

Jani-Pekka Tihinen

**MNS DIGITAL -KESKUS – ÄLYKKÄÄN TEOLLISUUDEN MOOTTORIKESKUK-
SEN UNIVERSAALIT LAAJENNUKSET**

**MNS DIGITAL -KESKUS – ÄLYKKÄÄN TEOLLISUUDEN MOOTTORIKESKUK-
SEN UNIVERSAALIT LAAJENNUKSET**

Jani-Pekka Tihinen
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, sähkötekniikka

Tekijä: Jani-Pekka Tihinen

Opinnäytetyön nimi: MNS DIGITAL -keskus – Älykkään teollisuuden moottorikeskuksen universaalit laajennukset

Työn ohjaajat: Marko Kukkola, Lari Kylmänen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 39

Opinnäytetyö on tehty Oulun ammattikorkeakoulun toimeksiannosta. Työn aiheena oli selvittää Oulun ammattikorkeakoulun sähkövoimalaboratorion MNS Digital-keskuksen laajennusmahdollisuudet muiden valmistajien älykkäillä moottoriohjaimilla, jotka on sijoitettu ulosvedettävään kasettilähtöön.

Työ oli rakenteeltaan kirjallisuus- ja kyselytutkimus ja pohjautuu pääasiassa alan kirjallisuuteen sekä eri valmistajien materiaaleihin ja alan asiantuntijoiden haastatteluihin. Työssä perehdyttiin yleisellä tasolla teollisuuden moottorikeskuksiin sekä tarkemmin Oulun ammattikorkeakoulun MNS Digital -keskuksen ominaisuuksiin ja rakenteeseen.

Lopputuloksena saatiin kuvaus muiden valmistajien älykkäistä moottoriohjaimista, niiden ominaisuuksista ja soveltuvuudesta toimeksiantajan käyttöön.

Asiasanat: moottorikeskus, moottoriohjaus, MNS-Digital

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Option of Electrical Engineering

Author: Jani-Pekka Tihinen

Title of thesis: MNS DIGITAL Center - Universal Extensions of the Intelligent Industrial Motor Center

Supervisors: Marko Kukkola, Lari Kylmänen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 39

The thesis was commissioned by Oulu University of Applied Sciences. The topic of the thesis was to investigate the expansion possibilities of the MNS Digital Center in the Electrical Power Laboratory at Oulu University of Applied Sciences using intelligent motor controllers from other manufacturers which are placed in withdrawable modules.

The practical work was conducted as literature research and survey. The study was mainly based on literature in the field as well as materials from various manufacturers and interviews with industry experts. The thesis provided a general overview of industrial motor centers and a more detailed examination of the features and structure of Oulu University of Applied Sciences' MNS Digital Center.

As a result, a description of intelligent motor controllers from other manufacturers, their features, and suitability for the client's use was obtained.

Keywords: motor control center, intelligent motor controller, MNS-Digital

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TEOLLISUUDEN MOOTTORIKESKUKSET.....	7
2.1	Teollisuusverkot	7
2.1.1	Teollisuuden jakelujärjestelmät	7
2.1.2	Teollisuuden jakelutyypit.....	8
2.2	Teollisuuden keskusten rakenne	9
2.2.1	Kennokeskus	9
2.2.2	Kotelokeskus.....	11
2.2.3	Kaappikeskus.....	11
2.2.4	Lähtöyksiköt.....	11
2.2.5	Älykkäät keskukset	12
2.2.6	Viestintäratkaisut.....	12
3	ABB MNS DIGITAL.....	15
3.1	MNS-keskukset	15
3.2	Keskuksen rakenne.....	16
3.3	Keskuksen lähdöt	18
3.4	Keskuksen automaatiolaitteisto	23
4	LAAJENNUSMAHDOLLISUUDET.....	27
4.1	Siemens Simocode pro	27
4.2	Schneider TeSys island.....	30
4.3	Eaton.....	33
4.4	Vaihtoehtojen soveltuvuus toimeksiantajan käyttöön	35
5	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET.....	37

1 JOHDANTO

Teollisuuden keskuksiin sijoitetaan pääasiassa moottoreiden syöttö- ja ohjainlaitteita. Keskuksien älykkäät ominaisuudet ovat lisääntyneet vuosien varrella. Älykkäät moottoriohjaimet helpottavat kunnossapitoa ja antavat hyödyllistä käyttötietoa moottoreista.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Oulun ammattikorkeakoulu. Työn tavoitteena on selvittää sähkölaboratorion ABB MNS Digital -keskuksen moottorilähtöjen laajennusmahdollisuuksia. Selvityksessä keskitytään muiden valmistajien älykkäiden moottorilähtöjen tarjontaan, sekä niiden liittämiseen keskukseseen ja ABB:n kunnossapito-ohjelmaan. Työssä tutustutaan teollisuuden sähköverkkoihin, jakelujärjestelmiin ja keskusten rakenteeseen sekä luodaan kuvaus MNS Digital -keskuksen eri toiminnoista ja ominaisuuksista.

Opinnäytetyössä hyödynnetään alan kirjallisuutta, valmistajien materiaaleja sekä alan asiantuntijoiden haastatteluja ja heiltä saatua materiaalia. Työ on pääosin kirjallisuuskatsaus ja tietoja kerätään ottamalla yhteyttä alan ammattilaisiin. Toimeksiantajan puolesta teknistä tukea antaa Marko Kukkola.

2 TEOLLISUUDEN MOOTTORIKESKUKSET

Teollisuuden moottorikeskusten ominaisuuksia voidaan tarkastella mm. teollisuusverkkojen, jakelujärjestelmien ja -tyyppien sekä keskustyyppien näkökulmasta.

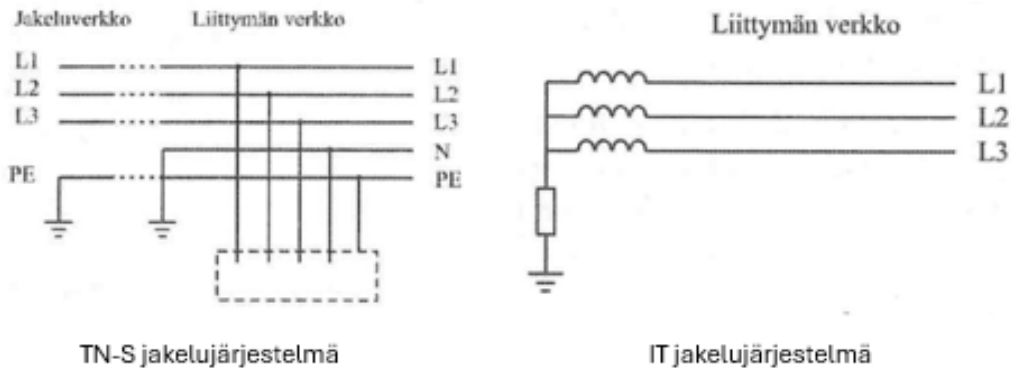
2.1 Teollisuusverkot

Tyypillisessä teollisuusverkossa on suuri tehontarve pienellä maantieteellisellä alueella sekä lyhyet jakeluetäisyydet verrattuna jakeluverkkoihin. Teollisuusverkot tyypillisesti liittyvät 110 kV:n, 20 kV:n, 10 kV:n tai 0,4 kV:n jännitetasossa yleiseen sähköverkkoon. Jos syöttöjännite on korkea, se lasketaan päämuuntajilla tehdasjakeluun sopivaan jännitetasoon. (1, s. 123–125.)

Pienten teollisuuskohteiden ja tuotantolaitosten sähköverkko ei huomattavasti eroa julkisten rakennusten sähköverkoista, sillä kaikki mainitut liittyvät yleensä pienjänniteverkkoon. Suurien teollisuuslaitosten sähköverkoissa taas kuormatehot ovat suuria ja vaihtelevia, jolloin liitettä sähköverkkoon tulee olla vahva. Suurissa teollisuuslaitoksissa hyödynnetään myös omaa energian tuotantoa. Oikosulkuvirtojen rajoittamiseksi tehdasalueen sisällä käytetään säteittäistä jakeluverkkoa. Jos verkon toimintaan halutaan varmuutta, voidaan käyttää silmukoituja rakenteita ja kaksoiskiskostolla varustettuja keskuksia. (1, s. 123–125.)

2.1.1 Teollisuuden jakelujärjestelmät

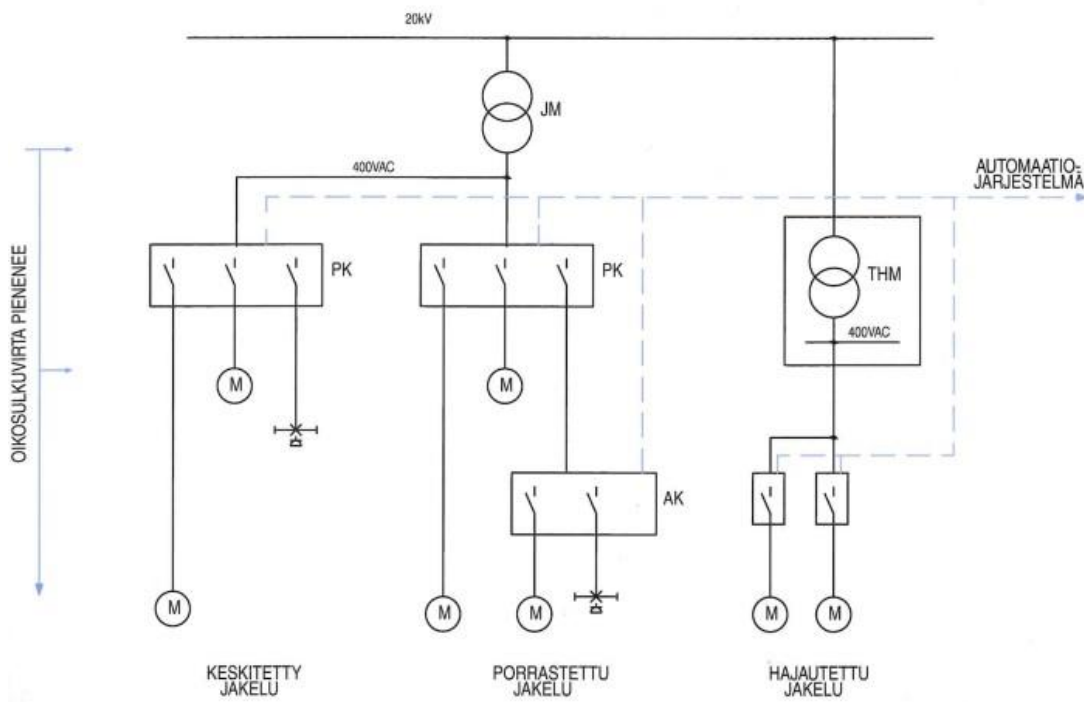
Teollisuudessa alle 1000 V:n jakelujärjestelmässä käytetään tyypillisesti joko jäykästi maadoitettua TN-S-järjestelmää tai IT-järjestelmää, joka on yhdistetty vastuksen kautta maahan (kuva 1). TN-S-järjestelmän jännite on normaalisti 400 V, kun taas IT-järjestelmässä käytetään joko 500 V:n tai 690 V:n jännitettä. IT-järjestelmää voidaan käyttää, kun jakelun tapahtuu saman haltijan kulutuslaitteisiin. IT-järjestelmän hyvänä puolena on, että yksivaiheisen maasulun tilanteesta ei aiheudu välitöntä käyttökeskeytystä. (1, s. 127.)



KUVA 1. TN-S ja IT-jakelujärjestelmät (1, s. 112–113, muokattu).

2.1.2 Teollisuuden jakelutyytit

Teollisuuden pienjänniteverkon jakelutyyppienä käytetään keskitettyä, porrastettua ja hajautettua jakelua (kuva 2).



KUVA 2. Sähkönjakelutyytit teollisuudessa (2 s. 31).

Keskitetty jakelu on selkeä ja sähköturvallinen ratkaisu, sillä kaikki lähdöt ovat pääkeskuksissa ja kaikki lähtöjen komponentit sijaitsevat samassa sähkötilassa. Sähkölähtöjen ohjaus tulee tavalli-

sesti valvomon automaatiojärjestelmästä. Keskitetyn jakelun heikkoutena on ehdottomasti sähköverkon häiriöiden vaikutukset koko järjestelmään ja täten laitoksen toimintaan. Näin toteutetussa jakelussa ryhmäjohtojen pituudet kasvavat helposti turhan suuriksi, jolloin syötön automaattinen poiskytkentä heikentyy. Tämän lisäksi, kun keskus sijaitsee lähellä syöttävää muuntajaa, altistuvat moottorilähtöjen komponentit kovalle oikosulkuvirtarasitukselle. (2, s. 30–31.)

Porrastetussa jakelussa lähdöt on jaettu pääkeskukseen ja alakeskuksiin. Isotehoiset moottorit syötetään pääkeskuksesta, kun taas pienemmän teholuokan moottorit alakeskuksesta. Ohjaus tapahtuu samaan tapaan kuin keskitetyssä jakelussa valvomon automaatiojärjestelmästä. Porrastetun jakelun etuna on alakeskusten pienempi oikosulkurasitus. Ne voidaan sijoittaa lähelle kulu- tusta, jolloin alakeskusten komponenttien mitoitus voidaan toteuttaa pienemmällä oikosulku- kestoisuusvaatimuksella kuin pääkeskusten komponentit. (2, s. 30–31.)

Hajautetussa jakelussa moottorit syötetään tehdasmuuntamosta, jossa on sen vaatimat liitännät ja kaapelien suojaukset. Käynnistimet sijaitsevat moottoreiden lähellä ja niiden ohjaus on toteutettu kenttäväylän kautta. (2, s. 30–31.)

2.2 Teollisuuden keskusten rakenne

Teollisuuskeskusten rakenteet pohjautuvat standardien perusvaatimuksiin. Tärkeä osa tätä ovat osastointitavat, joiden mukaan toimintayksiköt, kiskostot ja ulkoiset johtimet asemoidaan toisiinsa nähden. Vikatilanteissa keskusten täytyy kestää valokaaren aiheuttamat lämpö- ja painevaikutukset. Keskusrakenteisiin tehdäänkin heikompi kohta, joka on yleensä kennon kattorakenne, jonka kautta paineisku pääsee purkautumaan. Keskuksia käytetään teollisuudessa enimmäkseen moottoreiden syöttö- ja ohjauslaitteiden sijoittamisessa sähkötiloihin. Lisäksi keskuksia käytetään tietysti kiinteistösähkön jakelussa sekä automaatiojärjestelmien ohjauskaappeina. (3, s. 196–198.)

2.2.1 Kennokeskus

Kennokeskuksia hyödynnetään teollisuudessa 400 V:n ja 690 V:n pää-, nousu- ja alakeskuksina, joiden nimellisvirrat voivat olla jopa useita tuhansia ampeereita (kuva 3). Kennokeskukset on valmistettu metallista. Keskuksen syöttö toteutetaan joko kaapeleilla tai kiskosillalla. Keskuksen sisäi-

nen jakelu muodostuu alumiinista tai kuparista valmistetuista pää- ja haarakiskoista. Pystysuunnassa olevat haarakiskot syöttävät lähtökennoja. Pystysuunnassa olevat haarakiskot on kiinnitetty vaakasuuntaisiin pääkiskoihin. (3, 198–202.)

Lähtökennoja on kolmenlaisia: kiinteitä, ulosvedettäviä ja ulosotettavia. Niihin on sisällytetty lähtevien syöttöjen etukojeet sekä oveen tunnuskilvet ja tarvittaessa käyttökytkimet. Kennossa on yleensä ainoastaan yksi sähkölähtö. Kennojen mallilla on suuri vaikutus huoltotoimenpiteisiin. Kennokeskuksen erotus jännitteettömäksi tehdään joko pääkatkaisijalla tai kuormakytkimellä. Keskukselle tulee voida tehdä työmaadoitus joko työmaadoitusvälineellä tai keskuksen kiinteällä maadoituskytkimellä, jos keskuksen nimellisvirta on yli 1000 A. Keskuksen apupiirit syötetään ohjausjännitemuuntajan kautta, joka toimii samalla suojalaitteena, jolloin koko keskuksen oikosulkuteho ei vaikuta apupiirin vikapaikkaan. Apupiireillä ohjataan pääpiirejä ja niitä käytetään myös mittauksissa ja merkinannoissa. (3, 198–202.)



KUVA 3. Oulun ammattikorkeakoulun MNS-kennokeskus.

2.2.2 Kotelokeskus

Kotelokeskuksia käytetään teollisuudessa ala- tai ryhmäkeskuksina, joiden jännite on tyypillisesti 400 V ja nimellisvirta korkeintaan 630 A. Ne ovat kosketussuojattuja yksiosaisia keskuksia, jotka on valmistettu joko metallista tai muovista. Metalliset keskuksat maadoitetaan rungosta, kun taas muoviset ovat jo itsessään suojaeristettyjä. Keskus kiinnitetään joko suoraan seinään tai asennuslevyyn. Kotelosta voidaan muodostaa ryhmä, jolloin kotelot ovat yhteydessä niiden läpi kulkevien kaapeleiden tai virtakiskojen kautta. Pääkytkimenä toimii kuormakytin. (3, s. 202.)

2.2.3 Kaappikeskus

Kaappikeskukset ovat yhden tai useamman lähtökentän lattialla seisovia keskuksia. Niitä käytetään pääasiassa taajuusmuuttajien, ohjauslaitteiden tai automaatiolaitteiden kotelointiin. Keskusta voidaan hyödyntää myös jonkun prosessin osan valvontatauluna ja ohjauspaikkana, kun sen oveen asennetaan esimerkiksi kytkimiä, merkkilamppuja, ohjauspaneeleita ja piirtureita. (3, s.203.)

2.2.4 Lähtöyksiköt

Lähtöyksiköitä on kolmenlaisia. Isoimmat erot yksiköissä ovat niiden huollon yhteydessä tehtävät toimenpiteet ja tarvittavat työkalut.

Kiinteissä lähdoissä on kiinni rakennetut johdotukset ja ruuviliitokset. Komponenttien vaihtotyöt tulee tehdä lähtökohtaisesti jännitteettömänä ja siihen tarvitaan erilaisia työkaluja. (2, s. 82.)

Ulosotettavien lähtöjen vaihtoon ei tarvita työkaluja ja niiden pois ottaminen ja takaisinlaitto onnistuu jännitteisessäkin keskuksessa. Yksikön sähköiset yhteydet tulevat koskettimien kautta. (2, s. 82.)

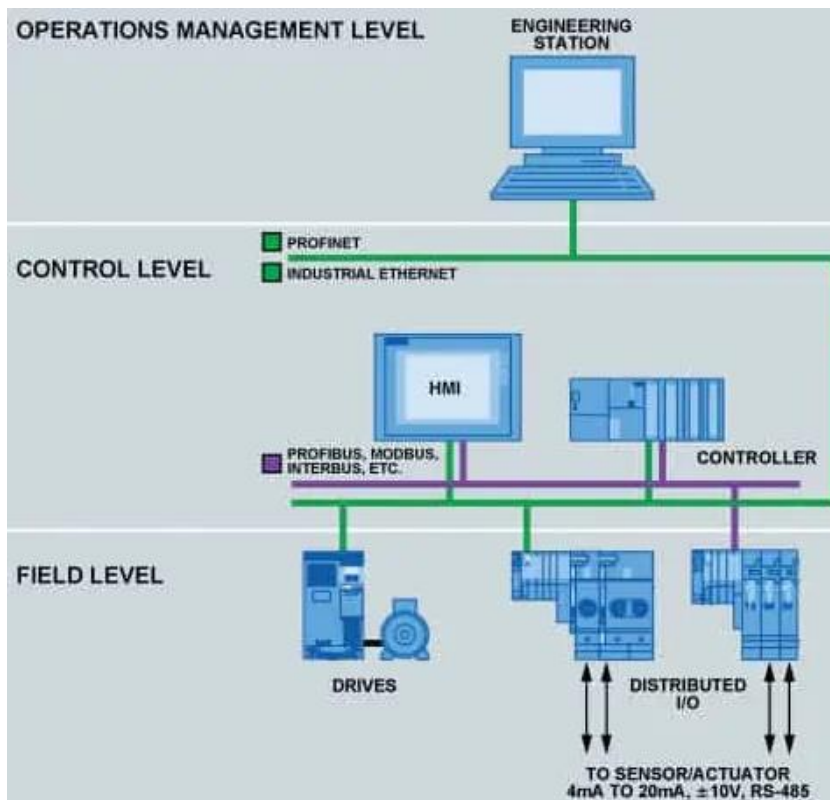
Ulosvedettävät kasettilähdöt pystytään kääntämään käyttöasennosta erotusasentoon ja siitä taas testusasentoon yksikön ollessa vielä mekaanisesti kiinni keskuksessa. Sähköiset yhteydet keskuksen kiskostoon ja ohjausjännitteeseen toteutetaan koskettimien kautta. Moottorilähdön moottorikaapeli ja ohjauskaapelointi on toteutettu riviliittimille. Yksikön liittäminen voidaan tehdä jännitteeseen keskukseseen asiaankuuluvilla työkaluilla. (2, s. 82.)

2.2.5 Älykkäät keskuksat

Keskuksesta tekee älykkään siihen sisällytetyt digitaaliset laitteet, jotka ovat yhteydessä verkkoon. Näitä laitteita ovat mm. älykkäät katkaisijat, anturit, releet ja mittarit. Laitteet kommunikoivat yleensä väylän kautta ja liittyvät siten hallintajärjestelmään. Älykkäiden laitteiden avulla voidaan valvoa keskusta reaaliajassa ja havainnoida vikoja, poikkeavuuksia ja muita ongelmia, sekä saada niistä ilmoitukset hallintajärjestelmään. Laitteiden antamien tietojen perusteella voidaan määrittellä niiden kuntoa ja ajoittaa huoltotoimenpiteitä, jolloin vältytään kalliilta ja odottamattomilta toiminnan keskeytyksiltä. Erilaisia antureita voidaan käyttää keskuksen tiedon keruussa. Lämpöantureita voidaan hyödyntää esimerkiksi kaapelien liitoskohdissa. Muita hyödynnettäviä tunnistimia ovat mm. kosteus-, värinä- ja valoanturit. (4.)

2.2.6 Viestintäratkaisut

Teollisuuden viestintäverkot ovat automaatiojärjestelmien ydinasioita. Ne on suunniteltu käsittelemään reaaliaikaista ohjausta sekä mahdollistamaan eheän tiedonsiirron vaativissa ympäristöissä ja laajoissa asennuksissa. Tämä mahdollistaa kommunikoinnin erilaisten digitaalisten ohjaimien, kenttälaitteiden, ohjelmistotyökalujen ja ulkoisten järjestelmien välillä käyttäen erilaisia viestintäprotokollia. Digitaalitekniikan kehittymisen ansiosta kenttäväyläteknikka on hallitsevassa asemassa kustannustehokkaana ja kaapelimääriä pienentävänä vaihtoehtona. Merkittävimmät ohjausmekanismit teollisuusautomaatiossa ovat ohjelmitavat logiikat (PLC), valvomo-ohjelmisto (SCADA), sekä hajautettu ohjausjärjestelmä (DCS). Teollisuuden viestintäverkot jaetaan kolmeen osaan (kuva 4). Kenttätason tarkoitus on hoitaa yhteydet kenttälaitteiden välillä, siihen käytetään digitaalista, analogista sekä hybridimuotoista tiedonsiirtoa. Ohjaustaso koostuu ohjainlaitteista, kuten ohjelmitavista logiikoista ja tietokonejärjestelmistä. Tämän tason tarkoituksena on mm. käsitellä tietoja ja tallentaa niitä sekä valvoa ohjaustoimintoja. Ohjaustasolla yleisimmin käytetään Ethernet-ratkaisuja, mutta erilaisia kenttäväyliä voidaan myös hyödyntää. Informaatiotasoa on teollisuusautomaation ylin taso, joka kerää tiedot alemmilla tasoilla. Tämä taso käsittelee suuria määriä tietoja, jotka eivät ole kriittisiä tai jatkuvassa käytössä. Informaatiotasolla käytetään Ethernet-ratkaisuja ja joskus nämä verkot yhdistetään muihin teollisuuden verkkoihin portin kautta. (5.)



KUVA 4. Automaatiojärjestelmän tasot (5).

Teollisuusautomaatio on hyödyttänyt teollisuuden toimijoita huomattavasti. Se on muuttanut tapoja toimia teollisuudessa, nostanut tehokkuutta, tuottavuutta sekä turvallisuutta. Teollisuusautomaation tärkeimpiin asioihin lukeutuvat protokollat, joiden avulla laitteet ja järjestelmät voivat kommunikoida saumattomasti keskenään. (6.)

Modbus TCP ja RTU perustuvat molemmat samaan Modbus-protokollaan, joka kehitti 1970-luvun loppupuolella Modicon-niminen yritys. Molemmat ovat laajasti käytössä teollisuuden ohjausjärjestelmissä. (7.)

Modbus TCP toimii tehokkaan kommunikaation kulmakivenä Ethernet-verkoissa. Se tukee vertaisverkkoa sekä isäntä-orja-arkkitehtuuria, jossa isäntä käynnistää toiminnan pyytämällä lukemaan tai kirjoittamaan dataa, johon orjat vastaavat asiaankuuluvalla tavalla. Modbus TCP mahdollistaa eri valmistajien laitteiden tiedonsiirron Ethernet-verkoissa varmistuen saumattoman yhteensopivuuden. Yksi Modbus TCP:n tärkeimmistä ominaisuuksista on luotettava ja turvallinen tiedonsiirto, joka tekee siitä hyvän valinnan teollisuuden kohteisiin. (8.)

Modbus RTU -protokolla perustuu RS-485 sarjaliikennestandardiin, joka mahdollistaa tiedonsiirron pitkillä matkoilla. Se ei kykene yhtä nopeaan tiedonsiirtoon kuin Modbus TCP. Modbus RTU käyttää isäntä-orja-arkkitehtuuria. Siinä voidaan käyttää jopa 247 orjalaitetta samassa verkossa. Tämä helpottaa laajennuksien tekemistä ilman isoja muutoksia kohteessa. (7.)

Profinet on protokolla, joka pohjautuu Ethernet-tiedonsiirtoon, minkä avulla kyetään reaaliaikaiseen ja nopeaan tiedonsiirtoon teollisuuden laitteiden välillä. Se tukee langallista ja langatonta tiedonsiirtoa. Profinet sisältää vahvat turvatoimenpiteet, jotka suojaavat kyberhyökkäyksiltä ja luvattomalta pääsystä. Profinetin avulla eri valmistajien järjestelmään integrointi ja verkon laajentaminen on helppoa. (9.)

Profibus on digitaalinen sarjakommunikaatioprotokolla, joka edesauttaa reaaliaikaisen nopean ja tehokkaan kommunikaation syntymistä laitteiden välillä. Siinä voidaan käyttää erilaisia verkkotopologioita, kuten rengasverkkoa. Profibus-protokolla on suunniteltu olemaan käyttäjäystävällinen helppokäyttöisine työkaluineen ja ohjelmistoineen. Nämä ominaisuudet helpottavat järjestelmän käyttöönottoa. Profibus tukee muiden yhteysvaihtoehtojen lisäksi myös valokaapeliyhteyksiä. (10.)

3 ABB MNS DIGITAL

Tässä luvussa tarkastellaan Oulun ammattikorkeakoulun sähkölaboratoriossa sijaitsevan ABB MNS Digital -keskuksen ominaisuuksia ja rakennetta (kuva 5).



KUVA 5. ABB MNS Digital – keskus.

3.1 MNS-keskukset

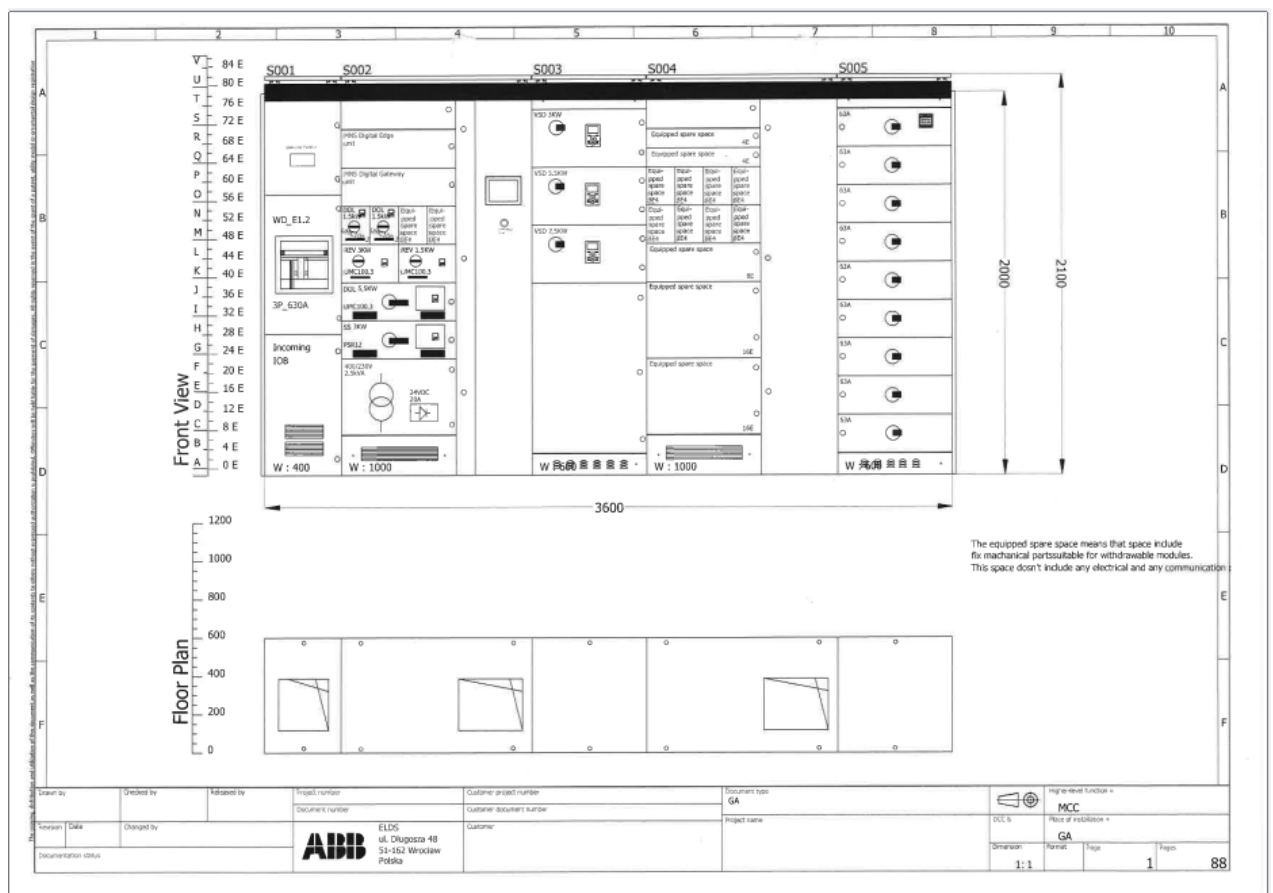
ABB MNS -keskukset on tarkoitettu tehonjakoon ja moottoreiden ohjaamiseen. Ne ovat modulaarisia ja niissä on huoltovapaat runkorakenteet ja kiskostot. MNS-keskuksiin voidaan liittää erilaisia lähtöjä kuten taajuusmuuttajia ja moottorikäynnistimiä tilaa säästävällä ja turvallisella tavalla. Niissä on erinomainen henkilö- ja materiaalisuojaus. Keskuksiin voidaan liittää niin kiinteitä kuin ulosvedettäviä ja -otettavia lähtöyksiköitä. MNS-kojeistot on testattu IEC 61439 ja 61641-standardien mukaisesti ja ne ovat valokaarisertifioituja aina 690 V:iin ja 100 kA:iin asti. Osastointi on mahdollista muotoon 4b asti. (11.)

MNS Digital on älykäs kojeisto, joka yhdistää älykkäät anturit ja laitteet dataliitännällä ABB Ability-alustaan. Sen kautta voidaan seurata reaaliaikaisia tietoja, hälytyksiä ja tapahtumia sekä tarkkailla

laitteiston kuntoa. Tiedot tallentuvat, jotta niitä voidaan tarkastella jälkepäin, vaikka laitevika ylittäisi. Tietojen avulla voidaan suorittaa huollot ajallaan ja vähentää turhia tuotantokatkoksia sekä parantaa energianhallintaa. (12.)

3.2 Keskuksen rakenne

Oulun ammattikorkeakoulun sähkölaboratorion MNS Digital -keskus on rakenteeltaan kennokeskus (kuva 6). Keskuksen vasemmanpuoleisessa osassa 1 on syöttökaapeliliitäntä sekä pääkatkaisija. Osassa 2 on automaatiolaitteisto, useita älykkäitä moottorilähtöjä sekä muuntaja. Osien 2 ja 3 välissä sijaitsee kaapelointitila, jonka oveen on sijoitettu ohjausnäyttöpaneeli. Osassa 3 on keskuksen taajuusmuuttajalähdöt. Osassa 4 kennot on varattu laajennuksia varten. Niiden oikealla puolella on toinen kaapelointitila ja osa 5, joka on täynnä varokelähtöjä.



KUVA 6. ABB MNS Digital -keskuksen sijoittelukuva.

Pääkiskot on sijoitettu keskuksen takaosaan (kuva 7). Sillä taataan suurin mahdollinen etäisyys käyttäjän ja kiskoston välille. Pääkiskosto on täysin erotettu laite- ja kaapeliosastoista. Kiskosto on

huoltovapaa, mikä takaa ESLOK-lukituspulttien käyttö yhdessä kartiomaisten jousialuslevyjen kanssa. Kiskostot on valmistettu kuparista DIN 40500 -standardin mukaisesti. Kiskostoa on saatavissa myös hopeoituna sekä täysin eristettynä. Nolla- ja maadoituskisko kulkevat keskuksen etuosassa lähellä pohjaa. Kaapelointitilassa ne kulkevat pystysuunnassa tilan etuosassa oikeassa laidassa. Epäsymmetrisen kuormituksen tilanteissa voidaan nollakisko sijoittaa pääkiskojen tapaan keskuksen takaosaan. MNS-keskuksissa on käytössä uniikki monitoimiseinä (MFW). Se toimii esteenä pääkiskojen sekä laiteosaston välillä. Tämä ratkaisu estää valokaaren syntymisen pääkiskojen vaiheiden tai pääkiskoston ja laiteosaston välille. Monitoimiseinän kontaktikohdat ovat IP 2X-luokkaa, joten henkilökohtainen turvallisuus on taattu. (13.)



KUVA 7. MNS-keskuksen kiskostot ja monitoimiseinä (13, muokattu).

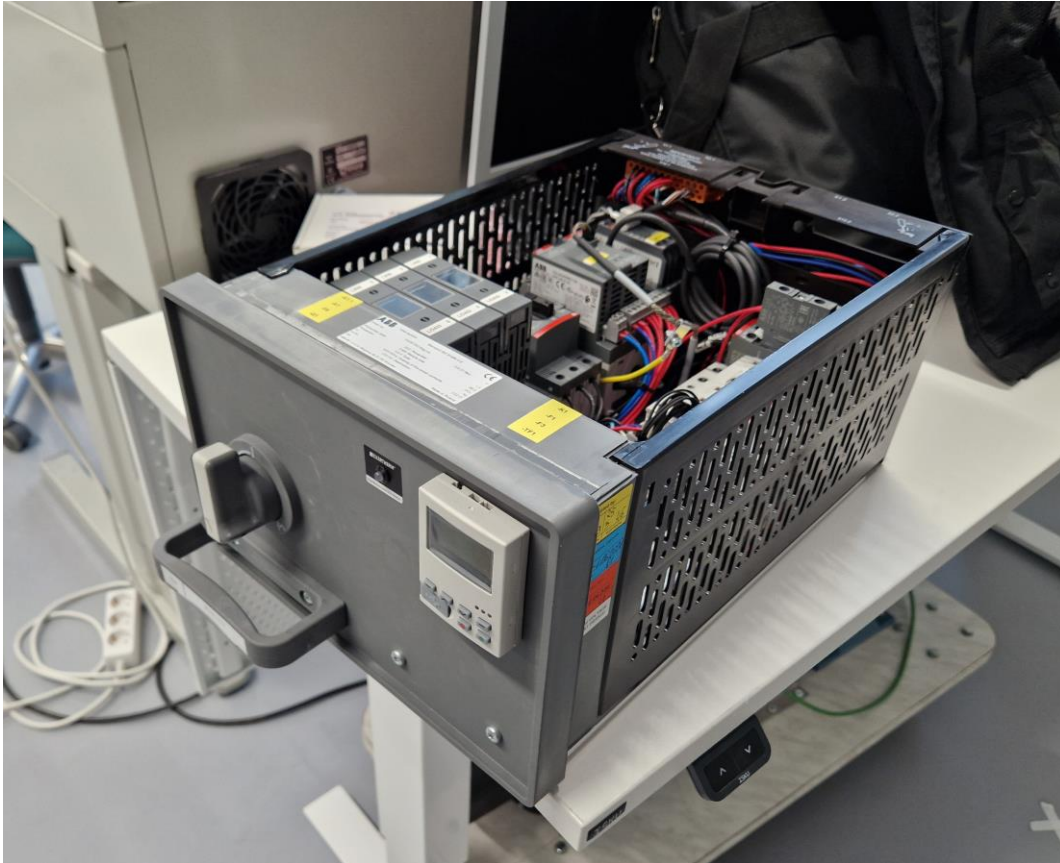
3.3 Keskuksen lähdöt

Keskuksen pääkatkaisijana toimii ABB SACE Emax 2 ilmakatkaisija (kuva 8). Katkaisijan nimellisvirta on 630 A.



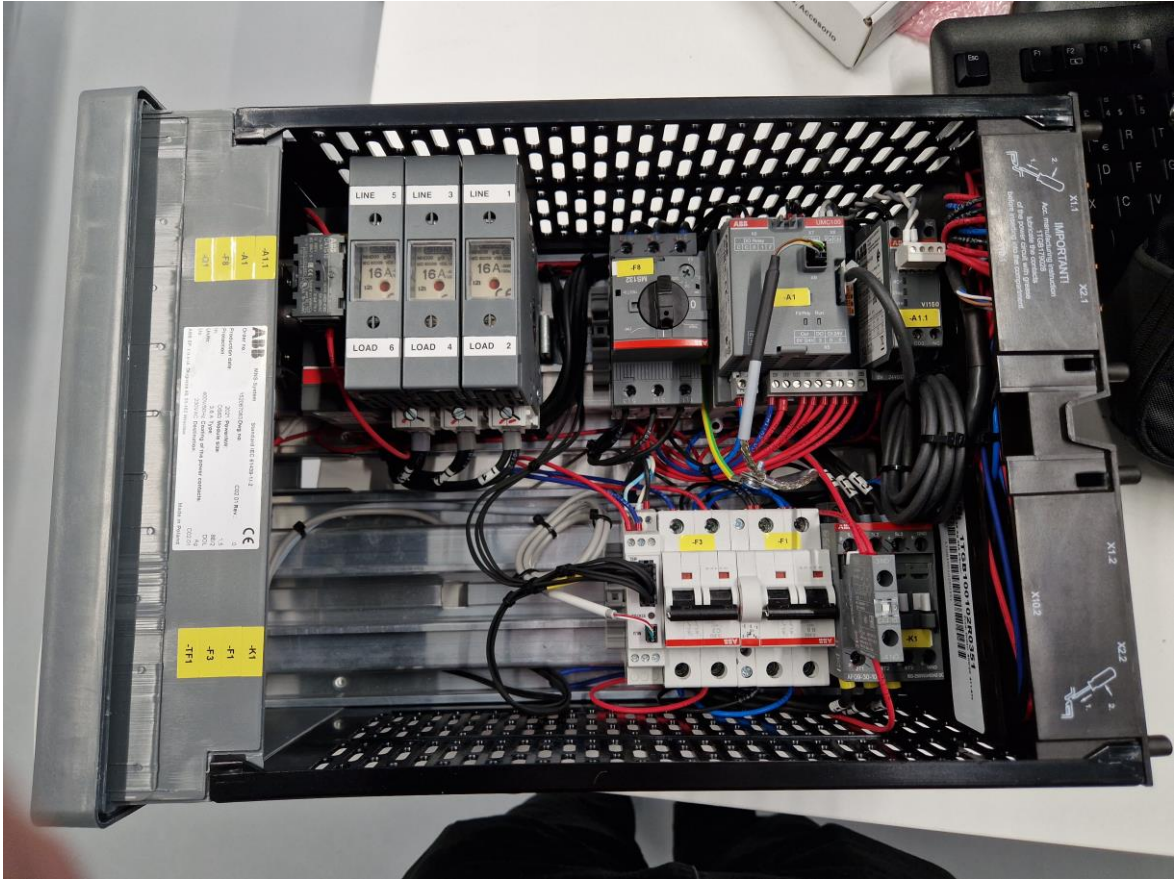
KUVA 8. Keskuksen pääkatkaisija ABB SACE Emax 2.

Keskuksessa on useita erilaisia lähtöjä. Ulosvedettäviä lähtöjä on keskuksessa kuusi kappaletta osassa 2. Yksi lähdöistä on varustettu pehmokäynnistimellä. Viisi muuta ulosvedettävää lähtöä on varustettu ABB:n omalla UMC100.3 älykkäällä moottorihajaimella (kuva 9). Näissä lähtömoduuleissa on käytetty kahta moduulikokoa, jotka ovat 8E/2 ja 8E.



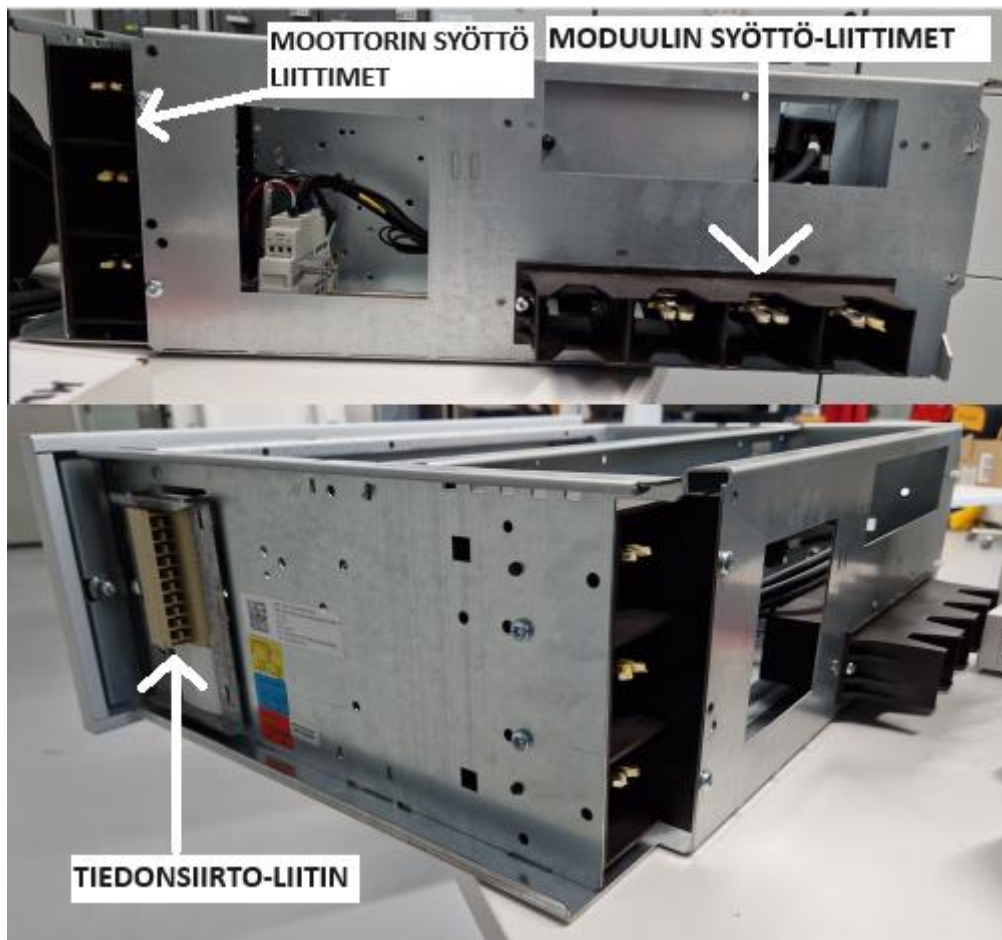
KUVA 9. Ulosvedettävä älykäs moottorilähtö kokoa 8E2.

UMC100.3 on älykäs moottorihjain, joka sisältää tarvittavat moottorinsuojaukset, jotka toimivat myös ilman yhteyksiä hallintajärjestelmiin. Se valvoo siihen kytkettyä kuormaa ja tiedot ovat saatavilla heti käyttöpaneelista. Käyttöpaneelista voi muokata asetuksia ja siitä on mahdollista tarkistaa moottorin käyttö-, diagnostiikka- ja vikatiedot. Moottorihjaimeen on saatavilla laajennusmoduuleita, kuten analogisia ja digitaalisia moduuleita sekä lämpö- ja jännitemoduuleita. Kommunikaatiomoduuleita on saatavana Ethernet-ratkaisuilla sekä erilaisilla väyläratkaisuilla. Ethernet-vaihtoehtoina on EthernetIP, Modbus TCP ja Profinet IO. Väyläratkaisuina on valittavissa Profibus DP, DeviceNet tai Modbus RTU. UMC100.3-moottorihjaimella voidaan ajaa moottoria eri käytöillä, kuten suora- ja suunnanvaihtokäytöllä, sekä tähti-kolmio-käynnistyksellä. Esimerkki UMC100.3-moottorihjainsovellutuksesta suoraikäytöllä Modbus TCP-väyläratkaisua hyödyntäen on esitetty kuvassa 10. (14.)



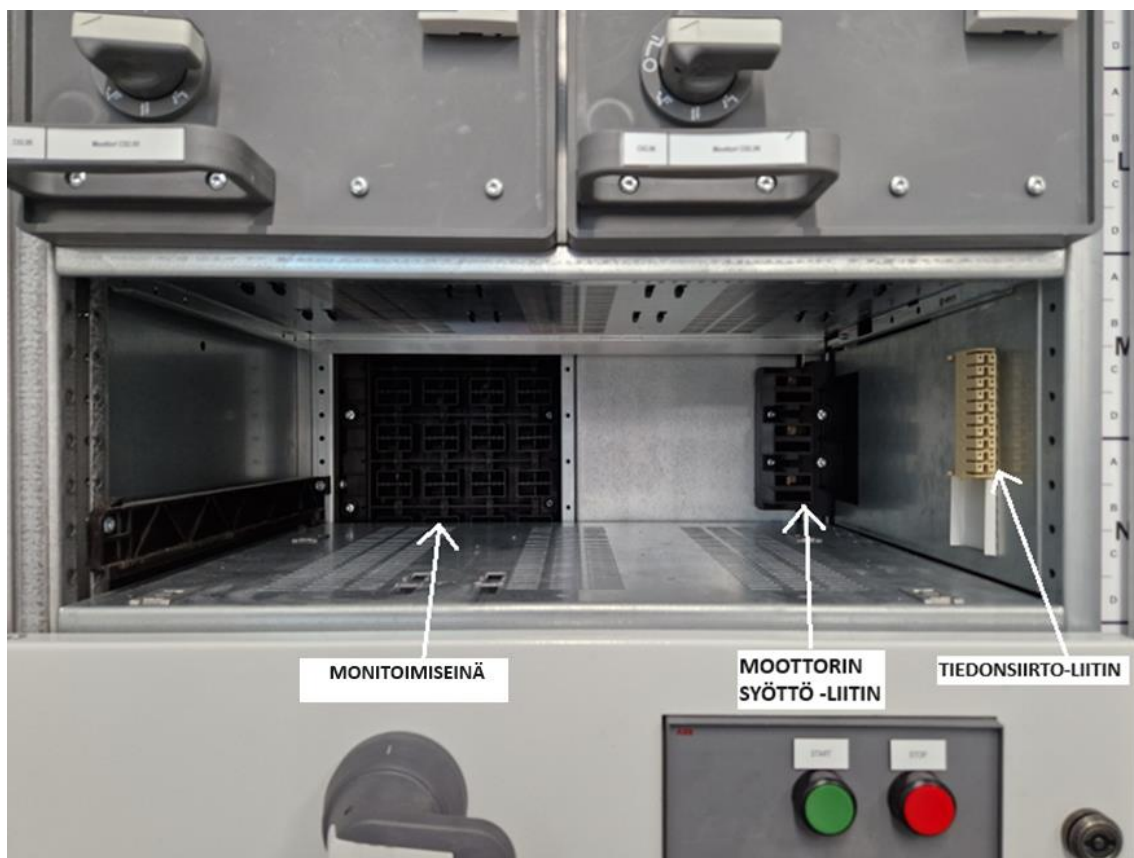
KUVA 10. Ulosvedettävä DOL-lähtö UMC100.3-moottoriohjaimella.

Ulosvedettävät moduulit saavat syöttönsä niiden takaosassa olevista kosketinliittimistä, jotka yhtyvät keskuksen monitoimiseiniin, kun moduuli asetetaan paikoilleen (kuva 11). Moduulin takaseinän toisella laidalla on moottoria syöttävä liitäntä. Samalle puolelle moduulin kylkeen on sijoitettu tiedonsiirtoliitäntä, johon väyläkaapelointi on tehty.



KUVA 11. 8E-kokoisen moduulin virta- ja tiedonsiirtoliitäntä.

Keskuksessa moduulien virransyöttö on toteutettu monitoimiseinän kautta (kuva 12). Moduulin tiedonsiirron vastaliitin sekä moottorinsyötön vastaliittimet sijaitsevat osaston oikeassa laidassa. Näiden liittimien lähtökytkennät sijaitsevat väliseinän toisella puolella kaapelointitilassa, josta virtakaapelointi lähtee kentälle moottorille sekä tiedonsiirtokaapelointi keskuksen väylälaitteistolle.



KUVA 12. 8E-kokoisen moduulin vastaliittimet MNS Digital -keskuksessa.

Keskuksen osassa 3 on taajuusmuuttajalähtöjä (kuva 13). Niitä on keskuksessa kolme ja ne ovat malliltaan ABB ACS880 -sarjan taajuusmuuttajia. Teholtaan ne ovat 3 kW, 5 kW ja 7,5 kW.



KUVA 13. ABB MNS Digital -keskuksen taajuusmuuttajalähtöjä.

Keskuksen osassa 5 on yhdeksän kappaletta kolmivaiheisia kytkinvarokelähtöjä (kuva 14). Ne ovat kiinteitä lähtöjä, jotka ovat kaikki nimellisvirraltaan 63 A.



KUVA 14. ABB MNS Digital -keskuksen varokelähtöjä.

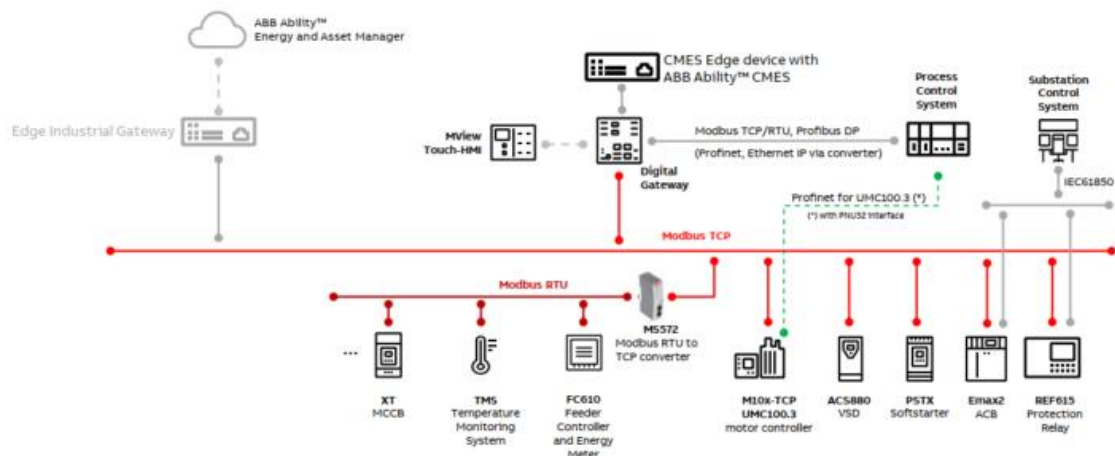
3.4 Keskuksen automaatiolaitteisto

Keskuksen automaatio-ohjaus- ja väylälaitteisto on sijoitettu keskuksen osaan 2 (kuva 15).



KUVA 15. Keskuksen automaatio- ja väylälaitteisto.

Keskuksen laitteet kommunikoivat Modbus-protokollan avulla (kuva 16). Modbus RTU -protokollaa käyttävät laitteet liitetään Modbus TCP -verkkoon muuntimen avulla.



KUVA 16. Periaatekuva laitteiston yhteyksistä (15).

CMES Edge on keskuksen teollisuustietokone (kuva 17). Se pohjautuu B&R Automation -tietokoneeseen. Siihen on kytketty oma UPS-akku, joka estää tietojen häviämisen syöttöjännitteen katketessa. CMES Edge lukee ja tallentaa tietoja kenttälaitteilta Digital Gatewayn kautta. Se on yhteydessä ABB Ability -pilvipalveluun. (16.)



KUVA 17. CMES Edge -tietokone ja UPS-akku.

ABB MLink -laite toimii yhdyskäytävänä kenttälaitteiden ja prosessinohjausjärjestelmän välillä (kuva 18). Sen kautta kulkee tietoa CMES Edge -laitteelle. (16.)



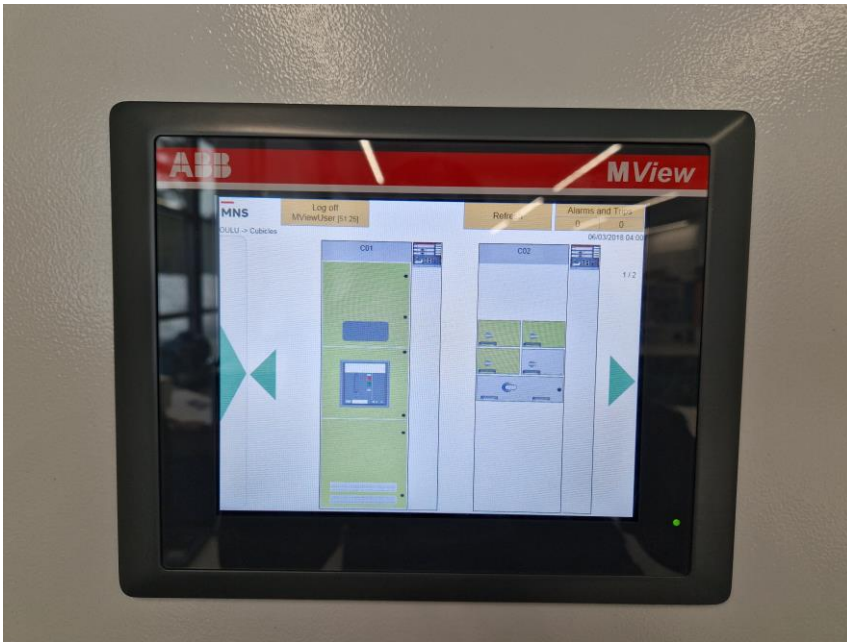
KUVA 18. Digital Gateway ABB MLINK (17).

Keskuksessa on kaksi kappaletta MTQ22 -kommunikaatiomoduuleita (kuva 19). Ne tukevat Modbus TCP -protokollaa. MTQ22-moduuliin on mahdollista liittää neljä kenttälaitetta, josta yhteys jatkuu Ethernet-kaapelia pitkin. Viiteen porttiin on liitetty UMC100.3-moottoriohjaimia, joten kolme porttia on vapaana.



KUVA 19. ABB MTQ22 -moduuli (18).

MView-kosketusnäyttöpaneeli on asennettuna kaapelointitilan oveen (kuva 20). Sisäänkirjautumiseen vaaditaan käyttäjätunnus ja salasana. Sisäänkirjautumisen jälkeen näyttöpaneelin kautta pystytään ohjaamaan ja valvomaan keskusta.



KUVA 20. ABB MView-kosketuspaneeli.

4 LAAJENNUSMAHDOLLISUUDET

Oulun ammattikorkeakoulun MNS Digital -keskuksen osa 4 on varattu laajennuksille (kuva 21). Yhtein kennoista on sijoitettu valokaarivartija, mutta muut kennot ovat käytettävissä. Vapaiden kennojen koot ovat 4E, 8E/4, 8E sekä 16E.



KUVA 21. MNS Digital -keskuksen varausosa.

Tarkoituksena on selvittää toisten valmistajien älykkäiden moottoriohjainten tarjonta ulosvedettävänä kasettilähtönä keskuksen. Tarkoituksena on ajaa alle 3 kW:n moottoria.

4.1 Siemens Simocode pro

Simocode pro on Siemensin moottorin hallinta- ja ohjainlaite, joka tarjoaa elektronisen täyden moottorinsuojauksen 820 A:n astia. Siitä löytyy useampaa mallivaihtoehtoa, joilla on eri ominaisuuksia ja laajennusmahdollisuuksia (kuva 22).

Simocode pro C on vaihtoehtoista vähiten ominaisuuksia ja laajennusmahdollisuuksia ja sen yhteysvaihtoehtona on ainoastaan Profibus. Se on tarkoitettu moottorin suora sekä suunnanvaihtokäytölle tai ohjaamaan moottorinsuojakytkintä. (19.)

Simocode pro S on älykäs moottorinohjain moottorin suora-, suunnanvaihto- ja tähti-kolmiokäytölle sekä ohjaamaan moottorinsuojakytkintä tai pehmokäynnistintä. Se on laajennettavissa monitoiminto-moduulilla. Simocode pro S tukee vain Profibus yhteyttä. (19.)

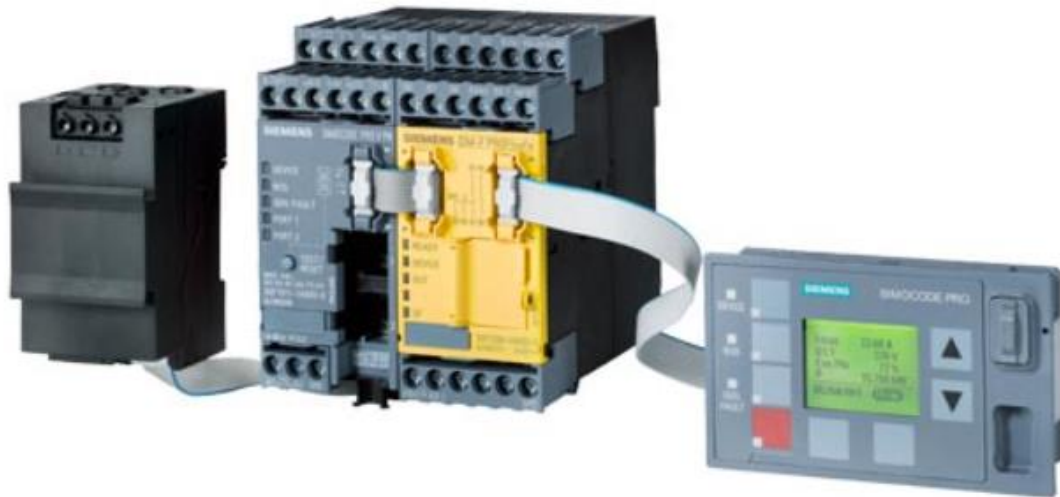
Simocode pro V älykkään moottorinohjaimen korkean suorituskyvyn versiota on saatavilla Profibus, Modbus RTU, Profinet ja Ethernet/IP yhteyksillä. Näihin malleihin on sisällytetty kaikki ohjaustoiminnot ja niissä on mahdollista käyttää kaikkia laajennusmoduuli vaihtoehtoja. Muista malleista poiketen Simocode pro V-malliin on valittavissa virtamuuntajan sijaan myös virta/jännitemuuntaja, joka mahdollistaa laajemmat mittaustiedot. Tähän malliin on mahdollisuus valita näytöllinen ohjauspaneeli (kuva 23). (19.)

Expansion possibilities	SIMOCODE pro C	SIMOCODE pro S	SIMOCODE pro V	SIMOCODE pro V	
	Basic Performance PROFIBUS	General Performance PROFIBUS	General Performance PROFINET GP	High Performance PROFIBUS/ Modbus RTU	PROFINET/ EtherNet/IP
Operator panels	✓	✓	✓	✓	✓
Operator panels with display	--	--	--	✓	✓
Current measuring modules	✓	✓	✓	✓	✓
Current/voltage measuring modules	--	--	--	✓	✓
Expansion modules:					
• Digital modules	--	--	1 ²⁾	2	2
• Fail-safe digital modules ¹⁾	--	--	--	1	1
• Analog modules	--	--	--	1	2
• Ground-fault modules	--	--	1	1	1
• Temperature modules	--	--	1	1	2
• Multifunction modules	--	1	--	--	--

✓ Available
-- Not available

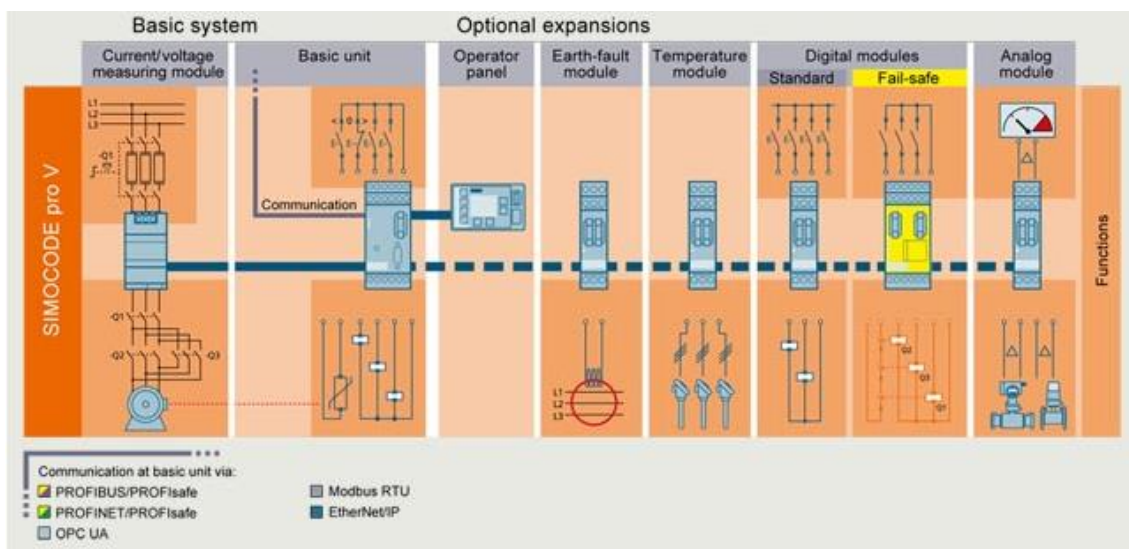
¹⁾ The fail-safe digital module can be used instead of one of the two digital modules.
²⁾ Only monostable version can be used.

KUVA 22 Simocode pro -mallit (19).



KUVA 23. Siemens Simocode pro V (20).

Simocode pro V tarvitsee toimiakseen perusyksikön ja virtaa mittaavan moduulin sekä näiden välisen kaapelin (kuva 24). Maasulku-, lämpötila-, digitaali- ja analogimoduulit sekä ohjausnäyttö ovat valittavissa olevia laajennusosia. Moduulit voidaan sijoittaa korkeintaan 2,5 metrin päähän toisistaan ja yhdessä järjestelmässä voidaan käyttää korkeintaan 3 metriä moduulien välisiä yhteyskaapeleita. (19.)



KUVA 24. Simocode pro V rakenne (19).

Simocode pro V Modbus RTU -perusyksikköä on saatavilla 24 VDC sekä 110–240 V AC/DC jännitteille. Se mahdollistaa Modbus RTU yhteyden RS485-sarjaliikenneväylällä. Perusyksikössä on kolme monostabiilia relelähtöä sekä neljä digitaalista sisääntuloa, joista yhteen voidaan liittää termistori. (19.)

Jännite/virtamittausmoduulilla suoraan läpikulkevaa virtaa voidaan mitata 0,3–200A välillä ja sillä on mahdollista mitata vaihtojännitettä 690 V:in asti. Moduuli mitoitetaan virran mukaan. Sillä saadaan tarkkoina mittausarvoina esimerkiksi teho, tehokerroin, taajuus, virta ja jännite sekä näiden avulla energiatiedot. (19.)

Näytöllinen käyttöpaneeli voidaan asentaa esimerkiksi keskuksen oveen. Siinä on seitsemän LED-valoa, jotka ilmaisevat tilan sekä vapaasti määriteltäviä painikkeita moottorin ohjaamiseen. Näytöstä voidaan lukea esimerkiksi mitatut arvot, tilatiedot ja vikailmoitukset. Näytöstä saa valittua useita kielivaihtoehtoja, joissa on mukana myös suomen kieli. (19.)

Maasulkumoduuli tarvitsee toimiakseen myös virtamuuntajan, jota käytetään, kun halutaan mitata tarkasti maavikavirtaa. Varoitus- ja katkaisuarvot voidaan määritellä 30 mA – 40 A välille. (19.)

Lämpötilan mittausmoduulin avulla järjestelmään voidaan lisätä kolme analogista anturia. Moduulissa voidaan käyttää PT100-, PT1000-, KTY83-, KTY84- tai NTC-antureita. Modbus RTU -mallin perusyksikköön voidaan kytkeä yksi lämpötilanmittausmoduuli. (19.)

Digitaalimoduulissa on neljä binääristä sisääntuloa (24 VDC, tai 110-240V AC/DC) ja kaksi relelähettä, jotka ovat mallin mukaan bi- tai monostabiileja. Kaksi digitaalimoduulia voidaan liittää yhteen perusyksikköön. (19.)

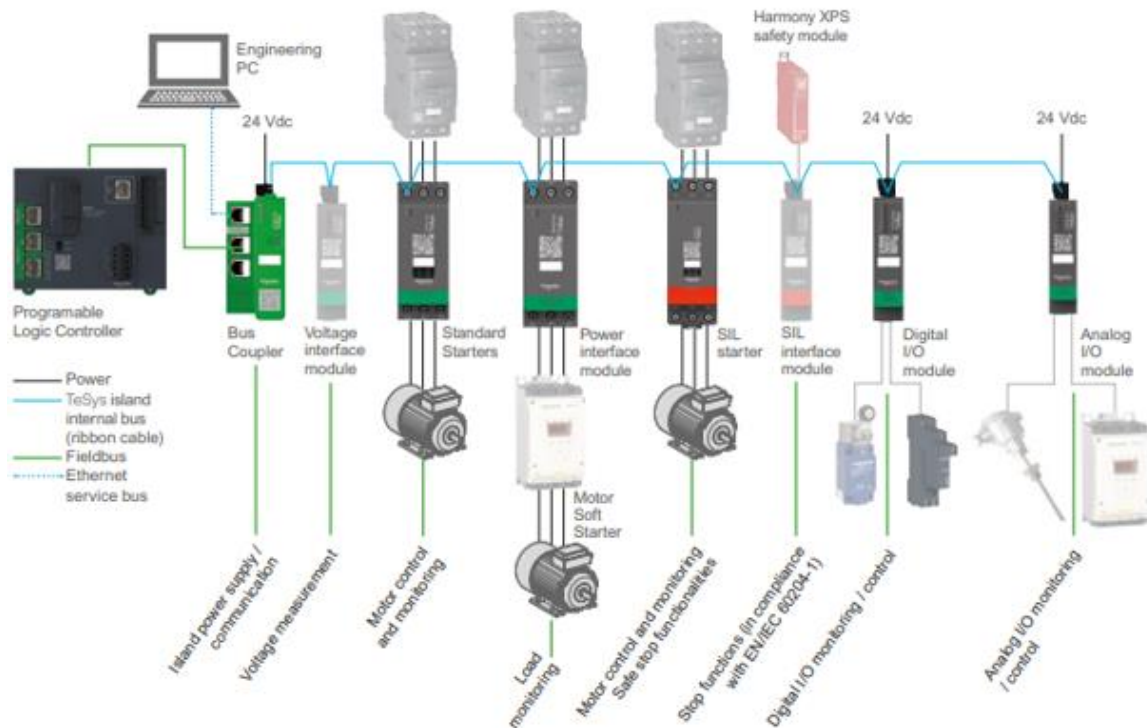
Turvarelemoduuleilla voidaan saavuttaa SIL IEC 61508: 3 taso. Ne on suunniteltu hätäpysäytys-toiminnon toteuttamiseen. Perusyksikköön voidaan liittää yksi turvarelemoduuli. (19.)

Analogimoduulissa on kaksi passiivista sisääntuloa ja yksi ulostulo 0/4–20 mA:in signaalille. Modbus RTU -perusyksikköön voidaan liittää vain yksi analogimoduuli. (19.)

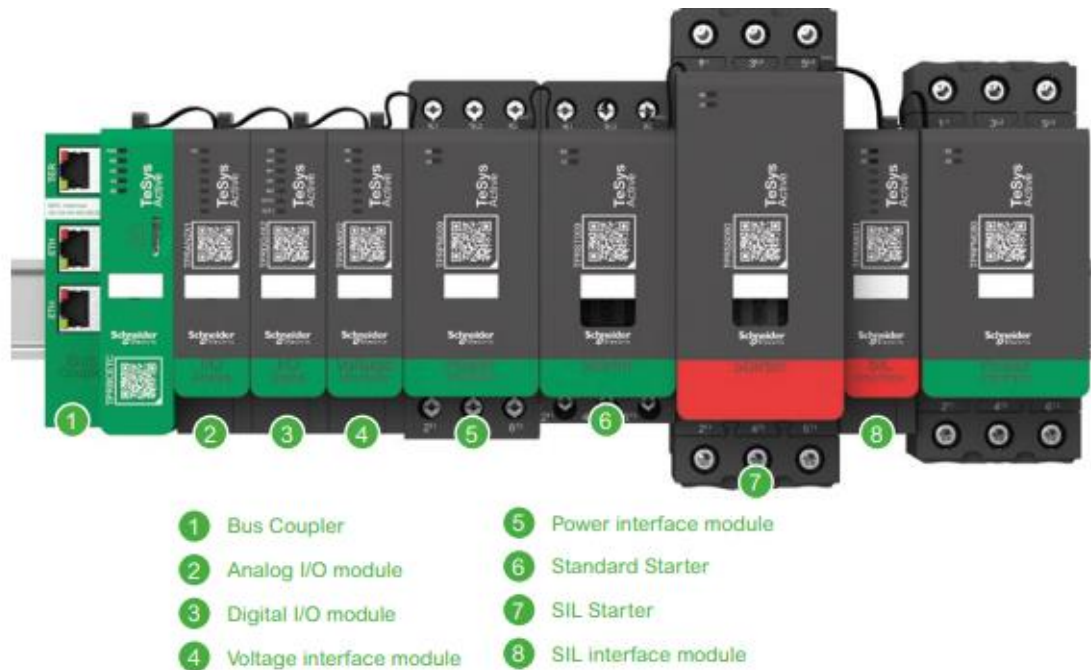
4.2 Schneider TeSys island

TeSys island on Schneiderin modulaarinen ja monitoiminnallinen järjestelmä älykkääseen moottorihjaamiseen (kuva 25). Se on tarkoitettu pääasiassa pienjännitekuormien suoraan ohjaukseen ja hallintaan. TeSys island -tuotteilla voidaan kytkeä, suojata ja hallita moottoreita ja muita kuormia

37 kW:iin asti. Laitteet asennetaan DIN-kiskoon ja yhteen saarekkeeseen voi kytkeä jopa 20 moduulia, jolloin saarekkeen maksimileveys on 112,5 cm (kuva 26). Laitteelta laitteelle kulkee nauha-kaapeli, jonka kautta moduulien väliset yhteydet on toteutettu. Ulkoiset yhteydet toteutetaan yhteysmoduulin kautta, jolloin saareke nähdään yhtenä solmuna verkossa. Yhteysmoduulia on saatavana EtherNet/IP, Modbus TCP, Profinet, sekä Profibus vaihtoehtoina. Lisäksi saarekkeeseen on saatavilla käynnistin-, teholiitäntä-, analogi-, digitaali-, jänniteliitäntä- sekä SIL-moduuleita. (21.)



KUVA 25. TeSys island -järjestelmän rakenne (21).



KUVA 26. Schneider TeSys island DIN-kiskoon koottuna (21).

Teholiitännämoduulilla voidaan ohjata erilaisia laitteita, kuten kontaktoreita, pehmokäynnistimiä tai taajuusmuuttajia. Siihen on sisällytetty lämpösuojaukset sekä sähköiset suojaukset. Yhdessä jännitemoduulin kanssa se tarjoaa täyden kuorman energiavalvonnan. (22.)

Käynnistinmoduulit tarjoavat lämpö- sekä sähköiset suojaukset. Niillä voidaan ohjata yksi- ja kolmivaiheisia kuormia päälle ja pois. Kuorman energiavalvonta on mahdollista toteuttaa jännitemoduulin kanssa. Käynnistinmoduuli tarjoaa tärkeää tietoa kunnossapidon kannalta, sillä se kirjaa tapahtumat. Erilaisissa käytöissä voidaan tarvita useampaa käynnistinmoduulia, kuten moottorin kaksisuuntaisessa käytössä tarvitaan kahta käynnistinmoduulia. (23.)

Digitaalinen IO -moduuli vaatii toimiakseen 24 VDC -syötön. Sillä voidaan ohjata esimerkiksi releitä ja merkkivaloja. Lisäksi voidaan seurata binäärisiä antureita ja kytkimiä. Moduuli antaa lisäksi tietoa käynnistyskerroista, tapahtumien määrästä ja kertoo moduulin päälläoloajan. Moduuliin liitetyt laitteet tulee suojata sulakkeilla oikosulkujen varalta. (24.)

Analoginen I/O-moduuli vaatii toimiakseen 24 VDC -syötön. Sen avulla voidaan seurata jännitettä (-10–10 V) tai virtaa (0–20 mA) analogisilta antureilta, kuten termoparilta tai PT100-anturilta. Mo-

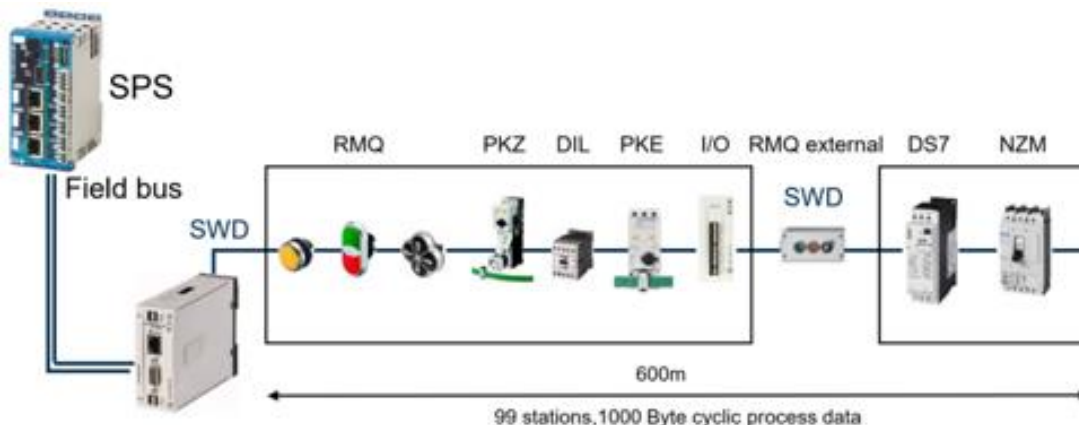
duulilla voidaan ohjata jänniteohjattuja laitteita, kuten taajuusmuuttajia. Moduuli antaa tietoa käynnistyskerroista ja tapahtumien määrästä sekä kertoo moduulin päälläoloajan. Moduuliin kytketyt laitteet tulee suojata sulakkeilla oikosulkujen varalta. (25.)

Jännitemoduuli mittaa jännitteitä yhdestä saarekkeen pisteestä. Sen avulla saadaan saarekkeen jännite-, teho- ja energiatiedot. Sillä voidaan mitata jännitettä yksivaiheisesta järjestelmästä tai kolmivaiheisesta järjestelmästä vaiheiden väliltä. Moduuli mittaa myös taajuutta, laskee teholliset vaihejännitteet ja valvoo vaihejärjestystä. (26.)

SIL-liitäntä-moduuli yhdistettynä SIL-käynnistysmoduuliin mahdollistaa pysäytystoimintojen suorittamisen EN/IEC 60204-1 standardin mukaan. (27.)

4.3 Eaton

SmartWire-DT on Eatonin kaapelointijärjestelmä, joka sisältää tiedonsiirron teollisuuden kytkinlaitteille (kuva 27). Kaapelina käytetään 8-napaista nauhakaapelia ja sitä voidaan hyödyntää myös ohjauskaapin ulkopuolella ja kaapeloinnin pituus voi olla 600 metriä sekä siihen liitetyjä laitteita jopa 99 kappaletta. Järjestelmä voidaan liittää muiden valmistajien ohjaimiin kenttäväyläporttien avulla. Järjestelmän tarkoituksena on saada lisää tietoja yhdistetyistä laitteista, nostaa järjestelmän käytettävyyttä sekä vähentää valmistus-, suunnittelu- ja kunnossapitokustannuksia. Se vähentää johdotukseen käytettävää aikaa sekä johdotusvirheitä ja mahdollistaa helpon laajennettavuuden suoraan olemassa olevaan johdotukseen. Järjestelmässä ei tarvita erillistä ohjausjohdotusta sekä PLC I/O:n käyttötarve poistuu. Laitteista saatavan diagnostiikkatiedon avulla pystytään paikantamaan viat helposti. (28.)



KUVA 27 Smart-DT -järjestelmän perusrakenne (28).

Yhdyskäytäviä SmartWire-DT-järjestelmään on saatavilla Profibus-, Profinet-, CANopen-, Ethernet/IP-, Modbus TCP-, Powerlink-, Ethercat- ja Sercosvaihtoehtoina. Se antaa jännitteen muille moduuleille. (29.)

Digitaalimoduuliin voidaan liittää laitteita, joissa ei ole integroitua SmartWire-DT-liitäntää. Sisään- ja ulostulojen määrä vaihtelee malleittain. Kontaktorien suoraohjaus on mahdollista 37 kW:iin asti ilman lisäkontaktoreita. (29.)

Analogimoduuleiden sisään- ja ulostulojen määrä vaihtelee malleittain. Sisään- ja ulostuloja on 0-10V/0-20 mA sekä lisäksi sisääntuloja erilaisille lämpötila-antureille. (29.)

PKE-SWD-32-moduulilla saadaan luotua SmartWire-DT-yhteys (kuva 28). Se kytketään suoraan moottorikäynnistinyhdistelmän kontaktoriin, mikä mahdollistaa kontaktorin ohjaamisen ja sen tilasta saadaan tietoa. Tätä moduulia voidaan käyttää korkeintaan 15 kW:n moottoriohjauksissa. Siitä saadaan mm. virta-, lämpö- ja hälytystiedot. PKE-SWD-32-moduuli voidaan kytkeä MSC-DEA -moottoriohjaimeen, jolla voidaan suoraikäyttää moottoria. Se voidaan kytkeä myös DILM7-32 kontaktoreihin. (30.)



KUVA 28 PKE-SWD-32 -toimintaelementti (29).

EMS2-elektronista moottorinkäynnistintä voidaan käyttää enintään 3 kW:n moottorin ohjaamiseen (kuva 29). Siihen on sisällytetty kaikki perinteisen moottorinkäynnistimen toiminnot ja se on vain 22,5 mm leveä. EMS2 tarjoaa laajan ylikuormitussuojan ja SIL3-hätäpysäytystoiminnon. Sillä voidaan ohjata suora- sekä suunnanvaihtokäyttöjä. (29)



KUVA 29 Eaton EMS2-moottorinohjain (29).

4.4 Vaihtoehtojen soveltuvuus toimeksiantajan käyttöön

Tehtyjen selvitysten perusteella tähän ABB MNS Digital -keskukseen ei voida suoraan asentaa edellä mainittujen valmistajien esitettyjä ratkaisuja, sillä kilpailevilla valmistajilla ei ole tarjota siihen soveltuvaa ulosvedettävää kasettilähtöä. Kilpailevien valmistajien tarjoamia ratkaisuja voidaan kuitenkin hyödyntää ABB:n MNS Digital – keskuksen laajennuksissa rakentamalla tarjottu ratkaisu ABB:n omaan tyhjiin kasettilähtöön. Toteutettavia laajennuksia rajoittaa kasettiin sijoitettavien moduulien fyysinen koko sekä ohjausliittimien määrä (taulukko 1). Lisärajoitteena on mainittu päävirtaliittimien virrankesto sekä jäähdytystarve hukkalämmön syntymisen vuoksi, mutta tässä työssä tarkasteltavissa laajennuksissa tehontarve on niin pieni, ettei niillä ole merkitystä.

TAULUKKO 1. ABB MNS-keskuksen ulosvedettävien kasettilähtöjen ohjausliittimien enimmäismäärät.

Kasetinkoko	Ohjausliittimien enimmäismäärä
8E/4	20
8E/2	34
4E	24
6E	24
8E-24E	32

5 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä selvitys Oulun ammattikorkeakoulun ABB MNS Digital -keskuksen universaaleista laajennusmahdollisuuksista. Samalla luotiin yleiskuvaus teollisuuden moottorikeskuksien ominaisuuksista ja tarkempi kuvaus ABB MNS Digital -keskuksen ominaisuuksista ja rakenteesta.

Työssä keskityttiin muiden valmistajien älykkäiden moottoriohjaimien toimintojen selvittämiseen ja tuloksena saatiin kuvaus muiden valmistajien vaihtoehtoista. Moottoriohjaimen tulisi olla ulosvedettävässä kasettilähdössä ja sillä ohjattaisiin alle 3 kW:n moottoria. Työn edetessä selvisi, ettei yhdelläkään valmistajalla ollut keskuksen suoraan sopivaa vaihtoehtoa. Työssä mainittuja moottoriohjain vaihtoehtoja voidaan hyödyntää keskuksen laajenuksessa. Ne tulee kuitenkin kalustaa ABB:n omaan tyhjiin ulosvedettävään kasettiin. Kasettien rajoittavia tekijöitä ovat fyysinen koko sekä ohjausliitinten määrä. Simocode Pro V vaikuttaisi parhaalta ratkaisulta tähän käyttöön. Sen perusyksikössä on kattavimmat moottorinohjaus sekä -suojaus toiminnot. Virta/jännitemuuntajan kanssa se tarjoaa laajat mittaustulokset. Lisäksi siihen on saatavissa muista malleista poiketen näytöllinen ohjauspaneeli, jonka voi sijoittaa kasetin kanteen.

Opinnäytetyön tekeminen vahvisti ammatillista osaamistani. Opin uutta tietoa keskusten rakenteista sekä moottoriohjaimista. Lisäksi suurin osa materiaaleista oli englanniksi, joka kehitti ammatillista kielitaitoani. Jos työn tekemiseen olisi ollut enemmän aikaa, sitä olisi voinut laajentaa selvittämällä vaihtoehtojen hinnat sekä tehdä tarkat suunnitelmat kasettien kalustamisesta.

LÄHTEET

1. Hietalahti, Lauri 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. 1. painos. Tampere: Amk-kustannus Oy Tammertekniikka.
2. Mäkinen, Markku J.J, Kallio, Raimo & Tantarimäki, Reijo 2009. Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset. 1. painos. Keuruu: Otava.
3. Hietalahti, Lauri 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. 1. painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.
4. Eaton. Intelligent switchgear. Hakupäivä 26.3.2024. <https://www.eaton.com/us/en-us/products/medium-voltage-power-distribution-control-systems/switchgear/intelligent-switchgear.html#pmp>.
5. Electrical technology. What are Industrial Communication Networks? An Overview. Hakupäivä 22.4.2024. <https://www.electricaltechnology.org/2016/12/industrial-communication-networks-systems.html>.
6. Ferry. Common Protocols in Industrial Automation. Hakupäivä 6.4.2024. <https://www.deployferry.io/blog/common-protocols-in-industrial-automation>.
7. Ferry. What Is Modbus RTU: A Comprehensive Guide. Hakupäivä 6.4.2024. <https://www.deployferry.io/explain/modbus-rtu>.
8. Ferry. A Beginner's Guide to Getting Started with Modbus TCP Protocol. Hakupäivä 6.4.2024. <https://www.deployferry.io/explain/modbus-tcp>.
9. Ferry. What Is Profinet: A Comprehensive Guide to the Industrial Ethernet protocol. Hakupäivä 6.4.2024. <https://www.deployferry.io/explain/profinet>.
10. Ferry. What Is Profibus: A Comprehensive Guide to Understanding the Industrial Communication Protocol. Hakupäivä 6.4.2024. <https://www.deployferry.io/explain/profibus>.
11. ABB. MNS Low voltage Switchgear. Hakupäivä 2.4.2024. <https://new.abb.com/low-voltage/products/switchgear/mcc-and-iec-low-voltage-switchgear/mns>.
12. ABB. ABB Ability Low Voltage Switchgear Digital. Hakupäivä 2.4.2024. <https://new.abb.com/low-voltage/launches/low-voltage-switchgear-digital>.
13. ABB. MNS Low Voltage Switchgear System Guide. Hakupäivä: 2.4.2024 <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1SMC902030B0205&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.

14. ABB. Take motor control to the next level, effortlessly. Hakupäivä: 16.4.2024.
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2CDC135011B0203&LanguageCode=en&DocumentPartId=PDF&Action=Launch>.
15. ABB. LVS Digital – Engineering Process. Sisäinen lähde.
16. ABB. LVS Digital CMES Edge Engineering Guideline. Sisäinen lähde.
17. ABB. MLink. Hakupäivä: 16.4.2024. <https://new.abb.com/products/fi/1TGE120021R0610/mlink>.
18. ABB. MTQ22-FBP.0 Modbus TCP communication module. Hakupäivä: 16.4.2024.
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2CDC194003D0202&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.
19. Siemens. Monitoring and control devices. Hakupäivä: 20.4.2024. https://cache-industry.siemens.com/dl/files/002/109772002/att_1167311/v1/SIRIUS_IC10_chap10_English_2024_202401251612308413.pdf.
20. Siemens. SIMOCODE pro 3UF7 motor management and control devices. Hakupäivä: 20.4.2024 <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/catalog/products/10024436?activeTab=productinformation#Overview>.
21. Schneider. TeSys island. Hakupäivä: 22.4.2024. https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=LVCATISL_EN&p_enDocType=Catalog&p_File_Name=LVCATISL_EN+%28web%29.pdf.
22. Schneider. Power Interface Module. Hakupäivä: 22.4.2024. [https://www.productinfo.schneider-electric.com/tesys_island_system_installation_operation_guide/tesys-island-system-installation-and-operation-guide/English/DOCA0270_TeSys%20island_System,%20Installation,%20and%20Operation%20Guide.xml/\\$/PowerInterfaceModulePIM-70EC8406](https://www.productinfo.schneider-electric.com/tesys_island_system_installation_operation_guide/tesys-island-system-installation-and-operation-guide/English/DOCA0270_TeSys%20island_System,%20Installation,%20and%20Operation%20Guide.xml/$/PowerInterfaceModulePIM-70EC8406).
23. Schneider. Standard Starters. Hakupäivä: 22.4.2024. [https://www.productinfo.schneider-electric.com/tesys_island_system_installation_operation_guide/tesys-island-system-installation-and-operation-guide/English/DOCA0270_TeSys%20island_System,%20Installation,%20and%20Operation%20Guide.xml/\\$/Starters-73FA7B33](https://www.productinfo.schneider-electric.com/tesys_island_system_installation_operation_guide/tesys-island-system-installation-and-operation-guide/English/DOCA0270_TeSys%20island_System,%20Installation,%20and%20Operation%20Guide.xml/$/Starters-73FA7B33).
24. Schneider. Digital I/O Module. Hakupäivä: 22.4.2024 [https://www.productinfo.schneider-electric.com/tesys_island_system_installation_operation_guide/tesys-island-system-installation-and-operation-guide/English/DOCA0270_TeSys%20island_System,%20Installation,%20and%20Operation%20Guide.xml/\\$/DigitalIOModule-7157E15C](https://www.productinfo.schneider-electric.com/tesys_island_system_installation_operation_guide/tesys-island-system-installation-and-operation-guide/English/DOCA0270_TeSys%20island_System,%20Installation,%20and%20Operation%20Guide.xml/$/DigitalIOModule-7157E15C).

25. Schneider. Analog I/O Module. Hakupäivä: 22.4.2024. [https://www.productinfo.schneider-electric.com/tesys_island_system_installation_operation_guide/tesys-island-system-installation-and-operation-guide/English/DOCA0270_TeSys%20island_System,%20Installation,%20and%20Operation%20Guide.xml/\\$/AnalogIOModule-715A5326](https://www.productinfo.schneider-electric.com/tesys_island_system_installation_operation_guide/tesys-island-system-installation-and-operation-guide/English/DOCA0270_TeSys%20island_System,%20Installation,%20and%20Operation%20Guide.xml/$/AnalogIOModule-715A5326).
26. Schneider. Voltage Interface Module. Hakupäivä: 22.4.2024. [https://www.productinfo.schneider-electric.com/tesys_island_system_installation_operation_guide/tesys-island-system-installation-and-operation-guide/English/DOCA0270_TeSys%20island_System,%20Installation,%20and%20Operation%20Guide.xml/\\$/VoltageInterfaceModule-73E27CE7](https://www.productinfo.schneider-electric.com/tesys_island_system_installation_operation_guide/tesys-island-system-installation-and-operation-guide/English/DOCA0270_TeSys%20island_System,%20Installation,%20and%20Operation%20Guide.xml/$/VoltageInterfaceModule-73E27CE7).
27. Schneider. SIL Interface Module. 22.4.2024. [https://www.productinfo.schneider-electric.com/tesys_island_system_installation_operation_guide/tesys-island-system-installation-and-operation-guide/English/DOCA0270_TeSys%20island_System,%20Installation,%20and%20Operation%20Guide.xml/\\$/SIModule-E4231850](https://www.productinfo.schneider-electric.com/tesys_island_system_installation_operation_guide/tesys-island-system-installation-and-operation-guide/English/DOCA0270_TeSys%20island_System,%20Installation,%20and%20Operation%20Guide.xml/$/SIModule-E4231850).
28. Eaton 2022. SmartWire-DT System Overview.
29. Eaton 2022. The innovative communication system and intelligent wiring solution.
30. Eaton. Solutions for machinery and systems. Hakupäivä: 24.4.2024. <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/industrialcontrols-drives-automation-sensors/en-globalprime/product-overview-for-machinery.pdf>.