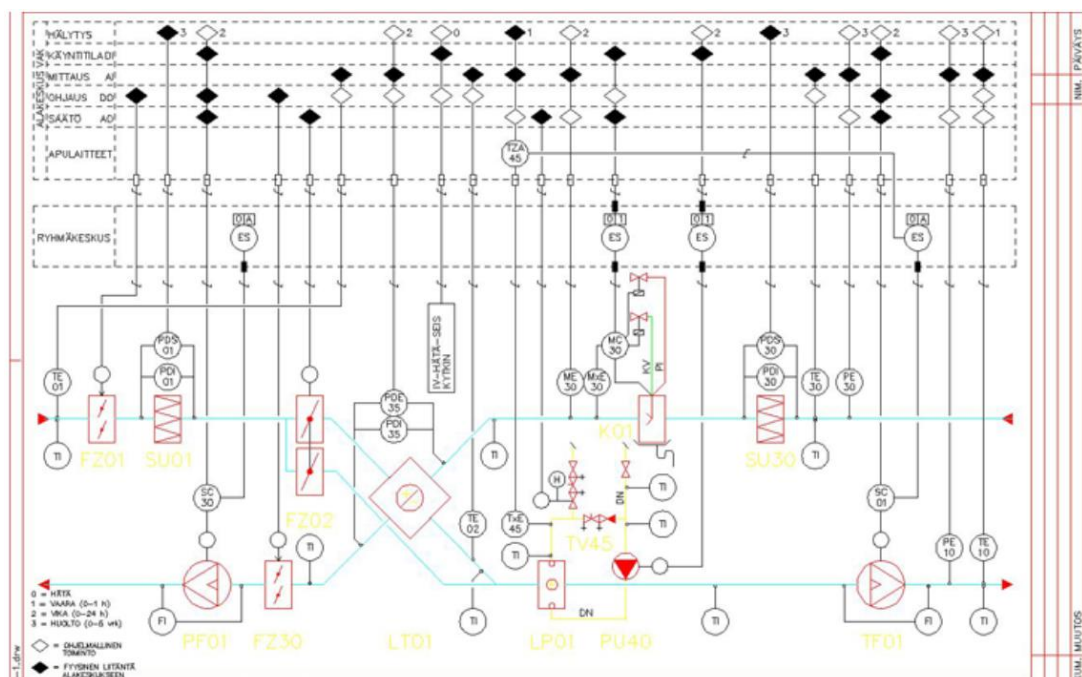
Ilmastointijärjestelmän sähköistykset ovat hieman monimutkaisempia. Kiertoilmakojeet, erillispuhaltimet ja savunpoistopuhaltimet vaativat osakseen turvakytkimellä varustetun sähkönsyötön. Erillis- sekä savunpoistopuhaltimet toimivat pääsääntöisesti tasavirtamoottorilla (EC-moottori), joka sijaitsee puhaltimen vieressä. Sähkönsyöttö kaapeloidaan suoraan ilmanvaihtokeskukselta turvakytkimen kautta moottorille. Suuret modulaariset ilmanvaihtokoneet tai pakettikoneet vaativat aina turvakytkimellä varustetun syötön. Modulaariset koneet ovat hyvin joustavia ilmanvaihdon suunnittelun näkökulmasta, joten sähkösuunnittelijan täytyy kiinnittää erityistä huomiota laitetyppeihin sekä säätökaavioihin. Ilmanvaihdon sähköistyksessä korostuu erityisesti kahden suunnittelualan välinen kommunikointi ja täsmällisyys. [35; 36.]

### 4.1 IV-laitteiden sähkösuunnittelu

Ilmanvaihtolaitteiden (IV-laitteet) sähkösuunnittelu on LVI-järjestelmistä haastavin. Laiteluettelot päivittyvät usein ja ajankohtaista tietoa voi olla vaikeakin saada. LVI-suunnittelijoiden laatimasta laiteluetteloista selviää ilmanvaihtokoneiden tyyppi, sähköteho, toiminta-alue ja sijainti [40].

Sähkösuunnittelijan on laiteluettelon sekä lähtötietojen avulla määrä suunnitella käytettävät kaapelityypit ja mahdolliset lisäsuojaukset ilmanvaihtokoneille. Ilmanvaihdon sähkösuunnitteluun kuuluu myös piirikaavioiden laatiminen. Piirikaavioiden osoitetaan, miten IV-keskuksen sisäiset ohjaustoiminnot toteutetaan. IV-koneiden ohjaukset tehdään joko kaksi- tai kolmiasentoisella kytkimellä, jotta ne saadaan pois päältä huollon yhteydessä tai tarpeen vaatiessa. Kolmiasentoisten kytkimien tapauksessa kytkin asetetaan käyttötilanteessa A-asentoon (automaatti), jolloin koneen käynnin ohjaus tapahtuu valvonta-alakeskuksen kautta. [23.]

Sähkösuunnittelussa myös rakennusautomaatiosuunnittelijan laatimat säätökaaviot nousevat tärkeään rooliin. Säätökaaviot eivät ole esillä päivittäisissä sähkösuunnittelijan työtehtävissä, joten niiden tulkitseminen saattaa olla kyseiseen alueeseen perehtymättömälle suunnittelijalle vaikeaa ja vaatii usein konsultointia. Säätökaavioissa tulee ottaa huomioon, mitä kaapelointeja ryhmäkeskuksesta vaaditaan ja mikä on kyseisen laitteen toimintaperiaate. Kaaviosta käy ilmi myös minkälaisia hälytys- ja ohjauskaapelointeja halutaan valvonta-alakeskuksesta (VAK), joka tyypillisesti ohjaa ilmanvaihtokonetta. Kuvassa 4 on esitetty esimerkki IV-laitteen säätökaaviosta. [37].



Kuva 4. Ilmanvaihtokoneen säätökaavio [37].

Kuvassa esitetyt mustat ja valkoiset kytkentäplintit kuvaavat valvonta-alakeskuksen toimintoja ja kaapelointia. Valkoiset symbolit edustavat ohjelmallista toimintoa, joka toteutetaan VAK:in sisäisesti ohjelmoimalla. Mustat merkit puolestaan ovat fyysisiä liitäntöjä, eli kaapelointeja valvontakeskukseen. [37.]

#### 4.2 Pakettikoneet ja modulaariset koneet

Modulaaristen- ja pakettikoneiden ero sähkösuunnittelijan näkökulmasta on sähkönsyöttöjen määrä ja toteutusperiaate. Pakettikoneiden ohjaukset ja sisäiset kaapeloinnit on toteutettu laitevalmistajan toimesta, jolloin kone vaatii osakseen vain yhden 3-vaiheisen syötön turvakytimen kautta. Pakettikoneet ovat tyypillisesti varustettuja tulo- ja poistoilmapuhaltimilla sekä lämmön talteenotolla. [39.]

Modulaarisissa koneissa puolestaan jokainen ilmanvaihtoon liittyvä koje tarvitsee oman syöttönsä. Yksi modulaarinen kokonaisuus pitää tyypillisesti sisällään neljä kojetta: tulo- ja poistoilmapuhaltimet, lämmön talteenotto sekä lämmityspumppu. Modulaariset koneet kuitenkin nimensä mukaan ovat kohtuullisen joustavia, joten kohteesta riippuen voidaan joitain kojeita jättää kokonaisuudesta pois. Aiemmin mainitut säätökaaviot ovat todella kriittinen osa modulaaristen koneiden sähkösuunnittelua. Säätökaavioiden mukaan täytyy huomioida jokaisen kojeen ohjaus yksilöllisesti, toisin sanoen mitä kojeita halutaan ohjata valvontakeskuksen avulla. [38; 39.]

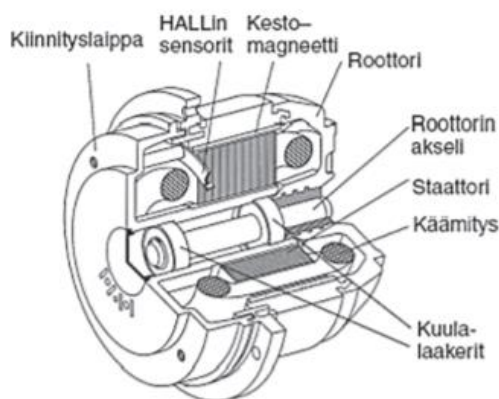
#### 4.3 Taajuusmuuttajat ja EC-moottorit

Ilmanvaihtokoneiden ohjaus voidaan toteuttaa taajuusmuuttajalla, jos sen moottori on oikosulku- tai kestopagneettimoottori. Jos koneessa on EC-moottori (elektronisesti komutoitu), siihen on integroitu moottorin pyörimisnopeudenohjain. Taajuusmuuttajaohjauksessa moottorin pyörimisnopeutta voidaan käytännöllisesti säätää portaattomasti syötettävää taajuutta säätämällä, kun taas puolestaan EC-moottorissa nopeudensäätö tapahtuu 0–10 V:n tasajännitteellä tai väyläviestinnällä. [41.]

##### EC-moottori

Elektronisesti kommutoidun D.C-moottorin ero tavalliseen D.C-moottoriin on kommutointi. Tämä tarkoittaa, että EC-moottorin pyörivä roottori on akselistaan kiinnitetty staattoriin laakereilla. Staattorin magneettikentän sekä roottorin pyörimisen vuoksi virran

suunta vaihtelee. Kommutointi tapahtuu EC-moottorissa elektronisesti, eikä tavallisesti toteutettujen hiiliharjojen avulla. EC-moottorin pyörimisnopeuden säädön vuoksi ohjaukseen ei tarvita erillistä taajuusmuuttajaa, jolloin vältetään mahdollisilta suurtaajuushäiriöiltä. Olemattomien taajuushäiriöiden vuoksi kaapelointiin ei tarvita erikseen häiriösuojattua kaapelia. Kuvassa 5 esitetty EC-moottorin läpileikkaus. [42.]



Kuva 5. EC-moottori [42].

Uuden EC-moottoritekniikan vuoksi suuritehoisia moottoreita ei vielä ole markkinoilla. Suurimmat käytettävät EC-moottorit ovat 7 kW teholtaan. Suurempitehoisten kojeiden säätöön on käytettävä taajuusmuuttajaa tai suuritehoista oikosulkumoottoria. [42.]

#### Taajuusmuuttaja

Pyörimisnopeuden portaaton säätö helpottaa ilmanvaihdon energiankulutuksessa, sillä pyörimisnopeus on verrannollinen kojeiden käyttämään tehoon. Säästöä taajuusmuuttajaohjauksessa tulee myös keskukseen asennettavien suojalaitteiden vähenemän vuoksi. Taajuusmuuttajat ovat kehityksensä vuoksi yleistynyt huomattavasti. Lukemattomien parametrien vuoksi moottoria voidaan ohjata lähes miten halutaan. Parametrit mahdollistavat mm. jarrutus- ja kiihdytysaikojen säädön sekä lukuisia muita käytännöllisiä toimintoja, kuten laskennallisen ylikuormitussuojauksen. Jokainen koje vaatii osakseen taajuusmuuttajan, jolloin näiden määrä voi kasvaa moneen kymmeneen isoissa kohteissa. [43.]

Ohjaaminen voidaan toteuttaa joko digitaalisella väylällä tai I/O-pisteillä. Digitaalisesti ohjatussa taajuusmuuttajassa pisteet ovat ohjelmallisia fyysisten I/O-pisteiden sijaan. Fyysisessä I/O-ohjauksessa kaapelointikustannukset luonnollisesti kasvavat, kaikkien

pisteiden ollessa fyysisesti kiinnitettyjä. Tästä huolimatta digitaalinen ohjaus on harvinaisempaa, sillä fyysiset kaapeloinnit ovat asentajan, suunnittelijan sekä käyttäjän näkökulmasta helpompia. Neljää fyysistä pistettä käytetään yleensä taajuusmuuttajan ohjaamiseen. Ohjaus- ja asetusarvopisteet kertovat taajuusmuuttajalle käynnistykseen liittyvät vaatimukset (käyntitieto ja lähtötaajuus) ja valvonta-alakeskukseen kaapeloidaan hälytys- ja käyntitiedot. [45.]

Taajuusmuuttajan haittana voidaan pitää sen tuottamia yliaaltoja, joiden vuoksi tarvitaan häiriösuojattu kaapelointi (EMC) [43]. Standardista IEC 61800-3 löytyy tietoa häiriösuojauksesta ja EMC-luokista.

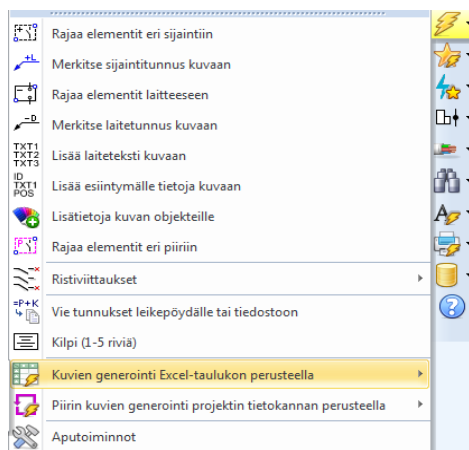
## 5 Piirikaavioiden generoiminen

Tietokonepohjaisia CAD-ohjelmistoja kuvailtiin ennen teknisiksi piirustusohjelmiksi. Nykyajan teknologian kehitys on kuitenkin muovannut piirustusohjelmista enemmänkin suunnitteluohjelmia. Projektien hallinnasta on tullut huomattavasti helpompaa ja käytännöllisempää esimerkiksi ohjelmistoihin luodun tietokannan vuoksi. Tietokanta luo yksilölliset tunnukset laiteryhmillä, joten kojeistojen ja rakenteiden tyypittäminen on todella yksinkertaista. Suunnitteluohjelmien ylläpitäjät pyrkivät helpottamaan teknisten suunnittelijoiden työtä päivittämällä ja uusimalla ohjelmistojaan palautteen mukaan. Insinööriyössäni käyttämä suomalainen suunnitteluohjelma CADS on tästä loistava esimerkki. CADS päivittää ohjelmistoaan jatkuvasti tuoden markkinoille uuden version joka vuosi. Jatkuva päivittäminen tuo myös omat haasteensa suunnitteluun, sillä uuden version myötä tulee paljon uusia ominaisuuksia, joista suunnittelijat eivät yleensä ole tietoisia, eivätkä osaa näitä käyttää. [16; 26].

### 5.1 Generoiminen CADS-ohjelmistolla

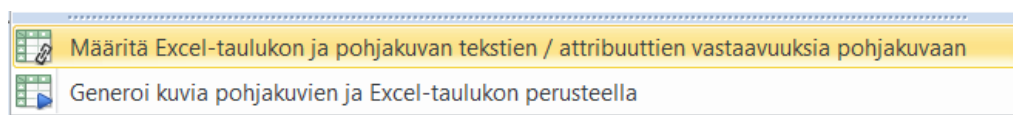
Piirikaavioiden generoiminen CADS-ohjelmistolla tapahtuu valmiiden piirikaaviopohjien sekä Excel-taulukon mukaan. CADS piirikaavio-sovelluksessa on toiminto ”Kuvien generointi Excel-taulukon perusteella”, jolla kaaviopohjiin liitetään Excelin mukaiset tekstit sekä attribuutit (kuva 6). Kaaviopohjiin täytyy sijoittaa piirikaavion mukaiset ja keskuk- sessa sijaitsevat laitteet, kojeet ja riviliittimet. Pelkästään jokaisen kojeen tunnus sekä numerointi tapahtuu Exceliin luodun taulukon perusteella. Piirikaavio tulee generoida aina samaan kansioon kuin pohjakuvat, jonka jälkeen valmis kaavio voidaan siirtää halutun projektin alle.





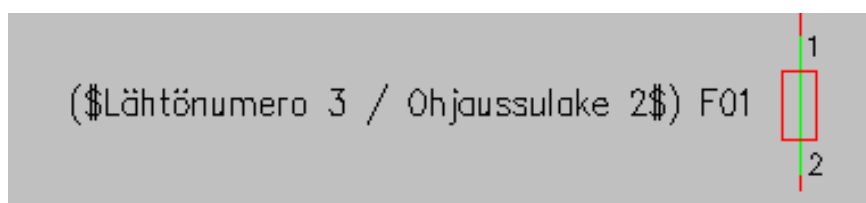
Kuva 6. Kuvien generointi Excel-taulukon perusteella

Haluttujen tekstien ja attribuuttien tuominen Excelistä tapahtuu CADs:issä olevan valmiin toiminnon avulla: "Määritä Excel-taulukon ja pohjakuvan tekstien/attribuuttien vastaavuuksia pohjakuvaan" (kuva 7), jonka jälkeen valitaan halutun Excel-sarakkeen nimi sekä minkä laitteen attribuutiksi kyseinen viittaus halutaan. Attribuutiksi tulee valitun sarakkeen nimi, \$-merkkien sisään. Tämä tarkoittaa, että viittaus tapahtuu tämännimiseen sarakkeeseen (Kuva 8). Puolestaan Excelliin tulee sijoittaa viittaus, mihin pohjakuvaan tiedot generoidaan. Tämä tapahtuu lisäämällä sarake "Pohjakuva", johon täytyy kunkin rivin kohdalle kirjoittaa halutun pohjakuvan nimi, kuvan 9 mukaan. Tällöin generointi tapahtuu tiettyyn piirikaaviopohjaan ja ohjelma tietää mihin kaaviopohjaan kunkin rivin tiedot liitetään.



Kuva 7. Attribuuttien ja tunnusten määrittäminen pohjakuvaan [27.]

Laitteiden viittaukset Excel-taulukkoon tulee sijoittaa yksilöllisesti piirikaavioiden pohjakuviin, jotta generointi onnistuu Excel-taulukon perusteella. Taulukossa viitattuun pohjakuvaan generoituu soluun kirjoitettu attribuutti tai teksti.



Kuva 8. Viittaus Excel-taulukkoon [27.]

Viittaus tapahtuu Excel-taulukon sarakkeeseen, jonka nimi on Lähtönumero 3 / Ohjaus-  
sulake 2. Generoituun piirikaavioon tulee tällöin ko. sarakkeessa oleva tieto. Sarakkei-  
den nimet eivät ole ennalta määritettyjä, vaan tekstit voivat olla mitä tahansa, kunhan ne  
vastaavat toisiaan. Muiden suunnittelijoiden työn helpottamiseksi sarakkeet tulisi nimetä  
mahdollisimman kuvaileviksi ja selkeiksi.

Pohjakuva
VARASAIKEET.drw
POISTUMISTIEVALAISTUS.drw
ENSIMMÄINEN VALAISTUS.drw
VALAISTUS.drw
VALAISTUS.drw
VALAISTUS.drw
LÄMPÖKOJEET.drw

Kuva 9. Excel-taulukon pohjakuvasarake

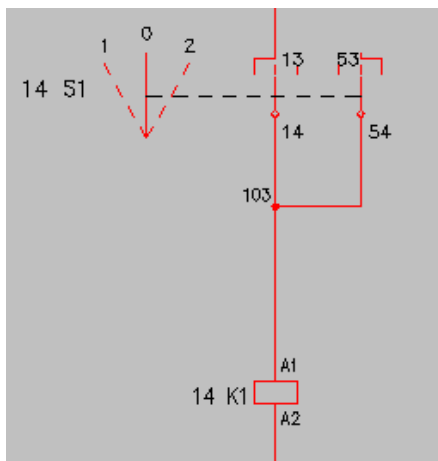
Pohjakuvan nimi tulee taulukossa olla täysin sama kuin drw-tiedoston. Pohjakuva on ai-  
noa ennalta määritetty sarakkeen nimi.

## 5.2 Yleisimmät piirikaaviot

Piirikaaviot ovat osa suunnittelutyötä lähes viikoittain [17]. Tärkeää kaavioiden suunnit-  
telussa on selvittää ja huomioida, millainen laite on kyseessä ja mitä ohjaukselta halu-  
taan. Tämän vuoksi piirikaavioiden laatiminen on työlästä, eikä siinä voi oikoa. Piirika-  
viot ovat pääsääntöisesti samanlaisia rakenteeltaan, mutta eroavaisuuksia löytyy riip-  
puen esimerkiksi ilmanvaihtokoneen toimintaperiaatteesta ja tyypistä.

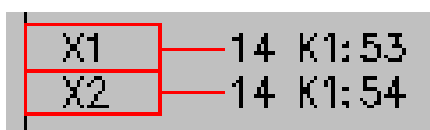
### IV-piirikaaviot

Ilmanvaihtokoneiden piirikaaviot ovat ohjauksen yksinkertaisuutensa vuoksi pitkälti sa-  
manlaisia, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Oleellisin muutos, jota ilmanvaihdon  
piirikaavioissa esiintyy, on käynnistyskytkimen malli (kuva 10) sekä käyntitiedon indi-  
kointi (kuva 11).



Kuva 10. Ilmanvaihtokoneen käynnistyskytkin [27.]

Ilmanvaihtokoneen käynnistys voi tapahtua kaksiasentoisella 1/0-kytkimellä tai kuvassa esitetyllä kolmiasentoisella 1/0/A-kytkimellä. Kolmiasentoisen kytkimen tapauksessa 2-asentoon (automaatti) kytketään esimerkiksi lämpötilan mittausreleen apukosketin tai valvonta-alakeskuksen kosketin, joka ohjaa konetta päälle ja pois tarpeen mukaan.



Kuva 11. Käyntitiedon indikointi valvontakeskukseen

Ilmanvaihtokoneen käyntitieto halutaan joissain tapauksissa indikoida valvonta-alakeskukseen (VAK), jotta kiinteistöautomaatio saa tarvittavat tiedot koneiden toiminnasta. Hälytys- ja käyntitiedot liitetään valvontakeskukseen parikaapeloinnilla. Ilmanvaihto- ja valvontakeskusten väliin kytketään ohjaus- ja hälytyskaapeloinnit, joissa on varaukset myös muille ilmanvaihtokoneille sekä riittävästi varalähdöille. Ohjauskaapelointina voi esimerkiksi käyttää MMO-HF 27x1,5-kaapelia.

### Ryhmäkeskukset

Ryhmäkeskuksissa harvemmin on monimutkaisempia ohjaustoimintoja, joten valaistuksen piirikaaviot ovat yleensä ainoat, joissa on variaatioita. Valaistusohjauksen piirikaaviot ovat yksinkertaisia, mutta vaativat silti paljon resursseja suunnittelupuolella. Tästä syystä esimerkiksi keskusvalmistaja UTU on luonut kotisivuilleen valmiita vakiovalaistuksenohjaus piirikaavioita. [23; 28.]

Väyläteknologian sekä DALI:n myötä ryhmäkeskuksiin sijoitettava relelogiikan mukainen valaistuksenohjaus on vähentymään päin. DALI:n mukana tuleva ohjausyksikkö sijoitetaan ryhmäkeskukseen ja tämä esitetään vain keskuskaaviossa. Ohjauskeskuksen omat toiminnot ohjelmoidaan sisäisesti, ja keskus ohjaa valaistusta väylän kautta, jolloin releohjausta ei tarvita. [19.]

## 6 Piirikaaviopohjat ja generoitava Excel-taulukko

Insinööritöyssäni tehtävänä oli laatia generoitavat piirikaaviopohjat yleisimmin käytetyille piirikaavioille. Osana tehtävänantoa oli myös luoda generoimiseen tarkoitettu Excel-taulukko. Taulukosta oli saatava mahdollisimman selkeä ja helposti ymmärrettävä muidenkin suunnittelijoiden käyttöön. Lopputuloksen oli tarkoitus helpottaa ja nopeuttaa piirikaavioiden dokumentointia huomattavasti CADS-ohjelmistolla. Henkilökohtaisen kokemuksen siivittämänä suoritettiin kokeilu, jonka avulla todettiin valmiiden piirikaaviopohjien ja generoitavan Excel-taulukon nopeuttavan kaavioiden suunnittelua noin 30 %. Yleisimpiä piirikaavioita, joiden pohjia lähdin työstämään, oli yhteensä 17:

- IV-koneet (pumppu, tuloilma- ja poistoilmapuhallin, 2- ja 3-asentoinen varalähtö)
- IV-hätä-seis
- valaistus (neljä erilaista valaistuksenohjaus piirikaaviota)
- poistumistievalaistus ja jännitevalvontarele (normaali- ja LVI-keskukset erikseen)
- varasäikeet (normaali- ja LVI-keskukset erikseen)
- lämpökojeet (emännänkytkin).

Piirikaaviot eroavat hieman LVI-keskuksen ja normaalin ryhmäkeskuksen välillä. LVI-keskuksesta harvemmin otetaan ohjattuja valaistuslähtöjä ja kaikki lähdöt ovat pääsääntöisesti sulakelähtöjä. Ero LVI-keskuksen ja ryhmäkeskuksen poistumistievalaistuksissa on valaistusryhmien apureleet (liite 9 ja 15). Yleensä kiinteistöissä on tiloja, jotka halutaan valaista tulipalon sattuessa, joten vikavirtasuojauksen yli kytketään apurele, jolla valot saadaan päälle esimerkiksi portaikoissa tai keittiössä.

## 6.1 LVI-keskuksen piirikaaviot

LVI-keskuksesta laadittiin yleisimmin käytetyt kaaviopohjat. Pohjia tuli yhteensä kymmenen. Ilmanvaihdon piirikaaviot vaihtelevat paljon riippuen koneen tyypistä. Yleensä lähdöt ovat 0/1-kytkimellä varustettuja releohjattuja lähtöjä, jolloin tulee käyttää tulo- ja poistoilman kaaviopohjaa (liite 1 ja 2). Ero näiden välillä on lämmityspumpun käyntitieto, joka ohjaa tuloilmapuhaltimen käyntirelettä. Tulo- ja poistoilman piirikaaviopohjia on yksinkertaisuutensa vuoksi mahdollista käyttää myös IV-pakettikoneen kaaviona. Jos pakettikoneeseen ei ole liitetty pumppua, voi pumpun käyntitiedon sekä viittaukset poistaa tai käyttää poistoilmapuhaltimen pohjaa.

IV-koneisiin on liitetty usein myös lämmityspumppu ja joissain tapauksissa lämmöntalteenotto. Molemmissa kyseisistä lähdöistä tulee käyttää lämmityspumppu kaaviopohjaa (liite 3). IV-Hätäseis piirikaavio on sähkösuunnittelijan vastuulla, jos ilmanvaihtoon halutaan niin sanottu kova hätäseis-toiminto (liite 4). Vaihtoehtona on VAK-ohjattu ohjelmallinen hätä-seis, jolloin erillistä painiketta ei ole, eikä piirikaaviota tarvitse tällöin laatia.

Virheiden minimoimisen vuoksi varalähdöistä luotiin neljä erillistä pohjaa; 3-asentoinen ensimmäinen varalähtö, 3-asentoinen varalähtö, 2-asentoinen ensimmäinen varalähtö sekä 2-asentoinen varalähtö (liite 5–8). Ensimmäisistä varalähdöistä oli syytä tehdä omat pohjat, helpottaakseen viittauksien korjaamista. Varalähdöissä ohjaus- ja merkkilamppuryhmät kytketään riviliittimiin, joista ne ketjutetaan seuraaviin varalähtöihin. Tästä syystä ensimmäiseen varalähtöön tulee viittaus ryhmien sulakkeisiin ja normaaleihin varalähtöpohjiin tulee viittaus edellisen ryhmän riviliittimeen.

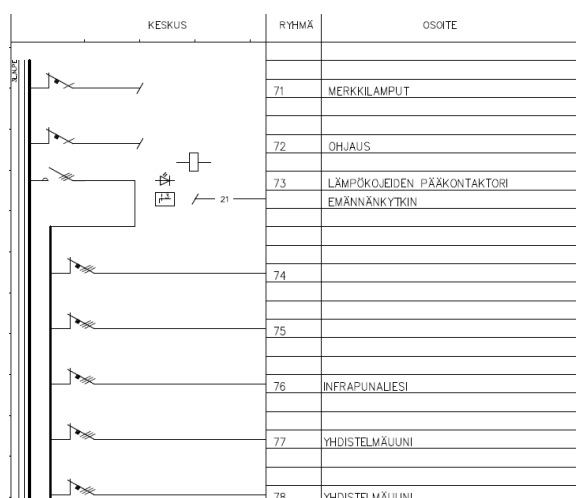
IV-keskusten varasäikeisiin kytketään valvonta-alakeskusten hälytys- ja ohjauskaapelointien ylimääräiset säikeet (liite 10). Jos kiinteistössä on useampia IV-keskuksia, myös nämä ketjutetaan keskusten välisellä ohjauskaapeloinnilla. Varasäikeiden piirikaavio tulee siis aina korjata riippuen siitä, kuinka monta säiettä jää ohjauskaapeloinneista yli.

## 6.2 Ryhmäkeskuksen piirikaaviot

Normaaleissa ryhmäkeskuksissa ohjatut valaistuslähdöt aiheuttavat eniten työtä. Valaistuslähtöjä on todella monta erilaista, joista nykypäivänä yleisimmät ovat painikeohjattu

sekä VAK-ohjattu lähtö (liite 11-14). Näistä molemmista tehtiin generoitavat piirikaavio-pohjat. Ensimmäiset valaistuslähtöpohjat oli myös hyvä tehdä, edellä mainitusta syystä varalähtöjen tapauksissa.

Valmistus- ja lämmityskeittiöiden ryhmäkeskuksiin tulee ohjattujen valaistuslähtöjen lisäksi usein lämpökojeiden ohjauskytkin (liite 17). Tällaisissa tapauksissa keittiökeskukseen rakennetaan oma kenttä (kuva 12), johon kytketään lämmitettävät kojeet kuten padat, hellat ja uunit. Kenttää ohjataan keittiön työpöydälle sijoitettavalla niin kutsutulla emännänkytkimellä.



Kuva 12. Emännänkytkimen pääkontaktori pääkaaviossa

Emännänkytkin ohjaa painonapilla kaikki kenttään kytketyt laitteet pois päältä keittiöstä poistuttaessa.

Ryhmäkeskusten varasäikeisiin kytketään valvonta-alakeskusten ylimääräiset ohjauskaapeloinnit, joten jokaisen keskuksen tapauksessa varasäikeiden piirikaavio tulee korjata, riippuen siitä kuinka monta VAK-ohjattua lähtöä on (liite 16).

## 7 Johtopäätökset

Insinööritöni tarkoituksena oli luoda piirikaavioiden sähkösuunnittelua helpottava ja nopeuttava työkalu, jolla päästään haluttuun lopputulokseen varmemmin. Työn tulos luo hyvän lähtökohdan sähkösuunnittelun kehitykselle ja suuremman mallikirjaston laatimiseksi. Kyseisen suunnittelutyökalun on tarkoitus palvella insinööritoimisto Stacon Oy:tä

ja tämän käyttöön tullaan järjestämään koulutus kaikille toimistossa työskenteleville suunnittelijoille. Työssä sivuttiin myös sähköinsinöörikoulutuksen historiaa sekä nykyisiä rakentamiseen liittyviä sähkösuunnittelumenetelmiä, jotka luovat pohjan ajatukselle ”Mitä suunnittelu tulee olemaan tulevaisuudessa?”.

Sähkösuunnittelua tulisi tehostaa ja digitalisoida nykymaailmassa mahdollisimman paljon. Ohjelmistojen toimintojen jatkuva etsiminen ja käyttöaidon kohentaminen on vasta alkua siitä, mihin suuntaan suunnittelun rakennusosalalla tulisi mennä. Tekniikka kehittyä jatkuvasti ja suuriin mielenkiintoisiin kohteisiin on mahdollisuus päästä osaksi vain, jos pysyy ajan hermolla kehityksen ja ohjelmistojen kanssa. Esimerkiksi Virtual Reality (VR) on luonut täydellisen mahdollisuuden heittäytyä innovatiiviseksi edelläkävijäksi suunnittelualalla. Virtuaalinen todellisuus tulee luultavasti olemaan suurin suunnittelualaa muovaava digitalisaation tuotos tietokonepohjaisten piirustusohjelmien jälkeen.

Virtuaalisessa todellisuudessa VR-lasien avulla päästään toiseen täysin muokattavaan todellisuuteen. Tämä mahdollistaa esimerkiksi eri toimistojen välisten suunnittelukokousten pitämisen siten, että osallistujien ei tarvitse poistua toimistoltaan. Muistiinpanoja pystyy laatimaan suoraan todellisuuteen, vaikka kirjoittamalla seiniin, muistioihin tai ilmaan hahmottaakseen tarkoituksensa. VR:n mukana tuomat avatarit ja luonnollinen keskustelualusta luovat oivat edellytykset työmaakokouksien pitämiseen suoraan 3D-mallissa. Avatarien välityksellä pystyy käytännössä kommunikoimaan ja liikkumaan mallinnetussa rakennuksessa ja osoittaa huomioitaan siitä miltä valmiin kohteen tulisi näyttää ja millaista siellä on liikkua. Tällä hetkellä VR-ominaisuutta käytetään muutamissa kymmenissä innovatiivisissa yrityksissä kokoustamisen helpottamiseksi. Johtavat suunnittelutoimistot ovat hiljalleen ottamassa käyttöön tätä mahdollisuutta. Muutaman vuoden kuluessa luultavasti ollaan siinä pisteessä, että kaikilla suunnittelutoimistoilla tulee olla VR mahdollisuus. [44.]

Toinen virtuaaliseen todellisuuteen rinnastettava uusi mahdollisuus on lisätty todellisuus AR (Augmented Reality). Lisäystä todellisuudesta hyötyvät erityisesti toimialat, jotka käyttävät älylaseja. Älylasien avulla voi tunnistaa kuvia, objekteja, QR-koodeja ja paljon muuta [46]. Lasien avulla voidaan myös reflektoida esimerkiksi ohjekirjoja, työohjeita tai työvaiheita omaan näkökenttään, jolloin tarvittavan tiedon löytäminen on todella helppoa. Digitaalisia tietoja, kuten edellä mainittuja ohjekirjoja tai itse työdokumentteja, voi asettaa ympärilleen reaali maailman näkökenttään, joka tekee kokoustamisesta paljon tehokkaampaa.

## Lähteet

- 1 Columbia University in the City of New York. Electrical Engineering History. Verkkodokumentti. Luettu 09.09.2019.  
<https://www.ee.columbia.edu/ee-history>
- 2 Brief History of the Radio. Verkkodokumentti. Luettu 09.09.2019.  
<https://www.scaruffi.com/politics/radio.html>
- 3 History of the Radio: From Inception to Modern Day. Verkkodokumentti Luettu 09.09.2019.  
<https://www.techwholesale.com/history-of-the-radio.html>
- 4 The Birth of Electrical Engineering. Verkkodokumentti. Luettu 09.09.2019.  
<http://news.mit.edu/2011/timeline-eeecs-0309>
- 5 The History of Blueprints. Verkkodokumentti. Luettu 09.09.2019.  
<https://blog.plangrid.com/2016/04/the-history-of-blueprints/>
- 6 Transitioning from Pre-Civil War Paper Plans to the Digital Age. Verkkodokumentti. Luettu 09.09.2019.  
<https://www.oncenter.com/blog/article/transitioning-to-the-digital-age>
- 7 Risto Mäenpää Säätiö. Verkkodokumentti. Luettu 09.09.2019.  
<http://www.ristomaenpaansaatio.fi/saatio/index.html>
- 8 Sähkösuunnittelijat NSS ry:n 50-vuotis juhlalehti. Luettu 09.09.2019.
- 9 SESKO:n Historia. Verkkodokumentti. Luettu 09.09.2019.  
[https://www.sesko.fi/sesko\\_ry/seskon\\_historia](https://www.sesko.fi/sesko_ry/seskon_historia)
- 10 SESKO 50 vuotta, juhlakirja, 2015, sivut 8-11.
- 11 IEC History (1906-1949. Verkkodokumentti. Luettu 09.09.2019.  
[https://www.iec.ch/about/history/overview/history\\_1906\\_1949.htm](https://www.iec.ch/about/history/overview/history_1906_1949.htm)
- 12 The History of Electrotechnical Commission. L.Ruppert, sivut 1-4.
- 13 Insinöörikoulutusta 100 vuotta, juhlakirja, TAMK, sivut 8-12.



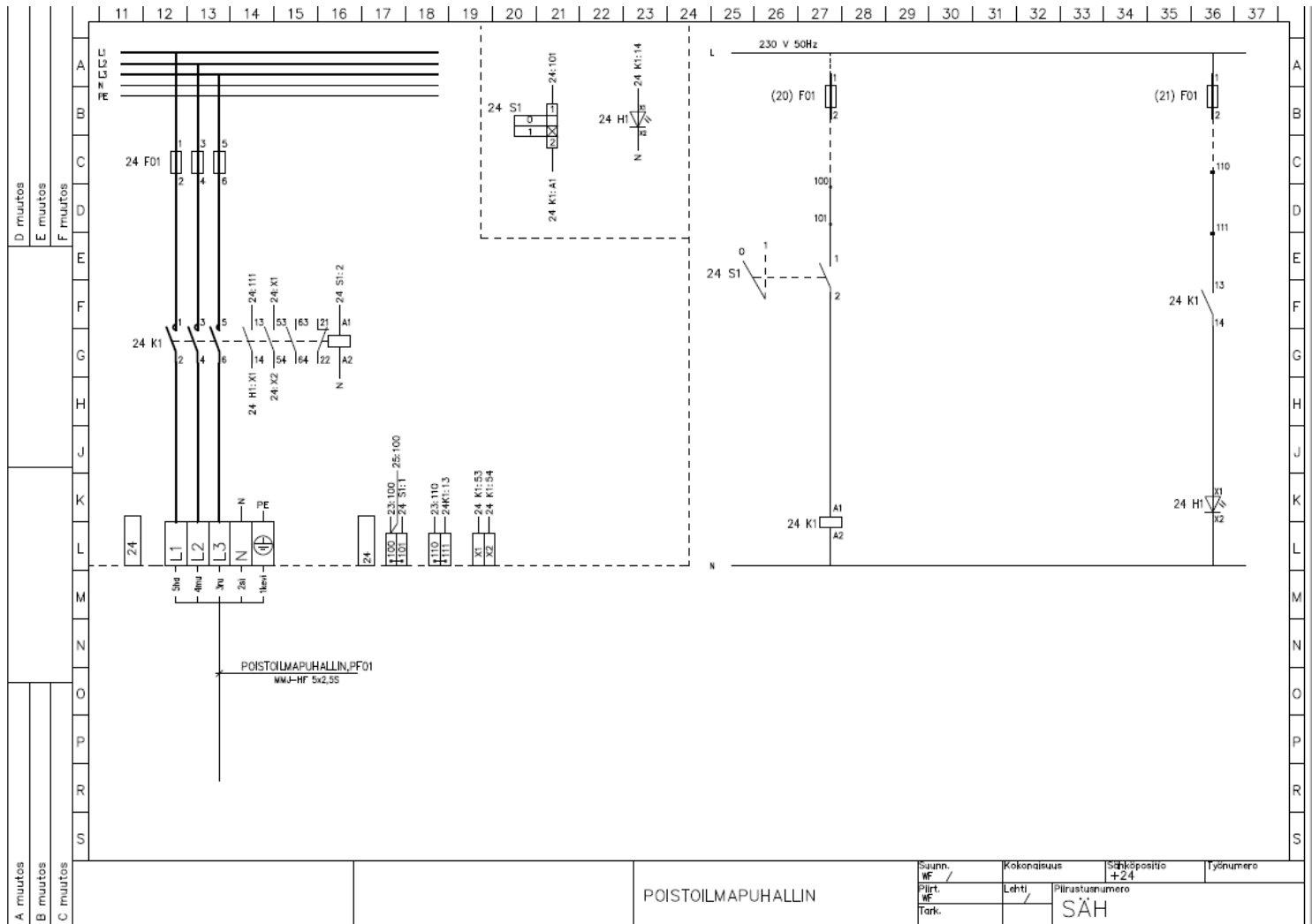
- 14 Sähkösuunnittelijan käsikirja, 2004 Harsia, Pirkko; Autio, Isto; Neuvottelevat sähkösuunnittelijat; Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto.
- 15 Sähkösuunnittelijat NSS ry, Youtube-video -Sähkösuunnittelijan polku. Katsottu 16.09.2019.  
<https://www.youtube.com/watch?v=l-bVZ8YwpAQ>
- 16 Haastattelu 13.09.2019 Stacon oy. Vanhempi suunnittelija. Keskusteltu 13.09.2019.
- 17 Haastattelu 13.09.2019 Stacon oy. Nuorempi suunnittelija. Keskusteltu 13.09.2019.
- 18 Piikkilä, Veijo ym. 2001. ST-käsikirja 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 19 Tridonic DALI-Manual. Verkkodokumentti. Luettu 16.09.2019.  
[https://www.tridonic.it/it/download/technical/DALI-manual\\_en.pdf](https://www.tridonic.it/it/download/technical/DALI-manual_en.pdf)
- 20 Schneider Electric Kiinteistöautomaatio- ja ohjausjärjestelmät. Verkkodokumentti. Luettu 16.09.2019.  
<https://www.se.com/fi/fi/work/products/building-automation-and-control/>
- 21 KNX verkkosivut. Luettu 16.09.2019.  
<http://www.knx.fi/>
- 22 ST-kortisto, ST 701.60 Talotekniikan kenttäväyläteknikka. Peruskäsitteet ja suunnittelun perusteita.
- 23 UTU-koulutus 20.09.2019, Keskus- ja laitevalmistaja UTU:n järjestämä koulutus Tammistossa.
- 24 ST-kotristo, ST 41.10 Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo TATE18.
- 25 Thoughtco, Table for Electrical Resistivity and Conductivity. Verkkodokumentti. Luettu 26.09.2019.  
<https://www.thoughtco.com/table-of-electrical-resistivity-conductivity-608499>
- 26 CADs-verkkosivut. Luettu 26.09.2019.  
<http://www.cads.fi/>
- 27 CADs18 -ohjelmisto.
- 28 UTU, Ladattavat aineistot, piirikaaviot valaistus. Verkkodokumentti. Luettu 16.10.2019.  
<https://www.utu.eu/ladattavat-aineistot/keskuspiirikaviot/piirikaaviot-valaistus#Valaistusohjaus%20A-0-K%20-kytkimell%C3%83%C2%A4%20ja%20aika-releell%C3%83%C2%A4>

- 29 ST-käsikirja 35, Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien tilanvaraus.
- 30 SKOL Henkilöryhmittely. Verkkodokumentti. Luettu 16.10.2019.  
[https://skol.teknologiateollisuus.fi/sites/skol/files/file\\_attachments/skol\\_henkilöryhmittely.pdf](https://skol.teknologiateollisuus.fi/sites/skol/files/file_attachments/skol_henkilöryhmittely.pdf)
- 31 Junnonen ja Kankainen 2013. Rakentaminen. Rakennustieto.
- 32 Helvar Uutiset, Lehdistötiedotteet, DALI 2. Verkkodokumentti. Luettu 17.10.2019.  
<https://www.helvar.com/fi/uutiset/dali-2-what-does-it-mean-you/>
- 33 Digital Illumination Interface Alliance, Overview of DALI-2 certification. Verkkodokumentti. Luettu 17.10.2019.  
<https://www.helvar.com/fi/uutiset/dali-2-what-does-it-mean-you/>
- 34 Digital Illumination Interface Alliance, DALI-2 versus DALI-version 1. Verkkodokumentti. Luettu 17.10.2019.  
<https://www.digitalilluminationinterface.org/dali/comparison.html>
- 35 Pistesarjat, tuotteet, lämpökaapelit. Verkkosivut. Luettu 28.10.2019.  
[https://pistesarjat.fi/fi/tuotteet/teollisuuden-lammitysjarjestelmat/lampokaapelit?gclid=CjwKCAjwo9rtBRAdEiwAWXcFvHmfm0hGrUV5iPXGTgS5Eio0xSn-brwyk4ZGymfk-aEmf16IDFiEdBoCbgQAvD\\_BwE](https://pistesarjat.fi/fi/tuotteet/teollisuuden-lammitysjarjestelmat/lampokaapelit?gclid=CjwKCAjwo9rtBRAdEiwAWXcFvHmfm0hGrUV5iPXGTgS5Eio0xSn-brwyk4ZGymfk-aEmf16IDFiEdBoCbgQAvD_BwE)
- 36 Antti Koponen. Diplomityö. 2007. Taajuusmuuttajien käytön ongelmakohdat kiinteistöautomaatiossa.
- 37 CADS, ohjelmistot, rakennusautomaatio, säätökaaviot. Verkkosivut. Luettu 28.10.2019.  
<https://www.cads.fi/ohjelmistot/cads-hepac/rakennusautomaatio>
- 38 Energent, ilmastointikoneet, EGP ja EGX. Verkkosivut. Luettu 29.10.2019.  
<https://www.energent.fi/ilmastointikone/egp-egx/>
- 39 Energent, ilmastointikoneet, Millenier. Verkkosivut. Luettu 29.10.2019.  
<https://www.energent.fi/ilmastointikone/ilmastointikone-millenier/>
- 40 Insinööritö. Miro Keltti. 2017. Ilmanvaihtokonehuoneen sähkösuunnittelu.
- 41 SystemAir, Puhaltimet EC-moottoreilla. Verkkodokumentti. Luettu 29.10.2019  
[https://www.systemair.com/globalassets/downloads/leaflets-and-catalogues/suomi/ec\\_puhaltimet\\_12\\_2015\\_web.pdf](https://www.systemair.com/globalassets/downloads/leaflets-and-catalogues/suomi/ec_puhaltimet_12_2015_web.pdf)
- 42 ST 21.33 EC- ja PM-moottorit taloteknisessä järjestelmässä.
- 43 ST-Käsikirja 17, Rakennusautomaatiojärjestelmät.

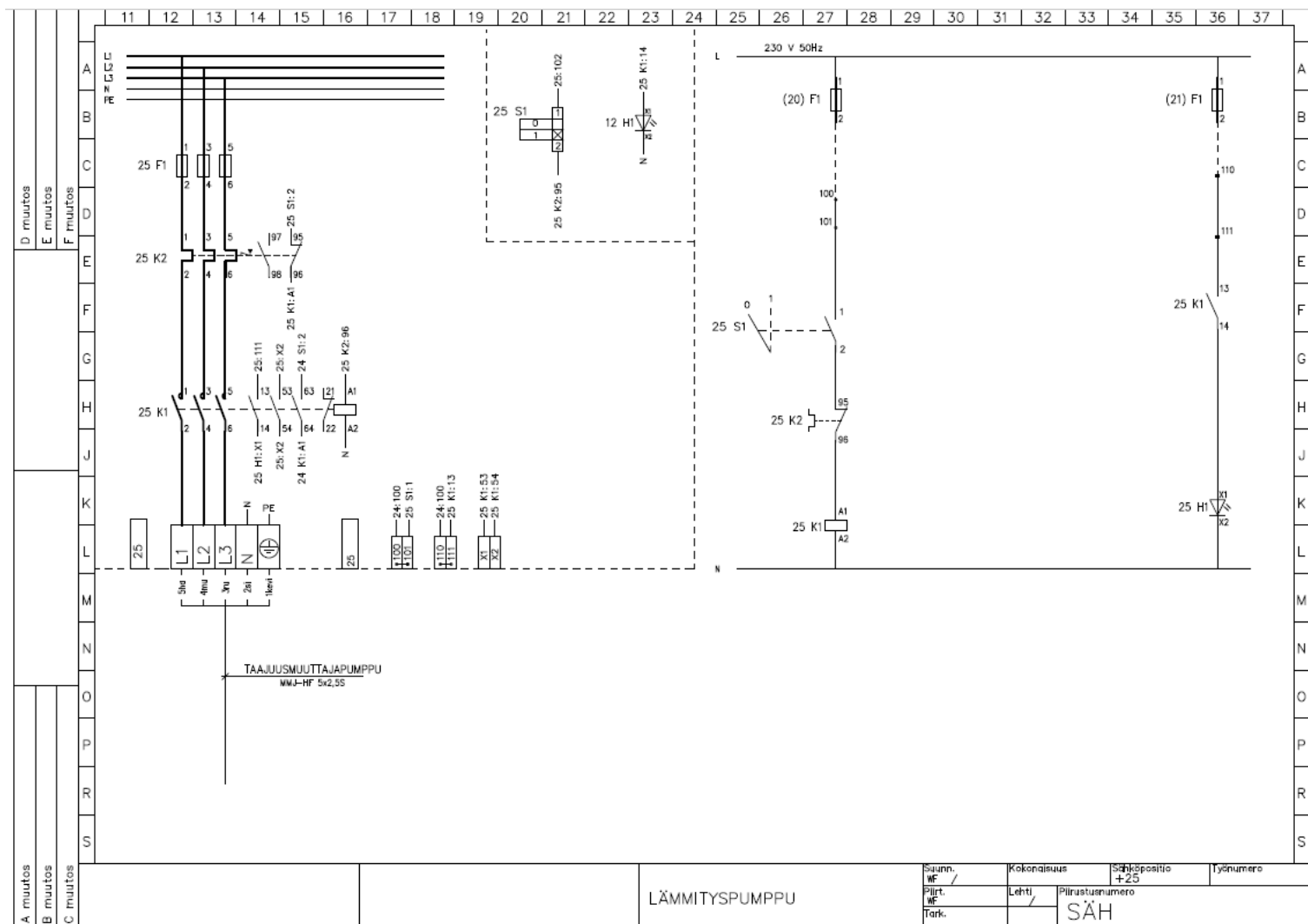
- 44 Glue VR-koulutus. 29.09.2019. Insinööritoimisto Stacon.
  
- 45 SähköNet, Teollisuuden sähköjärjestelmät, Taajuusmuuttajat. Verkkosivut. Luettu 08.11.2019  
<https://blogit.gradia.fi/sahkonet/sahko-ja-automaatioasennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat/>
  
- 46 Softability, xr-palvelut, AR. Verkkosivut. Luettu 08.11.2019  
[https://softability.fi/xr-palvelut/?gclid=CjwKCAiAwZTuBRAYEi-wAcr67OZLj99EzcRYtHG1-asxNVpzq\\_1Gt3KKA6NX-Z\\_wrDBPviCwHl-hKs7BoCuV8QAvD\\_BwE](https://softability.fi/xr-palvelut/?gclid=CjwKCAiAwZTuBRAYEi-wAcr67OZLj99EzcRYtHG1-asxNVpzq_1Gt3KKA6NX-Z_wrDBPviCwHl-hKs7BoCuV8QAvD_BwE)



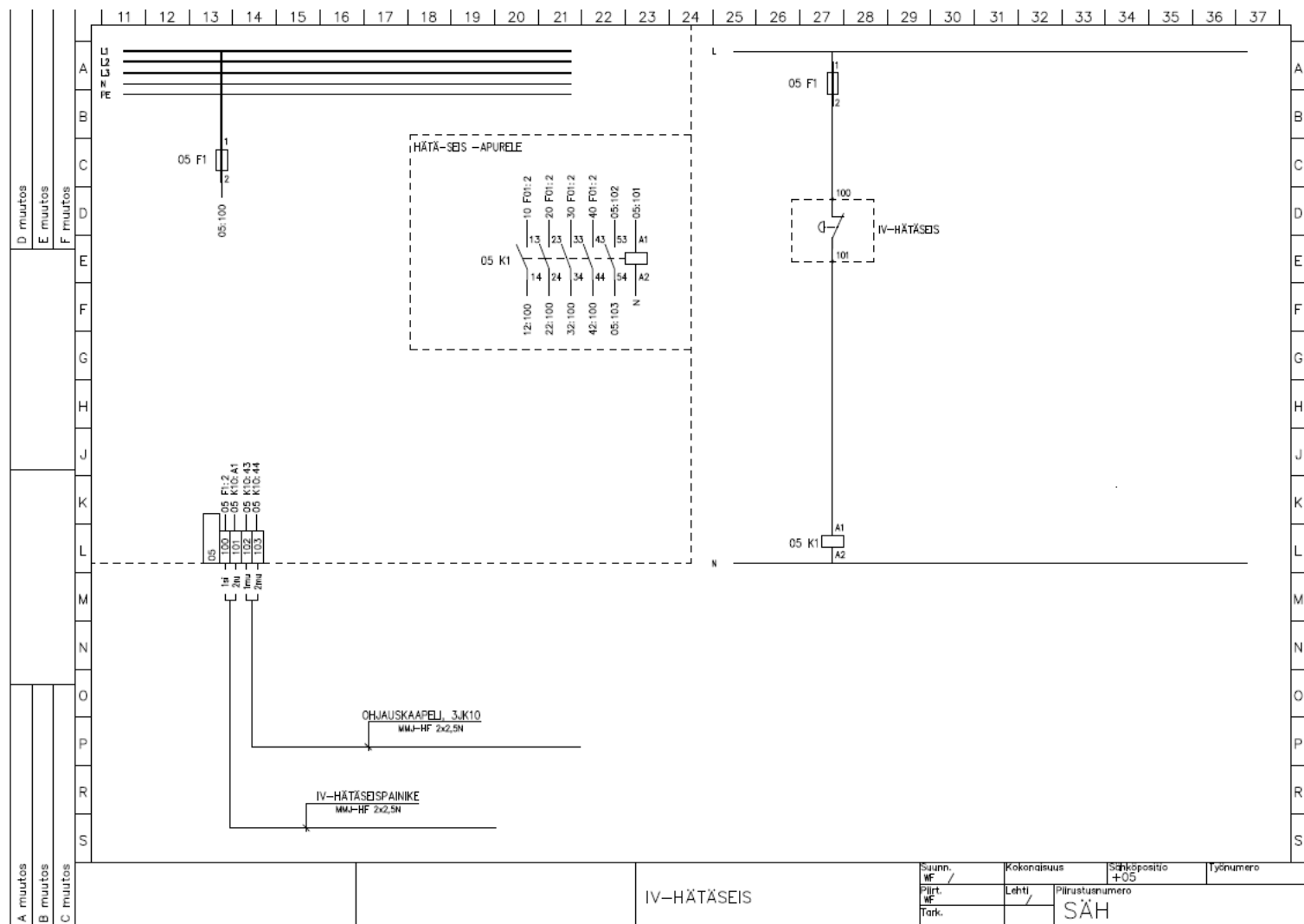
Poistoilmapuhaltimen piirikaavio.



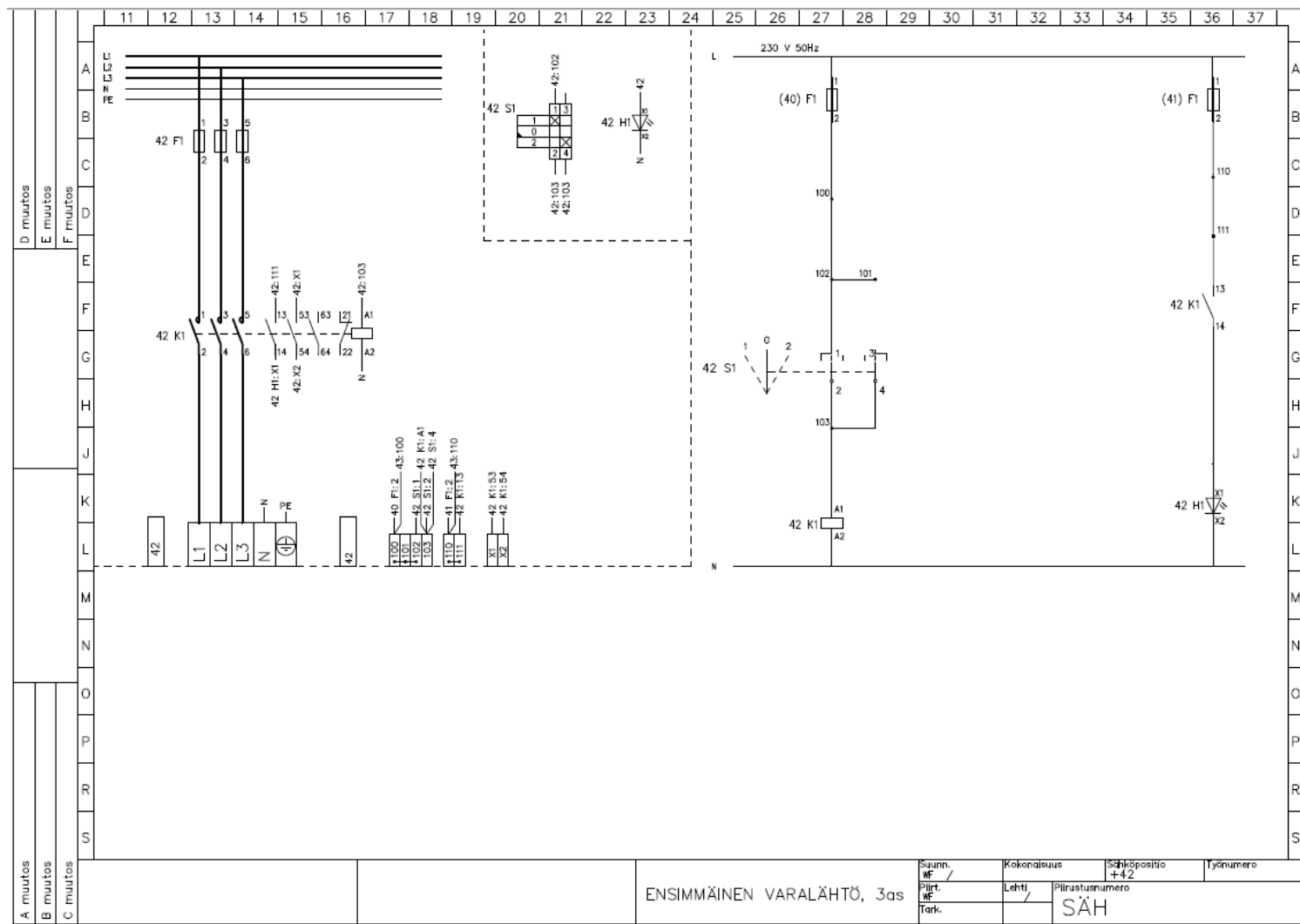
Lämmityspumpun ja lämmöntalteenoton piirikaavio.



IV-Hätäseis piirikaavio.

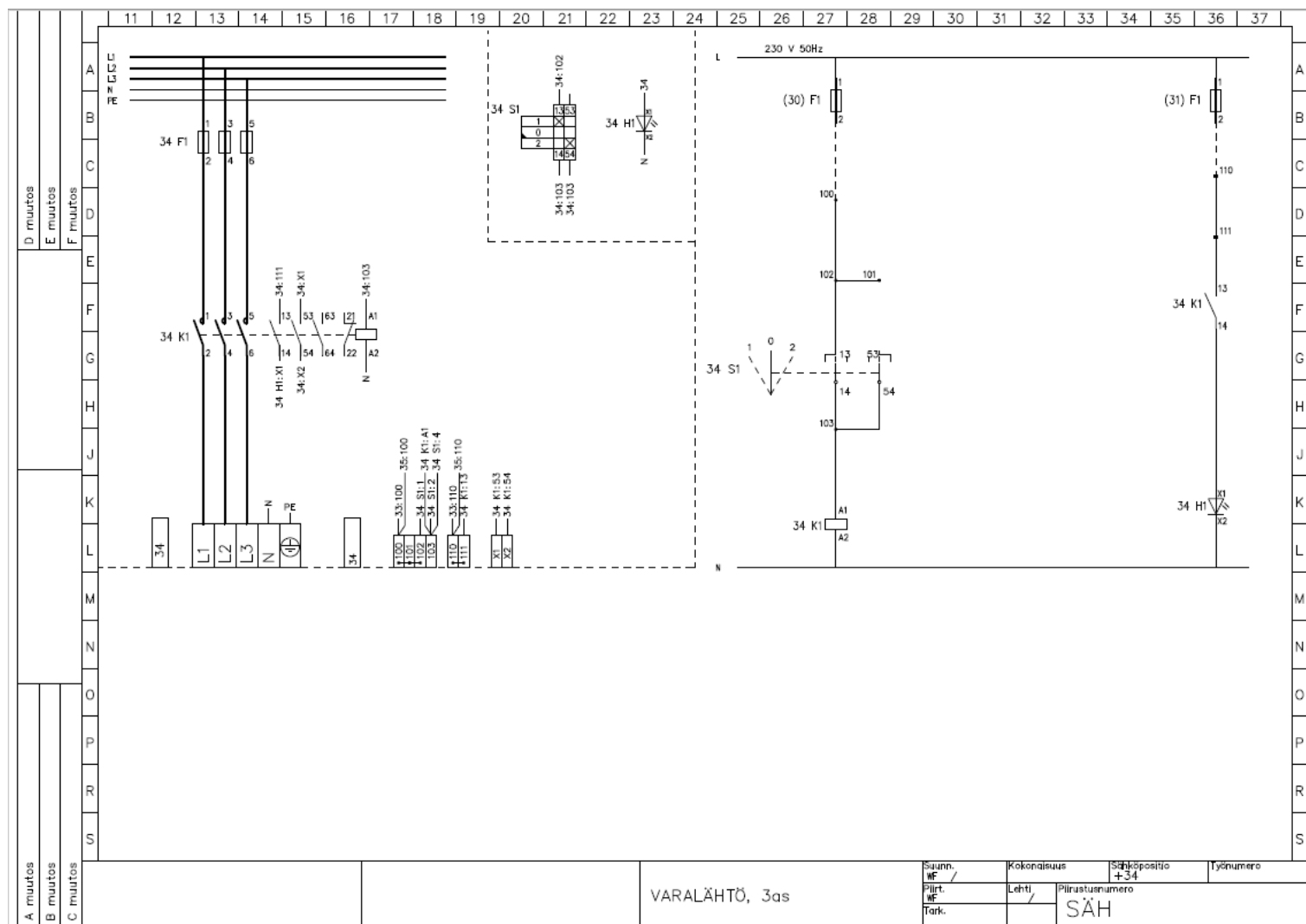


Ensimmäisen 3-asentoisen IV-varalähdön piirikaavio.

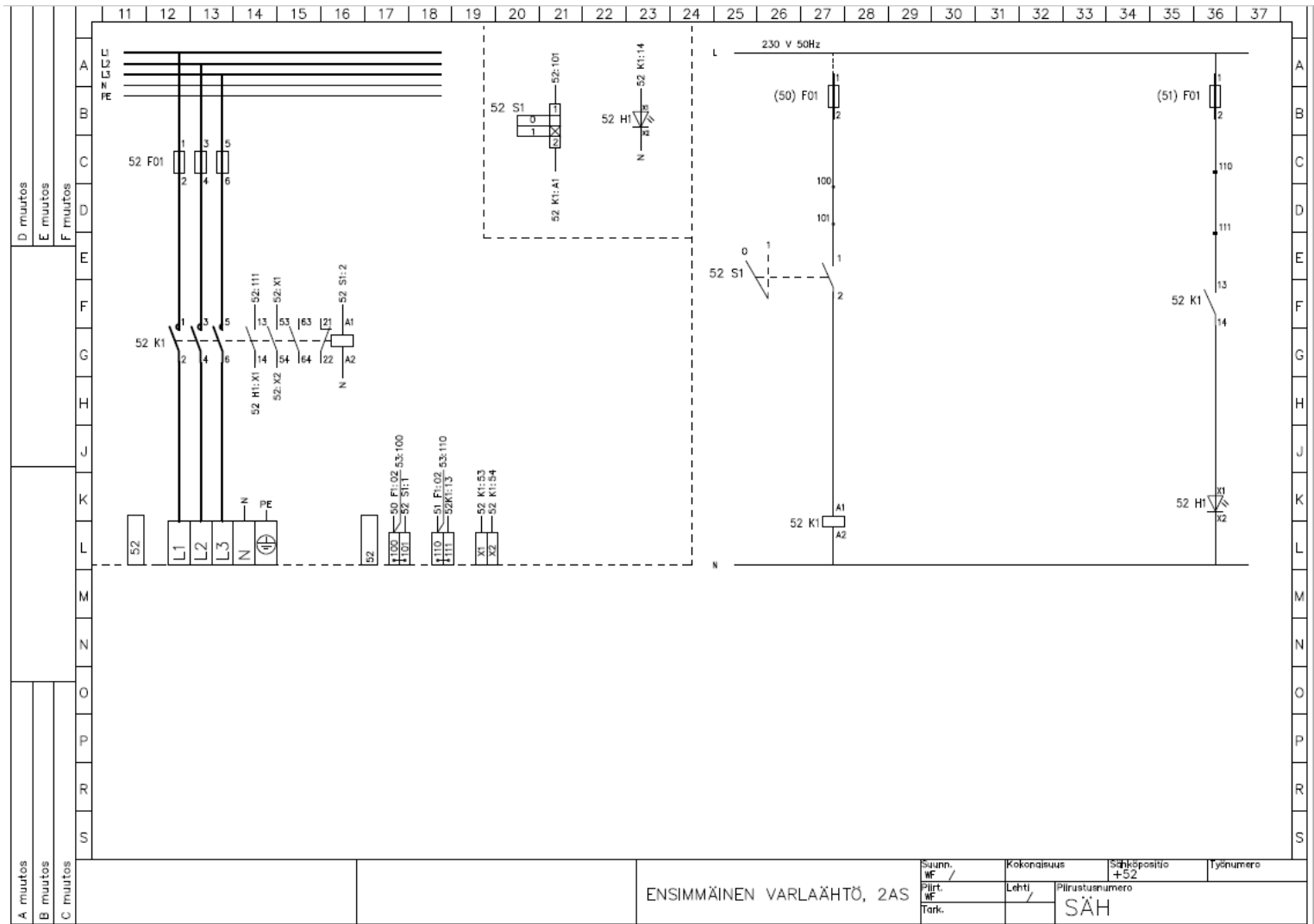




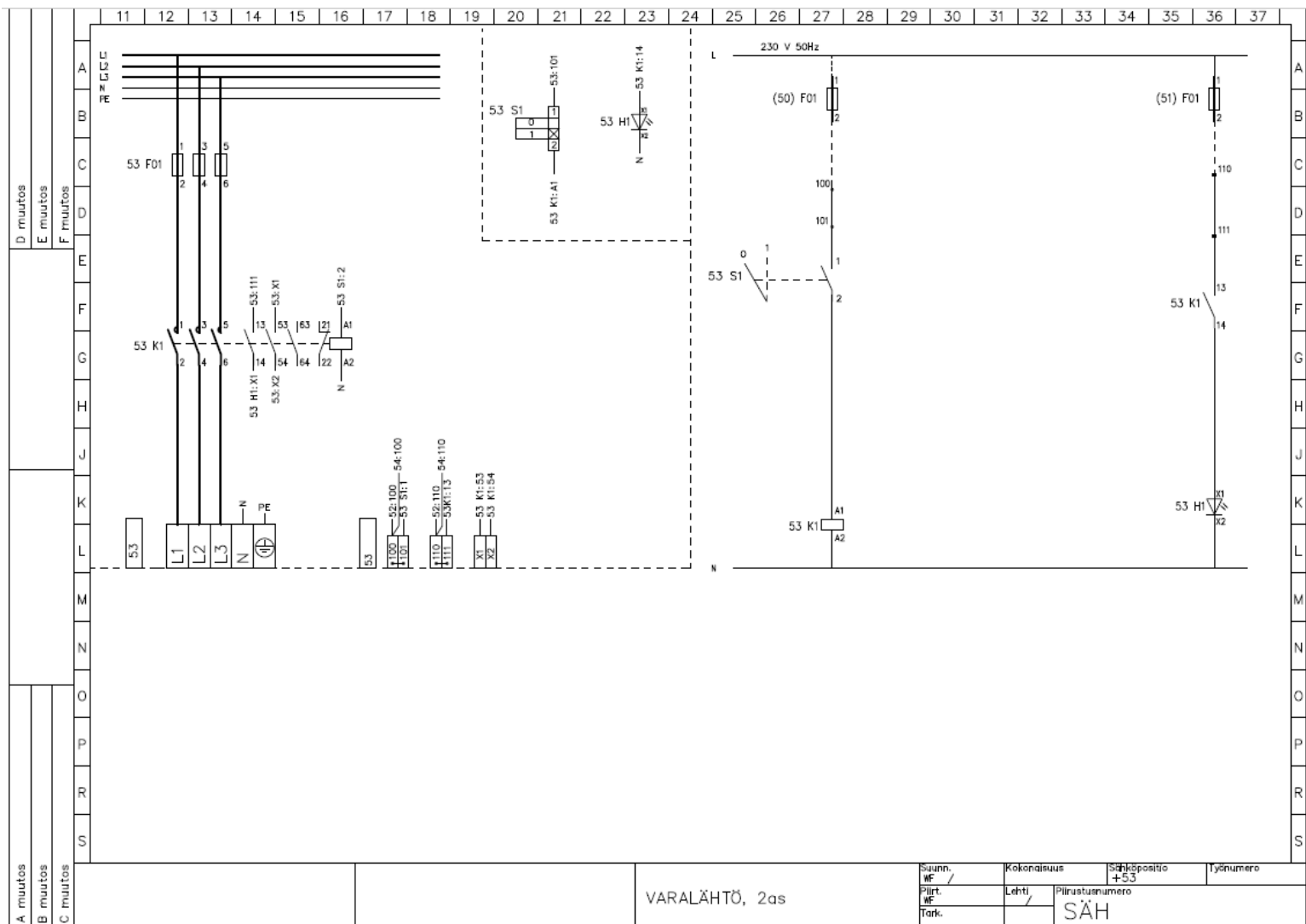
### 3-Asentoisen IV-varalähdön piirikaavio.



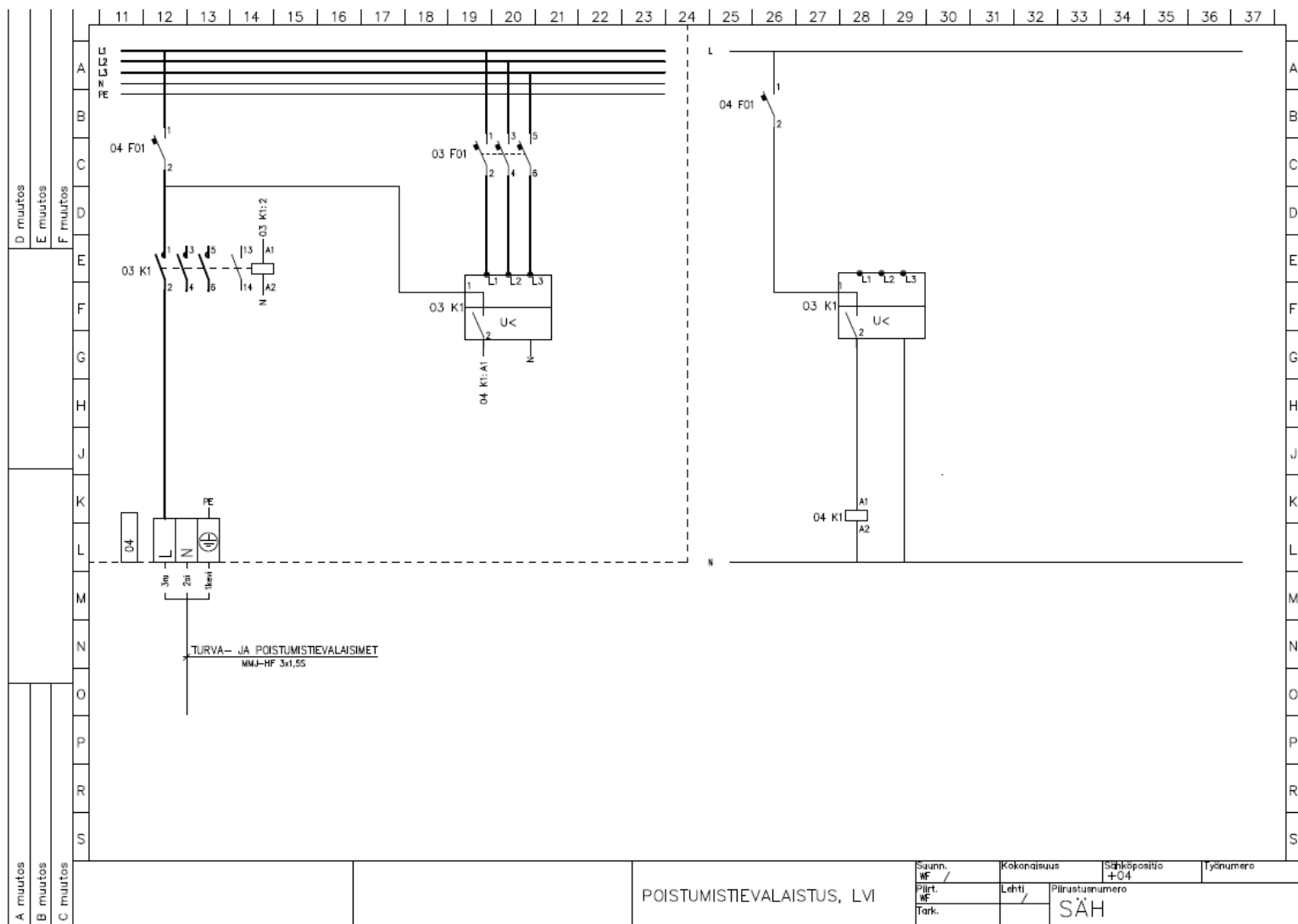
Ensimmäinen 2-asentoinen IV-varalähtö.



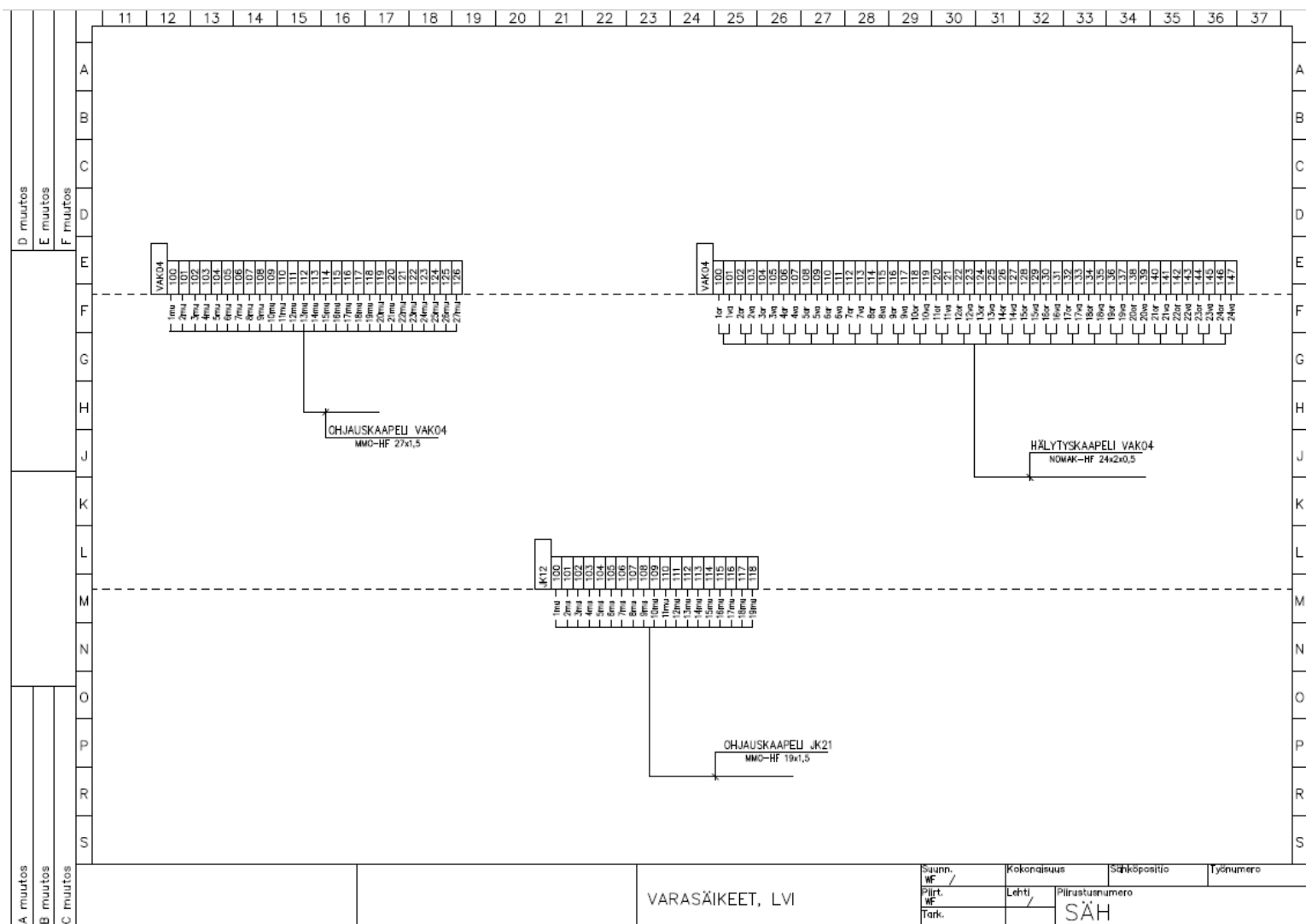
2-Asentoisen IV-varalähdön piirikaavio.



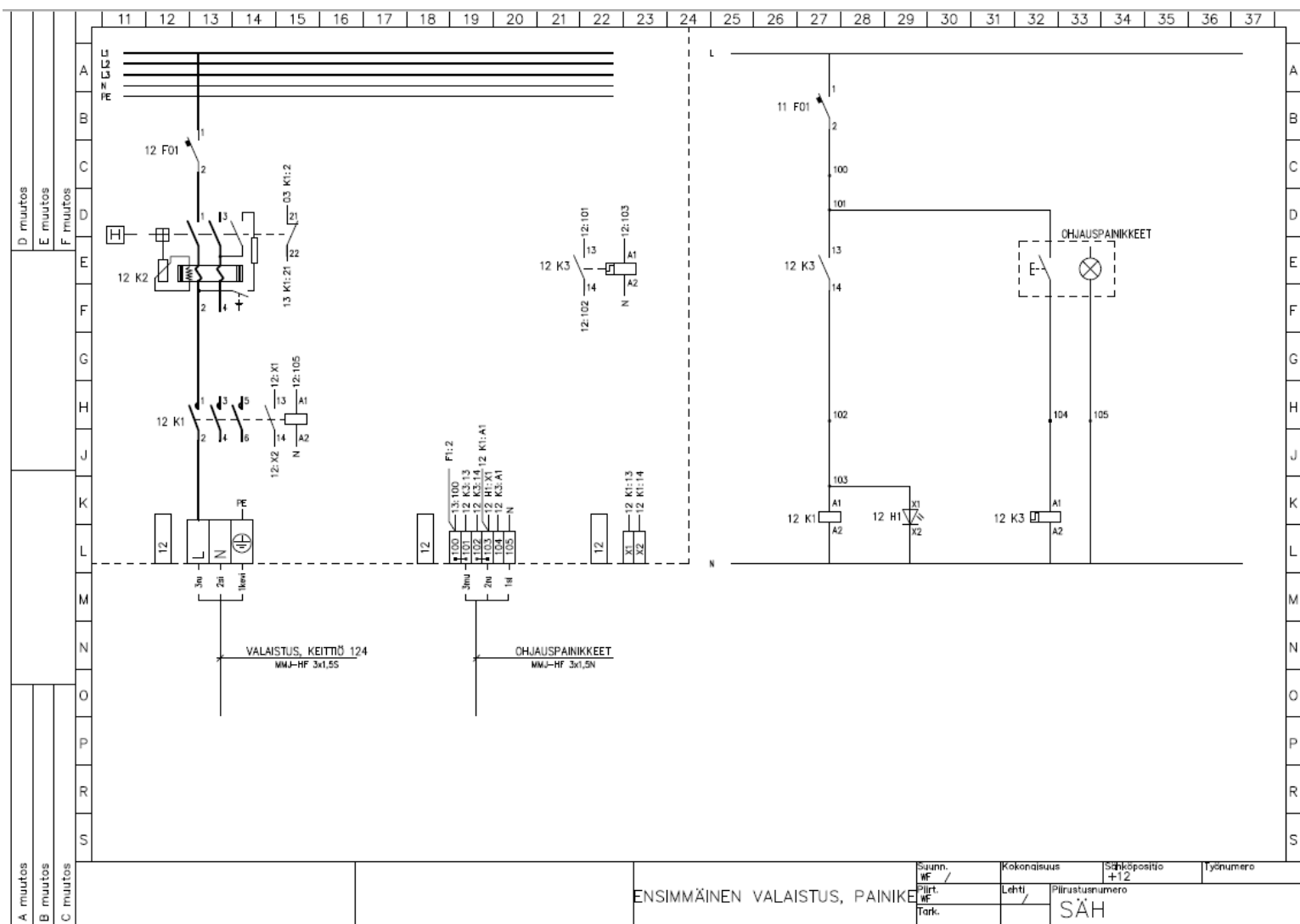
LVI-keskuksen poistumistievalaistuksen piirikaavio.



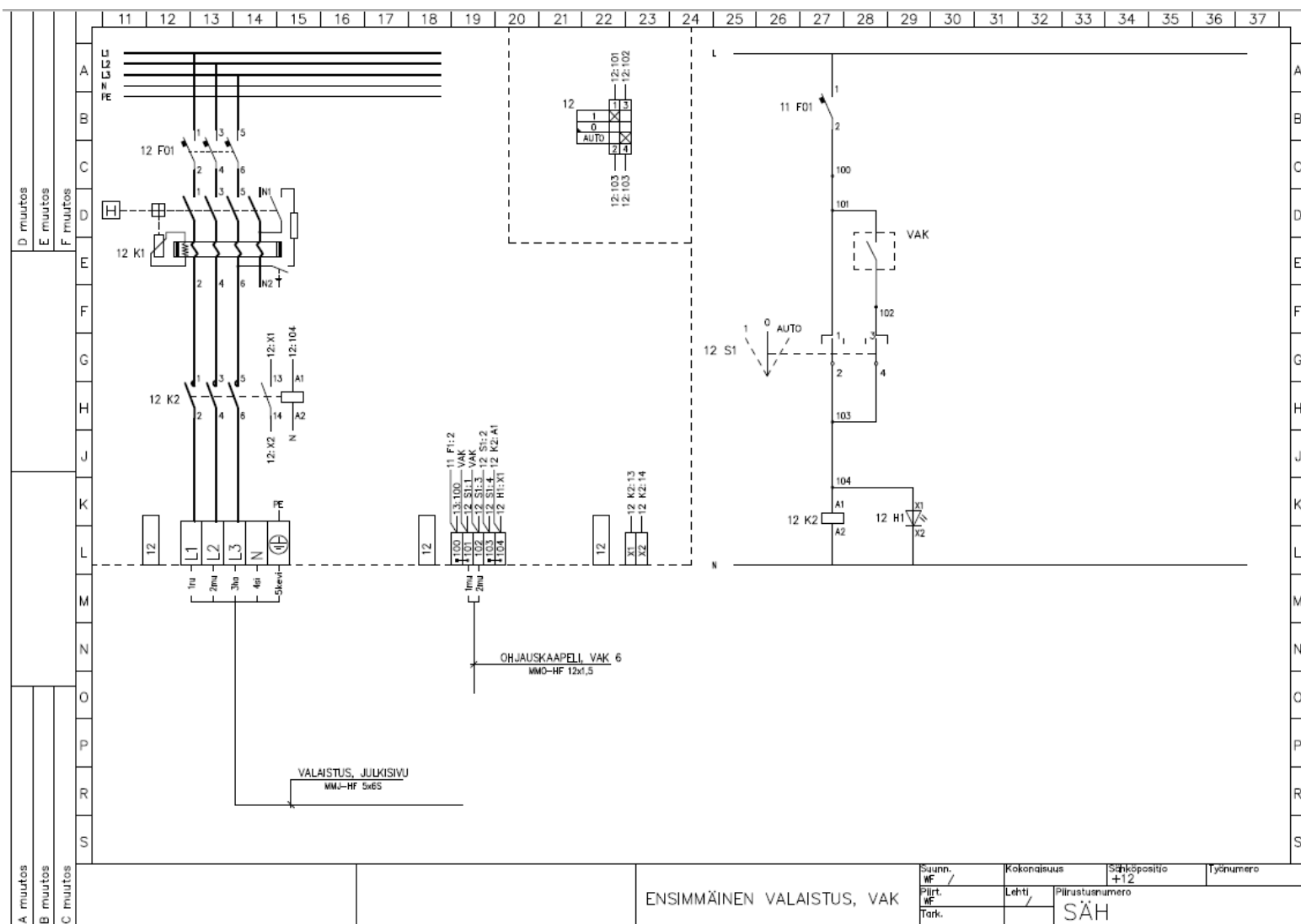
LVI-keskuksen varasäikeiden kytkennän piirikaavio.



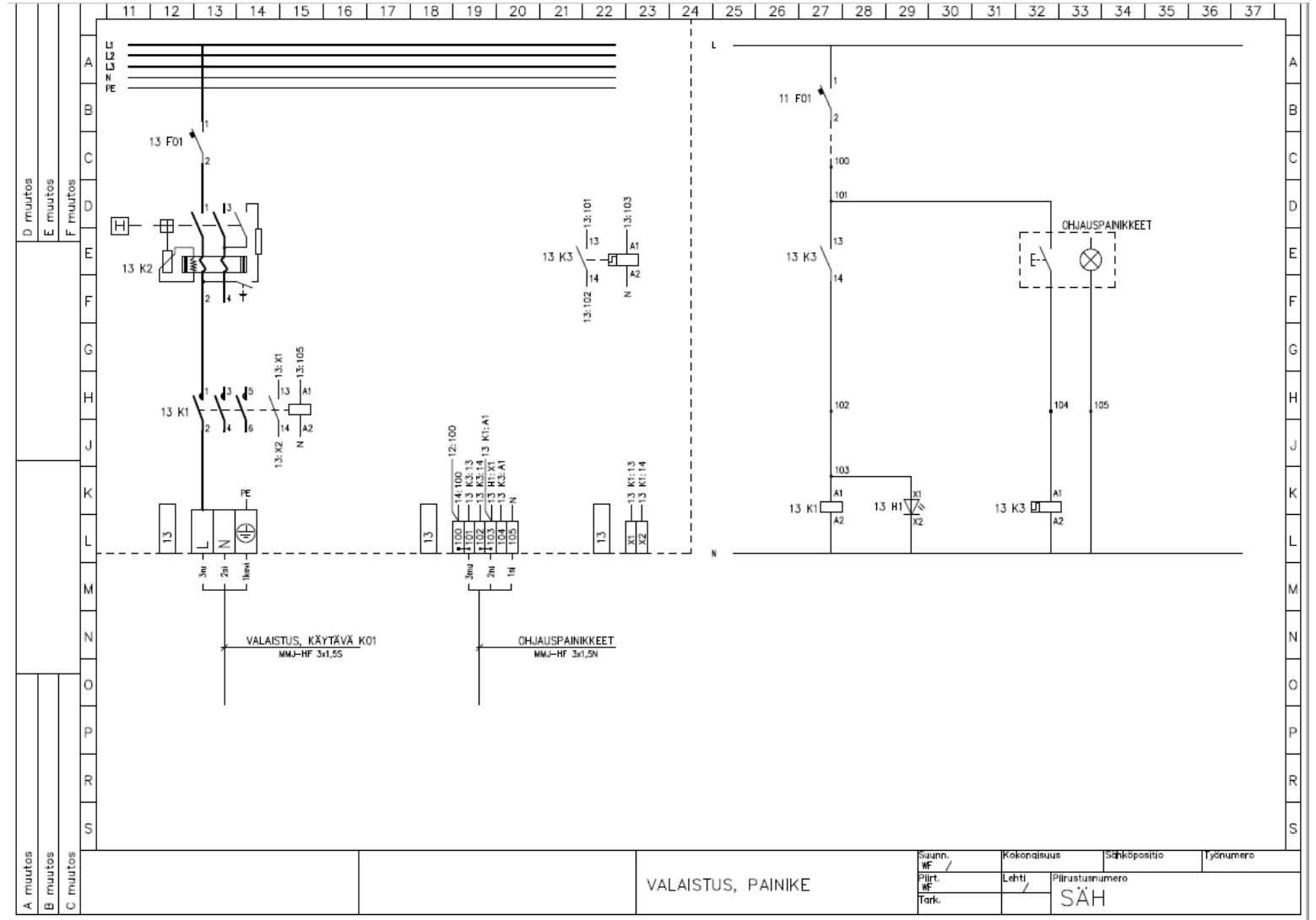
Ensimmäisen painikeohjatun valaistuselähdön piirikaavio.



Ensimmäisen VAK-ohjatun valaistuslähdön piirikaavio.

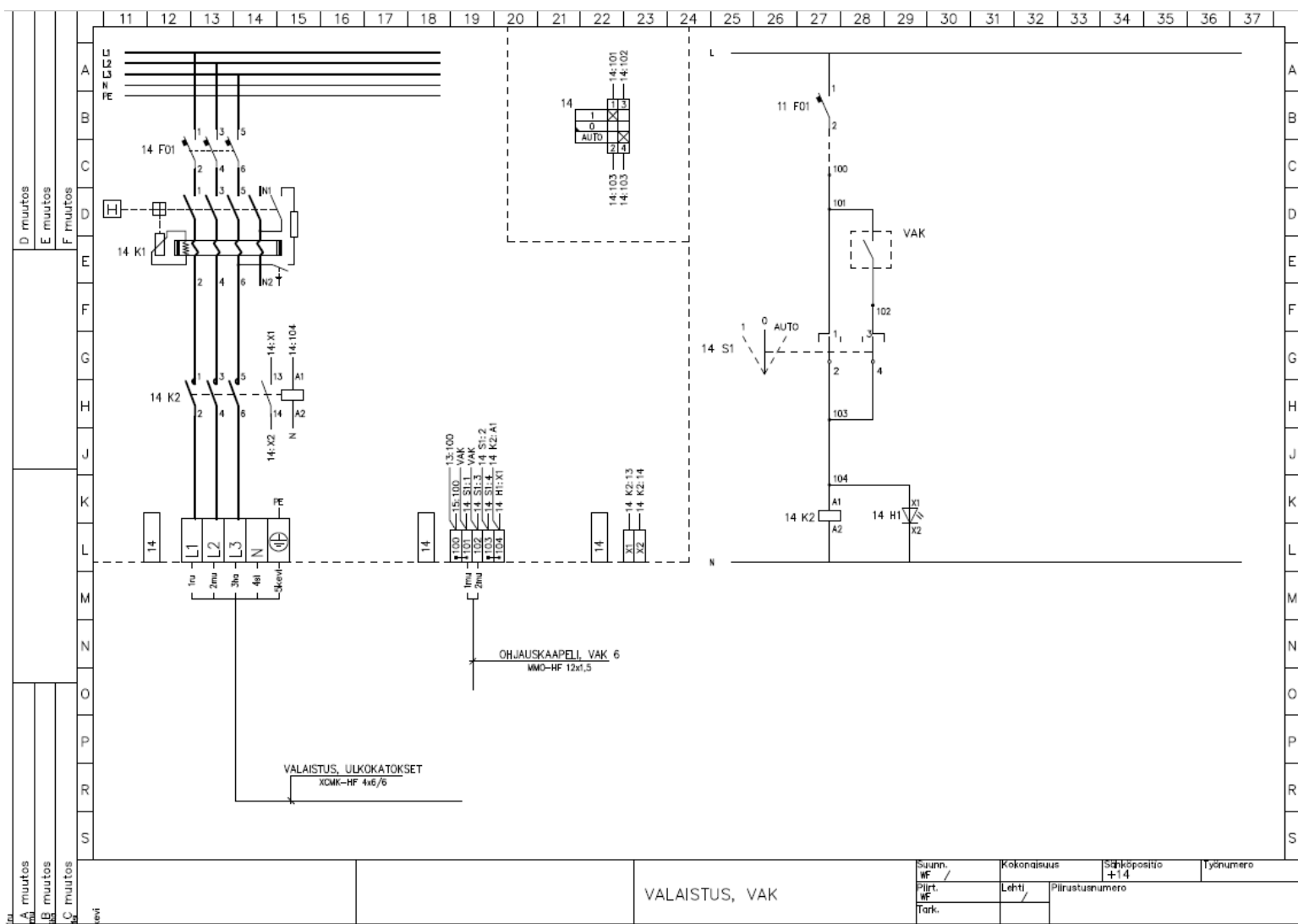


Painikeohjatun valaistuslähdön piirikaavio.

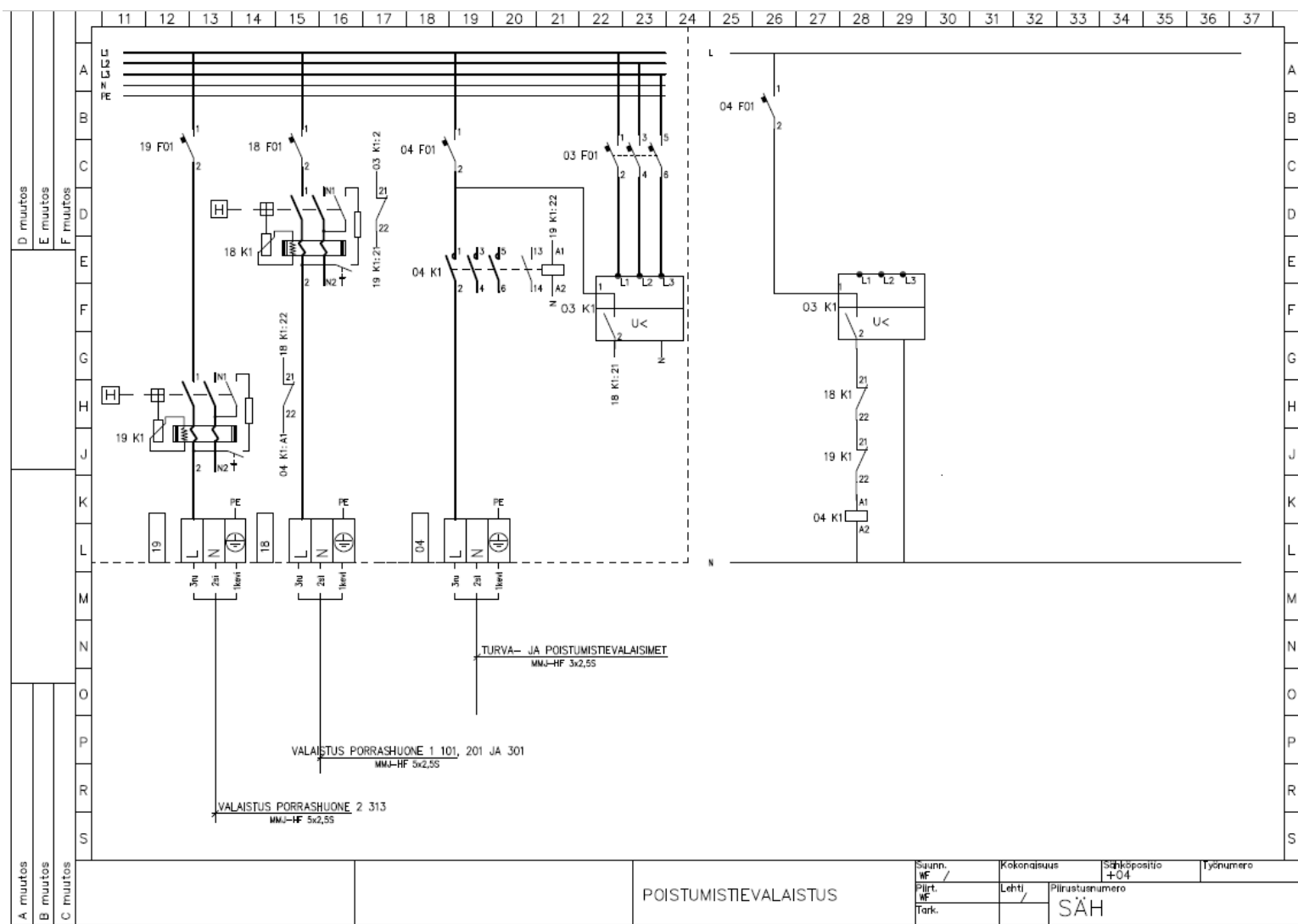




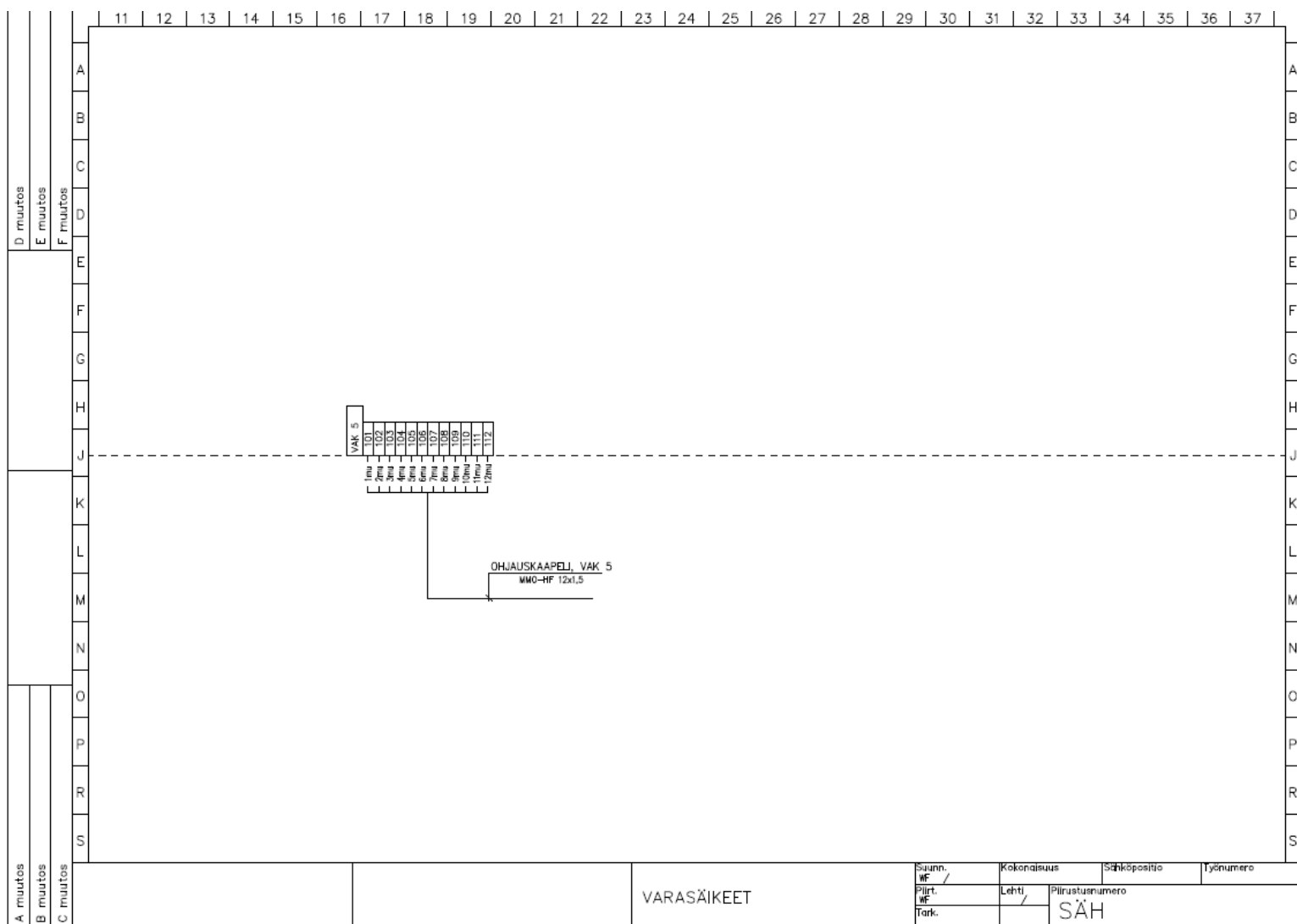
VAK-ohjatun valaistuslähdön piirikaavio.



Poistumistievalaistuksen piirikaavio.



Varasäikeiden kytkennän piirikaavio.



Lämpökojeiden piirikaavio (emännänkytkin).

