



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Tutkintonimike, Talotekniikan insinööri

# Vacon 20 -taajuusmuuttajan liittämisen ohjelmoitavaan logiikkaan

Roope Juurakko

Opinnäytetyö, toukokuu 2024

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2024**  
**Talotekniikan koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

Tekijä  
Roope Juurakko

Nimeke  
Vacon 20 -taajuusmuuttajan liittäminen ohjelmoitavaan logiikkaan

Toimeksiantaja  
Karelia ammattikorkeakoulu Oy

**Tiivistelmä**

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli liittää Vacon 20 -taajuusmuuttaja Distech Controls Eclipse -logiikkaan ja luoda laboratorioharjoituksia talotekniikan opiskelijoille. Logiikka-ohjelma luotiin Distech Controls EC-gfxProgram -ohjelmalla ja taajuusmuuttajan ohjaus toteutettiin Modbus-kenttäväylän kautta. Taajuusmuuttajaan liitettiin kolmivaiheinen puhallin, jota ohjataan taajuusmuuttajalla. Opinnäytetyö toteutettiin Karelia ammattikorkeakoulu Oy:n toimeksiantona.

Ensimmäisessä harjoitustyössä tutustuttiin ensiksi taajuusmuuttajan toimintaan perehtymällä sen käyttöohjeisiin ja parametreihin. Sitten logiikalle luotiin ohjelma, jossa mitattiin ilmanvaihtokanavan paine-eroa ja taajuusmuuttajaa ohjattiin Modbus-kenttäväylän kautta. Ilmavirtaa säädettiin kuristus- ja taajuussäädöllä, jonka jälkeen vertailtiin niiden energiankulutusta. Toisessa harjoitustyössä havainnollistettiin muuttuvailmavirtaista ilmanvaihdon ohjausta. Harjoituksessa luotiin logiikalle ohjelma, jossa taajuusmuuttajaa ohjattiin hiilidioksidipitoisuuden mukaan.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin kaksi laboratorioharjoitusta, joita voidaan hyödyntää talotekniikan opetuksessa. Talotekniikan opiskelijat voivat toistaa harjoitukset luotujen työohjeiden avulla. Laboratorioharjoitusten työohjeet luovutettiin Karelia ammattikorkeakoulun käyttöön.

Kieli  
suomi

Sivuja 30

Asiasanat  
taajuusmuuttajat, ohjelmoitavat logiikat, rakennusautomaatio



**THESIS**  
**May 2024**  
**Degree Programme in Building Services Engineering**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author  
Roope Juurakko

Title  
Connecting a Vacon 20 Frequency Converter to Programmable Controller

Commissioned by  
Karelia University of Applied Sciences Ltd

**Abstract**

The aim of this thesis was to connect the Vacon 20 frequency converter with Distech Controls Eclipse programmable logic and create laboratory exercises for building services engineering students. The program to the logic was created using the Distech Controls EC-gfxProgram software and control of the frequency converter was implemented via the Modbus fieldbus. A three-phase fan was connected to the frequency converter which was controlled by it. The thesis was commissioned by Karelia University of Applied Sciences.

In the first exercise, the operation of the frequency converter was first explored by studying its user manual and parameters. Then a program was created for the programmable logic, where the pressure difference in the ventilation duct was measured and the frequency converter was controlled via the Modbus fieldbus. The airflow was manually adjusted with an airflow control damper and a frequency control after which their energy consumption was compared. In the second exercise, variable airflow ventilation control was demonstrated. A program was created for the logic in which the frequency converter was controlled based on carbon dioxide concentration.

The thesis resulted in two laboratory exercises which can be used in building services engineering education. Building services engineering students can repeat the exercises with the created instructions. The laboratory exercise instructions were handed over to Karelia University of Applied Sciences for their use.

Language  
Finnish

Pages 30

Keywords  
frequency converters, programmable logic controllers, building automation

## Sisältö

1	Johdanto .....	5
2	Tietoperusta.....	6
2.1	Taajuusmuuttaja .....	6
2.2	Moottorit.....	9
2.2.1	Oikosulkumoottori .....	9
2.2.2	EC-moottori.....	11
3	Kenttäväylät .....	12
4	Laitteisto .....	13
4.1	Vacon 20 -taajuusmuuttaja .....	13
4.2	Systemair PRF -keskipakopuhallin .....	16
4.3	Produal ILH-M -huoneilmanlaatulähetin.....	18
4.4	Halton PRA-100 -ilmamääräsäädin .....	18
4.5	Produal PEL-M -paine-erolähetin.....	20
4.6	Eclipse-logiikka .....	21
4.7	EC-gfxProgram -ohjelma .....	22
5	Laboratorioharjoitukset .....	22
5.1	Perehtyminen ohjelmaan ja laitteistoon .....	22
5.2	Taajuusmuuttajaan perehtyminen.....	22
5.3	Puhaltimen ohjaus hiilidioksidipitoisuuden mukaan .....	25
6	Pohdinta.....	27
	Lähteet.....	29

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa kaksi erilaista laboratorioharjoitusta, jossa Vacon 20 -taajuusmuuttaja liitetään Eclipse-logiikkaan ja ohjelma logiikalle luodaan EC-gfxProgram-ohjelmalla. Taajuusmuuttajan ohjaus toteutetaan Modbus-kenttäväylällä. Taajuusmuuttajan lähtöön liitetään kolmivaiheinen puhallin, jonka pyörimisnopeutta taajuusmuuttaja muuttaa. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Karelia ammattikorkeakoulu, jonka laboratorio-tilaan opinnäytetyö toteutettiin. Laboratorioharjoitukset tulevat tulevaisuudessa talotekniikan opiskelijoiden käyttöön osaksi rakennusautomaation opintoja.

Ensimmäisessä harjoitustyössä tutustutaan taajuusmuuttajaan esitehtävässä, jossa etsitään taajuusmuuttajan eri valikoita ja selvitetään niiden tarkoitusta. Esitehtävän tarkoitus on perehdyttää opiskelijat käyttämään ennalta tuntematonta taajuusmuuttajaa niin, että laboratorioharjoitukset ovat mahdollisia suorittaa. Esitehtävän jälkeen luodaan ohjelma Eclipse-logiikalle EC-gfxProgram-ohjelmalla, jossa mitattu paine-ero muutetaan tilavuusvirraksi. Taajuusmuuttajasta luetaan käyntitietoja ja sille annetaan logiikan kautta KÄY/SEIS-komento ja puhaltimen nopeusohje. Toimivan ohjelman avulla säädetään tilavuusvirta sekä kuristussäädöllä, että taajuussäädöllä ja säätötapojen energiankulutusta vertailaan laskutoimitusten avulla.

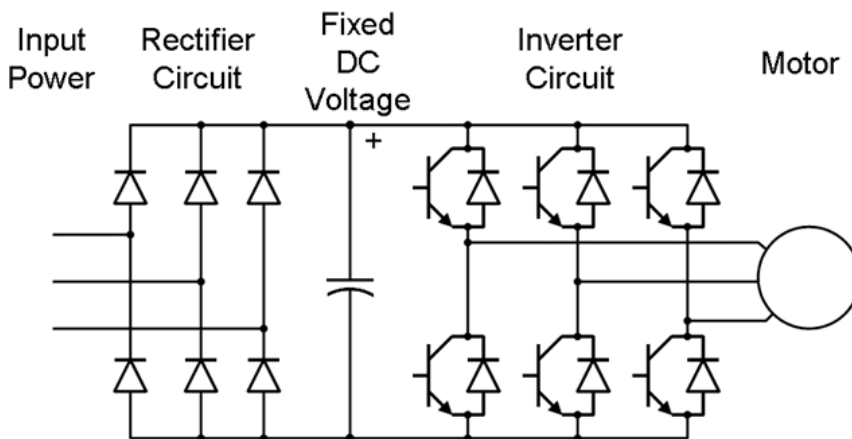
Toisessa harjoituksessa taajuusmuuttajaa ohjataan huoneilman hiilidioksidipitoisuuden mukaan. Muuttuvilmavirtaisessa ilmanvaihdon ohjauksessa käytetään paljon hiilidioksidipitoisuuteen perustuvaa ohjaustapaa, jolloin harjoitustyö antaa havainnollistavan esimerkin ilmanvaihtoasennuksiin, johon rakennusautomaatio on liitetty. Taajuusmuuttajan nopeusohje luodaan hiilidioksidipitoisuuden ja pyörimisnopeuden lineaarisesta suhteesta, joka rajoitetaan halutulle taajuusalueelle.

## 2 Tietoperusta

### 2.1 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja koostuu nopeista puolijohdepohjaisista tehokytkeäkomponenteista, joiden ansiosta on mahdollista toteuttaa pienillä häviöillä kiinteästä 50 Hz:n verkosta oma moottorilähtö, jota on mahdollista ohjata jatkuvasti. Taajuusmuuttajassa muutetaan ensin verkon vaihtosähkö tasasuuntaimella tasasähköksi ja sitten tehokomponenttien avulla luodaan uusi vaihtosähköverkko halutulla taajuudella (ja jännitteellä). (ST-kortti 715.00 2018.)

Taajuusmuuttajan tasasuuntaaja tasasuuntaa vaihtojännitteen, välipiirissä oleva kondensaattori vakavoi tasajännitteen puhtaaksi tasajännitteeksi ja vaihtosuuntaaja muuttaa tasajännitteen halutun suuruiseksi ja taajuiseksi vaihtojännitteeksi (Ahoranta 2015, 262). Taajuusmuuttajan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 1.

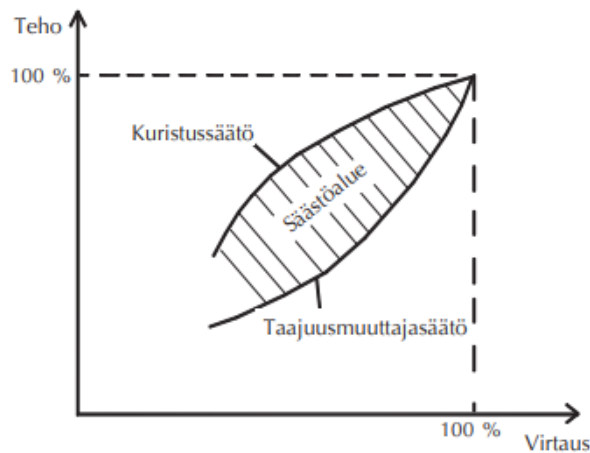


Kuva 1. Taajuusmuuttajan toimintaperiaate (SähköNet).

Taajuusmuuttajassa olevien kondensaattorien energia riittää luomaan moottorin käynnistämiseen tarvittavan magneettikentän, jolloin sähköverkosta ei tarvitse ottaa lainkaan loisenergiaa. Tämä parantaa huomattavasti taajuusmuuttajan tehokerrointa. Taajuusmuuttaja pyrkii pitämään syötettävän jännitteen ja taajuuden suhteen samana. Kun jännite ja taajuus pienenevät samassa suhteessa, moottorin ottama virta ja moottorin vääntömomentti pysyvät nimellisinä. Jännitettä ei voi kuitenkaan nostaa yli nimellisen arvon, joten yli nimellisillä taajuuksilla jännitteen ja taajuuden suhde ei ole vakio. Tämä aiheuttaa sen, että

staattorin magneettikenttä heikkenee ja moottorin vääntömomentti alenee kääntäen verrannollisesti pyörimisnopeuteen nähden. (Ahoranta 2015, 262–263.)

Taajuusmuuttajan käyttö talotekniikassa perustuu ensisijaisesti sen tuomaan energiansäästöön prosessissa. Moottorikäyttöjen sähkönkulutusta voidaan vähentää merkittävästi siksi, että puhallin- ja pumppukäyttöjen ominaisuuksien takia sähkötehon tarve vähenee nopeasti virtaaman pienentyessä. Usein vertaillaan taajuusmuuttaja- ja kuristussäätöä keskenään, koska kuristussäädön energiatehokkuus on heikko. Vaikka taajuusmuuttaja tuottaa oman tehohäviönsä järjestelmässä, on kuristussäätöön verrattuna saavutettu hyöty merkittävä. Kuvassa 2 on esitetty taajuusmuuttajan ja kuristussäädön käyttämä tehoalue virtaaman säädössä. (ST-kortti 715.00 2018.)



Kuva 2. Taajuusmuuttaja- ja kuristussäätö (ST-kortti 715.00).

Taajuusmuuttajasta puhuttaessa puhutaan usein nopeudenohjauksesta, koska taajuuden muuttamisen seurauksena moottorin kierrosnopeus muuttuu. Hyviä syitä käyttää taajuusmuuttajaa moottorin ohjauksessa ovat muun muassa energiansäästö ja järjestelmän tehokkuuden parantaminen, tehon muuntaminen hybridisovelluksissa, nopeuden tai vääntömomentin mitoittaminen prosessin vaatimusten mukaiseksi, matalampi melutaso puhaltimissa ja pumpuissa sekä koneiden mekaanisen rasituksen vähentäminen ja käyttöiän pidentäminen. Lisäksi nykyajan taajuusmuuttajissa on verkko- ja diagnostiikkaominaisuuksia, joilla voidaan paremmin hallita suorituskykyä ja parantaa prosessin tuottavuutta. Maailman kaikista taajuusmuuttajista n. 75 % käytetään yleisimmin puhaltimien, pumppujen ja kompressorien ohjauksessa. (Danfoss OY AB. 2024.)

Taajuusmuuttajan kaapeloinnissa ryhmäkeskuksesta taajuusmuuttajaan kytkettävä kaapeli syöttää tasasuuntaajan kautta välipiiriä, joka ei varsinaisesti ole voimakas häiriölähde. Kaapelina voi käyttää esimerkiksi MCMK-kaapelia. (ST-kortti 715.30 2018.) MCMK-kaapeli on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Reka MCMK-kaapeli (Reka Kaapeli Oy).

Taajuusmuuttajan ja moottorin välinen kaapeli tulee olla niin lyhyt kuin mahdollista, sillä pitkä moottorikaapeli aiheuttaa kytkentäpisteessä impedanssiheijastuksen. Impedanssiheijastus voi pahimmassa tapauksessa nostaa moottorin päässä jännitteen lähes kaksinkertaiseksi, joka voi aiheuttaa moottorin käämityksessä läpilyönnin. Laitevalmistajien ohjeistuksissa on ilmoitettu maksimipituudet kaapeleille. Kaapelipituuksissa on huomattavia eroja valmistajien ja taajuusmuuttajien mallien välillä, joten taulukot eivät ole vaihtokelpoisia. Moottorikaapelina voidaan käyttää esimerkiksi MCCMK-kaapelia. (ST-kortti 715.30 2018.) MCCMK-kaapeli on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. MCCMK-kaapeli (Prysmian Group Finland Oy).

Jos moottori voi liikkua tai täristä, kaapelina tulee käyttää taipuisaa kaapelia. Tässä tilanteessa voidaan käyttää esimerkiksi ÖLFLEX-kaapelia (ST-kortti 715.30 2018). ÖLFLEX-kaapeli on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. ÖLFLEX-kaapeli (Distrelec Schweiz AG).

Ohjauskaapelina tulee myös käyttää suojattua kaapelia. Digitaali- ja analogiasignaalit erotellaan toisistaan omiin kaapeleihinsa. Yksittäiset signaalit viedään



ilman yhteisiä paluujohtimia omassa parissa. Ohjauskaapelina käy esimerkiksi JAMAK-kaapeli. (ST-kortti 715.30 2018.) JAMAK-kaapeli on esitetty kuvassa 6.

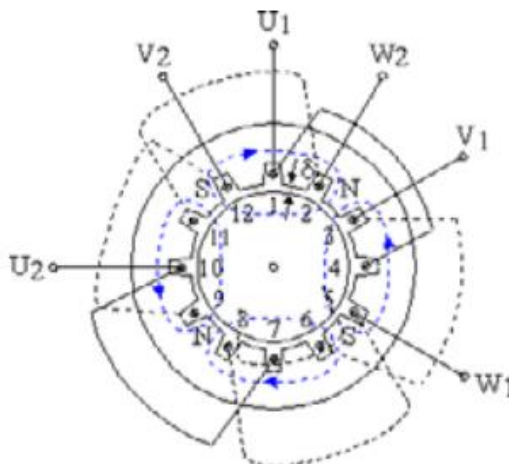


Kuva 6. JAMAK-kaapeli (Finparttia Sähkötukku).

## 2.2 Moottorit

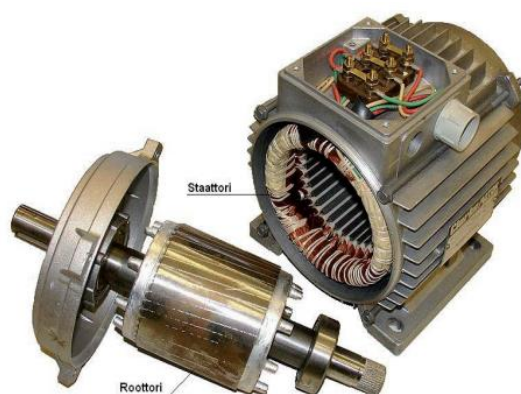
### 2.2.1 Oikosulkumoottori

Vaihtosähkömoottoreita on useita erilaisia oikosulku-, kestoplaneetti- ja reluktanssimoottorit. Moottorit eroavat toisistaan siinä, että niiden roottorit ovat rakenteeltaan erilaisia. Moottoreiden staattorikäänitys on kaikissa samanlainen, joka synnyttää pyörivän magneettikentän staattoriin. Vaihtosähkömoottoreiden pyörimisnopeutta voidaan muuttaa portaittain muuttamalla moottorin napaparilukua. Kun staattorikäänit liitetään sähköverkkoon, kaksinapaiseksi käänitetty moottori pyörii 50 Hz taajuudella 50 kierrosta sekunnissa eli 3000 kierrosta minuutissa (1/min). (Ahoranta 2015, 255–256.) Kuvassa 7 on esitetty kaksinapaisen oikosulkumoottorin kytkentä, jossa U, V ja W kuvaavat vaihekäämejä.



Kuva 7. Kaksinapainen oikosulkumoottori (Korpinen L).

Kun napapariluku on neljä, moottorin kierrosnopeus pienenee puoleen eli 1500 1/min verrattuna kaksinapaiseen moottoriin. Napapariluvun ollessa kuusi, kierrosnopeus on 1000 1/min. Toinen tapa muuttaa moottorin pyörimisnopeutta on portaattomasti muuttaa moottorille syötettävää taajuutta liittämällä moottorin ja sähköverkon väliin taajuusmuuttaja. (Ahoranta 2015, 255–256.) Kuvassa 8 on esitetty oikosulkumoottorin rakenne.



Kuva 8. Oikosulkumoottorin rakenne (Kuva: ST-kortti 21.33).

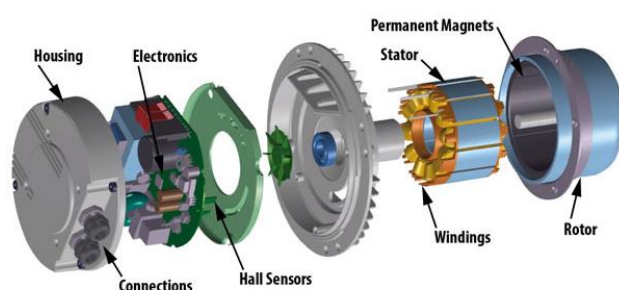
Oikosulkumoottorit ovat suosittuja monilla eri teollisuuden aloilla. Oikosulkumoottorin tehtävä on muuttaa sähköenergia mekaaniseksi energiaksi. Sähköenergian muuttaminen mekaaniseksi energiaksi tapahtuu sähkömagneettisella induktiolla, joka tuottaa oikosulkumoottoriin jättämän. Oikosulkumoottorin virta sisältää kaksi tekijää pätövirran ja loisvirran. Pätövirta tuottaa oikosulkumoottoriin momentin tuottavan virran, kun taas loisvirta tuottaa moottoriin magnetointivirran. Pätö- ja loisvirta ovat toisiinsa nähden kohtisuorassa. (ABB Industry OY 2001.)

Oikosulkumoottoreista käytetään myös nimityksiä epätahtimoottori ja induktio-moottori. Nimitykset johtuvat siitä, että roottori pyörii epätahdissa syöttävään verkkoon nähden ja roottoriin johdetaan virta sähkömagneettisen induktion avulla. Oikosulkumoottoreita käytetään useimmiten moottorina, vaikka niitä voidaan käyttää myös generaattorina. Oikosulkumoottorin roottorissa on urat, joihin on upotettu joko alumiinista, tai kuparista valmistetut sauvat. Roottorin päissä sauvojen päät on kytketty yhteen oikosulkurenkailla. Kun staattori luo pyörivän magneettikentän, roottorisauvoihin indusoituu lähdejännite. Tyhjäkäynnin moottorin käyntinopeus on lähes yhtä suuri, kuin staattorikentän

pyörimisnopeus. Roottorin kierrosnopeus on kuitenkin aina staattorikentän pyörimisnopeutta hitaampi. Jos nopeudet olisivat yhtä suuret, roottoriin ei syntyisi ollenkaan lähdejännitettä eikä momenttia, koska staattorikenttä pysyisi paikallaan roottorin suhteen. (Hietalahti 2011, 59–60.)

## 2.2.2 EC-moottori

Tasasähkömoottoreita ovat askel-, reluktanssi-, hiiliharjallinen-, hiiliharjaton- ja yleisvirtamoottori. Niiden toimintaperiaatteissa ja käyttökohteissa on eroja, ja ne vaihtelevat jokaisen eri tyyppin välillä. EC-moottori on hiiliharjaton tasasähkömoottori, jonka kestopagneetit ovat roottorissa ja sähkömagneetit ovat staattorissa. Lyhenne EC tulee englannin kielen sanoista Elektronically Commutated, joka tarkoittaa elektronisesti kommutoitua. EC-moottori eroaa hiiliharjallisesta tasasähkömoottorista siinä, että EC-moottorissa ei ole hiiliharjoja ja kommutointi toteutetaan elektronisesti. EC-moottoria käytetään kodinkoneissa, pienkoneissa, ilmastointilaitteissa, puhaltimissa ja pumpuissa. EC-moottoreita on saatavilla kymmenistä wateista aina muutamaan kilowattiin asti. Moottorin etuna on sen yksinkertainen rakenne, huoltovapaus, ohjauksen helppous ja korkea hyötysuhde koko kierrosnopeusalueella. (Ahoranta 2015, 246–252.) EC-moottorin rakenne on esitetty kuvassa 9.



EC permanent magnet motor exploded view.

Kuva 9. EC-moottorin rakenne (Continental Fan Manufacturing Inc).

EC-moottorin ohjauselektronikka syöttää virran vuorotellen staattorin eri käämeille, jolloin roottori alkaa pyöriä (Ahoranta 2015, 251). Moottorin sisällä on sensoreita, jotka tunnistavat roottorin asennon, jotta elektroninen kommutointi tapahtuu oikeaan aikaan. EC-moottorin sisäinen ohjauselektronikka pystyy säättämään moottorin pyörimisnopeutta siten, että se muuttaa tehonsyötön

jännitetasoa. (ST-kortti 21.33 2012.) EC-moottori ei siis tarvitse erillistä taajuusmuuttajaa, kuten oikosulkumoottori. Taajuusmuuttajakäyttöön verrattuna EC-moottorilla on myös se etu, että se ei taajuusmuuttajan tavoin tuota suurtaajuushäiriöitä, jolloin moottorikaapelin ei tarvitse olla häiriösuojattu (ST-kortti 21.33 2012).

### **3 Kenttäväylät**

Kenttäväylällä tarkoitetaan väyläpohjaista tiedonsiirtoratkaisua, joka on kaksisuuntaista ja digitaalista. Siinä yhdistyvät myös mittaus- ja ohjauspisteet, näytöt, käyttöliittymät ja muut automaation osat. Kenttäväylien ominaisuudet ovat hajautettuna ja niiden toiminta tapahtuu prosessien lähellä. (ST-kortti 709.00 2017.)

Modbus on vuonna 1979 alun perin Modiconin kehittämä kenttäväyläprotokolla, joka on avoin tietoliikennestandardi. Modbussin toimintaperiaate perustuu asiakas/ palvelin -protokollaan (client/server), jossa asiakas lähettää pyynnön ja palvelin vastaa pyyntöön. Modbus-protokolla soveltuu käytettäväksi useille eri toimialoille. Vanhempi Modbus-protokolla Modbus RTU:n tiedonsiirto protokollia olivat RS-232 ja RS-485 mutta uuden Modbus TCP/IP tiedonsiirtoon käytetään ethernetiä. Modbus RTU -laitteet on mahdollista liittää Modbus TCP/IP -järjestelmään käyttämällä erillistä muunninta, joka muuntaa RS-232 ja RS-485 sanomat ethernetiksi ja protokollan Modbus TCP/IP:ksi. (Modbus Organization Inc 2024.)

Vuonna 1995 julkaistiin ANSI/ ASHRAE standardi 135 yhdistämään eri toimittajien eri järjestelmät yhdeksi yhtenäiseksi ohjaus- ja automaatiojärjestelmäksi. Standardi sai nimeksi BACnet (Building Automation and Control network). BACnet saavutti vuonna 2003 kansainvälisen standardijärjestön standardin (ISO 16484-5) statuksen. (BACnet International 2024.)

BACnet-järjestelmän laitteet mallinnetaan 23 erilaisella objektityypillä, jotka sisältävät joukon erilaisia ominaisuuksia. Objektit voivat olla: asetusarvot, järjestelmäpisteet, aikaohjelmat ja kalenteriohjelmat. BACnet-järjestelmässä on neljä eri toimintakerroksen arkkitehtuuria, jotka OSI-mallissa on määritelty fyysiseksi-, siirtoyhteys-, verkko- ja sovelluskerrokseksi. BACnetin fyysisiä tiedonsiirtotapoja ovat IEEE 802.3, RS-232 ja RS-485. Topologioina sopivat tähti- ja väylätopologiat. (ST-kortti 701.60 2008.)

## **4 Laitteisto**

### **4.1 Vacon 20 -taajuusmuuttaja**

Vacon 20 -taajuusmuuttaja on pienikokoinen yksivaiheinen taajuusmuuttaja, jossa on integroitu DIN-kiskoasennus. PLC-toiminto mahdollistaa yksilöllisen ohjauslogiikan käytön taajuusmuuttajassa ja I/O-optioita voidaan käyttää koneen muihin toimintoihin. Vacon 20 -taajuusmuuttajassa on sisäänrakennettu RS-485-liitäntä, joka toimii yksinkertaisena sarjaohjausliitännänä. Lisävarusteiden avulla Vacon 20 -taajuusmuuttajaan pystyy liittämään lähes minkä tahansa RS-485- tai Ethernet-kenttäväyläjärjestelmään. Vacon 20 -taajuusmuuttaja soveltuu käytettäväksi esimerkiksi nosto- ja laskusuuntaista liikettä vaativiin kohteisiin, pakkaus- ja materiaalinkäsittelykohteisiin ja virtauksen ohjaukseen eri prosessiteollisuuden aloilla. (Danfoss OY AB 2023.)

Vacon 20 on fyysisiltä mitoiltaan 157 mm korkea, 66 mm leveä ja 98 mm paksu. Pienen kokonsa ansiosta se on helppo asentaa ahtaisiin paikkoihin. Painoa on 0,5 kg. Lähdestä on mahdollista ottaa korkeintaan 0,37 kw suuruinen kuorma, jonka ottama virta on enintään 2,4 A. (Vacondrivers.com 2023.) Vacon 20 taajuusmuuttaja on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Vacon 20 -taajuusmuuttaja (Vacondrivers.com).

Vacon 20 -taajuusmuuttajassa on kuusi digitaalituloa, kaksi analogituloa, yksi analoginen lähtö, yksi digitaalilähtö, kaksi relelähtöä ja RS-485 käyttöliittymä. Taajuusohje voidaan valita otettavaksi vakionopeus 0:sta, kenttäväylästä, Analogiatulo 1:stä, Analogitulo 2:sta, Analogitulo 1+ Analogitulo 2, PID-ohjauksesta, moottoripotentiometrillä tai pulssijono/ enkooderista. Digitaalitulot 1–6 ovat täysin ohjelmoitavissa, jotka käyttäjä voi määrittää itse monista eri vaihtoehdoista. Myös rele-, digitaali- ja analogilähdöt ovat täysin ohjelmoitavissa. Analogitulo 1 toimii vain jänniteohjauksella, mutta analogitulo 2 toimii sekä jännite-, että virtaohjauksella. Ohjaustavan voi valita mikrokytkimen avulla. (Vacon Plc 2013.) Kuvissa 11 ja 12 on esitetty taajuusmuuttajan liitinpisteet.

## Vacon 20

Liitin	Signaali	Tehdasasetus	Kuvaus
1	+10 Vref	Viitejännitteen lähtö	Maksimikuorma 10 mA
2	AI1	Analogisignaali sisään 1	Taajuusreferenssi <sup>PI</sup> 0-10 V, Ri = 250 kΩ
3	GND	I/O-signaali, maa	
6	24 Vout	24 V lähtö DI:lle	± 20 %, maks. kuorma 50 mA
7	DI_C	Digitaalitulo, yhteismaa	Digitaalitulo DI1-DI6:lle, ks. taulukko 2 DI:n jäähdystyypille
8	DI1	Digitaalitulo 1	Käy eteen <sup>PI</sup> Positiivinen, Logiikka 1: 18-30 V Logiikka 0: 0-5 V
9	DI2	Digitaalitulo 2	Käy taakse <sup>PI</sup> Negatiivinen, Logiikka 1: 0-10 V Logiikka 0: 18-30 V Ri = 10 kΩ (kelluva)
10	DI3	Digitaalitulo 3	Vian kuittaus <sup>PI</sup>
A	A	RS485 signaali A	Kenttäv.yhteys Negatiivinen
B	B	RS485, signaali B	Kenttäv.yhteys Positiivinen
4	AI2	Analogisignaali sisään 2	PID, todellinen arvo ja taajuusreferenssi <sup>PI</sup> Oletus: 0(4)-20 mA, Ri ≤ 250 kΩ Muu: 0-10 V, Ri = 250 kΩ Valittavissa mikrokytkimen avulla
5	GND	I/O-signaali, maa	
13	DO-	Digitaalilähtö, yhteismaa	Digitaalilähtö, yhteismaa
14	DI4	Digitaalitulo 4	Esiasetusnopeus B0 <sup>PI</sup> AS DI1
15	DI5	Digitaalitulo 5	Esiasetusnopeus B1 <sup>PI</sup> As DI1, Muu: Enkooderitulo A (taajuus enintään 10 kHz) Valittavissa mikrokytkimen avulla
16	DI6	Digitaalitulo 6	Ulkoisen vika <sup>PI</sup> As DI1, Muu: Enkooderitulo B (taajuus enintään 10 kHz), pulssijonotulo (taajuus enintään 5 kHz)
18	AO	Analogilähtö	Lähtötaajuus <sup>PI</sup> 0-10 V, RL ≥ 1 kΩ 0(4)-20 mA, RL ≤ 500 Ω Valittavissa mikrokytkimen avulla

Kuva 11. Vacon 20 -taajuusmuuttajan riviliitinpisteet (Vacon Plc).

Liitin	Signaali	Tehdasasetus	Kuvaus
20	DO	Digitaalisignaali lähtö	Aktiivinen = VALMIS <sup>PI</sup> Avoin kollektori, maks. kuorma 35 V/50 mA
22	R01 NO	 Relelähtö 1	Aktiivinen = KÄY <sup>PI</sup> Kytinkuorma: 250 Vac/3 A, 24 V DC 3 A
23	R01 CM		
24	R02 NC	 Relelähtö 2	Aktiivinen = VIKKA <sup>PI</sup> Kytinkuorma: 250 Vac/3 A, 24 V DC 3 A
25	R02 CM		
26	R02 NO		

Kuva 12. Vacon 20 -taajuusmuuttajan riviliitinpisteet (Vacon Plc).

Vacon 20 -taajuusmuuttajassa on lukuisia erilaisia parametrejä, joiden avulla määritellään muun muassa moottorin tiedot, moottorin ohjaustapa sekä moottorin suojaus vikatilanteessa. Kun taajuusmuuttaja käynnistetään ensimmäisen kerran, käynnistyy nopean käyttöönoton parametrit, joiden avulla asetetaan

moottorin perustiedot. Näitä ovat moottorin nimellisjännite, nimellistaajuus, nimellinopeus, nimellisvirta, moottorin tehokerroin ja virtaraja. Lisäksi nopean käyttöönoton parametreissa valitaan kauko-ohjauspaikka, käynnistys- ja pysäytystoiminto ja minimi- ja maksimitaajuus. Parametrien avulla voidaan aloittaa taajuusmuuttajan peruskäyttö. Jos moottorin ohjauksessa halutaan käyttää esimerkiksi kenttäväylää, pitää kenttäväylän liikennöintiasetukset määrittellä taajuusmuuttajan järjestelmäparametreissa. (Vacon Plc 2013.) Kuvassa 13 on esitetty taajuusmuuttajan Modbus-kenttäväylän liikennöintiasetukset.

Koodi	Parametri	Min.	Maks.	Oletus	ID	Huomautus
P2.3	Orjalait.osoite	1	255	1	810	Oletusasetus: Pariteetti None, 1 pysäytysbitti
P2.4	Baudiluku	0	8	5	811	0 = 300 1 = 600 2 = 1 200 3 = 2 400 4 = 4 800 5 = 9 600 6 = 19 200 7 = 38 400 8 = 57 600
P2.6	Pariteetti	0	2	0	813	0 = Ei mitään 1 = Parillinen 2 = Pariton Stop-bitti on 2-bitti, kun pariteettityyppi on: 0 = Ei mitään; Stop-bitti on 1-bitti, kun pariteettityyppi on: 1 = Parillinen tai 2 = Pariton
P2.7	Kommunikaatioviive	0	255	10	814	0 = Ei käytössä 1 = 1 s 2 = 2 s (jne.)

Kuva 13. Taajuusmuuttajan Modbus-kenttäväylän liikennöintiasetukset (Vacon Plc).

## 4.2 Systemair PRF -keskipakopuhallin

Systemair PRF -keskipakopuhallin on suunniteltu saastuneen ilmassa poistoon, jossa voi olla syövyttäviä kaasuja tai muita aggressiivisia ainesosia. Tyyppillisesti puhallinta käytetään lääke-, elintarvike-, kemia- ja elektroniikkateollisuudessa. Kanavakoon voi valita 125–355 mm väliltä ja moottori voi olla joko EC- tai AC-moottori. Kotelointiluokka on IP55 ja painoa puhaltimella on 10,1 kg. Puhaltimen leveys on 40 cm, korkeus 41,5 cm ja syvyys 36 cm. Valittaessa

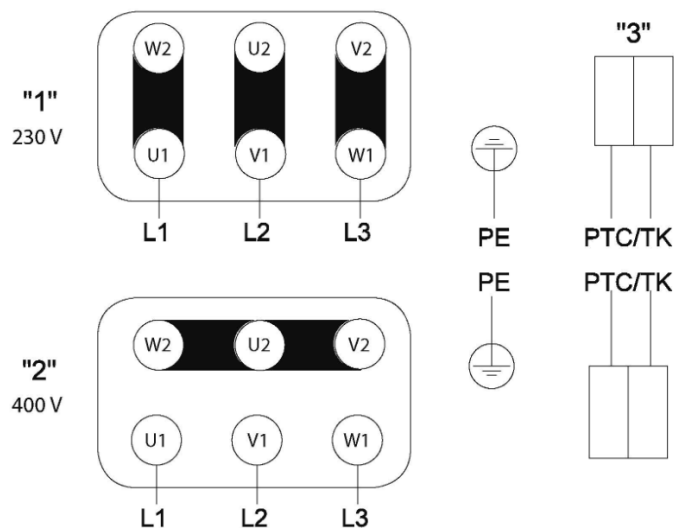


kanavakooksi 125 mm ja moottoriksi AC-moottori moottorin ottama teho on 0,306 kw ja virta on 0,66 A. (Systemair OY 2024.) Puhallin on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Systemair PRF -keskipakopuhallin (Systemair OY).

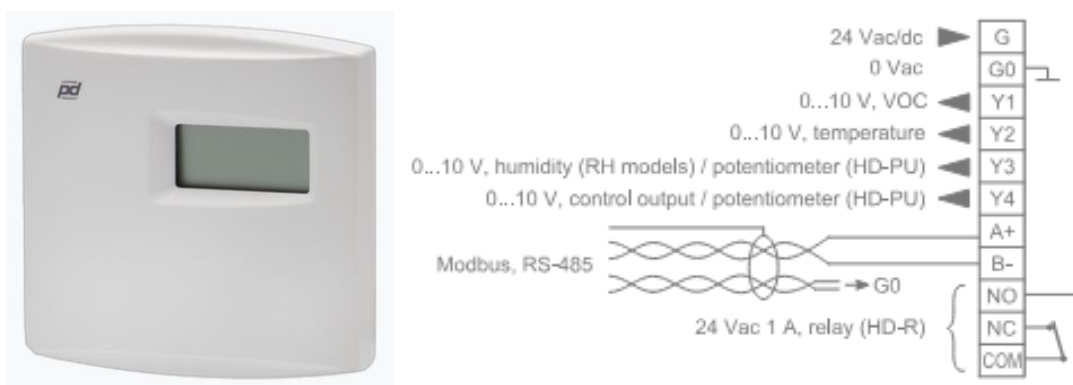
AC-moottorilla varustettu puhallin voidaan kytkeä joko kolmioon, tai tähteen. Tällöin vaihejännite on tähtikytkennässä 230 V ja kolmiokytkennässä 400 V. Puhaltimen moottorin lämpösuoja voi olla mallista riippuen integroitu lämpösuojaus, jossa on manuaalinen (sähköinen) nollaustoiminto, lämpökytkin (TK) tai PTC-termistori, jolloin johtimet tuodaan moottorin ulkopuolelle kytkettäväksi ulkoiseen moottorinsuojaan. (Systemair OY 2024.) Kuvassa 15 on esitetty puhaltimen kytkentäkaavio.



Kuva 15. Systemair PRF -puhaltimen kytkentäkaavio (Systemair OY).

### 4.3 Pro dual ILH-M -huoneilmanlaatulähetin

Pro dual ILH -lähettimet on suunniteltu säätämään ja mittaamaan lämpötilaa ja VOC-pitoisuutta. VOC tulee sanoista Volatile Organic Compound eli suomeksi haihtuvat orgaaniset yhdisteet. VOC-pitoisuus on verrannollinen CO<sub>2</sub>-pitoisuuteen, joten lähettimellä voidaan tehokkaasti mitata ja ohjata tarpeenmukaista ilmanvaihtoa. ILH-lähettimet sopeutuvat vain kuivien tilojen mittauksiin, sillä sen kotelointiluokka on IP20. Lähettimen syöttö vaatii 24 voltin tasajännitteen. VOC-mittausalue on 450–2000 ppm. Lämpötilamittausalue on 0–50 °C. Lähettimeen on saatavilla erikseen valittuna myös kosteusmittaus, Modbus-kenttäväyläliityntä ja näyttö. Kosteusmittauksen mittausalue on 0–100 %. Modbus-väyläliityntällä voidaan lukea joko yksi, tai kaikki kolme arvoa. Modbus-väylän käyttöönottoon tarvitaan erillinen Pro dual ML-SER -työkalu, jolla asetukset voidaan asettaa. Näytön avulla mittauksia voidaan seurata lähettimen kannesta käsin. (Pro dual Oy 2020.) Tämän tuotteen valmistus on jo lopetettu, mutta saatavilla on uusi vastaava tuotemalli. ILH-lähetin on esitetty kuvassa 16 vasemmalla ja oikealla on esitetty laitteen kytkennät.



Kuva 16. Pro dual ILH-M -ilmanlaatulähetin (Pro dual a).

### 4.4 Halton PRA-100 -ilmamääräsäädin

Halton PRA-100 -ilmamääräsäädin on ilman tilavuusvirran säätöön ja mittaukseen suunniteltu ilmanvaihtokanavan osa, jonka säätö tehdään manuaalisesti ilman työkaluja kääntämällä säätönappia. Säädin on suunniteltu niin, että sen rajoittaessa ilman kulkua se tuottaa hyvin vähän ääntä kanavaan. Virtaussuuttimien ansiosta sen mittatarkkuus on korkea. Säätimen runko ja säätösäleet ovat

materiaaliltaan sinkittyä terästä ja mittayhteet ja säätönappi ovat muovia. Säätönappi on itsestään lukittuva, mutta se voidaan erikseen varmistaa myös lukitusruuvilla. Säätoasennon osoitin helpottaa huoltotoimenpiteitä, sillä se kertoo oikean säätimen asennon, vaikka huollon vuoksi säätimen asentoa olisi muutettu. Sääto tapahtuu niin, että säätönappia käännettäessä säätösäleiden muodostaman aukon koko vaihtelee. Kun aukko pienenee, pienenee myös tilavuusvirta ja säätimen tuottama painehäviö kasvaa. Säädintä asennettaessa tulee ottaa huomioon laitteelle asetetut suojaetäisyydet, jotta mittaustulos on mahdollisimman tarkka. (Halton Oy 2024.) PRA-100 -Ilmamääräsäädin on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Halton PRA-100 -ilmamääräsäädin (Halton Oy).

Säätimen asennuksessa tulee ottaa huomioon valmistajan ilmoittamat suojaetäisyydet laitteelle (Halton Oy 2024). Esimerkiksi suoralla kanavan osalla säätimen suojaetäisyys on ennen laitetta neljä kertaa laitteen halkaisijan verran ja laitteen jälkeen halkaisijan verran. Käytettäessä säädintä PRA-100 suojaetäisyys on ennen laitetta suoralla kanavalla 40 cm ja laitteen jälkeen 10 cm, sillä laitteen PRA-100 halkaisija on 10 cm. Jos suojaetäisyys ei täyty, voi säätimen mittaustuloksessa esiintyä epätarkkuutta. Tällöin joudutaan käyttämään erillisiä valmistajan ilmoittamia korjauskertoimia, joilla mahdollinen mittausrvirhe korjataan. (Halton Oy 2024.) Tilavuusvirta voidaan laskea k-kertoimen ja kanavan paine-eron avulla kaavalla 1.

$$q_v = k * \sqrt{\Delta p_m} \quad (1)$$

missä  $q_v$  = tilavuusvirta  
 $k$  on k-kerroin  
 $\Delta p_m$  on paine-ero

Kuvassa 18 on esitetty säätimen PRA-100 k-kertoimet eri mittayksiköillä laskettaessa. Esimerkiksi aukon ollessa säädettynä asentoon 2 tilavuusvirtaa laskettaessa yksikössä litraa sekunnissa (l/s) valitaan k-kertoimeksi 2.4.

Yksiköitä Aukko a	Ilmavirta (qv) [l/s] Paine-ero (dP m ) [Pa]	Ilmavirta (qv) [m <sup>3</sup> /h] Paine-ero (dP m ) [Pa]	Ilmavirta (qv) [cfm] Paine-ero (dP m ) [in WC]
1	1.8	6.5	60.2
1.5	2.1	7.6	70.2
2	2.4	8.6	80.3
2.5	2.7	9.7	90.3

Kuva 18. PRA-100 k-kertoimet (Halton Oy).

#### 4.5 Pro dual PEL-M -paine-erolähetin

Pro dual PEL -paine-erolähetimet on suunnattu paineiden ja paine-erojen mittaamiseen ilmanvaihtojärjestelmissä. Painemittaukset on lämpötilakompensoitu ympäristön lämpötilan mukaan. Lähettimeen on erikseen saatavilla näyttö ja Modbus-kenttäväyläliityntä. Näytön avulla voidaan painemittausta seurata lähettimen kannesta ja se voidaan liittää lähettimeen myös jälkikäteen. Modbus-väylän käyttöönottoon tarvitaan erillinen Pro dual ML-SER -työkalu, jotta asetukset voidaan asettaa. Lähetin toistaa automaattisen nollauksen, jotta nollapisteen siirtymisen riski ei kasva. Tästä syystä kalibrointia ei yleensä tarvita. Aikavakion avulla voidaan pienentää nopeiden paine-erojen vaikutusta mittaukseen. Paineeron mittausalue on 0–1000 Pa, joka voidaan rajata eri mittausalueen valinnalla. Mittausalueen ja aikavakion valinnat ovat esitetty kuvassa 19.

Mittausalueen valinta:

S2	S3	S4	
■	■	0...1000 Pa *)	±500 Pa
■	■	0...500 Pa	±250 Pa
■	■	0...200 Pa	±100 Pa
■	■	0...100 Pa	±50 Pa

Aikavakion valinta:

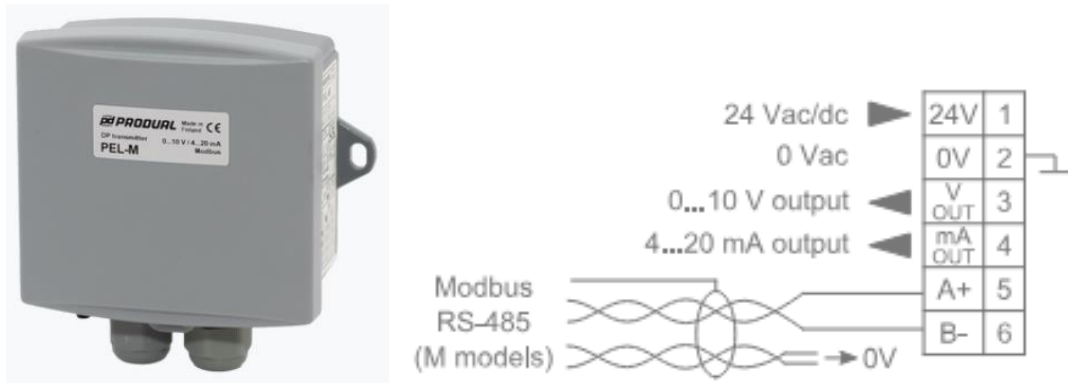
S1	Aikavakio
■	2 s
■	8 s *)

\*) Tehdasasetus.

Kuva 19. Pro dual PEL-M mittausalueen ja aikavakion valinnat.

Lähettimen koteloituiluokka on IP54 ja syöttöjännite on 24 VDC. (Pro dual Oy 2015.) Tämän tuotteen valmistus on jo lopetettu, mutta saatavilla on uusi

vastaava tuotemalli. Produal PEL-M -paine-erolähetin on esitetty kuvassa 20 vasemmalla ja oikealla on esitetty laitteen kytkennät.



Kuva 20. Produal PEL-M -paine-erolähetin (Produal b).

#### 4.6 Eclipse-logiikka

Eclipse Connected System Controller on laajennettavissa oleva modulaarinen ohjausalausta, joka tukee moniprotokollaista viestintää. Eclipse-logiikka koostuu ohjaus-, automaatio- ja yhteyspalvelimesta, virtalähteestä ja I/O-laajennusmoduuleista. Logiikka tarjoaa mahdollisuuden käyttää mukautettua ohjauslogiikkaa, verkkopohjaista visualisointia, lokeja ja hälytyksiä ja aikatauluja. Eclipse tukee Distech Controls EC-gfxProgram -ohjelmaa, jolla logiikan ohjelmointi on mahdollista suorittaa. Eclipse tukee viestintäprotokollia BACnet, MS/TP, Modbus RTU, Modbus TCP. (Distech Controls 2017.) Eclipse-logiikka on esitelty kuvassa 21.



Kuva 21. Eclipse-logiikka. (Distech Controls)

## **4.7 EC-gfxProgram -ohjelma**

Distech Controls EC-gfxProgram -ohjelma on graafinen käyttöliittymä, joka mahdollistaa visuaalisen ohjelmointilohkojen kokoamisen yhteen ja jota voi hyödyntää missä tahansa rakennusautomaatio-sovelluksessa. Lohko-ohjelmia saa vedettyä ja pudotettua projektiin ohjelman kirjastosta ja ne saa yhdistettyä periaatteella ”klikkaa, valitse ja vapauta”. Tällä periaatteella on helppo koota yleisiä ohjaussekvenssejä ja mukautettuja sovelluksia. (Distech Controls 2019.)

## **5 Laboratorioharjoitukset**

### **5.1 Perehtyminen ohjelmaan ja laitteistoon**

Ennen toteuttamisen aloittamista perehdyttiin käytettävän laitteiston toimintaan. Perehtyminen tapahtui lukemalla laitteiden käyttöohjeita ja datalehtiä. EC-gfxProgram-ohjelmaan tutustuttiin tekemällä erilaisia jo aiemmin tehtyjä laboratorioharjoituksia. Taajuusmuuttajaan tutustuttiin käyttöohjeiden ohella myös selaamalla sen valikoita, asettamalla siihen perusparametrit ja ohjaamalla ohjauspaneelista käsin taajuusmuuttajaan liitettyä moottoria, joka myöhemmin korvattiin Systemair PRF -puhaltimella. Kun laitteiston käyttö oli hallussa, siirryttiin opinnäytetyön tilaajan kanssa keskustelemaan siitä, millaisia harjoituksia haluttiin toteuttaa opiskelijoiden tehtäväksi. Keskusteluissa päädyttiin kahteen erilaiseen laboratorioharjoitukseen.

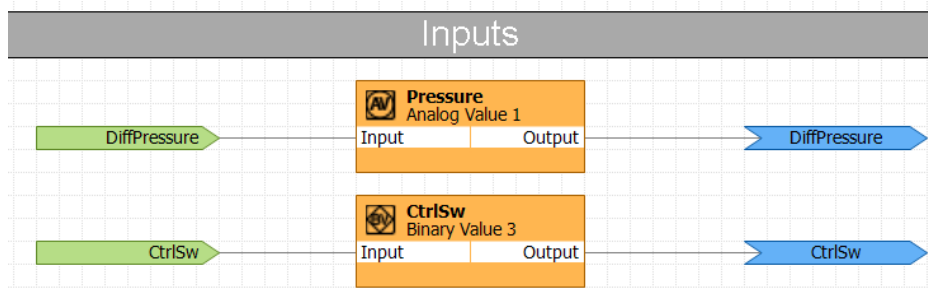
### **5.2 Taajuusmuuttajaan perehtyminen**

Ennen varsinaista laboratorioharjoitusta opiskelijat tekevät esitehtävän, jossa he tutustuvat taajuusmuuttajan käyttöön ja sen parametrintointiin. Esitehtävässä opiskelijat lukevat taajuusmuuttajan käyttöohjetta ja etsivät sieltä oleellisia tietoja laitteen käytön kannalta. Sitten harjoitellaan perusparametrien asettamista ja

puhaltimen ohjaamista taajuusmuuttajan ohjauspaneelistä käsin. Tämän jälkeen siirrytään varsinaisen harjoitustyön pariin.

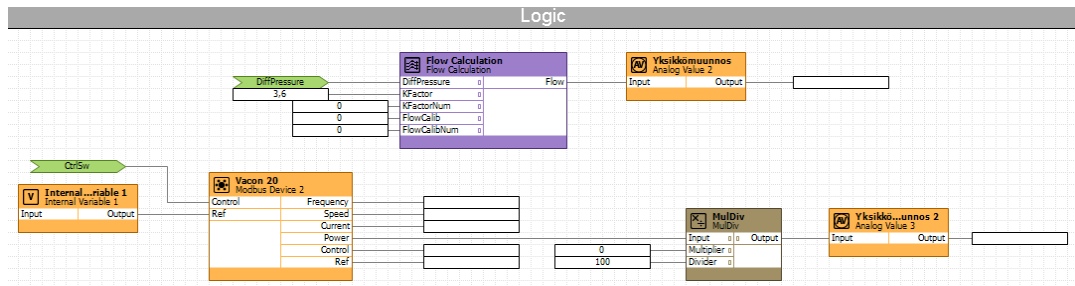
Harjoitus aloitetaan kytkemällä logiikkaan sähköt ja avataan EC-gfxProgram-ohjelma, jossa aluksi tehdään alkutoimet uuden projektin perustamiseksi. Seuraavaksi ohjelmaan lisätään ohjelmalohkot MIOx ja CustomBlock eri välilehdille. Lohkot ovat valmiina EC-gfxProgram-ohjelman tietokannassa. Lohkot nimetään uudelleen nimillä MIO1 ja Taajuusmuuttaja Modbus.

Seuraavaksi siirrytään muokkaamaan Taajuusmuuttaja Modbus-lohkoa. Ensiksi muokataan lohkon tuloja Inputs-otsikon alla siten, että lisätään sinne Analog Value ja Binary Value. Analog Value-lohkoon määritellään yksiköksi Pa ja Binary Value-lohkoon määritellään tekstit PÄÄLLÄ ja POIS vastaamaan ohjauskytkimen eri asentoja. Tämän jälkeen Inputs-otsikon tulot ovat kuvan 22 mukaiset.



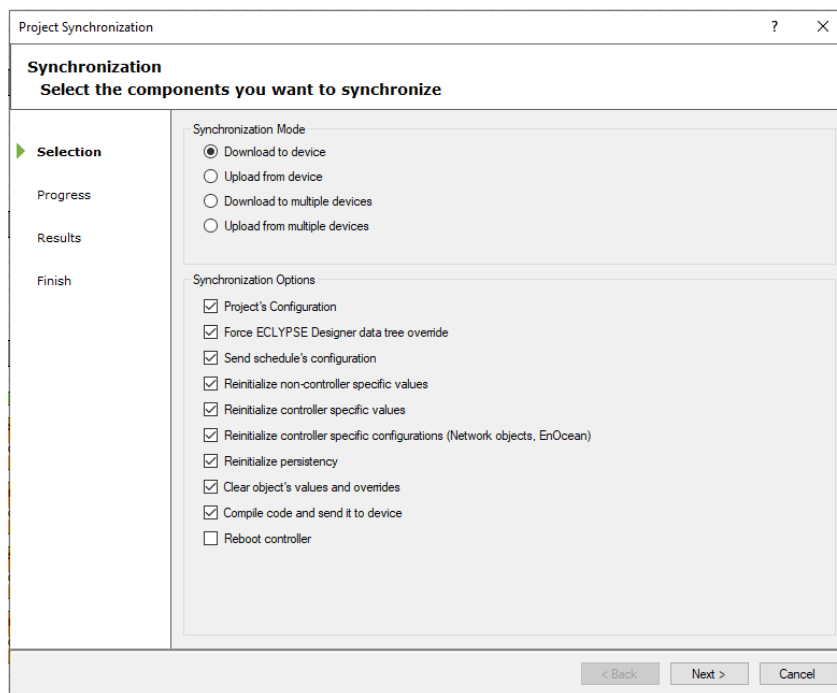
Kuva 22. Taajuusmuuttaja Modbus -lohkon tulot.

Seuraavaksi siirrytään Taajuusmuuttaja Modbus -lohkon Logic-otsikon alle ja lisätään Flow Calculation-lohko, jolla muutetaan paine-ero k-kertoimen avulla tilavuusvirraksi. Flow Calculation-lohkon lähtöön lisätään uusi Analog Value, jolla tilavuusvirran perään saadaan yksikkö l/s. Tämän jälkeen lisätään Logic-otsikon alle Modbus Device -lohko, johon luodaan Modbus Pointit. Modbus Pointtien avulla voidaan lukea ja kirjoittaa Modbus-kenttäväylään eri arvoja. Modbus Pointteihin annetaan Modbus-osoite, rekisterityyppi, datatyyppi ja tieto siitä, lue-taanko tieto osoitteesta vai kirjoitetaanko tieto osoitteeseen. Logic-otsikon alle lisätään vielä MulDiv-lohko, jonka avulla prosentuaalinen teho muutetaan laskennalliseksi tehoksi ja Analog Value, jolla lisätään yksikkö laskennalliseen tehoon. Tämän jälkeen ohjelmarivit ovat kuvan 23 mukaiset.



Kuva 23. Taajuusmuuttaja Modbus-lohkon ohjelmarivit.

Valmis ohjelma ladetaan logiikkaan valitsemalla Synchronize ja valitaan asetukset kuvan 24 mukaisesti.



Kuva 24. Project Synchronization.

Synkronoinnin jälkeen logiikkaan kytketään paine-erolähetin, taajuusmuuttajan ohjauskytkin S3 ja taajuusmuuttaja. Seuraavaksi kytketään taajuusmuuttajaan sähkö ja asetetaan siihen parametrit, kuten puhaltimen nimellisvirta, tehokerroin ja nimellisjännite. Näiden lisäksi määritetään Modbus-liikennöintiasetukset, jossa asetetaan laiteosoite, baudinopeus ja pariteettityyppi.

Lopuksi testataan ohjelman toiminta painamalla EC-gfxProgram -ohjelman ylä-laidasta Start, jolloin tietokoneen näytöltä pystyy seuraamaan ohjelman toimintaa. Internal Value-lohkoon syötetään taajuusmuuttajan taajuusohje ja käännetään ohjauskytkintä, jolloin puhallin alkaa pyöriä. Puhaltimen pyöriessä Flow



Calculation -lohkosta näkee tilavuusvirran, joka muuttuu taajuusohjetta muutettaessa. Harjoituksen tarkoituksena on havainnollistaa ilmanvaihdon kuristussäädön ja taajuussäädön energiankulutusta, joten tilavuusvirta säädetään ensin ilmamääräsäätimestä käsin ja sitten muuttamalla puhaltimen nopeusohjetta. Tämän jälkeen verrataan, kuinka paljon vähemmän puhaltimen energiankulutus on taajuussäädöllä verrattuna kuristussäätöön. Jotta vertailu on havainnollistavampi, lasketaan energian hinta vuodessa. Lasku suoritetaan kaavalla 2.

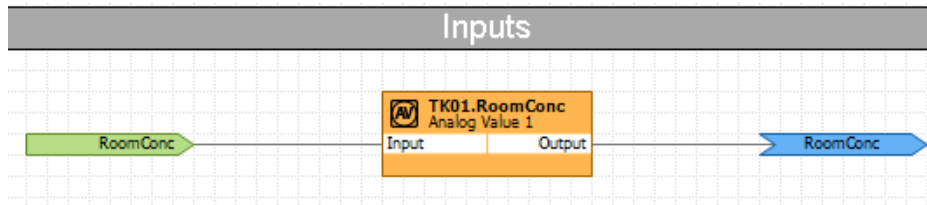
$$\epsilon_a = P * t_a * E_{\epsilon} \quad (2)$$

missä  $\epsilon_a$  = energian hinta vuodessa (€)  
 $P$  = puhaltimen kuluttama energia (kw)  
 $t_a$  = tunnit vuodessa (h)  
 $E_{\epsilon}$  = energian hinta kilowattitunnilta (€/kwh)

Laskennan jälkeen vertaillaan hintoja keskenään ja vähennetään hinnat toisistaan, jolloin saadaan säästetty rahasumma vuodessa. Säästetystä summasta voidaan päätellä, että onko taajuusmuuttajan käyttäminen ilmanvaihdossa järkevää.

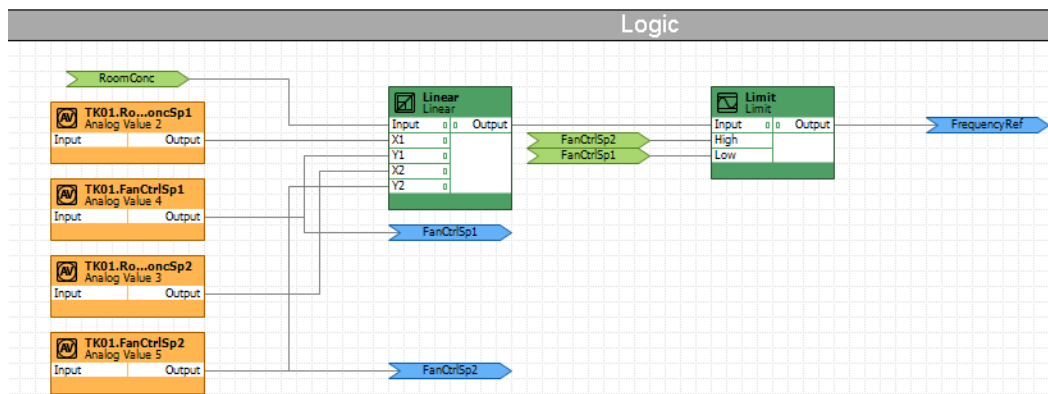
### 5.3 Puhaltimen ohjaus hiilidioksidipitoisuuden mukaan

Tässä harjoituksessa toistetaan aluksi samat alkutoimet, kuin aiemmassa harjoitustyössä. Myös ohjelmalohkot lisätään samalla tavalla kuin aiemmin, mutta tässä harjoituksessa CustomBlockeja lisätään kaksi kappaletta, jotka nimetään uudelleen nimillä RoomConc ja Taajuusmuuttaja Modbus. Miox-lohko nimetään aiemman harjoituksen tavoin nimellä MIO1. RoomConc-lohkoa muokataan niin, että Inputs-otsikon alle lisätään Analog Value-lohko, jolla hiilidioksidipitoisuus muutetaan oikeaan yksikköön. Tämän jälkeen Inputs-otsikon tulot ovat kuvan 25 mukaiset.



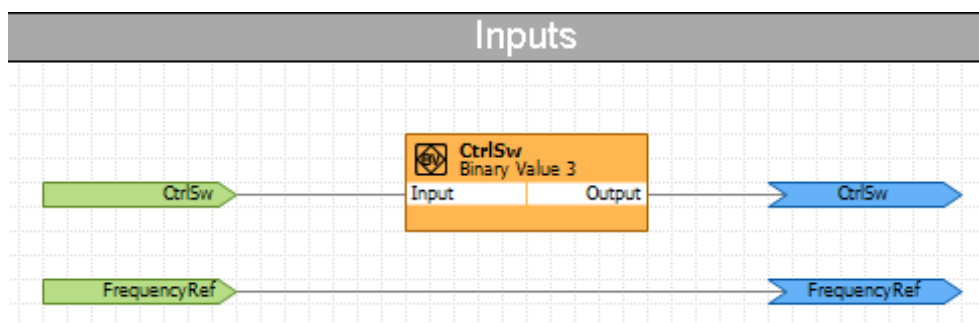
Kuva 25. RoomConc-lohkon tulot.

Seuraavaksi siirrytään Logic-otsikon alle ja lisätään sinne Linear-lohko, jolla luodaan hiilidioksidipitoisuuden ja taajuusohjeen välille lineaarinen suhde. Lohkon tuloihin liitetään huoneilma-anturista saatava hiilidioksidipitoisuus, hiilidioksidipitoisuuden ja taajuusohjeen raja-arvot. Logic-otsikon alle lisätään myös Limit-lohko, jolla rajoitetaan taajuusohje halutulle alueelle. Tämän jälkeen Logic-otsikon tulot ovat kuvan 26 mukaiset.



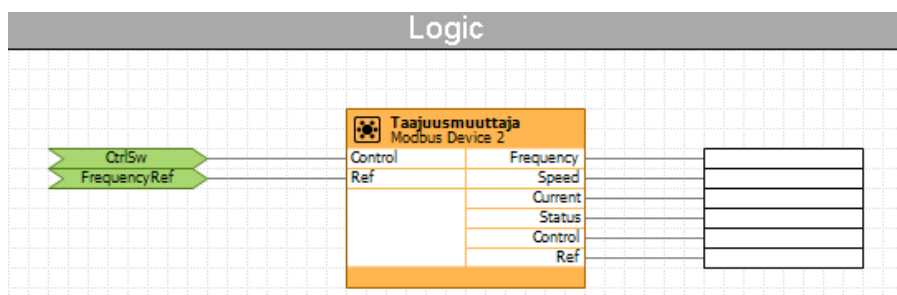
Kuva 26. RoomConc-lohkon ohjelmarivi.

Seuraavaksi muokataan Taajuusmuuttaja Modbus-lohkoa niin, että lisätään sen Inputs-otsikon alle Binary Value-lohko, jolle määritellään tekstit PÄÄLLÄ ja POIS, jotka vastaavat ohjauskytkimen asentoja. Inputs-otsikko näyttää nyt kuvan 27 mukaiselta.



Kuva 27. Taajuusmuuttaja Modbus-lohkon tulot.

Tämän jälkeen siirrytään Taajuusmuuttaja Modbus-lohkon Logic-otsikon alle ja lisätään sinne Modbus Device ja muokataan sitä samalla tavalla kuin aiemmassa harjoituksessa. Tämän jälkeen Modbus Device on kuvan 28 mukainen.



Kuva 28. Taajuusmuuttaja Modbus-lohkon ohjelmarivi.

Valmis ohjelma ladataan logiikkaan samalla tavalla kuin aiemmassa harjoituksessa. Myös kytkennät ja taajuusmuuttajan parametointi tehdään samalla tavalla. Valmista ohjelmaa testataan niin, että käännetään taajuusmuuttajan ohjauskytkintä ja puhallin alkaa pyöriä. Huoneilma-anturia päin puhalletaan suusta ilmaa, jolloin anturin havaitsema hiilidioksidipitoisuus nousee ja puhaltimen pyörimisnopeus kasvaa. Vastaavasti hiilidioksidipitoisuuden laskiessa puhaltimen pyörimisnopeus hidastuu. Puhallin pyörii aina vähintään 20 Hz taajuudella, sillä tämä arvo asetetaan ohjelmassa miniminopeudeksi, jotta puhallin ei koskaan pysähdy kokonaan. Puhaltimelle määritellään myös maksiminopeusohje 35 Hz, jotta puhallin ei pyöri liian lujaa, sillä tämä aiheuttaa melun lisääntymistä puhaltimessa.

## 6 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli suunnitella ja toteuttaa taajuusmuuttajalle laboratorioharjoituksia talotekniikan insinööriopiskelijoille. Taajuusmuuttaja haluttiin liittää ohjelmoitavaan logiikkaan Modbus-kenttäväylän kautta siksi, että sillä tavoin opiskelijat voivat harjoitella samalla myös ohjelmoitavan logiikan ja kenttäväylän toimintaa, jolloin laboratorioharjoituksista saadaan mahdollisimman suuri hyöty.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin aikaiseksi kaksi laboratorioharjoitusta työohjeineen. Ensimmäisessä harjoituksessa tutustuttiin taajuusmuuttajaan ja logiikkaan luodun ohjelman avulla voitiin myös havainnoida taajuusmuuttajan tuomaa energiansäästöä kuristussäätöön verrattuna. Toisessa harjoituksessa toteutettiin logiikan avulla ohjaus taajuusmuuttajalle hiilidioksidipitoisuuden mukaan, jota käytetään paljon ilmanvaihdon ohjauksessa.

Opinnäytetyön haasteena oli saada selville, kuinka Modbus-kenttäväyläohjaus toteutetaan Vacon 20-taajuusmuuttajalle ja millä tavoin ohjaus saadaan toimimaan halutulla tavalla. Ongelmiin autoivat taajuusmuuttajan käyttöohjeet, joissa oli ohjeet kenttäväyläohjaukseen sekä aiemmin luodut laboratorioharjoitukset, joiden avulla opittiin käyttämään EC-gfxProgram -ohjelmaa ja Modbus-ohjausta. Toinen haaste oli luoda laboratorioharjoitukset ilman puhallinta, koska puhaltimen toimitusaika oli todella pitkä toimitusvaikeuksien takia. Puhallin saatiin vasta toteutuksen loppuvaiheessa, jolloin tehtiin lopulliset testit ohjelmalle ja laboratorioharjoituksille.

Jatkokehitysmahdollisuuksia työlle ovat esimerkiksi grafiikoiden lisääminen harjoitukseen, joka helpottaa muuttujien seuraamista. Muita vaihtoehtoisia jatkokehityskohteita ovat erilaisten mittausten ja ohjausten lisääminen järjestelmään, sekä tulevaisuudessa järjestelmän päivittäminen uudempiin laitteisiin, jotta laitteisto voidaan pitää ajantasaisena. Yksi vaihtoehto voisi myös olla pumpun liittäminen taajuusmuuttajaan ja erilaisten pumppuohjauksien kehittäminen logiikalla ja Modbus-kenttäväylällä.

## Lähteet

- ABB Industry OY. 2001. Tekninen opas nro 7. Sähkökäytön mitoitus. [https://library.e.abb.com/public/b11dafe92973be93c1256d2800415027/Tekninen\\_opasnro7.pdf](https://library.e.abb.com/public/b11dafe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf) 13.12.2023.
- Ahoranta, J. 2015. Sähkötekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- BACnet International. 2024. BACnetin lyhyt historia. <https://bacnet.org/history/> 1.1.2024.
- Continental Fan Manufacturing Inc. 2024 EC- motors. <https://continentalfan.com/what-is-an-electronically-commutated-ec-motor/> 25.1.2024.
- Danfoss OY AB. 2023. Vacon taajuusmuuttajat. <https://www.danfoss.com/fi-fi/products/dds/low-voltage-drives/vacon-drives/vacon-20/#tab-overview> 14.12.2023.
- Danfoss OY AB. 2024. Mikä on taajuusmuuttaja?. <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/#tab-overview> 19.1.2024.
- Distech Controls. 2017. Eclipse Connected System Controller. [https://cdn.shopify.com/s/files/1/0229/3052/2190/files/DS\\_ECY-CSC\\_20.pdf?v=1597985730](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0229/3052/2190/files/DS_ECY-CSC_20.pdf?v=1597985730) 2.1.2024.
- Distech Controls. 2019. EC-gfxProgram Spec Sheet. [https://docs.distech-controls.com/bundle/EC-gfxProgram\\_SP/resource/EC-gfxProgram\\_SP.pdf](https://docs.distech-controls.com/bundle/EC-gfxProgram_SP/resource/EC-gfxProgram_SP.pdf) 2.1.2024.
- Distrelec Schweiz AG. 2024. ÖLFLEX-kaapeli. <https://www.elfadistrelec.fi/fi/moniytiminen-kaapeli-cy-kuparisuoja-pvc-4x-5mm-100m-laepikuultava-lapp-oelflex-classic-110-cy-4g1/p/30073275> 21.2.2024.
- Finparttia Sähkötukku. 2024. JAMAK-kaapeli. [https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi\\_FI/?ObjectPath=/Shops/2014102905/Products/KJAAM2X%282%2B1%29X0%2C5PK](https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014102905/Products/KJAAM2X%282%2B1%29X0%2C5PK) 21.2.2024.
- Halton Oy. 2024. Halton PRA-100-ilmamääräsäädin. <https://www.halton.com/fi/tuotteet/halton-pra-ilmavirran-hallintapelti/#> 19.2.2024.
- Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Tammertekniikka.
- Korpinen, L. 2007. Sähkövoimatekniikkaopus. Sähkökoneet osa 1. [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/10sahkokooneet\\_1osa.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokooneet_1osa.pdf) 6.3.2024.
- Modbus Organization Inc. 2024. Modbus FAQ. <https://modbus.org/faq.php> 20.4.2024
- Produal Oy. 2015. PEL-M-paine-erolähetimen tekninen esite. <https://produal-pim.rockon.io/rockon/api/v1/int/extmedia/open-File/01TGWJBKCVSSZ6FVIUVHLE4GKDLEXODEF> 23.2.2024.
- Produal Oy. 2020. ILH-M-huoneilmanlaatulähetimen tekninen esite. <https://produal-pim.rockon.io/rockon/api/v1/int/extmedia/open-File/01TGWJBKGMKUY6YZYPS5AJX7P3NRINYM76> 23.2.2024.
- Produal Oy. 2024a. ILH-M-huoneilmanlaatulähetin. <https://www.produal.com/fi/ilh.html> 19.2.2024.
- Produal Oy. 2024b. PEL-M-paine-erolähetin. <https://www.produal.com/fi/pel.html> 19.2.2024.

- Prysmian Group Finland Oy. 2021. MCCMK-kaapelin datalehti. [https://datasheet.prysmiangroup.com/pdf/datasheet/fi-FI/328833/FI00\\_MCCMKHFDC4X70351KV](https://datasheet.prysmiangroup.com/pdf/datasheet/fi-FI/328833/FI00_MCCMKHFDC4X70351KV) 21.2.2024.
- Reka Kaapeli Oy. 2024. MCCMK-kaapeli. <https://www.reka.fi/tuoteryhma/mcmk/> 21.2.2024.
- ST 21.33. 2012. EC- ja PM-moottorit taloteknisissä järjestelmissä. Espoo: Sähköinfo OY.
- ST 701.60. 2008. Kenttäväyläteknikka. Espoo: Sähköinfo OY.
- ST 709.00. 2017. Kiinteistön hallintajärjestelmien peruskäsitteet ja terminologia. Espoo: Sähköinfo OY.
- ST 715.00. 2018. Taajuusmuuttajakäytöt. Yleistä. Espoo: Sähköinfo OY.
- ST 715.30. 2018. Taajuusmuuttajakäytöt rakennusautomaatiossa. Asennus ja käyttöönotto. Espoo: Sähköinfo OY.
- Systemair OY. 2024. PRF keskipakopuhaltimet. <https://www.systemair.com/fi-fi/tuotteet/puhaltimet/keskipakopuhaltimet/prf/prf?sku=266289> 10.1.2024.
- SähköNet. 2024. Taajuusmuuttajat. <https://blogit.gradia.fi/sahkonet/sahko-ja-automatiaoasennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat/> 22.1.2024.
- Vacondrivers.com. 2024. Vacon 20. <https://www.vacondrives.com/0-37kw-vacon-20-vacon0020-1I-0002-2-ip20/> 13.4.2024.
- Vacon Plc. 2013. Vacon 20 complete manual. <https://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-20-Complete-Manual-DPD00716F1-UK.pdf> 23.3.2024.

