



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tuomo Vuorinen

---

## PLC-pohjainen tiedonkeruujärjestelmä vetotraktoriin

Opinnäytetyö  
Kevät 2021  
SeAMK Tekniikka  
Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Tuomo Vuorinen

Työn nimi: PLC-pohjainen tiedonkeruujärjestelmä vetotraktoriin

Ohjaaja: Marko Hietämäki

Vuosi: 2021

Sivumäärä: 64

Liitteiden lukumäärä: 1

---

Tämä opinnäytetyö on tehty härmäläiselle Honey Bear Tractor pulling -tiimille. Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa PLC-pohjainen tiedonkeruujärjestelmä tiimille asennettavaksi heidän vetotraktoriinsa. Työ toteutettiin Beckhoffin sulautetulla logiikalla sekä Twincat 3 -ohjelmointiympäristöllä. Järjestelmä kerää kisavedon aikana traktorin eri mittapisteistä lämpötila-, paine- ja kierroslukutietoja ja tallentaa ne muistikortille myöhemmin analysoitavaksi. Kerätyn tiedon avulla tiimi kykenee kehittämään traktoriaan entistä kilpailukykyisemmäksi sekä ennaltaehkäisemään mahdollisia vikatilanteita. Työn tuloksena saatiin toimivaksi testattu järjestelmä työn tilaajan toivomilla ominaisuuksilla valmiiksi asennettavaksi traktoriin.

<sup>1</sup> Asiasanat: Traktor pulling, PLC, Beckhoff, tiedonkeruu, anturi

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree Programme: Automation Engineering

Specialisation: Electric Automation

Author/s: Tuomo Vuorinen

Title of thesis: Data Gathering System for a Pulling Tractor.

Supervisor: Marko Hietamäki

Year: 2021

Number of pages: 64

Number of appendices: 1

---

The thesis was made for the Honey Bear Tractor pulling Team which is located in Western Finland. The aim of this thesis was to plan and to implement a PLC based data gathering system ready to be installed in the pulling tractor. While the pulling system gathers temperature, pressure and rotation velocity data from the tractor and saves it on the SD memory card after each pull. Afterwards the client is able to analyze this data to improve pulling performance and to prevent possible fault situations.

<sup>1</sup> Keywords: Tractor pulling, data gathering system, PLC

# SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	7
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	9
1 JOHDANTO .....	10
1.1 Työn tausta .....	10
1.2 Työn tavoite .....	10
1.3 Työn rakenne .....	10
1.4 Honey Bear Pulling Team .....	11
2 SI-JÄRJESTELMÄN SUUREITA .....	12
2.1 Termodynaaminen lämpötila .....	12
2.2 Paine.....	12
2.3 Paineen käsitteitä.....	13
2.4 Induktanssi.....	14
3 ANTURIT JA MITTAAMINEN .....	15
3.1 Anturin osat.....	15
3.2 Signaalityypit ja niiden käsittely .....	15
3.3 Mittaaminen .....	16
3.4 Lämpötilan mittaaminen .....	17
3.4.1 Termoparit (thermocouple).....	17
3.5 Vastuslämpötila-anturi (resistance thermometer, RTD) .....	21
3.6 Termistori (thermistor) .....	22
3.6.1 Infrapuna-anturi (infrared sensor, IR).....	23
3.7 Kuituoptinen lämpötila-anturi (fiber optic temperature sensor).....	24
3.8 Paineen mittaaminen .....	25
3.8.1 Venymäliuska-anturi (resistance strain gauge) .....	26
3.8.2 Pietsoresistiivinen anturi (piezoelectric strain sensor).....	26

3.8.3	Kapasitiivinen anturi (capacitance strain gauge).....	27
3.9	Kappaleen tunnistus.....	27
3.9.1	Induktiivinen anturi (inductive sensor).....	28
3.9.2	Induktiivisen anturin toimintaperiaate.....	28
3.9.3	Kapasitiivinen anturi (capacitive sensor).....	29
3.9.4	Reed-kytkin (Reed relay).....	30
3.9.5	Hall-tekniikkaan perustuva magneettianturi (hall-effect sensor).....	30
3.10	Optiset anturit (optical sensors).....	31
3.11	Inkrementtianturi (incremental encoder).....	32
3.12	Kolmijohtimisten tunnistusantureiden kytkentätyypit.....	33
3.13	LSU4, laajakaistainen Lambda-happianturi (LSU4 wideband lambda sensor).....	34
4	OHJELMOITAVAT LOGIIKAT.....	35
4.1	Beckhoff Automation Technology.....	35
4.2	TwinCat 3 ja ohjelmointikielet.....	35
4.3	Logiikka.....	36
4.3.1	Logiikan rakenne.....	36
4.3.2	Teholähde.....	37
4.3.3	Keskusyksikkö.....	38
4.3.4	Muistit.....	38
4.3.5	Digitaaliset tulo- ja lähtöyksiköt (diskreetit).....	38
4.3.6	Lähtöyksiköt.....	39
4.3.7	Analoginen tulo- ja lähtökortti.....	39
5	JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU.....	41
5.1	Kerättävät tiedot.....	41
5.2	Järjestelmän hyödyt.....	41
6	Järjestelmän toteutus.....	43
6.1	Ohjelmointi.....	44
6.2	Lämpötilan mittaaminen.....	46
6.3	Kierrosten lukeminen.....	49
6.4	Paineiden mittaaminen.....	52

6.5 Virtalähde.....	54
6.6 Anturitietojen tallentaminen ja lukeminen .....	55
7 POHDINTA JA YHTEENVETO.....	60
LÄHTEET .....	61
LIITTEET .....	65

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Honey Bear Team, Ursus 1201. ....	11
Kuva 2. Sulautettu PC CX1020 I/O-liitäntäyksiköillä. (Embedded PC CX1020, [viitattu 7.3.2021]).....	37
Kuva 3. Moduulit asennettuna laitekoteloon ja tarvittavat anturit kytkettynä testausta varten.....	44
Kuva 4. Termoparianturi kytkettynä jatkokaapeliin.....	49
Kuva 5. Painetestaukseen rakennettu alusta.....	52
Kuva 6. Järjestelmään asennettava 24 V:n jännitemuunnin. ....	55
Kuvio 1. K-tyyppisen termoparianturin rakenne. ....	18
Kuvio 2. Termoparin tuottama lähdejännite (EMF) suhteessa lämpötilan muutokseen. ....	19
Kuvio 3. Bourdonkaari (Pihkala 2008, 23).....	25
Kuvio 4. Wheatstonen siltakytkentä. ....	26
Kuvio 5. Induktiivisen anturin rakenne (Infokortti, [viitattu 4.3.2021]). ....	28
Kuvio 6. Reed-releen rakenne (Electronics-notes, [viitattu 30.12.2020]). ....	30
Kuvio 7. Hall-anturin toimintaperiaate (Hprobe, [viitattu 1.4.2021]). ....	31
Kuvio 8. NPN- ja PNP-tyyppisten antureiden kytkentätavat logiikkaan.....	34
Kuvio 9. Esimerkkejä ohjelmointikielistä. ....	36
Kuvio 10. Globaalien anturitietojen tallentaminen kaksitulotteiseen taulukkoon. ....	45
Kuvio 11. Ylikuumentumisen ohjelmallinen seuranta. ....	46
Kuvio 12. Lämpötilan lukeminen online-tilassa ....	47

Kuvio 13. Sisäänottoilman anturitiedon linkitys globaaliin muuttujaan. ....	48
Kuvio 14. Kierrosnopeuden laskeminen ohjelmassa. ....	50
Kuvio 15. Analogisen arvon lukeminen Settings-välilehdeltä. ....	53
Kuvio 16. Sähköisen paineanturin lineaarisuus. ....	54
Kuvio 17. FTP-yhteydellä avattu näkymä CSV-tiedostoista. ....	56
Kuvio 18. OpenDocument-pohjaan tuodut mittatiedot. ....	57
Kuvio 19. Mittatiedoista piirretty kuvio 1. ....	58
Kuvio 20. Mittatiedoista piirretty kuvio 2. ....	59
Taulukko 1. K-termoparin referenssitaulukko (Thermocoupleinfo.com, [viitattu 13.2.2021])..	20
Taulukko 2. Tiedonkeruujärjestelmän moduulijärjestys. ....	43
Taulukko3. Induktiivisten antureiden keskeisimmät tiedot (IFM, [viitattu 25.4.2021]).....	51
Taulukko 4. Mekaanisen ja sähköisen paineanturin tulokset eri paineilla. ....	53
Taulukko 5. Mittatietojen jakaminen kuvioihin 1 ja 2. ....	57



## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>EMF</b>	Electromotive Force. Sähkömotorinen voima, joka kuvaa jännitelähteen potentiaaliero.
<b>Kollektori</b>	Tässä yhteydessä tarkoitetaan pakoputkiston osaa, jossa kaikkien sylinterien pakoputket yhdistyvät yhdeksi putkeksi.
<b>NAMUR</b>	2-johdin lähestymiskytkin. Anturin tunnistaessa kohteen laskee anturin läpi kulkeva virta alle 1,2 mA:n. Kohteen siirtyessä pois tunnustusalueelta nousee virta yli 2,1 mA:n.
<b>SM-AFR</b>	Lambda- eli happianturia lukeva laajakaistaohjain.
<b>Stoikiometria</b>	Polttoaineille on olemassa stoikiometrinen suhde. Suhteella havainnoidaan sellaista tilannetta, missä palamisen jälkeen ei jää palamatonta polttoainetta tai jäännöshapetta tällöin $\lambda = 1$ .

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Tämän opinnäytetyön tilaajana on härmäläinen Honey Bear Pulling Team. Heidän toiveenaan on kehittää tiimin omistamaa vetotraktoria entistä kilpailukykyisemmäksi sekä luotettavammaksi. Tästä syystä he toivoivat traktoriinsa lisättävän PLC-pohjaisen tiedonkeruujärjestelmän. Kisavedon aikana järjestelmä kerää traktorista tietoa ennalta määrätystä mittauspisteistä ja tallentaa ne vetotapahtuman jälkeen muistikortille. Traktorin kehitystyössä kortille kerättyä mittatietoa voidaan myöhemmin käyttää yhtenä työkaluna parantamaan traktorin suorituskykyä ja ennaltaehkäisemään mahdollisia vikatilanteita.

## 1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa PLC-pohjainen tiedonkeruujärjestelmä työn toimeksiantajalle asennettavaksi vetotraktoriin. Työ tullaan toteuttamaan Beckhoff-ohjelmointiympäristössä. Järjestelmän tulee olla luotettava ja riittävän kattava keräämään kaikki toimeksiantajan toivomat tiedot traktorista jokaisen kisavedon aikana. Järjestelmällä saadaan samalla korvattua osa jo käytössä olevista antureista. Käyttöliittymän tulee olla mahdollisimman yksinkertainen ja ulkoista rasitusta kestävä. Jokaisesta vedosta kerätty mittatieto tallennetaan muistikortille omana tiedostonaan. Tallennetun mittatiedon tulee olla helposti luettavassa muodossa, toimeksiantajan on näin helppo hakea tieto muistikortilta ja saada numeerisen datan lisäksi graafinen esitys anturitiedoista.

## 1.3 Työn rakenne

Työn ensimmäisessä luvussa on kerrottu työn taustasta ja tavoitteista. Luvussa kaksi käydään läpi työhön liittyviä SI-järjestelmän suureita, joita käytetään mittaustiedon keräämisessä. Luvussa kolme kerrotaan antureiden rakenteesta ja ominaisuuksista sekä mittaamiseen liittyvistä keskeisimmistä käsitteistä. Luvussa neljä kerrotaan Beckhoffin ohjelmoitavista logiikoista, niiden rakenteesta sekä Twincat 3 -ohjelmointiympäristöstä ja ohjelmointikielistä. Luvussa viisi käydään läpi työn suunnittelua ja luvussa kuusi kerrotaan työn toteutuksesta. Luvussa seitsemän on työn pohdinta ja yhteenveto.

## 1.4 Honey Bear Pulling Team

Härmäläisessä Tractor pulling -tiimissä pääasiallisena toimijana ovat isä Jari Kumpula ja poika Tommi Kumpula sekä Ari Puisto. Jari Kumpulalla on pitkä kokemus kisatraktorin rakentamisesta kahdesta aikaisemmasta tallista. Mekaanisen rakentamisen lisäksi kisatraktori on vaatinut myös paljon suunnittelua ja osien hankintaa, joista Ari Puisto on vastannut. Tiimin toiminta pyritään pitämään mahdollisimman harrastepohjaisena, koska on haluttu pitää kiinni omasta tyylistä ja tehdä itse omat ratkaisut. (Kumpula 2021.)

Kisatraktorina tiimillä on Ursus 1201. Hevosvoimia traktorissa on noin 1000–1300. Tehdasvalmisteisesta traktorista alkuperäistä on jäljellä ainoastaan vaihdelaatikon kuoret sekä moottorilohko. Traktoria on alettu rakentamaan keväällä 2017, joka kesti kaksi vuotta. Tiimi ajaa Super Sport 3600 kg -luokassa. Super Sport -luokassa rajoituksena on, että 6063 cm<sup>3</sup> moottoreilla kierrosluku on rajoitettu 3200 RPM ja suuremmalla 7000 cm<sup>3</sup> moottorilla kierrosluku saa kasvaa enintään 2700 RPM. Kisavedon aikana traktorin kierroslukua seurataan traktoriin asennetulla induktioanturilla, joka mittaa kampiakselista moottorin pyörimisnopeutta ja välittää tätä tietoa perässä vedettävän lavetin lukijaan. Moottorin kierrosluvun lisäksi toinen luokan rajoitus on ahtimien lukumäärä, joka on rajoitettu yhteen. Näitä rajoituksia lukuun ottamatta traktorin kehittämistä ja virittämistä ei ole mitenkään rajoitettu. (Kumpula 2021.)



Kuva 1. Honey Bear Team, Ursus 1201.

## 2 SI-JÄRJESTELMÄN SUUREITA

### 2.1 Termodynaaminen lämpötila

Lämpö on atomien tai molekyylien jatkuvaa värähtelyä. Tätä värähtelyä kutsutaan lämpöliikkeeksi. Mitä voimakkaampaa se on, sitä korkeampi on mitattava lämpötila. (Jokinen, [viitattu 13.2.2021].)

SI-järjestelmässä lämpötilan asteikkona käytetään yksikköä K, kelvin. Se lähtee matalimmasta mahdollisesta lämpötilasta eli absoluuttisesta nolapistestä. Tunnuksena termodynaamiselle lämpötilalle käytetään tunnusta  $T$ . Usein lämpötila mitataan myös SI-järjestelmän johdannaisyksikkönä celsiusasteina ( $^{\circ}\text{C}$ ). (Hautala & Peltonen 2011, 157.) Muutoskaava näiden välillä on:

$$T = t + 273,15 \quad (1)$$

missä

$T$  = lämpötila kelvineissä

$t$  = lämpötila celsiusasteina. (Hautala & Peltonen. 2011, 157.)

### 2.2 Paine

Paine on suure, joka kuvaa, miten suuri voima kohdistuu määrätylle pinta-alalle. Kaasuissa tämä tarkoittaa, että mitä suurempi on kaasumolekyylien määrä suljetussa tilassa, ja mitä korkeampi on tilan lämpötila, sitä useammin molekyylit törmäilevät tilan seinämiin aiheuttaen suurempaa voiman vaikutusta pinta-alayksikköä kohden. (Pihkala 2008, 17.) Tätä kohtisuoraan vaikuttavaa voimaa merkitään tunnuksella  $[F]$ . Paineen yksikkönä käytetään pascalia  $[p]$ .  $1 \text{ pascal} = 1 \text{ N/m}^2$ . (Hautala & Peltonen 2011, 104.)

Paine saadaan laskettua kaavalla:

$$p = F/A \quad (2)$$

missä

$p$  = paine, pascal (Pa)

$F$  = voima, Newton (N)

$A$  = pinta-ala johon voima kohdistuu. (Hautala & Peltonen 2011, 104.)

Toisin kuin yli- tai alipaine, absoluuttista painetta mitattaessa huomioidaan myös ympäröivän ilmanpaineen vaikutus (Hautala & Peltonen 2011, 105). Nesteissä tätä ympäröivän voiman vaikutusta kutsutaan hydrostaattiseksi paineeksi. Paine kasvaa sitä suuremmaksi, mitä syvemmillä tarkastelupiste asetetaan. Kasvu johtuu yläpuolisen nestemassan aiheuttamasta puristusvoimasta. (Pihkala 2008, 17.)

Hydrostaattinen paine saadaan laskettua kaavalla:

$$p = \rho gh \quad (3)$$

missä

$\rho$  = nesteen tiheys,  $kg/m^3$

$g$  = maan vetovoiman kiihtyvyys  $9,80665 \text{ m/s}^2$

$h$  = nesteen korkeus. (Pihkala 2008, 17–20.)

### 2.3 Paineen käsitteitä

**Absoluuttinen paine.** Absoluuttinen paine käyttää vertailupaineenaan absoluuttista nollapainetta eli tyhjiötä (Pihkala 2008, 19).

**Ilmanpaine.** Ilmanpaine on ilmakehän aiheuttama paine, jonka voimakkuus vaihtelee säätilan mukaan yhden baarin molemmiin puolin. Ilmakehän absoluuttinen paine on noin 1,013 bar. (Pihkala 2008, 19.)

**Ylipaine, alipaine, paine-ero.** Mitattavan paineen ollessa vertailupainetta suurempi, puhutaan ylipaineesta. Vastaavasti alipaine syntyy mitattavan paineen ollessa vertailupainetta pienempi. Paine-ero saadaan kahden mitatun paineen erotuksesta. (Pihkala 2008, 19.)

**Staattinen paine.** Nesteen tai kaasun ollessa levossa tai kulkiessa seinämän suuntaan, seinämästä mitattua painetta kutsutaan staattiseksi paineeksi (Pihkala 2008, 20).

**Dynaaminen paine.** Dynaaminen paine on virtauksen aiheuttama seinämän suuntainen painekomponentti (Pihkala 2008, 20).

**Hydrostaattinen paine.** Hydrostaattinen paine on nesteen oman massan aiheuttama staattinen paine (Pihkala 2008, 20).

## 2.4 Induktanssi

Induktanssi itsessään tarkoittaa johtimen kykyä vastustaa sen läpi kulkevan virran muutosta. Tässä johtimessa kulkeva sähkövirta synnyttää ympärilleen magneettikentän. Virran muuttuessa myös tämän magneettikentän voimakkuus muuttuu. Tästä seurauksena johtimeen indusoituu lähdejännite, joka toimii vastakkaisena voimana johtimessa kulkevan virran muutokselle. Tätä ilmiötä kutsutaan itseinduktioksi. Induktanssin yksikkö on H, **Henry**. (Electronics tutorials, [viitattu 13.2.2021].)

Induktanssi saadaan laskettua kaavalla:

$$[L] = \frac{U_L}{\left[\left(\frac{di}{dt}\right)\right]} = \frac{1 V}{1 A/s} = 1 \text{ Henry} \quad (4)$$

missä

$L$  = induktanssi

$U_L$  = kaapeliin indusoitunut jännite

$di$  = virran muutos

$dt$  = ajan muutos

$V$  = voltti

$A$  = ampeeri

$s$  = sekunti. (Electronics tutorials, [Viitattu 13.2.2021].)

## 3 ANTURIT JA MITTAAMINEN

### 3.1 Anturin osat

Antureiden tarkoitus on mitata tai tunnistaa erilaisia kemiallisia tai fysikaalisia ilmiöitä ja muuttaa näistä kerätty tieto käyttökelpoisempaan muotoon, yleensä sähköiseksi signaaliksi. Yleisimmät antureiden käyttökohteet ovat kiinteistöautomaatiossa ja prosessiteollisuudessa. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 206.) Seuraavassa on esiteltyä anturin keskeisimmät osat.

**Tuntoelin** (sensor), anturin osa, joka tekee itse tunnistamisen tai mittauksen (Keinänen & Sumujärvi 2019, 206).

**Mittamuunnin** (transducer), muuttaa mitatun suureen arvon mittaviestiksi (Keinänen & Sumujärvi 2019, 206).

**Mittalähetin** (transmitter), kääntää mitatun arvon standardin mukaiseksi viestiksi, esimerkiksi 0–10 V (Keinänen & Sumujärvi 2019, 206).

### 3.2 Signaalityypit ja niiden käsittely

Sähköisessä viestissä anturit voivat lähettää kahden tyyppistä signaalia: binaarista eli digitaalista signaalia tai analogista signaalia. Binaarisessa signaalissa on kaksi arvoa 1 tai 0. Signaalin alempi jännitealue vastaa nollaa ja korkeampi jännitealue vastaa ykköstä. Esimerkiksi jännite välillä 0–24 V, 0–15 V vastaa nollaa ja 15–24 V vastaa ykköstä. Analogisessa viestissä taas anturin antama signaali muuttuu portaattomasti mittausjakson aikana. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 206.) Tavallisimmat analogiset signaalityypit prosessiteollisuudessa ovat:

Jännitesignaali

- 0–10 VDC
- -10–+10 VDC. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 206.)

Virtasignaali

- 0–20 mA

- 4–20 mA. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 206.)

### 3.3 Mittaaminen

Mittauksissa käytetään kansainvälisiä SI-järjestelmän mittayksikkösuureita. Mitattavaa suuretta verrataan johonkin vertailupisteeseen kuten veden jäätymis- ja kiehumispisteeseen. Tällaista vertailupistettä kutsutaan normaaliksi. Jotta mittauslaitteet saadaan säädettyä mahdollisimman tarkaksi, saatua arvoa verrataan tähän normaaliin. Mittaamiseen liittyy myös aina epävarmuustekijöitä. (Kippo & Tikka 2008, 21.) Seuraavassa on lyhyesti esiteltynä keskeisimmät käsitteet, jotka liittyvät mittaustiedon luotettavuuteen.

**Mittauskohina.** Korkeataajuinen värähtely mittaussignaalisissa. Kohina suodatetaan pois alipäästösuotimella (Kippo & Tikka 2008, 22).

**Epätarkkuus.** Jokaisessa mittauksessa on mukana tietty epätarkkuus. Tämä epätarkkuus ilmoitetaan prosentteina tai mittayksikköinä, esimerkiksi  $\pm 0,1$  mittayksikköä tai 3 %. Ilmoitettu epätarkkuus voi koskea koko mittausaluetta, hetkellistä mittaesarvoa tai mitattua maksimiarvoa. (Kippo & Tikka 2008, 22.)

**Ajautumavirhe.** Anturin ikääntyessä anturin ominaisuudet muuttuvat. Tämän seurauksena anturissa syntyy kasvavaa epätarkkuutta. (Kippo & Tikka 2008, 22.)

**Hystereesivirhe.** Saman mittaustuloksen arvon muutos nousevassa ja laskevassa mittauksessa (Kippo & Tikka 2008, 23).

**Erotuskyky (Resoluutio).** Pienin havaittavissa oleva muutos mitattavasta suureesta (Kippo & Tikka 2008, 23).

**Staattinen virhe (Systemaattinen virhe).** Vakiovirhe, joka pysyy muuttumattomana koko mittausalueen pituudella. Staattinen virhe pystytään helposti kompensoimaan mittaustuloksesta pois. (Kippo & Tikka 2008, 23.)

Hyvän anturin ominaisuuksia ovat:

- osaa tunnistaa ja muuttaa halutun suureen mittaustiedoksi
- pystyy mittaamaan mahdollisimman virheettömästi ja tarkasti



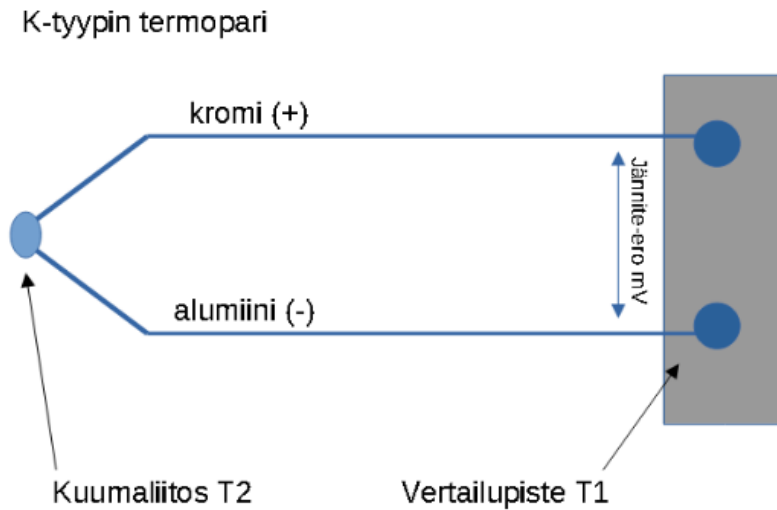
- mittaa haluttua suuretta mahdollisimman lineaarisesti
- resistanssin ympäristön haittavaikutuksille, kuten korroosiolle, iskuille ja paineelle. (Gupta, Arora & Riescher Westcott 2017, 323.)

### 3.4 Lämpötilan mittaaminen

Lämpötila on yksi yleisempiä mitattavia suureita teollisuudessa (Pihkala 2008, 35). Kemia- ja prosessiteollisuudessa lähes kaikki kemialliset ja fysikaaliset prosessit ovat lämpötilariippuvaisia (Ikonen, Lehto, Wallin & Äijälä 2000, 3). Lämpötila vaikuttaa muun muassa tuotteiden laatuun, reaktion nopeuteen, energian kulutukseen ja ympäristöpäästöihin (Pihkala 2008, 35). Seuraavissa luvuissa on käyty tarkemmin läpi keskeisimpiä lämpötilanturin tyyppejä.

#### 3.4.1 Termoparit (thermocouple)

Termoparin eli termoelementtianturin toiminta perustuu kahden eri metallin synnyttämään sähkömotoriseen voimaan, joka syntyy mittauspään lämmitessä kuumemmaksi suhteessa kylmän pään vertailuliitoskohtaan. Tämä ilmiö tunnetaan niin sanottuna Seebeckin ilmiönä. Termoparin synnyttämä sähkömotorinen voima mitataan millivolteissa. (Miten toimii TE-anturi, [viitattu 30.12.2021].) Elementin kuumaliitoksessa eli mittapäässä metallijohtimien päät liitetään keskenään yhteen, joko juottamalla tai hitsaamalla (Yoder & Morley 2015, 32). Anturi on niin sanottu aktiivinen anturi, joka tuottaa itse oman virtansa ja soveltuu ominaisuuksiltaan hyvin korkeiden lämpötilojen mittaamiseen (Gupta ym. 2017, 327). Kuviossa 1 on kuvattuna K-tyyppisen termoparianturin rakenne.



Kuvio 1. K-tyyppisen termoparianturin rakenne.

Koska mitattu tulos on lämpötilaero kuuman ja kylmän liitoskohdan välinen ero ( $T_2 - T_1$ ), tulee tuloksessa huomioida vielä kylmän pään eli vertailupisteen ympärillä vallitseva lämpötila, jotta saadaan paikkaansa pitävä lopputulos ( $T_1 - T_0$ ) (Yoder & Morley 2015, 33). Termoparin synnyttämän lähdejännitteen muutos suhteessa lämpötilan muutokseen on esitetty tarkemmin kuviossa 2 ( $T_0 = 0\text{ °C}$ ). Seuraavassa kaavassa on kerrottu termoparin synnyttämä lähdejännite.

$$V = \alpha (T_1 - T_2) \quad (5)$$

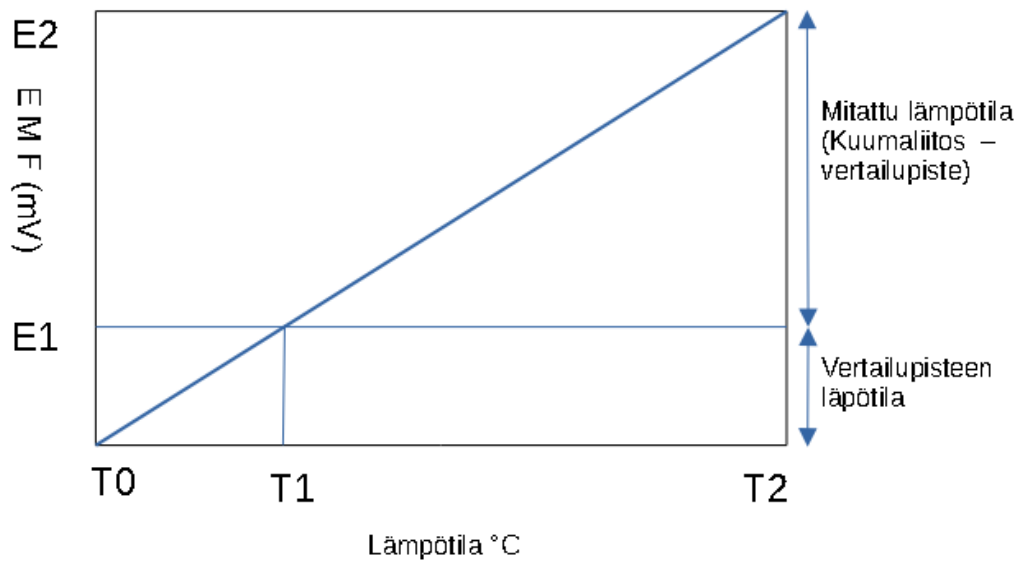
missä

$V$  = Jännite

$\alpha$  = Seebeck-kerroin

$T_1$  = kuumaliitoksen lämpötila

$T_2$  = kylmäliitoksen (vertailupisteen) lämpötila. (Yoder & Morley 2015, 33.)



Kuvio 2. Termoparin tuottama lähdejännite (EMF) suhteessa lämpötilan muutokseen.

Käytännössä termoparien tuottaman jännite ei ole yleensä täysin lineaarinen. Jokaiselle termoparityypille on taulukoitu jännitteen ja lämpötilan välinen riippuvuus eri lämpötiloissa. (Saarinen, [viitattu 13.2.2021].) Taulukossa 1 on esitetty esimerkki K-tyyppisen termoparin referenssitaulukosta.

Taulukko 1. K-termoparin referenssitaulukko (Thermocoupleinfo.com, [viitattu 13.2.2021]).

ITS-90 Table for Type K Thermocouple (Ref Junction 0°C)											http://reotemp.com
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thermoelectric Voltage in mV											
450	18.516	18.558	18.601	18.643	18.686	18.728	18.771	18.813	18.856	18.898	18.941
460	18.941	18.983	19.026	19.068	19.111	19.154	19.196	19.239	19.281	19.324	19.366
470	19.366	19.409	19.451	19.494	19.537	19.579	19.622	19.664	19.707	19.750	19.792
480	19.792	19.835	19.877	19.920	19.962	20.005	20.048	20.090	20.133	20.175	20.218
490	20.218	20.261	20.303	20.346	20.389	20.431	20.474	20.516	20.559	20.602	20.644
500	20.644	20.687	20.730	20.772	20.815	20.857	20.900	20.943	20.985	21.028	21.071
510	21.071	21.113	21.156	21.199	21.241	21.284	21.326	21.369	21.412	21.454	21.497
520	21.497	21.540	21.582	21.625	21.668	21.710	21.753	21.796	21.838	21.881	21.924
530	21.924	21.966	22.009	22.052	22.094	22.137	22.179	22.222	22.265	22.307	22.350
540	22.350	22.393	22.435	22.478	22.521	22.563	22.606	22.649	22.691	22.734	22.776
550	22.776	22.819	22.862	22.904	22.947	22.990	23.032	23.075	23.117	23.160	23.203
560	23.203	23.245	23.288	23.331	23.373	23.416	23.458	23.501	23.544	23.586	23.629
570	23.629	23.671	23.714	23.757	23.799	23.842	23.884	23.927	23.970	24.012	24.055
580	24.055	24.097	24.140	24.182	24.225	24.267	24.310	24.353	24.395	24.438	24.480
590	24.480	24.523	24.565	24.608	24.650	24.693	24.735	24.778	24.820	24.863	24.905
600	24.905	24.948	24.990	25.033	25.075	25.118	25.160	25.203	25.245	25.288	25.330
610	25.330	25.373	25.415	25.458	25.500	25.543	25.585	25.627	25.670	25.712	25.755
620	25.755	25.797	25.840	25.882	25.924	25.967	26.009	26.052	26.094	26.136	26.179
630	26.179	26.221	26.263	26.306	26.348	26.390	26.433	26.475	26.517	26.560	26.602
640	26.602	26.644	26.687	26.729	26.771	26.814	26.856	26.898	26.940	26.983	27.025
650	27.025	27.067	27.109	27.152	27.194	27.236	27.278	27.320	27.363	27.405	27.447
660	27.447	27.489	27.531	27.574	27.616	27.658	27.700	27.742	27.784	27.826	27.869
670	27.869	27.911	27.953	27.995	28.037	28.079	28.121	28.163	28.205	28.247	28.289
680	28.289	28.332	28.374	28.416	28.458	28.500	28.542	28.584	28.626	28.668	28.710
690	28.710	28.752	28.794	28.835	28.877	28.919	28.961	29.003	29.045	29.087	29.129
700	29.129	29.171	29.213	29.255	29.297	29.338	29.380	29.422	29.464	29.506	29.548
710	29.548	29.589	29.631	29.673	29.715	29.757	29.798	29.840	29.882	29.924	29.965
720	29.965	30.007	30.049	30.090	30.132	30.174	30.216	30.257	30.299	30.341	30.382
730	30.382	30.424	30.466	30.507	30.549	30.590	30.632	30.674	30.715	30.757	30.798
740	30.798	30.840	30.881	30.923	30.964	31.006	31.047	31.089	31.130	31.172	31.213
750	31.213	31.255	31.296	31.338	31.379	31.421	31.462	31.504	31.545	31.586	31.628
760	31.628	31.669	31.710	31.752	31.793	31.834	31.876	31.917	31.958	32.000	32.041
770	32.041	32.082	32.124	32.165	32.206	32.247	32.289	32.330	32.371	32.412	32.453
780	32.453	32.495	32.536	32.577	32.618	32.659	32.700	32.742	32.783	32.824	32.865
790	32.865	32.906	32.947	32.988	33.029	33.070	33.111	33.152	33.193	33.234	33.275
800	33.275	33.316	33.357	33.398	33.439	33.480	33.521	33.562	33.603	33.644	33.685
810	33.685	33.726	33.767	33.808	33.848	33.889	33.930	33.971	34.012	34.053	34.093
820	34.093	34.134	34.175	34.216	34.257	34.297	34.338	34.379	34.420	34.460	34.501
830	34.501	34.542	34.582	34.623	34.664	34.704	34.745	34.786	34.826	34.867	34.908
840	34.908	34.948	34.989	35.029	35.070	35.110	35.151	35.192	35.232	35.273	35.313
850	35.313	35.354	35.394	35.435	35.475	35.516	35.556	35.596	35.637	35.677	35.718
860	35.718	35.758	35.798	35.839	35.879	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081	36.121
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.484	36.524
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.685	36.725	36.765	36.805	36.845	36.885	36.925
890	36.925	36.965	37.006	37.046	37.086	37.126	37.166	37.206	37.246	37.286	37.326

Anturin hyödyt ovat:

- ei vaadi erillistä virtalähdettä
- yksinkertainen ja kestävä rakenne
- kestää hyvin vaativia olosuhteita. (Gupta ym. 2017, 328.)

Haitat ovat:

- epälineaarinen anturi, vaatii lisäksi lämpötilakompensoinnin oikean tuloksen saamiseksi
- epätarkempi verrattuna RTD- ja termistoriantureihin
- synnyttämänsä pienen jännitteen vuoksi häiriöherkkä. (Gupta ym. 2017, 328.)

**Termoparijohtimen jatkaminen.** Jatkettaessa termoparin johdinta jatkos voidaan toteuttaa joko käyttämällä kompensointikaapelia tai jatkokaapelia. Kompensointikaapelilla on hyvin samanlaiset sähköiset ominaisuudet kuin itse termoelementtilangoilla, mutta kaapeli on valmistettu eri metalleista kuin itse termopari. Tällainen ratkaisu tulee edullisemmaksi verrattuna termoparilangoista valmistettuun jatkokseen. Haittapuolena on kompensointikaapelin maksimilämmönkestävyys, joka on vain noin 100–200 °C eristemateriaalista riippuen. (Termoelementtien kaapelistandardit ja -värit, [viitattu 30.12.2021].)

Jatkojohto on valmistettu samoista metalleista kuin itse termoparielementtikin. Tämän ansiosta lämmönkesto on sama kuin termoelementtiparillakin, mutta verrattuna kompensointikaapeliin ratkaisu on kalliimpi. (Termoelementtien kaapelistandardit ja -värit, [viitattu 30.12.2021].)

### 3.5 Vastuslämpötila-anturi (resistance thermometer, RTD)

Vastuslämpötila-anturi on passiivinen anturi, jonka sisäinen resistanssi muuttuu suhteessa mitattavaan lämpötilaan. Resistanssin muuttuessa muuttuu myös virran määrä vastuksen läpi tai jännitearvo vastuksen yli. (Yoder & Morley 2015, 36.) Jännitemuutos toteutuu Ohmin lain mukaisesti:

$$U = RI \quad (6)$$

missä

$$U = \text{jännite}$$

$R$  = resistanssi

$I$  = virta.

Vastuslämpötila-antureissa useimmin käytetyt metallit ovat platina, kupari ja nikkeli. Näiden metallien ominaisuudet ovat hyvin ennalta arvattavissa, minkä ansiosta anturit ovat toiminnaltaan lineaarisempia kuin termoparit (Yoder & Morley 2015, 36.) Tyypillinen mitta-alue anturilla on  $-200\text{--}650\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tarkkuus  $0,1\text{--}1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja vasteaika  $1\text{--}50$  sekuntia (Omega Engineering Inc, [viitattu 30.12.2020]).

Anturin hyödyt ovat:

- stabiili ja tarkka
- lineaarisempi kuin termopari. (Gupta ym. 2017, 325.)

Haitat ovat:

- itsestään lämpenevä
- tarvitsee erillisen virtalähteen
- pitkä vasteaika. (Gupta ym. 2017, 325.)

### 3.6 Termistori (thermistor)

Kuten vastuslämpötila-anturikin, myös termistorin toiminta perustuu resistanssin muutokseen lämpötilan mukaan. Nämä puolijohdetekniikalla valmistetut anturit on tavallisesti pakattu lasisen tai keraamisen kuoren sisään. Termistori on hyvin herkkä reagoimaan lämpötilan muutoksiin lyhyellä vasteajalla pienen lämpömassansa ansiosta. (Gupta ym. 2017, 328.) Vasteaika termistorilla on  $0,12\text{--}10$  sekuntia (Omega Engineering Inc, [viitattu 30.12.2020]). Resistanssin muutos suhteessa lämpötilan muutokseen on anturissa kuitenkin hyvin epälineaarinen, minkä takia mitta-alue jää pieneksi (Gupta ym. 2017, 328). Tyypillinen mitta-alue anturilla on  $-100\text{--}325\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja mittatarkkuus  $0,05\text{--}1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Omega Engineering Inc, [viitattu 30.12.2020]).

Termistorit jaetaan kahteen eri luokkaan: PTC- ja NTC-tyyppisiin vastuksiin. Kirjainyhdistelmät tulevat sanoista Positive ja Negative Temperature Coefficient. Etumerkit P ja N ilmaisevat lämpötilakertoimen  $k$  etumerkin. Tämän etumerkin mukaan termistorin resistanssi joko nousee tai laskee lämpötilan noustessa. Jos anturin oletetaan olevan

lineaarinen, niin esimerkiksi NTC-termistorin resistanssin muutos lämpötilan suhteen saadaan laskettua seuraavalla kaavalla. (Gupta ym. 2017, 329.)

$$dR = -k(dT) \quad (7)$$

missä

$dR$  = resistanssin muutos

$k$  = lämpötilakerroin

$dT$  = lämpötilan muutos. (Gupta ym. 2017, 329.)

Anturin hyödyt ovat:

- kestävä, edullinen ja luotettava
- lyhyt vasteaika. (Gupta ym. 2017, 330.)

Haitat ovat:

- hyvin rajallinen mittausalue
- epälineaarinen lämpötilan muutoksen suhteen
- itsestään lämpenevä. Ylikuumentuessaan saattaa menettää ominaisuutensa. (Gupta ym. 2017, 330.)

### 3.6.1 Infrapuna-anturi (infrared sensor, IR)

Infrapunalämpömittarin toiminta perustuu heijastavan pinnan lähettämään infrapunasäteilyyn. Pinnalta kerätty säteily keskitetään linssin avulla anturiin, joka on tyypillisesti termoelementtiketju. Anturi absorboi infrapunasäteilyä ja muuttaa sen sähköiseksi signaaliksi. Käytettäessä infrapunaan perustuvaa menetelmää mittauksissa täytyy ottaa huomioon pinnan emissiivisyys. Emissiivisyys ilmoitetaan nollan ja yhden väliltä. Yleisesti, mitä heijastavampi pinta on, sitä pienempi on pinnan emissiivisyys. Mikäli emissiivisyyttä ei mittauksessa oteta huomioon tuottaa se helposti virheellisen mittauslukeman. (Grainger Editorial Staff 2020.)

Anturin hyödyt ovat:

- mittaukset kyetään tekemään lähietäisyydeltä koskettamatta pintaa
- mahdollistaa tekemään nopeita mittauksia. (Grainger Editorial Staff 2020.)

Haitat ovat:

- kohteen emissiivisyys täytyy ottaa mitattaessa huomioon
- ympäristön ja pinnan epäpuhtaudet vaikuttavat mittaustulokseen
- vaatii sisäisen kompensoinnin kuten termoelementtiparikin
- vahvat radiosignaalit saattavat häiritä mittausta. (Grainger Editorial Staff 2020.)

### 3.7 Kuituoptinen lämpötila-anturi (fiber optic temperature sensor)

Kuituoptiset anturit perustuvat galliumarsenidista (GaAs) valmistettuun puolijohteeseen. Sen valon absorbointi- ja emittointiominaisuudet muuttuvat lämpötilan muuttuessa. GaAs -kristallin hyvin tunnettujen ominaisuuksien ansiosta lämpötilamittaus kristallin avulla on mahdollista käyttäen kuituoptiikkaa. Lämpötilan mittaamisessa kristallia valotetaan valokuidun toisesta päästä. Valonsäteet, jotka eivät absorboidukaan kristallin, heijastuvat takaisin kristallin taakse sijoitetusta dielektrisestä peilistä. Mitä korkeampi on mitattava lämpötila, sitä enemmän on tapahtunut absorbointisiirtymää sekä aallonpituuden kasvamista. Tämä absorboimaton valo heijastetaan spektrometriin, jossa valon absorbointisiirtymä analysoidaan ja muutetaan lämpötilatiedoksi. (Fiber optic temperature, [viitattu 7.3.2021].)

Anturin hyödyt ovat:

- kestää hyvin ulkoisia häiriöitä
- ei ole riippuvainen valon intensiteetin määrästä, siksi kuidun pituudelle, läpimitalle ja liitoksien määrälle ei ole tiukkoja vaatimuksia
- koska GaAs-kristallin ominaisuudet ovat aina universaaleja ja vakioita, kalibrointia ei vaadita. (Fiber optic temperature, [viitattu 7.3.2021].)

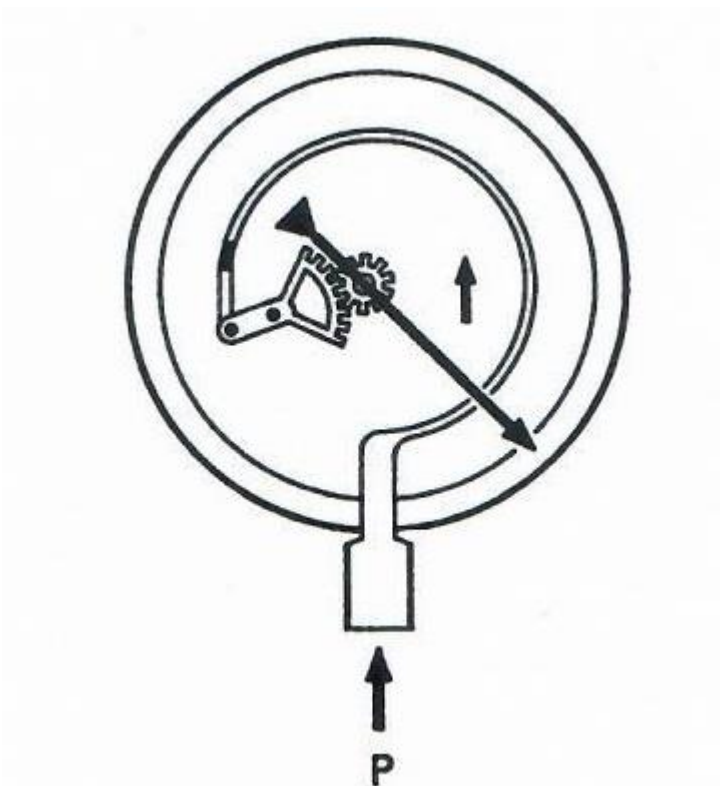
Haitat ovat:

- vaatii erillisen valonlähteen ja mittalaitteiston (Fiber optic temperature, [viitattu 7.3.2021]).



### 3.8 Paineen mittaus

Paikallisissa paineantureissa toiminta perustuu useimmiten muokkaintyyppiseen tuntoelimeen ja sen kimmoiseen muodonmuutokseen (Aumala 2006, 92). Tällaisia ovat esimerkiksi bourdonkaarimanometri, jossa paine-elimänä on toisesta päästä suljettu litteä putki, joka on taivutettu käyräksi tai kierteelle. Paineen kasvaessa litteäksi painetun putken poikkileikkaus muuttuu pyöreämmäksi samalla oikaisten putkea. Putken päähän kiinnitetty osoitin alkaa liikkua paineen vaikutuksesta näyttäen senhetkistä painelukemaa. Muita tällaisia mittareita ovat paljeputki- ja kalvorasiamittarit. (Pihkala 2008, 23–27.)



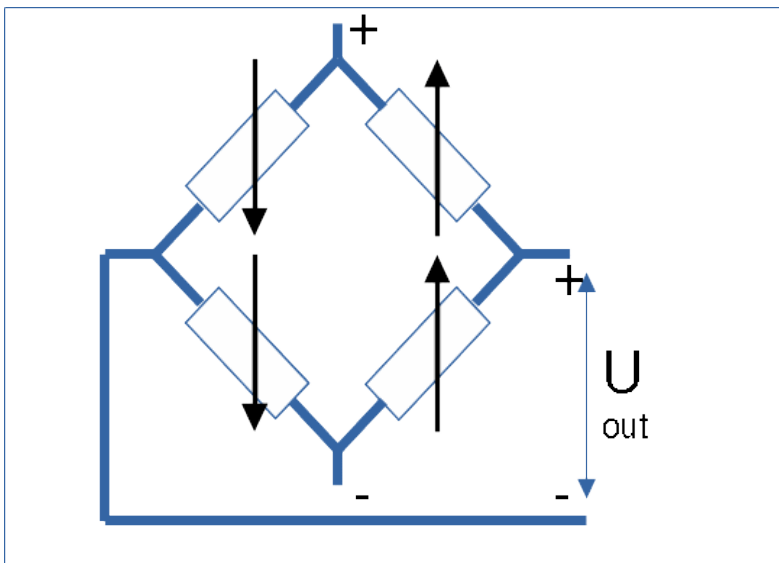
Kuvio 3. Bourdonkaari (Pihkala 2008, 23).

Mekaanisiin paineantureihin verrattuna sähköiset paineanturit varustetaan erillisellä muuntimella, joka muuttaa fyysikaalisen paineen sähköiseksi signaaliksi. Sähköisten antureiden etuna on mahdollisuus siirtää painetieto mittauskohteesta etäluettavaksi kuten tietokoneelle. Tällaisia antureita ovat esimerkiksi venymäliuska-anturi, pietsoresistiivinen ja kapasitiivinen anturi. (Pihkala 2008, 28.) Seuraavissa luvuissa on käyty tarkemmin läpi nämä kolme anturityyppiä.

### 3.8.1 Venymäliuska-anturi (resistance strain gauge)

Venymäliuska on ohut kalvo, johon on kiinnitetty metallinen kalvo- tai lankavastus. Paineen vaihtelu aiheuttaa mekaanisen muutoksen kalvossa. Sen seurauksen kalvoon kiinnitetyn metallilangan- tai kalvovastuksen resistanssi muuttuu pituuden muutoksen mukaan. Mitä enemmän pituus kasvaa, sitä suurempi on vastuksen resistanssi. (Pihkala 2008, 28–29.)

Venymäliuskoja käytetään tyypillisesti Wheatstone-nimisenä siltakytkentänä. Kytkenässä neljä venymäliuskaa on aseteltuna pareittain niin, että paineen vaikutuksesta kaksi sarjaan kytkettyä liuskaa venyy ja toiset kaksi kutistuu. Liuskojen läpi ohjattu jännite synnyttää potentiaalieron paineen vaikutuksesta liuskojen väliin. (Nawrocki 2016, 67–71.) Liuskojen aiheuttama resistanssinmuutos on tyypillisesti hyvin pieni, jolloin liuskojen väliin syntynyt sähköinen potentiaaliero on vain muutamia millivolteja (Pihkala 2008, 28–29). Kuviossa 4 on esitettyä tällainen Wheatstonen siltakytkentä.



Kuvio 4. Wheatstonen siltakytkentä.

### 3.8.2 Pietsoresistiivinen anturi (piezoelectric strain sensor)

Pietsoresistiivinen anturi on anturityypeistä käytetyin (Keinänen & Sumujärvi 2019, 225). Anturissa elimenä on puolijohdetekniikalla valmistettu piikalvo, jonka resistanssin muutos

perustuu ennemminkin sen kohtaamaan jännitykseen paineen vaikutuksesta, kuin itse liuskan venymiseen. Puolijohdetekniikalla resistanssin muutos saadaan huomattavasti suuremmaksi verrattuna perinteisiin venymäliuskoihin. Piikalvo on myös jousto-ominaisuuksiltaan parempi, jonka ansiosta päästään erinomaisiin lineaarisuus- ja hystereesiarvoihin. (Pihkala 2008, 29.)

Pietsoresistiivisillä antureilla kyetään mittaamaan absoluuttista painetta sekä paine-eroa. Absoluuttisen paineen mittaamisessa kalvon toiselle puolella on muodostettu lähes tyhjiötä vastaava alipaine. Paine-eromittarissa mitattavat paineet vaikuttavat taas kalvon molemmin puolin. (Nawrocki 2016, 73–74.)

### 3.8.3 Kapasitiivinen anturi (capacitance strain gauge)

Kapasitiivisessa paineanturissa käytetään differentiaalikonkondensaattoria muuttamaan fysikaalinen paine sähköiseksi signaaliksi. Paineammion mallinen kondensaattori on rakennettu kahdesta kiinteästä levystä, jotka on kiinnitetty ammion seinämiin. Niiden välissä liikkuu joustava kalvo ulkoisen paineen vaikutuksesta. Ammion on täytetty silikoniöljyllä, joka toimii välityksineenä siirtäen ulkoisen paineen vaikutuksen kalvoon. (Pihkala 2008, 30.) Kalvon liikkua lähemmäksi toista levyä ja loittonevan toisesta anturin sisäinen kapasitanssi muuttuu. (Hughes 2015, 148.) Anturiin vaikuttava paine pystytään laskea tästä kapasitanssin muutoksesta kahdella eri tavalla:

- mittaamalla vaihtojännitteen amplitudin muutos kondensaattorin läpi
- kondensaattori liitetään osaksi elektronista piiriä, jonka taajuutta viritetään. Paine mitataan tämän taajuuden muutoksen perusteella. (Hughes 2015, 148.)

## 3.9 Kappaleen tunnistus

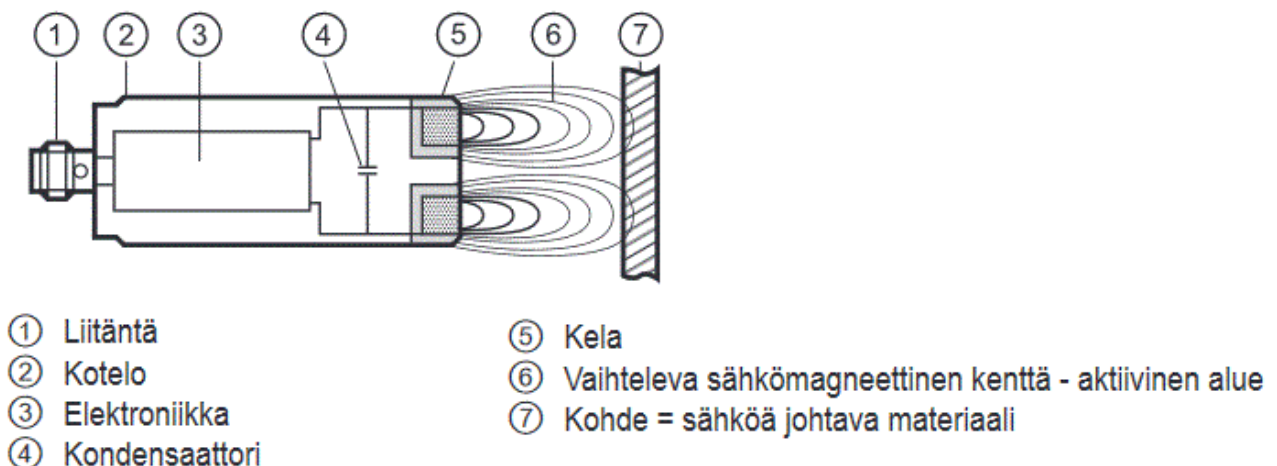
Teollisuuden automaatiolaitteissa kappaleen tunnistus on yksi keskeisimpiä asioita. Luotettavalla tunnistuksella pystytään varmistamaan kappaleen läsnäolo ja oikea paikoitus. Tämä kappaleen tunnistus antaa luvan automatiikalle siirtyä toiminnon seuraavaan vaiheeseen. (Sarlin, [viitattu 13.3.2021].) Seuraavissa luvuissa on käyty tarkemmin läpi keskeisimpiä antureita kappaleiden tunnistamiseen.

### 3.9.1 Induktiivinen anturi (inductive sensor)

Teollisuuskäytössä induktiivinen anturi on syrjäyttämässä mekaaniset rajakytkimet. Induktiivisella anturilla kyetään tunnistamaan metalliesine tavallisesti 2–20 millimetrin päästä. Erikoisanturilla päästään jopa kymmenien millimetrin tunnistusetäisyyksiin. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 209.)

### 3.9.2 Induktiivisen anturin toimintaperiaate

Anturissa on sisäänrakennettu tuntokela, joka värähtelee siihen liitetyn sähköisen värähtelypiirin avulla. Tämän piirin värähdellessä tuntokela muodostaa ympärilleen magneettivuon. Kun tunnistettava metalliesine tuodaan anturin tunnistusetäisyydelle, magneettivuohon syntyy pyörrevirtoja. Nämä syntyneet pyörrevirrat kuormittavat värähtelypiiriä sitä enemmän mitä lähemmäksi esine tuodaan anturia. Lopulta kuormitus kasvaa niin suureksi, että värähtely lopulta pysähtyy ja tunnistus tapahtuu. Induktiiviset anturit toimivat joko tasa- tai vaihtojännitteellä. Tasajännitteellä toimivat ovat tyypillisesti 12–50 VDC ja vaihtojännitteellä toimivat käyttävät 230 V AC-jännitettä. Induktiivisesta anturista on olemassa myös analogisia versioita, joiden ulostulo on 0–10 VDC. Analogisen anturin ulostulo on lineaarinen, joten sillä pystytään helposti tunnistamaan ja lajittelemaan erikokoisia esineitä. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 209.)



Kuvio 5. Induktiivisen anturin rakenne (Infokortti, [viitattu 4.3.2021]).

**Nimellinen käyttöetäisyys (Sn).** Tunnistuksessa käytetään standardin mukaista mittaolosuhdetta. Siinä mitattavan kohteen on oltava vähintään yhden millimetrin paksuinen esine, joka on valmistettu ST37-teräksestä. Mittauksessa huomioidaan myös se, että kohteen läpimitta on yhtä suuri kuin anturin etuosan läpimitta, tai kohteen läpimitta on kolme kertaa nimellinen tunnistusetäisyys. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 210.)

**Suosittelava käyttöetäisyys (Sa).** Valmistuksessa yksittäisten antureiden tunnistusetäisyyksissä on eroja. Siksi suositeltava käyttöetäisyys on 81 % nimellisestä käyttöetäisyydestä, jos kohde on kohtisuoraan anturin edessä, ja 40 %, jos kohde on sivussa anturiin nähden. Myös mistä metallista tunnistettava esine on valmistettu, vaikuttaa suuresti tunnistusetäisyyteen. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 210.)

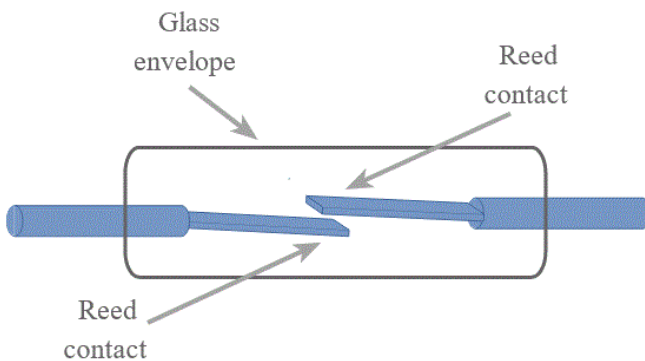
**Asennustapa.** Induktiivisia antureita on olemassa asennustavaltaan kahta erilaista tyyppiä: pinta-asennettava ja uppoasennetta. Uppoasennettavissa antureissa anturin pää on samassa tasossa ympäröivän pinnan kanssa. Tämä suojaa anturia paremmin mekaanisilta vaurioilta, mutta lyhentää tunnistusetäisyyttä verrattuna pinta-asennettavaan malliin. Molemmissa antureissa täytyy huomioida myös antureiden välinen asennusetäisyys. Liian lähelle asennetut anturit aiheuttavat toimintahäiriöitä toisiinsa. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 211.)

### 3.9.3 Kapasitiivinen anturi (capacitive sensor)

Kapasitiivisia antureita käytetään, jos tunnistettava esine ei ole valmistettu metallista. Anturit ovat hyvin induktiivisen anturin tapaisia, mutta tunnistuselimenä niissä käytetään avattua kondensaattoria. Tunnistusetäisyydet antureissa on noin 10–40 millimetriä. Antureiden tunnistusetäisyyteen vaikuttaa merkittävästi ympäristön pöly, kosteus ja lämpötila, joten asennettaessa anturia nämä tekijät täytyy ottaa huomioon. Kuten induktiivisia antureita, kapasitiivisiakin antureita, voidaan käyttää tasa- ja vaihtojännitteellä. Korkeimmat jännitteet ovat tasajännitteellä 24–50 VDC ja vaihtojännitteellä 230 VAC. Kytkeäntaajuus on välillä 1000–1500 Hz. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 211.)

### 3.9.4 Reed-kytkin (Reed relay)

Reed-kytkimessä eli Reed-releessä on lasiputken sisälle asennetut kosketinpinnat, jotka yhdistyvät ulkopuolisen kestopagneetin voimasta. Kytkenäetäisyys Reed-kytkimellä on 4–40 millimetriä ja taajuus alle 1000 Hz. Suunnitellessa Reed-relepohjaista ratkaisua on huomioitava koskettimien pieni ilmaväli, sillä ilman oikeanlaista kytkennän suojausta saattavat releen kosketinpinnat vahingoittua ohjattaessa induktiivisia kuormia. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 212–213.)

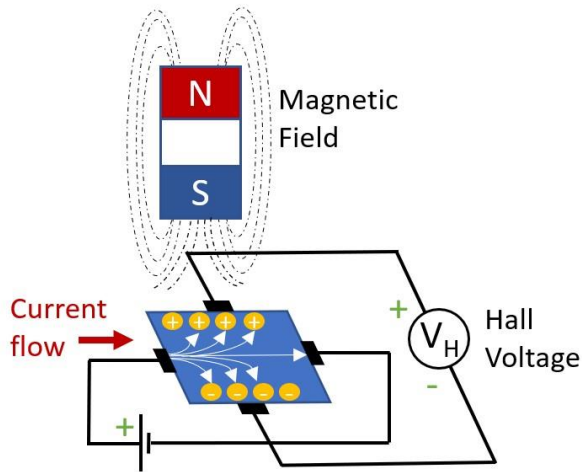


Kuvio 6. Reed-releen rakenne (Electronics-notes, [viitattu 30.12.2020]).

### 3.9.5 Hall-tekniikkaan perustuva magneettianturi (hall-effect sensor)

Hall-anturit tunnistavat ja mittaavat ulkoisen magneettikentän suuruutta. Ulkoinen magneettivoima vaikuttaa anturin läpi johdettuihin elektroneihin niin, että elektronien kulku kaareutuu johtimessa magneetin vaikutuksesta. (Metropolia 30.11.2010.) Johtimen toiseen reunaan kerääntyä positiivisesti varautuneet aukot. Näin johtimen reunoille syntyy mitattava jännite-ero. Tämä muutamien mikrovolttien suuruinen jännite-ero vahvistetaan elektronisesti ennen lähettämistä. (Radionics Ltd, [viitattu 1.2.2021].) Hall-anturi kykenee havaitsemaan myös paikallaan olevan magneettikentän, koska sen toiminta ei perustu induktioon

(Metropolia 30.11.2010). Kuviossa 7 on esitetty Hall-anturin toimintaperiaate magneettikentän vaikutuksen alaisena.



Kuvio 7. Hall-anturin toimintaperiaate (Hprobe, [viitattu 1.4.2021]).

Hall-anturin hyödyt ovat:

- hyvä värinänkesto
- jopa 100 kHz:n kytkentätaajuus
- tunnistusetäisyys jopa 60 millimetriä
- luotettavuus
- hyvä lämmönkesto, -40—+150 °C. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 213.)

### 3.10 Optiset anturit (optical sensors)

**Lähetin.** Optinen anturi lähettää moduloitua LED-valoa lyhyinä pulsseina noin 1–10 kHz:n taajuudella. Pulssittamalla valoa kytetään kasvattamaan valovoimaa ja saamaan samalla suuri häiriönsietokyky. Sisäinen lähtetimen ja linssin etäisyys on optimoitu niin, että valo osuu linssin fokusointipisteeseen muodostaen vaakasuoria säteitä, jotka mahdollistavat pitkän kantaman. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 214.)

**Vastaanotin.** Lähtetimestä vastaanotettu valonsäde kohdistetaan vastaanottimen linssin kautta valoherkkään transistoriin tai diodiin. Vastaanottimen suodin estää muun kuin

lähettimen lähettämän valon pääsyn tunnistuselimeen. Lisäksi suotimen takana oleva aukko päästää lävitseen vain kohtisuoraan tulevat valonsäteet, tällä tavoin ympäristöstä tulevat häiriöitä aiheuttavat säteet saadaan suljettua pois. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 214.)

**Toimintaperiaate.** Optisen anturin toiminta perustuu siihen, että tunnistettava esine katkaisee anturin lähettämän valonsäteen lähettimen ja vastaanottimen väliltä.

Kohdeheijasteisissa antureissa kohde itse heijastaa valonsäteen takaisin, jolloin tunnistus tapahtuu. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 214.)

Optisen anturin tyyppejä:

- lähetin–vastaanotinpari
- peiliheijasteiset anturit
- kohdeheijasteiset anturit
- kuituvalokennot. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 214.)

Anturin tyypillisiä ominaisuuksia:

- kykenee tunnistamaan useiden metrien päähän
- kytkentätaajuus korkeintaan 10 kHz
- käyttölämpötila -40–+70 °C
- käyttöjännite 10–50 VDC tai 250 VAC
- virrankesto 100–400 mA. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 214.)

### 3.11 Inkrementtianturi (incremental encoder)

Yksinkertainen inkrementti- eli pulssianturi muistuttaa rakenteeltaan moottoria. Sen pyörivään keskiakseliin on kiinnitetty kood kiekko, joka on jaettu samankokoisiin läpinäkyviin ja näkymättömiin alueisiin tasaisin välein. Kiekon toisella puolella oleva valonlähde kohdistaa valonsäteen kohti kiekkoa. Kun säde osuu kiekon läpinäkyvään osaan, jatkaa se matkaansa toisella puolella olevaan valoherkkään vastaanottimeen. Kiekon läpinäkymättömät alueet pysäyttävät nämä säteet, eivätkä anna tunnistustietoa vastaanottimelle. Pulssianturin akselin kääntyessä anturi muodostaa pulssijonon lähtöihinsä. Nämä syntyneet pulssit lasketaan ulkoisella laskupiirillä. Näin saadaan tieto akselin kääntymisestä ja sen pyörimisnopeudesta. (Metropolia 28.4.2011.)



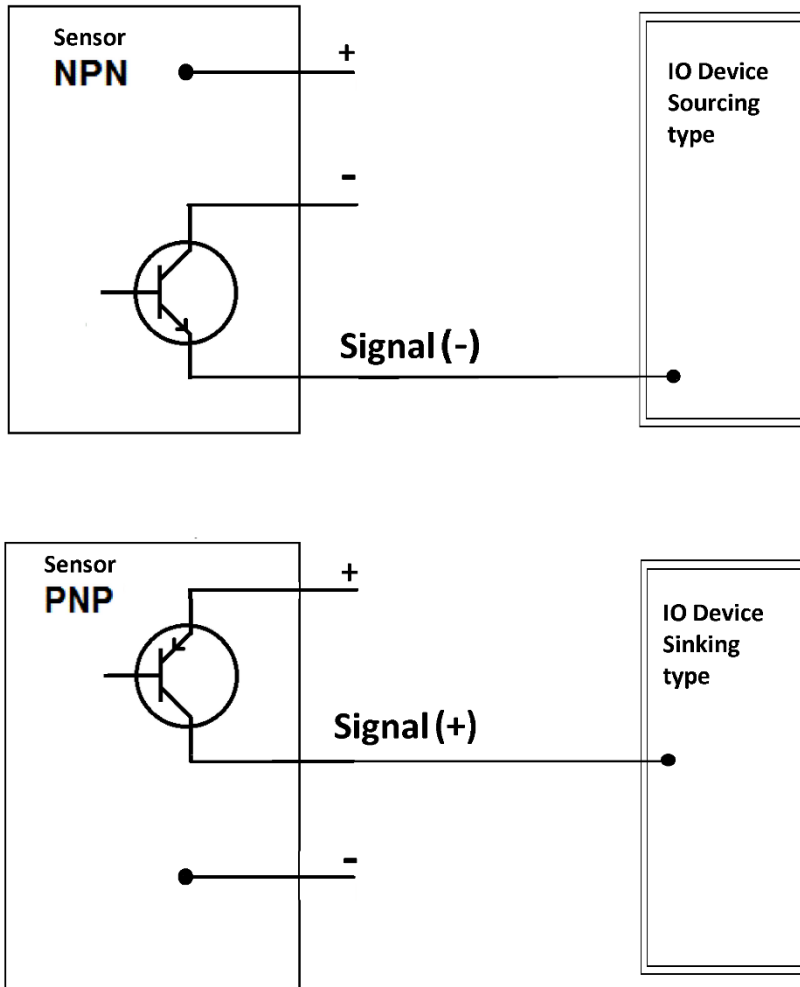
Tieto akselin pyörimissuunnasta saadaan kaksikanavaisesta pulssianturista. Kaksikanavaisessa anturissa on kaksi valoherkkää tunnistinta, jotka ovat 90 asteen vaihesiirrossa toisiinsa nähden. Tällöin myös niiden lähettämä signaali omiin lähtökanaviinsa on 90 asteen vaihesiirrossa. Vaihesiirrosta aiheutuu se, että toisen kanavan pulssi tulee logiikalle aikaisemmin toiseen verrattuna. Aikaisemman kanavapulssin perusteella logiikka osaa päätellä anturin pyörimissuunnan. Joissain antureissa on mukana myös nollapulssi, jota voidaan käyttää kääntymiskulman referenssipisteenä tai laskurin nollaamiseen. (Metropolia 28.4.2011.)

Anturin hyödyt ovat:

- edullinen hinta
- mahdollisuus mitata nopeutta
- nollausmahdollisuus. (Metropolia 28.4.2011.)

### **3.12 Kolmijohtimisten tunnistusantureiden kytkentätyypit**

Induktiivinen, kapasitanssinen ja optinen anturi ovat transistoripohjaisia kiinteitä antureita. Näissä tyypillisesti kolmijohtimisissa antureissa on kaksi jännitejohdinta ja yksi signaaljohdin. Sisäisen transistorin tyypillä valitaan, onko anturi PNP- vai NPN-tyyppinen. Tämä kytkentätyppi ei kuitenkaan vaikuta siihen onko anturi NO (normaalisti auki) vai NC (normaalisti kiinni). Anturin valinta PNP- tai NPN-tyypin välillä tehdään sen mukaan millaista kytkentää sillä halutaan ohjata. Käytettäessä PLC-pohjaista ratkaisua anturin lukemiseen, täytyy ottaa huomioon minkälaista anturityyppiä logiikan oma sisäänmenokortti tukee. Euroopassa käytetyin kortti on sink-tyyppinen, jota voidaan käyttää yhdessä PNP-antureiden kanssa. Vastaavasti NPN-tyyppisille antureille on tarkoitettu source-tyyppiset sisäänmenokortit, jotka ovat suositumpia Aasiassa. On olemassa myös kortteja, joissa tämä tyyppi voidaan itse valita kohteen mukaan. (Schneider Electric 2020.) Kuviossa 8 on esiteltyinä kytkentätavat NPN- ja PNP-tyyppisille antureille.



Kuvio 8. NPN- ja PNP-tyyppisten antureiden kytkentätavat logiikkaan.

### 3.13 LSU4, laajakaistainen Lambda-happianturi (LSU4 wideband lambda sensor)

Pakoputkistoon asennettavan happianturin tarkoituksena on seurata pakokaasujen happipitoisuutta. Pakoputkistossa anturi on sijoitettu niin, että se ulottuu pakoputken sisälle keräämään kaikista sylintereistä tulevaa massavirtausta. Anturin tuottama tieto kertoo moottoriin syötetyn polttoaineen ja ilman suhteesta. Mittana tälle suhteelle toimii lisäilmakehroin  $\lambda$  (Lambda). Laajakaistainen lambda-happianturi kykenee tarkasti mittaamaan stoikiometrisella alueella, missä lisäilmakehroin  $\lambda = 1$ , mutta myös laihalla ( $\lambda < 1$ ) ja rikkaalla seoksella ( $\lambda > 1$ ). Käyttökohteina laajakaistaista anturia voidaan käyttää diesel- ja kaasumoottoreissa sekä kaasukäyttöisissä lämmittimissä. (Robert Bosch GmbH 2007, 158.)

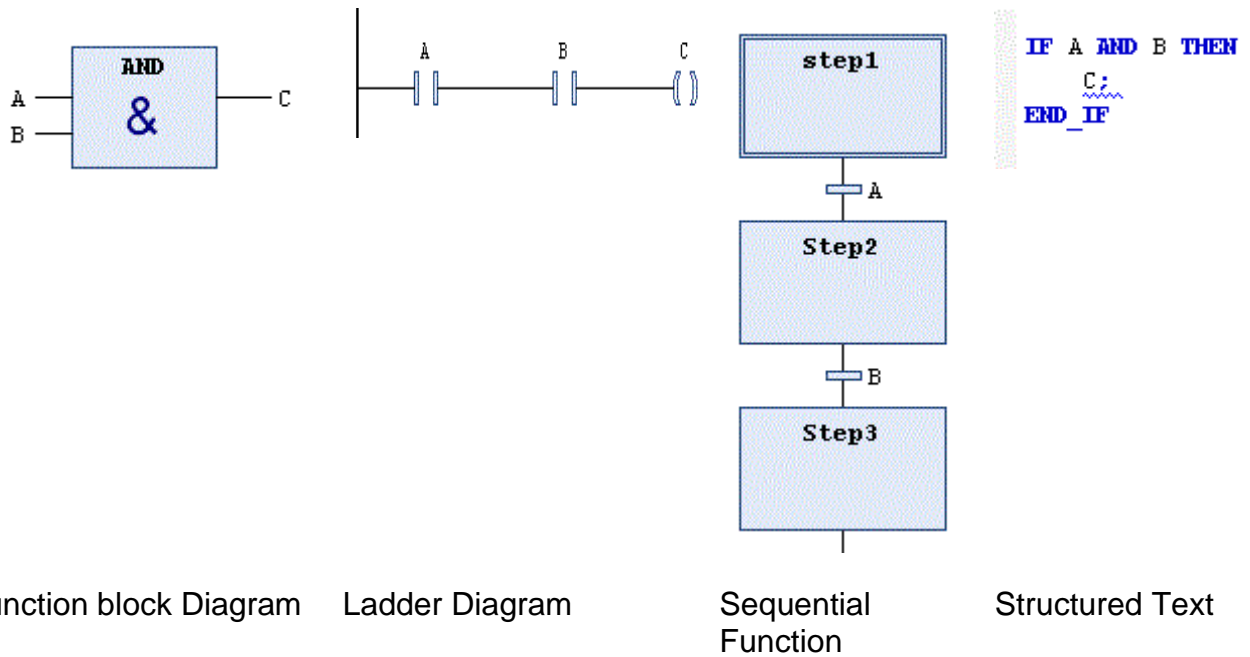
## 4 OHJELMOITAVAT LOGIIKAT

### 4.1 Beckhoff Automation Technology

Saksalainen Beckhoff Automation yritys toimittaa PC-pohjaisia automaatiojärjestelmiä ympäri maailmaa. He ovat edustettuina yli 75 eri maassa. Beckhoff on keskittynyt tuotevalikoimassaan teollisuus-PC-laitteisiin, I/O- ja kenttäväyläkomponentteihin sekä liikkeenohjaukseen ja automaation ohjelmistoihin. Beckhoff on ollut mukana tuomassa automaatioteknologian standardeja markkinoilla omilla uusilla innovaatioillaan. Vaihtoehtona perinteiselle ohjausteknologialle Beckhoff tarjoaa PC-pohjaista ohjausta, Lightbus-järjestelmää sekä TwinCAT-automaatio-ohjelmistoa. Lisäksi yritys on tuonut uuden sukupolven Ethernet-ratkaisun, EtherCATin reaaliaikaiseksi tavaksi kommunikoida laitteiden välillä. (Beckhoff Automation, [viitattu 10.2.2021].)

### 4.2 TwinCat 3 ja ohjelmointikielät

Beckhoffin luoma TwinCAT3-ohjelmisto (The Windows Control and Automation Technology) toimii erilaisten logiikoiden kehitysympäristönä. Visual Studioon kanssa integroitu Twincat muuttaa lähes minkä tahansa PC-pohjaisen järjestelmän reaaliajassa toimivaksi NC-, CNC-, PLC-ohjaimeksi. Ohjelmointikielinä Twincat 3 tukee IEC 61131-3 -standardia, joka sisältää viisi erilaista ohjelmointikieltä. Graafiset kielet ovat: relekaavio (Ladder Diagram, LD), logiikkakaavio (Function block Diagram, FBD) sekä sekvenssikaavio (Sequential Function Chart, SFC). Tekstipohjaisina kielinä ovat: instruktioista (Instruction List, IL) sekä strukturoitu teksti (Structured Text, ST). Verrattuna aikaisempaan versioon, nykyisin Twincatiin pystyy lisäämään reaaliajassa toimivia C- ja C++-pohjaisia ohjelmakoodeja. Mahdollisuus on myös linkittää ohjelmaan mukaan Matlab- tai Simulink-pohjaisia sovelluksia. (TwinCat automation software, [viitattu 10.2.2021].) Kuviossa 9 on esitetty esimerkkejä neljästä eri ohjelmointikielestä.



Kuvio 9. Esimerkkejä ohjelmointikielistä.

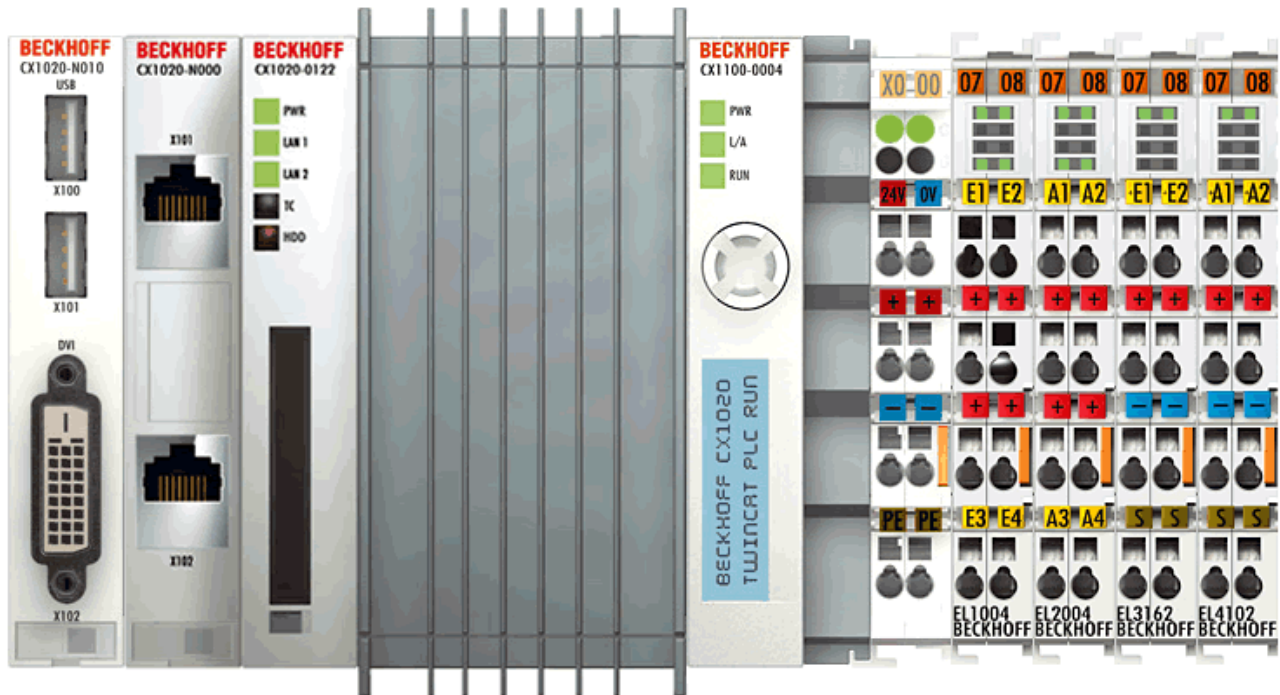
### 4.3 Logiikka

Ohjelmoitavaa logiikkaa eli PLC:tä (Programmable logic controller) käytetään automaation ohjauslaitteena teollisuus-PC-laitteiden ohella (Keinänen & Sumujärvi 2019, 248). Logiikan tulopiirit keräävät liitetyiltä antureilta saadun tiedon ja välittävät sen keskusyksikölle. Keskusyksikön muistiin tallennetun ohjelman perusteella keskusyksikkö käsittelee saatua tietoa ja ohjaa sen mukaan lähtöpiirinsä kautta ulkoisia koneita ja toimilaitteita. (Keinänen, Kärkkäinen, Metso & Putkonen 2001, 246.) Anturitiedon käsittelyn lisäksi logiikkaa voidaan käyttää myös laskennassa, säätö- ja valvontatoiminoissa, hälytyksissä sekä raportointi- ja tietoliikenteessä (Keinänen & Sumujärvi 2019, 248).

#### 4.3.1 Logiikan rakenne

Pienemmät logiikat ovat kompakteja rajallisesti laajennettavissa olevia logiikoita. Näissä tulo- ja lähtöpiirejä on yleensä noin 10–30 kappaletta. Tavallisesti niitä käytetään pienemmissä koneohjauksissa. Monimutkaisemmissa ohjauksissa, jotka vaativat enemmän tulo- ja lähtöpiirejä, käytetään modulaarista rakennetta, johon on mahdollista liittää tarvittava määrä I/O-liitäntäyksiköitä. Modulaarisen rakenteen ansiosta keskusyksikköön on

mahdollista liittää I/O-yksiköiden lisäksi myös muita toimintoja kuten liikkeenohjausta ja tiedonsiirtoa. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 249–251.) Kuvassa 2 on esitetty esimerkki sulautetusta PC:stä, johon on liitetty I/O-liitäntäyksiköitä.



Kuva 2. Sulautettu PC CX1020 I/O-liitäntäyksiköillä. (Embedded PC CX1020, [viitattu 7.3.2021]).

#### 4.3.2 Teholähde

Teholähteen tehtävä on tarjota logiikalle ja siihen liitetyille laitteille niiden tarvitsema virta. Erillisen tehonlähteen ansiosta laitteisto voidaan galvanisesti erottaa muusta sähköverkosta. Käyttöjännitteenä tehonlähde käyttää joko 24 VDC tai 230 VAC. Tehonlähde voidaan varustaa myös UPS-varavirtalähteellä (Uninterruptible Power Supply), joka varmistaa katkeamattoman tehon syötön logiikalle sähkökatkosten aikana. Valittaessa tehonlähdettä on varmistuttava siitä, että sen kapasiteetti on logiikalle riittävä. Jos logiikkaan liitetyt ulkoiset anturit ja toimilaitteet käyttävät myös tätä samaa tehonlähdettä, kapasitanssi lasketaan suurimman mahdollisen kulutuksen mukaan. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 249.)

### 4.3.3 Keskusyksikkö

Keskusyksikkö eli CPU (Central Processing Unit) koostuu prosessorista, muistista ja tietoliikenneliitännöistä (Keinänen & Sumujärvi 2019, 250). Prosessorin tehtävä on käsitellä RAM-työmuistinsa avulla sille annettuja tulosignaaleja. Signaalien käsittely tehdään sen mukaan, miten se on logiikan ohjelmakoodissa määritelty. (Keinänen ym. 2001, 246.) Laskutoimituksen jälkeen tulosignaaleista saadut tulokset muutetaan lähtösignaaleiksi (Jaganmohan Reddy 2015, 38).

### 4.3.4 Muistit

PLC käyttää toiminnassaan RAM- (Random Access Memory) ja ROM (Read only memory) -tyyppisiä muisteja. Ajettava ohjelmakoodi on tallennettu RAM-muistiin. RAM- tyyppinen muisti vaatii paristovarmennuksen säilyttääkseen koodin muistissa sähkökatkosten aikana. PROM (Programable Read Only Memory) -tyyppisiä muisteja on olemassa erilaisia, kuten EEPROM (Electrically Erasable Read only memory) ja EPROM (Erasable Read only memory). (Keinänen & Sumujärvi 2019, 251.)

Logiikan muistit jaetaan niiden käyttötarkoituksen mukaan kuten:

- tulojen ja lähtöjen muistialue
- apumuistit
- tietoliikenteen käyttämä muistialue
- laskuri- ja ajastinmuisti
- datamuisti. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 251.)

### 4.3.5 Digitaaliset tulo- ja lähtöyksiköt (diskreetit)

Tuloyksiköt välittävät mittaustiedon niihin liitetyiltä antureilta ja toimilaitteilta keskusyksikölle prosessoitavaksi. Tuloyksikköön tuleville signaaleille tehdään ensin sisäinen jännitesovitus sekä galvaaninen erotus muusta virtapiiristä, joko optoerottimella tai releellä. Valittaessa oikeanlaista tulokorttia onkin varmistettava kortin yhteensopivuus anturin tai toimilaitteen kanssa. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 251.)

Keskeisimpiä selvitettäviä asioita on:

- oikea jännitetaso

- miten anturien ja toimilaitteiden tehonsyöttö halutaan toteuttaa
- minkä tyyppistä anturia käytetään: NPN, PNP, NAMUR vai kaksijohdinanturi
- mahdollisen häiriösuojauksen toteuttaminen. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 251.)

#### 4.3.6 Lähtöyksiköt

Niin kuin tulokorteissakin, lähtökorteissakin on ohjausjännite sovitettava ohjattavan laitteen mukaan. Tätä galvaanisesti erotettua jännitettä ohjataan tyypillisesti käyttämällä kortin sisäistä relekosketinta, transistoria tai triakkia. Ohjattavia laitteita ovat esimerkiksi magneettiventtiilit, merkkivalot ja apureleet. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 252.)

Lähtökortin valinnassa vaikuttavat muun muassa seuraavat asiat:

- jännite- tai virtatason yhteensopivuus
- toimiiko ohjattava laite vaihto- vai tasasähköllä (AC, DC)
  - rele: AC ja DC
  - transistori DC
  - triakki AC
- lähtökortin tehonkesto
- ovatko kaikki lähdöt potentiaalivapaita vai löytyykö kortista lähdöille yhteinen sisäinen kytkentäpiste (Common). (Keinänen & Sumujärvi 2019, 252.)

#### 4.3.7 Analoginen tulo- ja lähtökortti

Jotta logiikka osaisi lähettää ja vastaanottaa analogista viestiä, tarvitsee logiikkaan liittää tähän tarkoitukseen valmistettu yksikkö. Analoginen tuloyksikkö muuttaa A/D-muuntimella analogisen signaalin digitaaliseen muotoon ennen kuin se lähetetään keskusyksikölle prosessoitavaksi. Vastaavasti keskusyksiköltä lähetetty ohjausviesti muutetaan analogisessa lähtökortissa D/A-muunnoksella analogiseen muotoon. Lähtöyksikköön kytketyt laitteet toimivat analogisen viestin mukaisesti. Lähtöyksikön lähettämän viestin muoto voidaan määrittää joko kytkimillä tai ohjelmallisesti. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 252.)

Analogisessa viestinnässä viestimutona käytetään:

- 0–20 mA
- 4–20 mA

- 0–5 V
- 0–10 V
- -10–+10 V. (Keinänen & Sumujärvi. 2019, 253.)



## 5 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

### 5.1 Kerättävät tiedot

Työtilauksen alkuvaiheessa asiakkaalla oli tiedossa, mitä tietoja vetotraktorista haluttaisiin kerättävän. Tähän asti traktoriin kiinnitetyt paineanturit ovat paikallisia, joustaviin elimiin perustuvia mekaanisia antureita, jotka mittaavat ahto- ja öljynpainetta sekä polttoaineen painetta. Lämpötilaa mitataan tällä pelkästään yhdestä pisteestä, pakoputkiston kollektorista.

Toimeksiantajan toiveena oli logiikkapohjainen järjestelmä, joka keräisi vedon aikana kierrosluku-, lämpötila- ja painetietoja traktorin eri pisteistä ja tallentaisi ne muistikortille. Lisäksi optiona tulisi olla mahdollisuus lisätä järjestelmään happianturi keräämään tietoa polttoaineen ja ilman seossuhteesta. Tämä otettiin huomioon työn suunnitteluvaiheessa varaamalla paikka happianturille analogiselta tulokortilta. Anturitietojen lukeminen muistikortilta ja niistä graafien muodostaminen tulisi olla mahdollisimman käyttäjäystävällistä.

Yhden kisavedon kesto on vain noin 30 sekuntia. Toimeksiantaja toivoi näytteenottotaajuuden olevan vähintään 100 Hz laadukkaan analyysin aikaan saamiseksi. Käytettäessä 100 Hz:n taajuutta mittausväliksi saadaan 10 millisekuntia. Oikeanlaisen laitteiston valinnassa konsultoitiin Beckhoffin edustajaa. Hänen avullaan saatiin rakennettua tähän tarkoitukseen oikeanlainen kokoonpano Beckhoffin tarjoamista moduuleista. Edustaja tarjosi apuaan myös ohjelmistokehitykseen. Liitteessä 1 on eroteltuna järjestelmään valitut moduulit ja niiden kanaviin liitetyt toiminnallisuudet.

### 5.2 Järjestelmän hyödyt

Tiedonkeruujärjestelmän avulla mitataan tietoa moottorista. Järjestelmän avulla voidaan selvittää, miten polttoainepumpun ajoituksen säätäminen asteina vaikuttaa moottorin toimintaan lukemalla pakokaasujen lämpötiloista kerättyä tietoa. Näitä samoja pakolämpötiloja voidaan käyttää hyödyksi myös mahdollisen konerikon ennaltaehkäisyssä, eli mikäli sylinterin pakolämpö alkaa selvästi laahaamaan jäljessä toisiin sylintereihin nähden, kertoo se mahdollisesta viasta polttoainesuuttimessa tai itse syöttöpumpussa.

Järjestelmän avulla voidaan seurata myös miten nokka-akselin ajoituksen muuttaminen tulee vaikuttamaan traktorin ahtimen toimintaan. Akselin ajoitusta muuttamalla ahtimesta pyritään saamaan mahdollisimman pitkään tehoa irti myös silloin, kun moottorin kierrosluku laskee vedon loppuvaiheessa.

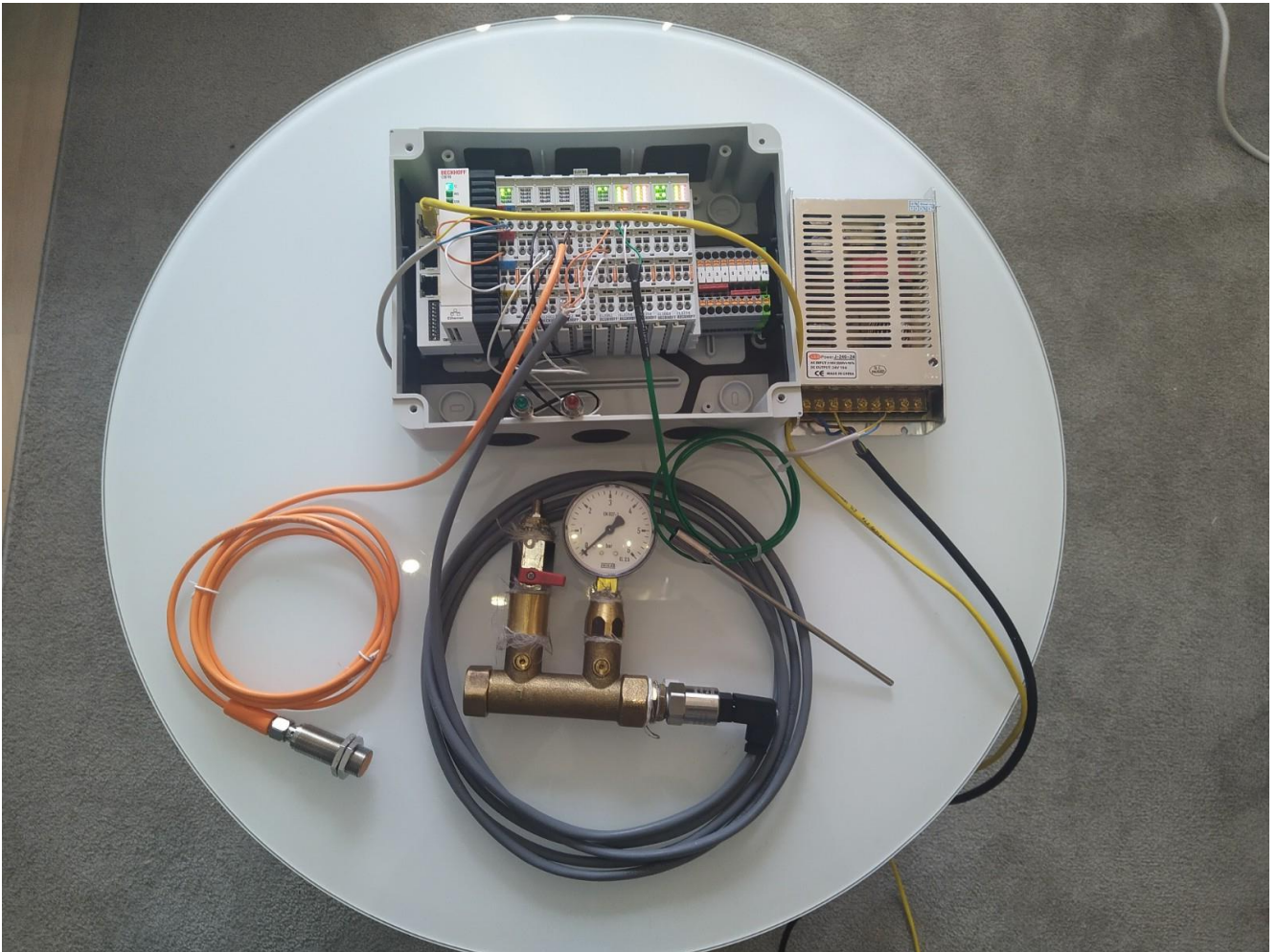
## 6 Järjestelmän toteutus

Beckhoffin toimittama keskusyksikkö sekä lisämoduulit asennettiin DIN-kiskolla suljettuun laitekoteloon. Lisäksi koteloon asennettiin riviliittimet, joista tullaan jakamaan oma jännitesyöttö induktiivisille antureille ja paineantureille. Kotelon läpiviennit tullaan tekemään vasta järjestelmän asennusvaiheessa. Induktiivisten antureiden ja paineantureiden jatkokaapeliksi valittiin halogeenivapaa NOVAK-HF 2x2x0,5+0,5 -instrumentointikaapeli, jossa suojaus on toteutettu muovipäällysteisellä alumiininauhalla, ja sen alla kulkevalla maadoitusjohtimella (Finnparttia, [viitattu 7.3.2021]). Suojauksen ansiosta mahdolliset häiriöt saadaan mittaustuloksissa minimoitua.

Ohjelmoinnin ja antureiden testauksen aikana väliaikaisena virtalähteenä logiikalle käytettiin ulkoista 24 VDC:n virtalähdettä. Lisämoduulit asennettiin Beckhoffin ohjeiden mukaisesti siten, että passiivisia termoparikortteja asennettiin vierekkäin kolmen sijaan kaksi. Tällä varmistettiin sisäisen tiedonsiirtoväylän toimivuus passiivisten termoparikorttien läpi. Taulukossa 2 on kerrottuna moduulijärjestys tarkemmin.

Taulukko 2. Tiedonkeruujärjestelmän moduulijärjestys.

<b>XC81 90</b>	<b>EL10 02</b>	<b>EL20 02</b>	<b>EL12 52</b>	<b>EL91 84</b>	<b>EL33 14</b>	<b>EL33 14</b>	<b>EL30 62</b>	<b>EL30 64</b>	<b>EL33 14</b>
Embedded PC CX8190	DIGITAL INPUT	DIGITAL OUTPUT	DIGITAL INPUT + TIMESTAMP	POWER DISTRIBUTION	TERMOCOUPLE INPUT	TERMOCOUPLE INPUT	ANALOG INPUT	ANALOG INPUT	TERMOCOUPLE INPUT



Kuva 3. Moduulit asennettuna laitekoteloon ja tarvittavat anturit kytkettyinä testausta varten.

## 6.1 Ohjelmointi

Järjestelmän ohjelmointiin käytettiin Beckhoffin Twincat 3 -ohjelmointiympäristöä. Beckhoffin tarjoamaan ohjelman peruspohjaan lisättiin antureihin linkitetyt globaalit muuttujat sekä funktioita, joilla antureilta saatu tieto saadaan muutettua luettavampaan muotoon. Ohjelmankierto asetettiin 10 millisekuntiin. Näin saadaan näytteenottotaajuudeksi 100 Hz. Jokaisella ohjelmakierrolla anturitiedot luetaan mittapisteiltä ja tallennetaan kaksikulotteiseen taulukkoon (kuvio 10). Jokaisen kisavedon jälkeen taulukkoon kerätyt tiedot tallennetaan yhdellä kertaa muistikortille. Seuraavalla kisavedolla taulukkoon kirjoittaminen aloitetaan alusta.

```

10 IF bbuttonState AND bAllowNewMeasurement THEN //start measurements
11
12     LEDOutput :=TRUE;
13     timeStamp1();
14     Index:=Index +1;
15
16     GVL.Mittaukset[Index][1] := GVL.RPMmotor;
17     GVL.Mittaukset[Index][2] := GVL.RPMclutch;
18     GVL.Mittaukset[Index][3] := GVL.pressureFuel;
19     GVL.Mittaukset[Index][4] := GVL.pressureOil;
20     GVL.Mittaukset[Index][5] := GVL.pressureAfterTurbo;
21     GVL.Mittaukset[Index][6] := GVL.pressureAfterCooler;
22     GVL.Mittaukset[Index][7] := GVL.pressureBeforeTurbo;
23     GVL.Mittaukset[Index][8] := GVL.Lambda;
24     GVL.Mittaukset[Index][9] := GVL.TempinletAir;
25     GVL.Mittaukset[Index][10] := GVL.TempTurboAfterAir;
26     GVL.Mittaukset[Index][11] := GVL.TempCoolerAfterAir;
27     GVL.Mittaukset[Index][12] := GVL.Tempcylinder1;
28     GVL.Mittaukset[Index][13] := GVL.Tempcylinder2;
29     GVL.Mittaukset[Index][14] := GVL.Tempcylinder3;
30     GVL.Mittaukset[Index][15] := GVL.Tempcylinder4;
31     GVL.Mittaukset[Index][16] := GVL.Tempcylinder5;
32     GVL.Mittaukset[Index][17] := GVL.Tempcylinder6;
33     GVL.Mittaukset[Index][18] := GVL.TempmotorOil;
34     GVL.Mittaukset[Index][19] := GVL.Tempcoolant;
35

```

Kuvio 10. Globaalien anturitietojen tallentaminen kaksiulotteiseen taulukkoon.

Ohjelmakiertojen aikana järjestelmä vertaa myös jokaisen sylinterin pakolämpötilaa sekä jäähdytysnesteen että öljyn lämpötilaa ennalta annettuihin raja-arvoihin. Mikäli sylinterin pakolämpötila ylittää 1050 °C:een tai nesteen tai öljyn lämpötila 95 °C alkaa punainen LED-valo vilkkumaan merkiksi ylikuumenemisestä (kuvio 11). Hälytys kuitataan painamalla tulokortin kanavaan kaksi kytkettyä Reset alarm -nappia.

```

7
8 IF bbuttonstate THEN
9
10 FOR forIndex1 := 12 TO 17 BY 1 DO // tseking over temperature
11
12     TempValue1 := GVL.Mittaukset[Index][forIndex1];
13     IF TempValue1 > 1050 THEN
14         heatCounter := heatCounter + 1;
15     IF heatCounter > 50 THEN //if over temp lasting more than 0,5 second
16         bOverheat := 1;
17         blinkEnable := TRUE;
18     END_IF
19     END_IF
20 END_FOR
21
22
23 FOR forIndex2 := 18 TO 19 BY 1 DO // tseking over temperature
24     TempValue2 := GVL.Mittaukset[Index][forIndex2];
25     IF TempValue2 > 95 THEN
26         heatCounter := heatCounter + 1;
27     IF heatCounter > 50 THEN //if over temp lasting more than 0,5 second
28         bOverheat := 1;
29         blinkEnable := TRUE;
30     END_IF
31     END_IF
32 END_FOR
33 END_IF
34

```

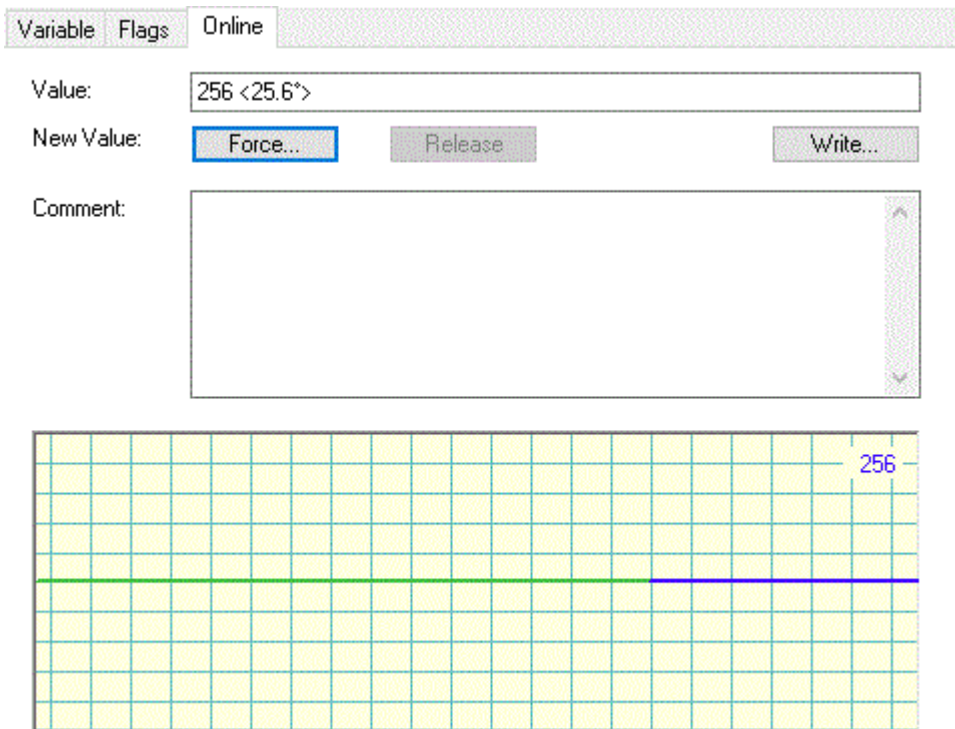
Kuvio 11. Ylikuumentumisen ohjelmallinen seuranta.

## 6.2 Lämpötilan mittaaminen

Traktorin lämpötilatietojen mittaamiseen valikoitui korkean lämmön kestävyytensä ansiosta (1100 °C) K-tyyppin termoparianturi INCONEL® 600 -suojauksella (Tcdirect, [viitattu 30.12.2020]). INCONEL® 600 tarkoittaa metalliseosta, joka on valmistettu nikkelistä, kromista ja raudasta. Korkean nikkelipitoisuutensa ansiosta seos kestää hyvin korroosiota. Kromi puolestaan antaa metalliseokselle ominaisuuden rikkiyhdisteitä ja hapettavia olosuhteita vastaan korkeissa lämpötiloissa sekä syövyttävissä liuksissa. (Special metals, [viitattu 15.2.2020].)

Termopariantureiden lukemiseen Beckhoff toimitti EL3314-tulokortit, jotka oletuksena tukevat K-tyyppin termoparianturia. Mittauksessa lämpötilan vertailupisteinä kortti käyttää omaa

sisäistä lämpötilamittaustaan. Lämpötilakäyrän linearisointi tapahtuu kortin sisäisessä mikrokontrollerissa ennen tiedon lähettämistä keskusyksikölle. (EL3314 | 4-channel thermocouple input terminal, [viitattu 4.3.2021].) Termopariantureiden toimivuus varmistettiin kytkemällä termoparianturi EL3314-tulokortin kanavaan ja lukemalla sen antama lämpötilatieto Twincatin online-välilehdeltä (kuvio 12). Tämän jälkeen EL3314-tulokorttien kanavat linkitettiin näiden globaaleihin muuttujiin liitteen numero 1 mukaisesti (kuvio 13).



Kuvio 12. Lämpötilan lukeminen online-tilassa

Variable	Flags	Online
Name:	Value	
Type:	INT	
Group:	TC Inputs Channel 1	Size: 2.0
Address:	129 (0x81)	User ID: 0
Linked to...	GVL.TempinletAir . PlcTask Inputs . PLC1 Instance . PLC1	
Comment:		
ADS Info:	Port: 11, IGrp: 0x3040010, IOffs: 0x80000081, Len: 2	
Full Name:	TIID^Device 2 (EtherCAT)^Term 1 (EK1200)^Term 6 (EL3314)^TC Inputs C	

Kuvio 13. Sisäänottoilman anturitiedon linkitys globaaliin muuttujaan.

Lämpötila-antureiden jatkoksissa käytettiin K-tyyppin termoparille tarkoitettua jatkokaapelia ja liitintä, joka on valmistettu samoista metalleista kuin itse termoparijohdin (kuva 4) (Farnell [viitattu 4.3.2021]). Toisena vaihtoehtona olisi ollut käyttää kompensointikaapelia, jolla on samankaltaiset ominaisuudet K-tyyppin termopariin nähden, mutta alhaisempi lämmönkestävyys.





Kuva 4. Termoparianturi kytkettynä jatkokaapeliin.

### 6.3 Kierrosten lukeminen

Antureiksi moottorin ja kytkinakselin kierrosluvun mittaamiseen valittiin IFM:n IGS232- ja IGS209-mallin induktiiviset anturit. Anturin valintaan vaikutti yhteensopivuus ajoneuvosovelluksiin sekä korkean suojausluokkansa ansiosta anturin luotettavuus vaativassakin ympäristössä (IFM, [viitattu 25.4.2021]). Moottorin kierrosluvun lukemiseen anturiksi toimeksiantaja suosi uppoasennettavaa IGS232-mallia matalan profiilin vuoksi ja kytkinakselin lukemiseen pidemmällä tuntoetäisyydellä toimivaa pinta-asennettavaa IGS209-anturia. Taulukossa 3 on esitettyä antureiden keskeisimmät tiedot.

Valitut induktiiviset anturit liitettiin EL1252-tulokortin kanaviin 1 ja 5. Anturin ja ohjelman välinen toimivuus varmistettiin liikuttamalla metallista esinettä anturin edessä. EL1252-tulokortissa on erillinen time stamp-ominaisuus, joka aikaleimaa anturien antaman pulssin ja lähettää leiman prosessoitavaksi keskusyksikölle (EL1252 – Digital Input Terminal, [viitattu 4.3.2021]). Keskusyksikössä kahden viimeisimmän aikaleiman välinen erotus lasketaan omassa

funktiossaan. Saadun aikaerotuksen perusteella pystytään laskemaan moottorin ja kytkinakselin kierrosnopeus (kuvio 14). Tulokseksi saatu kierrosnopeus tallennetaan globaalin muuttujan kautta kaksiulotteiseen taulukkoon.

```
1
2 //reading timestamp and conversion
3 IF GVL.TimeStamp_In1 > 0 THEN
4     IF GVL.TimeStamp_In1 <> oldTime1 THEN
5         TimeDiff1 := GVL.TimeStamp_In1 - oldTime1;
6         TimeDiff1_ms := ULINT_TO_LREAL(TimeDiff1) / 1000000.0;
7         TimeDiff1_s := TimeDiff1_ms / 1000.0;
8         Rps1 := 1.0 / TimeDiff1_s;
9         GVL.RPMmotor := LREAL_TO_UINT(Rps1) * 60; // write RPM to variable
10        oldTime1:=GVL.TimeStamp_In1;
11    END_IF
12 END_IF
13
14
```

Kuvio 14. Kierrosnopeuden laskeminen ohjelmassa.

Taulukko3. Induktiivisten antureiden keskeisimmät tiedot (IFM, [viitattu 25.4.2021]).

IFM	IGS232	IGS209
Sähköinen rakenne	PNP	PNP
Lähtötoiminto	sulkeutuva	sulkeutuva
Tuntoetäisyys [mm]	8	12
Mitat [mm]	M18 x 1 / L = 60	M18 x 1 / L = 70
Korjauskerroin	teräs: 1 / ruostumaton teräs: 0,7 / messinki: 0,5 / alumiini: 0,4 / kupari: 0,3	teräs: 1 / ruostumaton teräs: 0,7 / messinki: 0,5 / alumiini: 0,4 / kupari: 0,3
Hystereesi [% Sr:stä]	3...15	3...15
KytKentäpisteen liukuma [% Sr:stä]	-10...10	-10...10
Ympäristölämpötila [°C]	-40...85	-25...70
Suojausluokka	IP 65; IP 66; IP 67; IP 68; IP 69K	IP 67

## 6.4 Paineiden mittaaminen

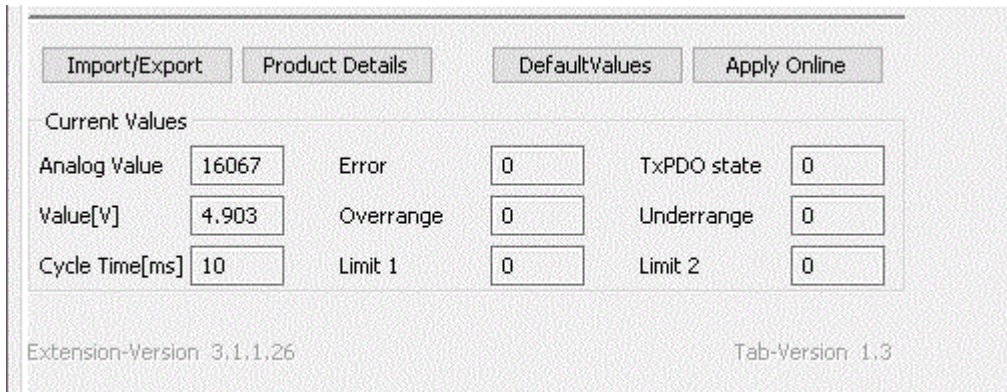
Paineantureiksi valittiin teollisuustasoiset, venymäliuskaan pohjautuvat TC Direct 716-910- (10bar) ja 716-912 (16bar) -koodeilla olevat anturit (Industrial pressure transmitters, [viitattu 7.3.2021]). Jo ohjelmointivaiheessa haluttiin varmistua siitä, että näiden antureiden antama jännitetieto on lineaarinen paineen muutokseen nähden. Tämän varmistamiseen 716-910-paineanturille rakennettiin erillinen suljettu testausalusta, johon kiinnitettiin sähköisen anturin lisäksi myös mekaaninen paineanturi paineen seuraamista varten. Paineen määrää lisättiin ja ohjattiin alustaan asennetun ilmaventtiilin kautta (kuva 5).



Kuva 5. Painetestaukseen rakennettu alusta.

Testauksen aikana alustan painetta muutettiin välillä 0,4–5 bar. Sähköisen paineanturin antama analoginen arvo luettiin Twincatissä EL3062-tulokortin Settings-välilehdeltä (kuvio 15). Mekaanisen ja sähköisen anturin tiedot taulukoitiin jokaisen painemuutoksen jälkeen (taulukko 4). Linearisuutta laskettiin jakamalla sähköisen anturin antama analoginen mittatulos mekaanisesta anturista luettavalla tuloksella. Tämän jälkeen tuloksista piirrettiin kuvaaja (kuvio 16). Mittatarkkuus sähköisellä anturilla koko mittausalueella (0–10 bar) on +/-0,5 %. Antureiden lukemiseen käytettävät tulokortit EL3062 ja EL3064 toimivat mittausalueella 0–10 V, mikä on suoraan yhteensopiva paineantureiden kanssa. 0–+10 V

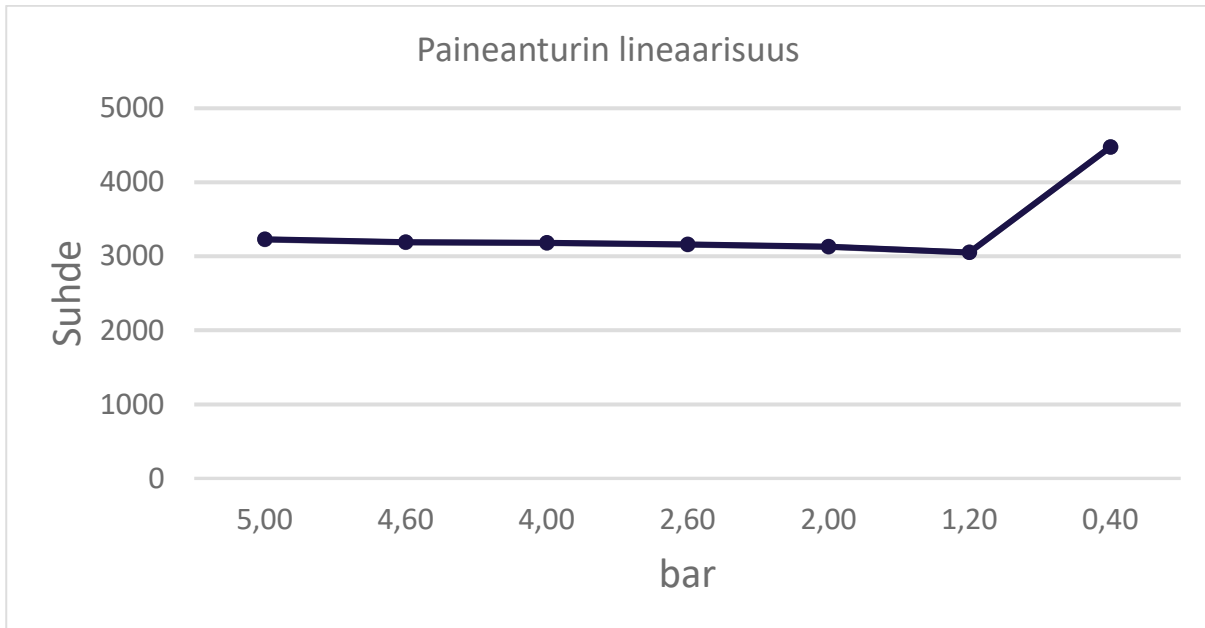
mittausjännitteillä tulokortit palauttavat 16-bittisen desimaaliarvon väliltä 0–32767. (EL30xx - analog input terminals, [viitattu 4.3.2021].)



Kuvio 15. Analogisen arvon lukeminen Settings-välilehdeltä.

Taulukko 4. Mekaanisen ja sähköisen paineanturin tulokset eri paineilla.

Sähköisen anturin analoginen arvo	Mekaanisen anturin arvo (bar)	Suhde (Sähköinen / Mekaaninen)
16130	5	3226
14654	4,6	3185,6
12716	4	3179
8211	2,6	3158,1
6255	2	3127,5
3661	1,2	3050,8
1790	0,4	4475



Kuvio 16. Sähköisen paineanturin lineaarisuus.

Tuloksesta voidaan huomata, että pienemmillä painearvoilla lineaarisuus alkaa kadota antureiden kesken. Lineaarisuuden katoaminen voi johtua myös mekaanisen paineanturin mittausvääristymästä sähköisen anturin sijaan. Mikäli järjestelmän käyttöönottovaiheessa epälineaarisuus varmistuu johtuvan sähköisestä anturista, voidaan vääristymää linearisoida jälkikäteen ohjelmallisesti.

## 6.5 Virtalähde

Rakennettu järjestelmä vaati erillisen jännitemuuntimen nostamaan 12 V:n tasajännite 24 V:n jännitteeksi keskusyksikköä varten (kuva 6). Keskusyksikkö toimii 20,4–28,8 V jännitealueella. Asennusvaiheessa virtalähteeksi traktoriin tullaan asentamaan erillinen 12 V 5 Ah suljettu lyijyaku. Traktorin alkuperäisestä akustosta erotetulla virransyötöllä pyritään minimoimaan järjestelmään kohdistuvat sähköiset häiriöt. Järjestelmän virrankulutukseksi ilman anturointia mitattiin 300 mA. Yksittäisen induktiivisen anturin sekä paineanturin virrankulutukseksi mitattiin keskimäärin 10 mA. Täten aktiivisten antureiden kuluttaman virran suuruudeksi saadaan yhteensä noin 70 mA. Tehoksi muutettuna ( $24 \text{ V} * (300+70 \text{ mA})$ ) järjestelmä vaatii vähintään 8,88 W tehon. Järjestelmää varten valittu jännitemuunnin on teholtaan 40 W (Traco power 2019). Tarkoituksella ylimitoitettu jännitemuunnin mahdollistaa happianturin lisäämisen

järjestelmään toimeksiantajan niin halutessa. Pakokaasun happipitoisuuden mittaaminen tulisi lisäämään järjestelmän tehonkulutusta 18–30 W (Setting up the SM-AFR, [viitattu 4.3.2021]).



Kuva 6. Järjestelmään asennettava 24 V:n jännitemuunnin.

## 6.6 Anturitietojen tallentaminen ja lukeminen

Anturitietojen keräämisessä käytetään kaksiulotteista taulukkoa, johon tiedot vedon aikana tallennetaan jokaisella ohjelmakierrolla. Lähtöviivalla tallennus aloitetaan siitä hetkestä, kun kuljettaja painaa keinukytkimen ON-asentoon. Merkiksi onnistuneesta tallennuksen aloittamisesta vihreä LED-valo syttyy palamaan. Vedon jälkeen tallennus lopetetaan palauttamalla keinukytkin lähtöasentoonsa. Tallentaminen loppuu myös automaattisesti, mikäli 30 sekunnin aikaraja ylittyy. Näin varmistetaan se, että taulukkoon ei pääse kerääntymään vetoajan ulkopuolisia anturitietoja. Aikarajalla varmistutaan myös siitä, että taulukossa ei pääse tapahtumaan ylivuotamista, missä tallennustila loppuisi kesken jumittaen logiikan.

Jokaisen vedon jälkeen kaksiulotteiseen taulukkoon kerätyt anturitiedot tallennetaan väliaikaisen puskuritaulukon (buffer) avulla CSV-muotoiseksi tiedostoksi. Tiedoston nimeksi



kirjoitetaan tallennuksen päivämäärä ja kellonaika. Analysointia varten muistikortilla olevat CSV-tiedostot voidaan kerralla siirtää tietokoneelle käyttäen FTP-yhteyttä (kuvio 17).



Filename	Filesize	Filetype	Last modified
..			
04_03_2021klo19_23_49.csv	318 425	OpenOffic...	03/04/21 21:23:...
04_03_2021klo19_22_59.csv	288 257	OpenOffic...	03/04/21 21:23:...
04_03_2021klo19_12_25.csv	360 249	OpenOffic...	03/04/21 21:12:...
04_03_2021klo19_09_58.csv	288 248	OpenOffic...	03/04/21 21:10:...
04_03_2021klo16_16_31.csv	288 248	OpenOffic...	03/04/21 18:16:...
02_03_2021klo18_05_51.csv	288 248	OpenOffic...	03/02/21 20:05:...
01_03_2021klo17_38_42.csv	288 248	OpenOffic...	03/01/21 19:38:...
28_02_2021klo10_14_01.csv	288 248	OpenOffic...	02/28/21 12:14:...
27_02_2021klo19_12_18.csv	288 248	OpenOffic...	02/27/21 21:12:...
27_02_2021klo17_23_13.csv	288 248	OpenOffic...	02/27/21 19:23:...
27_02_2021klo14_54_10.csv	289 045	OpenOffic...	02/27/21 16:54:...
27_02_2021klo14_53_52.csv	288 248	OpenOffic...	02/27/21 16:53:...

Selected 1 file. Total size: 318 425 bytes

Kuvio 17. FTP-yhteydellä avattu näkymä CSV-tiedostoista.

Tietokoneelle siirretyn CSV-tiedoston toimeksiantaja avaa tähän tarkoitukseen tehdyllä OpenDocument-pohjalla (kuvio 18). Pohjaan on valmiiksi tallennettu analysointia varten tarvittavat kuvaajat jokaista mittauspistettä varten. Nämä kuvaajat lukevat tiedot ennalta määrätyistä OpenDocument-tiedoston soluista ja piirtävät näistä tiedoista grafiikan käyttäjälle.



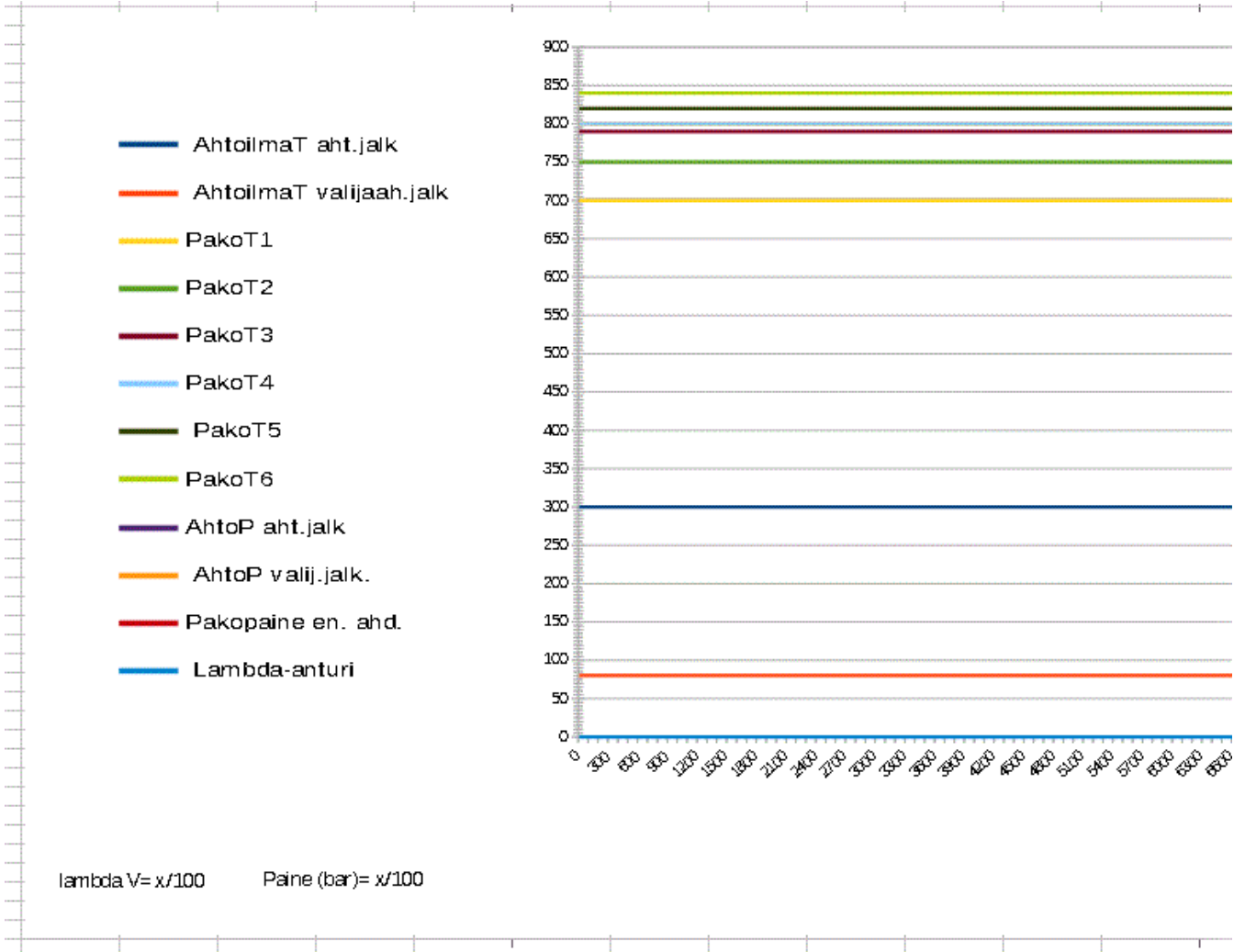
J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
AhtoilmaT aht.jalk	AhtoilmaT valijaah.jalk	PakoT1	PakoT2	PakoT3	PakoT4	PakoT5	PakoT6	Moottoriölj	jaahd.nesT
300	80	700	750	790	800	820	840	950	900
300	80	700	750	790	800	820	840	950	900
300	80	700	750	790	800	820	840	950	900
300	80	700	750	790	800	820	840	950	900
300	80	700	750	790	800	820	840	950	900
300	80	700	750	790	800	820	840	950	900
300	80	700	750	790	800	820	840	950	900

Kuvio 18. OpenDocument-pohjaan tuodut mittatiedot.

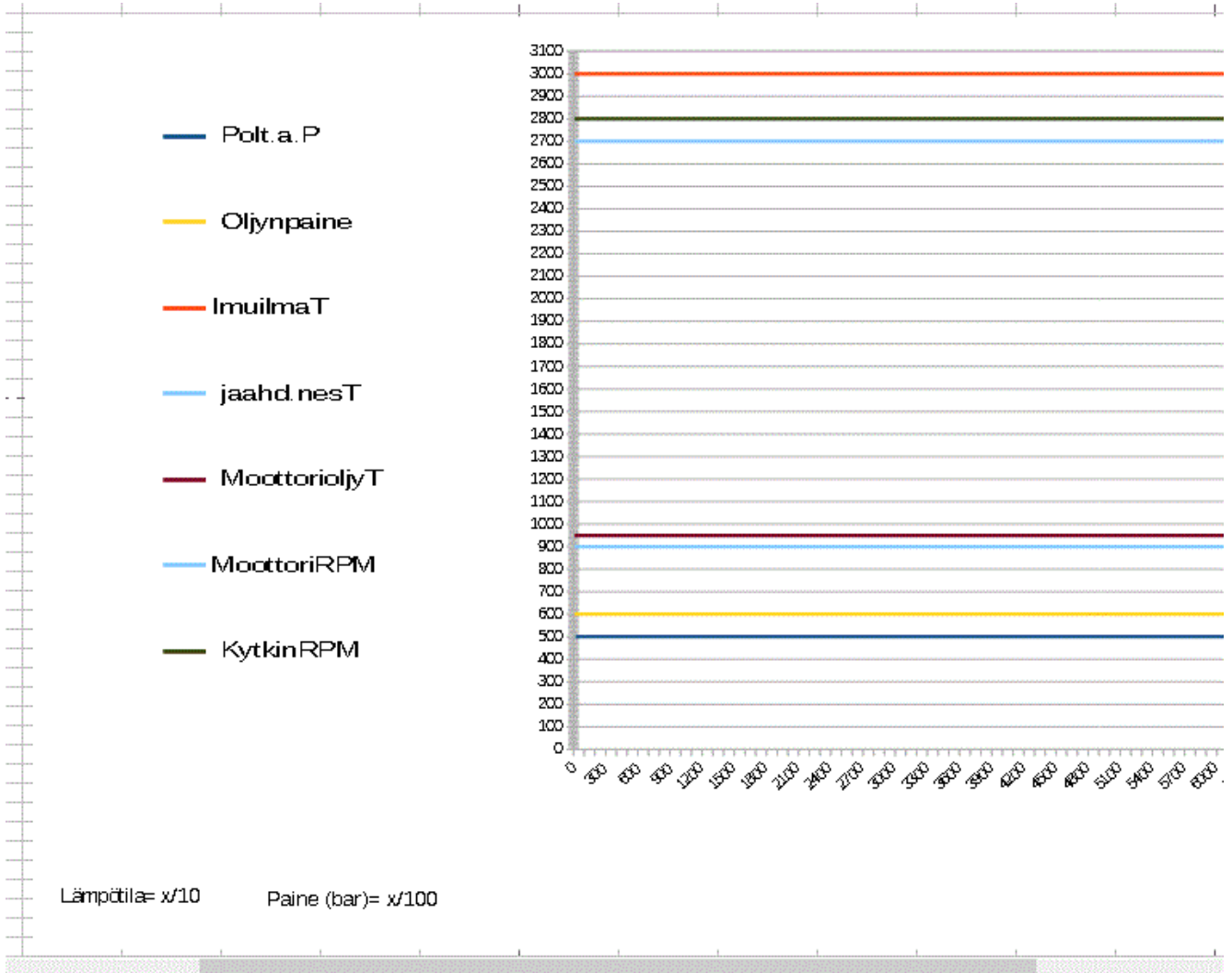
Toimeksiantajan toivomuksen mukaan mittatiedot piirretään kahteen erilliseen kuvaajaan (kuvio 19 ja 20). Paremman luettavuuden vuoksi ensimmäisen kuvaajan paine- ja lambda-arvot on skaalattu 100 kertaiseksi. Toisessa kuvaajassa lämpötilatiedot skaalataan kymmenenkertaiseksi ja paineet satakertaiseksi. Skaalaaminen tapahtuu ohjelmallisesti vedon aikana ennen tiedoston tallentamista muistikortille. Taulukossa 5 on esitetty, miten mittatiedot jaettiin kuvaajien kesken.

Taulukko 5. Mittatietojen jakaminen kuvioihin 1 ja 2.

	Kuvaaja 1	Kuvaaja 2
Lämpötila	<i>Ahtoilma ahtimen jälkeen</i>	Imuilma
	<i>Ahtoilma välijäähdyttimen jälkeen</i>	Moottoriöljy
	<i>Sylinteri 1–6 pakokaasu.</i>	Jäähdytysneste
Paine	<i>Ahtopaine ahtimen jälkeen</i>	Polttoaine
	<i>Pakopaine ennen ahdinta.</i>	Öljy
	<i>Ahtopaine välijäähdyttimen jälkeen</i>	
Kierroluku (RPM)		Moottori
		Kytkinakseli
Seos	Lambda	



Kuvio 19. Mittatiedoista piirretty kuvio 1



Kuvio 20. Mittatiedoista piirretty kuvio 2

## 7 POHDINTA JA YHTEENVETO

Työn tekemistä sujuvoitti toimeksiantajan selkeä kuva siitä, millaisia tietoja traktorista tulisi kerätä. Myös Beckhoffin konsultointiapu sopivien moduulien valinnassa ja ohjelmapohjan tarjoamisessa auttoi työn etenemisessä. Tarvittavat lämpötila- ja paineanturit järjestelmän kehittämistä ja testausta varten saatiin hankittua ulkomailta hyvissä ajoin. Induktiiviset anturit hankittiin kotimaisilta markkinoilta. Puuttumaan jäi vielä kolme paineanturia, jotka tullaan tilaamaan viimeistään järjestelmän asennuksen yhteydessä. Asennettaessa järjestelmää jokainen anturikaapeli tullaan viemään logiikalle erillisen liitinterminaalin kautta. Tämän liitinterminaalin asentaminen tulee tulevaisuudessa osaltaan helpottamaan traktorin huoltotöitä, mikäli traktori joudutaan purkamaan osiin.

Ohjelmallisesti järjestelmään saatiin tehtyä kaikki toivotut ominaisuudet. Alkuperäiseen suunnitelmaan eivät kuuluneet lämpötilahälytykset pakokaasujen ja öljyn sekä jäähdytysnesteen ylikuumenemisesta, vaan ne lisättiin työn edetessä järjestelmään mukaan lisäominaisuutena. Järjestelmän käyttöönototestauksessa ylikuumenemisen raja-arvoja tullaan todennäköisesti myöhemmin vielä tarkentamaan. Käyttöönototestaukset tulevat myöhemmin myös näyttämään täytyykö ohjelmassa kaksiulotteisen taulukon kokoa vielä kasvattaa, mikäli maksimissaan 30 sekunnin tiedonkeräysaika ei tule riittämään.

Toimeksiantaja pidettiin tiiviisti ajan tasalla työn etenemisen aikana. Tarvittavat laitteet ja anturit järjestelmän kehittämiseen hankittiin työn aikana heidän kauttaan. Sopivien antureiden valinnassa tehtiin yhteistyötä mahdollisimman hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Järjestelmän käyttöönoton jälkeen toimeksiantaja tullaan perehdyttämään laitteiston käyttöön sekä siihen, miten mittatiedot saadaan siirrettyä myöhemmin muistitikulta tietokoneelle.

Järjestelmän mittauksissa saattaa kisavedon aikana ilmetä ulkoisten häiriöiden aiheuttamaa mittauskohinaa etenkin termoparien lämpötilamittauksissa, sillä termoparien lämpötilamittaus perustuu niiden itsensä synnyttämään jännitteeseen, joka mitataan vain millivolteissa. Mikäli häiriöitä pääsee syntymään, tullaan termoparien kaapelointi vaihtamaan suojattuun versioon tai kaapelointireitti muuttamaan erilaiseksi. Induktiivisissa ja paineantureissa käytetty NOVAK-HF-instrumentointikaapelin odotetaan suojaavan ulkoisilta häiriöiltä käytönaikana niin, että mittaustuloksiin ei pääse syntymään vääristymiä.

## LÄHTEET

Aumala, O. 2006. Mittaustekniikan perusteet. 13. p. Helsinki: Otatieto.

Beckhoff Automation. Ei päiväystä. Yritys. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.2.2021]. Saatavana: <https://www.beckhoff.com/fi-fi/company/>

EL1252 – Digital Input Terminal. Ei päiväystä. Tulokortti. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.3.2021]. Saatavana: <https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/i-o/ethercat-terminals/el1xxx-digital-input/el1252.html>

EL30xx - analog input terminals. Ei päiväystä. Signed Integer representation. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.3.2021]. Saatavana: <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/el30xx/1709009675.htm&id=>

EL3314 | 4-channel thermocouple input terminal. Tulokortti termopari. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.3.2021]. Saatavana: <https://www.beckhoff.com/en-us/products/i-o/ethercat-terminals/el3xxx-analog-input/el3314.html>

Electronics-notes. Ei päiväystä. Reed relay. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.12.2020]. Saatavana: <https://www.electronics-notes.com/images/relay-reed-basic-concept.svg>

Embedded PC CX1020. Ei päiväystä. CX1020. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.3.2021]. Saatavana: [https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcquickstart/html/tcquickstart\\_sample6.htm&id=4559134457802829104](https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcquickstart/html/tcquickstart_sample6.htm&id=4559134457802829104)

Fiber optic temperature. Ei päiväystä. Optinen lämpötilamittaus. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.3.2021]. Saatavana: <https://www.omega.co.uk/technical-learning/fiber-optic-temperature-measurement.html>

Finnparttia. Ei päiväystä. Instrumentointikaapeli. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.3.2021]. Saatavana: <https://www.finnparttia.fi/NOMAK-2x2x0505>

Grainger Editorial Staff. 11.4.2020. Choosing and Using an Infrared Thermometer. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.2.2021]. Saatavana: <https://www.grainger.com/know-how/equipment-information/kh-370-infrared-thermometers-qt>

Gupta, A.K., Arora S. K. & Riescher Westcott, J. 2017. Industrial Automation and Robotics. [Verkkokirja]. USA: Mercury Learning and Information. [Viitattu 1.1.2021]. Saatavana Knovel-palvelusta. Vaatii käyttöoikeuden.

Hautala, M. & Peltonen, H. 2011. Insinöörin (AMK) FYSIIKKA OSA 1. 10. p. Orimattila: Lakeuden Teho-opetus.

- Hprobe. Ei päiväystä. Hall Effect Sensors. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.4.2021]. Saatavana: <https://www.hprobe.com/sensor-test/>
- Hughes, T. 2015. Measurement and Control Basics: Fifth Edition. [Verkkokirja]. USA: ISA. [Viitattu 1.1.2021]. Saatavana Knovel-palvelusta. Vaatii käyttöoikeuden.
- IFM. Ei päiväystä. Induktiiviset anturit. [Verkkosivu]. [Viitattu 25.4.2021]. Saatavana: [https://www.ifm.com/fi/fi/category/010/010\\_010](https://www.ifm.com/fi/fi/category/010/010_010)
- Ikonen, E., Lehto, A., Wallin, P. & Äijälä, A. 2000. Anturitekniikan perusteita. 3. korjattu p. Espoo: Teollinen korkeakoulu.
- Electronics tutorials. Ei päiväystä. Inductance of a Coil. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.2.2021]. Saatavana: <https://www.electronics-tutorials.ws/inductor/inductance.html>
- Industrial pressure transmitters. Ei päiväystä. Industrial Pressure and Vacuum Transmitters. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.3.2021]. Saatavana: [https://www.tcdirect.co.uk/product\\_2\\_355\\_4](https://www.tcdirect.co.uk/product_2_355_4)
- Infokortti. Ei päiväystä. Induktiiviset anturit. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.3.2021]. Saatavana: <https://www.ifm.com/mounting/1D2226FI.pdf>
- Jaganmohan Reddy, Y. 2015. Industrial Process Automation Systems: Design and Implementation. [Verkkokirja]. USA: Elsevier Inc. [Viitattu 1.1.2021]. Saatavana Knovel-palvelusta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Jokinen I., Ei päiväystä. Lämpöoppi. [Verkkoesitys]. [Viitattu 13.2.2021]. Saatavana: <https://docplayer.fi/6869586-Lampooppi-mita-lampo-on-lampotila-asteikot-lampotilan-ala-ja-ylarajat-copyright-isto-jokinen.html>
- Sarlin. Ei päiväystä. Kappaleen tunnistus ja dimensiointi. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.3.2021]. Saatavana: <https://www.sarlin.com/tuotteet/kappaleen-tunnistus-ja-dimensiointi>
- Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Metso, T. & Putkonen, K. 2001. Koneautomaatio 2: logiikat ja ohjausjärjestelmät. Helsinki: Sanoma Pro.
- Keinänen, T. & Sumujärvi, M. 2019. Automaatiotekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Kippo, A.K. & Tikka, A. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Kumpula, T. 2021. Tallipäällikkö. Honey Bear Pulling Team. Haastattelu 25.1.2021.
- Metropolia. 28.4.2011. Pulssianturit. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.12.2020]. Saatavana: <https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Pulssianturi>
- Metropolia. 30.11.2010. Magneettiset. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.1.2021]. Saatavana: <https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Magneettiset>

- Miten toimii TE-anturi. Ei päivystä. Termoparianturin toiminta. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.12.2021]. Saatavana: <https://www.epicsensors.fi/faq/miten-te-anturi-toimii/>
- Nawrocki, W. J. 2016. Measurement Systems and Sensors: Second Edition. [Verkkokirja]. USA: ARTECH HOUSE. [Viitattu 1.1.2021]. Saatavana Knovel-palvelusta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Omega Engineering Inc. Ei päivystä. Resistance Temperature Detectors. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.12.2020]. Saatavana: <https://www.omega.com/en-us/resources/rtd-vs-thermistors>
- Pihkala, J. 2008. Prosessisuureiden mittaustekniikka. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Radionics Ltd. Ei päivystä. Hall effect sensor. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.2.2021]. Saatavana: <https://ie.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideas-and-advice/hall-effect-sensors-guide>
- Robert Bosch GmbH. 2007. Autojen anturit. Helsinki: Autoalan koulutuskeskus Oy.
- Saarinen P., Ei päivystä. Termopari. [Verkkoesitys]. [Viitattu 13.2.2021]. Saatavana: <https://docplayer.fi/6816154-2-1-yleista-2-2-termopari.html>
- Schneider Electric. 11.20.2020. PNP and NPN 3 wire connection. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.3.2021]. Saatavana: <https://www.se.com/uk/en/faqs/FA142566/>
- Setting up the SM-AFR. Ei päivystä. SM-AFR. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 4.3.2021]. Saatavana: [https://www.plxdevices.com/v/vspfiles/support/user\\_guides/SM-AFRGen2\\_user\\_guide.pdf](https://www.plxdevices.com/v/vspfiles/support/user_guides/SM-AFRGen2_user_guide.pdf)
- Special metals. Ei päivystä. Inconel alloy. [Verkkosivu]. [Viitattu 15.2.2021]. Saatavana: [https://www.haraldpihl.com/globalassets/007\\_inconel-alloy-600.pdf](https://www.haraldpihl.com/globalassets/007_inconel-alloy-600.pdf)
- Tcdirect. Ei päivystä. Insulated Thermocouple. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.12.2020]. Saatavana: [https://www.tcdirect.co.uk/Default.aspx?level=2&department\\_id=190/2#190/2/1](https://www.tcdirect.co.uk/Default.aspx?level=2&department_id=190/2#190/2/1)
- Termoelementtien kaapelistandardit ja -värit. Ei päivystä. kaapelivärit. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.12.2021]. Saatavana: <https://www.epicsensors.fi/tuotteet/kompensointikaapelit/kaapelien-standardityypit-ja-varit/#tab745>
- Farnell. Ei päivystä. Thermocouple connector. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.3.2021]. Saatavana: <https://fi.farnell.com/labfacility/im-k-m-iec/plug-mini-t-c-type-k/dp/7086362>
- Thermocoupleinfo.com. Ei päivystä. Reference Table. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.2.2021]. Saatavana: <https://www.thermocoupleinfo.com/type-k-thermocouple.htm>

Traco Power. 15.8.2019. DC/DC Converter. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 4.3.2021]. Saatavana: [https://www.elfadistelec.fi/Web/Downloads/\\_t/ds/tmdc40\\_eng\\_tds.pdf](https://www.elfadistelec.fi/Web/Downloads/_t/ds/tmdc40_eng_tds.pdf)

TwinCat automation software. Ei päiväystä. PC-based control. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.2.2021]. Saatavana: <https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/automation/twincat/>

Yoder, J. & Morley, D. 2015. The Tao of Measurement: A Philosophical View of Flow and Sensors. [Verkkokirja]. USA: The International Society of Automation. [Viitattu 1.1.2021]. Saatavana Knovel-palvelusta. Vaatii käyttöoikeuden.



## LIITTEET

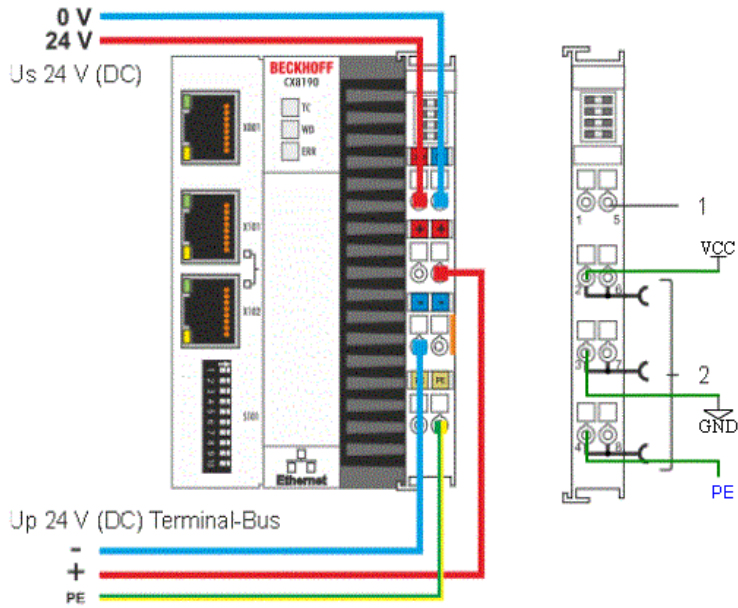
Liite 1. Moduulit ja liitetyt laitteet.

## Liite 1. Moduulit ja liitetyt laitteet

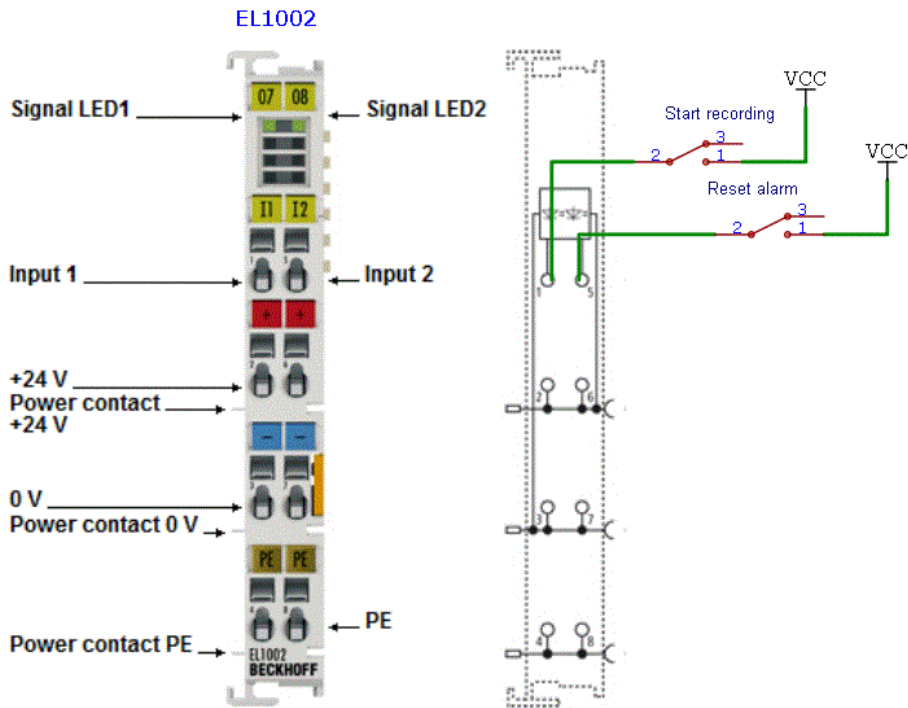
Moduuli / kanava Module / channel	Toiminto Function	Toimilaite / Anturi Actuator / Sensor
CX8190	Keskusyksikkö Embedded PC with different Ethernet protocols	
<b>EL1002</b>	2-channel digital input terminal 24 V DC, 3 ms	
Channel 1	Mittauksen käynnistys (Start recording)	Keinukytkin (Switch)
Channel 2	Ylikuumenemis-hälytyksen kuittaus (Reset over heat alarm)	Painonappi (Momentary button)
<b>EL2002</b>	2-channel digital output terminal 24 V DC, 0.5 A	
Channel 1	Mittaus käynnissä-merkkivalo (Recording ON indicator light)	Vihreä LED-valo (Green LED)
Channel 2	Ylikuumenemisen merkkivalo (Over heat indicator light)	Punainen LED-valo (Red LED)
<b>EL1252</b>	2-channel digital input terminal with timestamping	
Channel 1	Moottori RPM (Motor RPM)	IMF IGS232
Channel 2	Kytkinakseli RPM (Clutch RPM)	IMF IGS209
<b>EL3062</b>	2-channel analog input terminal 0...10 V, single-ended, 12 bit	
Channel 1	Polttoaineen paine (Fuel pressure)	TC Direct 716-910 10 bar
Channel 2	Öljynpaine (Oil pressure)	TC Direct 716-912 16 bar
<b>EL3064</b>	4-channel analog input terminal 0...10 V, single-ended, 12 bit	
Channel 1	Ahtopaine ahtimen jälkeen (Pressure after turbo)	TC Direct 716-910 10 bar
Channel 2	Ahtopaine välijäähdyttimen jälkeen (Pressure after cooler)	TC Direct 716-910 10 bar
Channel 3	Pakopaine ennen ahdinta (Pressure before turbo)	TC Direct 716-910 10 bar
Channel 4	Lambda-anturi (Lambda sensor)	
<b>EL3314 (1)</b>	4-channel thermocouple input terminal with open-circuit recognition	
Channel 1	Imuilman lämpötila (Temperature Inlet air)	TC Direct 408-410 K-type

Channel 2	Ahtoilman lämpötila ahtimen jälkeen (eli ennen välijäähdytintä) (Temperature after turbo)	TC Direct 408-410 K-type
Channel 3	Ahtoilman lämpötila välijäähdyttimen jälkeen (Temperature after cooler)	TC Direct 408-410 K-type
Channel 4	-	
<b>EL3314 (2)</b>	4-channel thermocouple input terminal with open-circuit recognition	
Channel 1	Pakolämpö sylinteri 1 (Temperature exhaust cylinder 1)	TC Direct 408-410 K-type
Channel 2	Pakolämpö sylinteri 2 (Temperature exhaust cylinder 2)	TC Direct 408-410 K-type
Channel 3	Pakolämpö sylinteri 3 (Temperature exhaust cylinder 3)	TC Direct 408-410 K-type
Channel 4	Pakolämpö sylinteri 4 (Temperature exhaust cylinder 4)	TC Direct 408-410 K-type
<b>EL3314 (3)</b>	4-channel thermocouple input terminal with open-circuit recognition	
Channel 1	Pakolämpö sylinteri 5 (Temperature exhaust cylinder 5)	TC Direct 408-410 K-type
Channel 2	Pakolämpö sylinteri 6 (Temperature exhaust cylinder 6)	TC Direct 408-410 K-type
Channel 3	Moottoriöljyn lämpö (Temperature motor oil)	TC Direct 408-410 K-type
Channel 4	Jäähdytinnesteen lämpö (Temperature coolant)	TC Direct 408-410 K-type

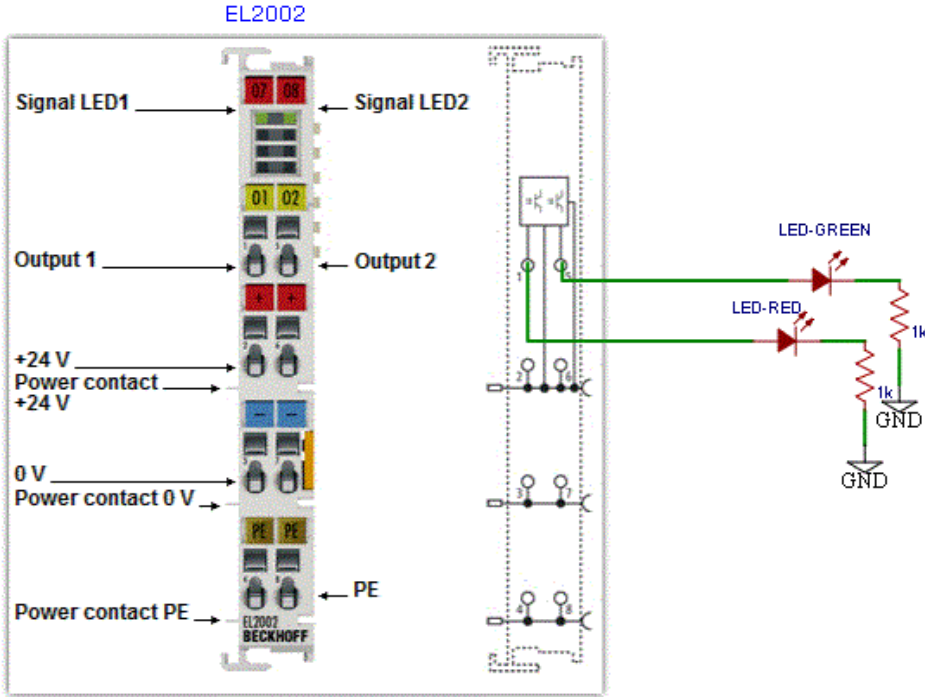
**Connection example**



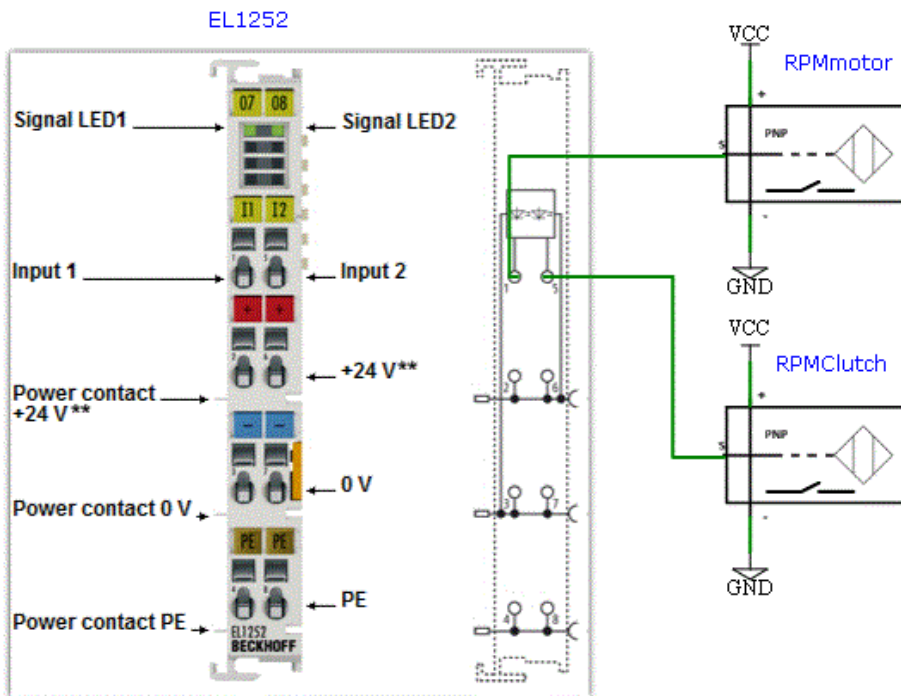
Lähde: <https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/ipc/embedded-pcs/cx8100-arm-cortex-a9/cx8190.html>



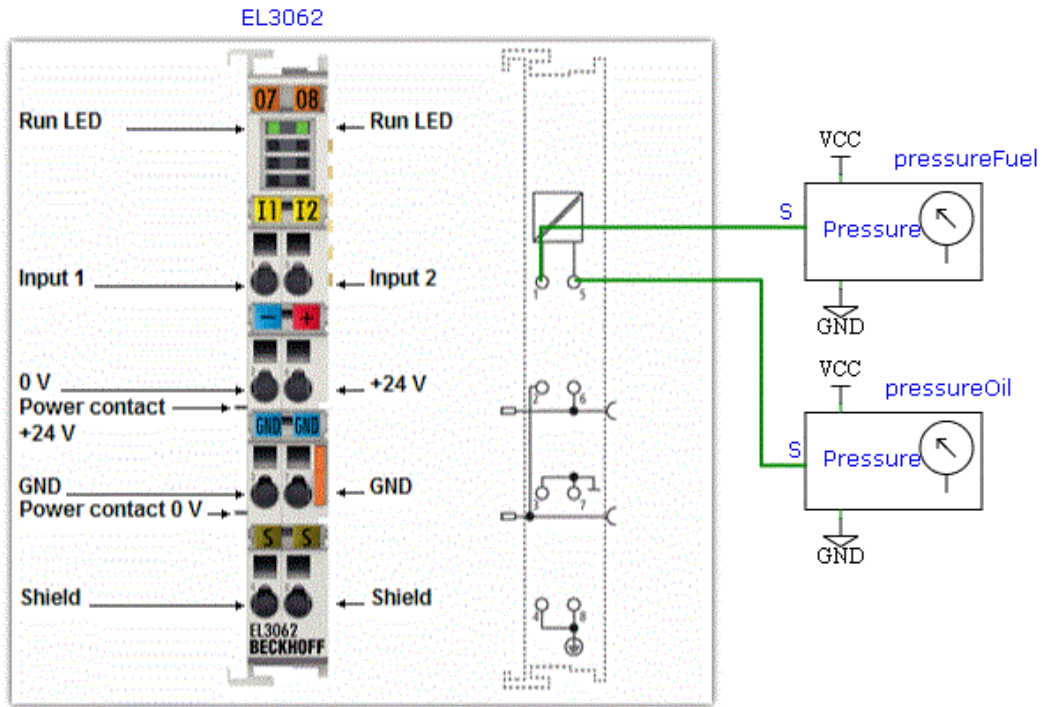
Lähde: <https://www.beckhoff.com/en-us/products/i-o/ethercat-terminals/el1xxx-digital-input/el1002.html>



Lähde: <https://www.beckhoff.com/en-us/products/i-o/ethercat-terminals/el2xxx-digital-output/el2002.html>

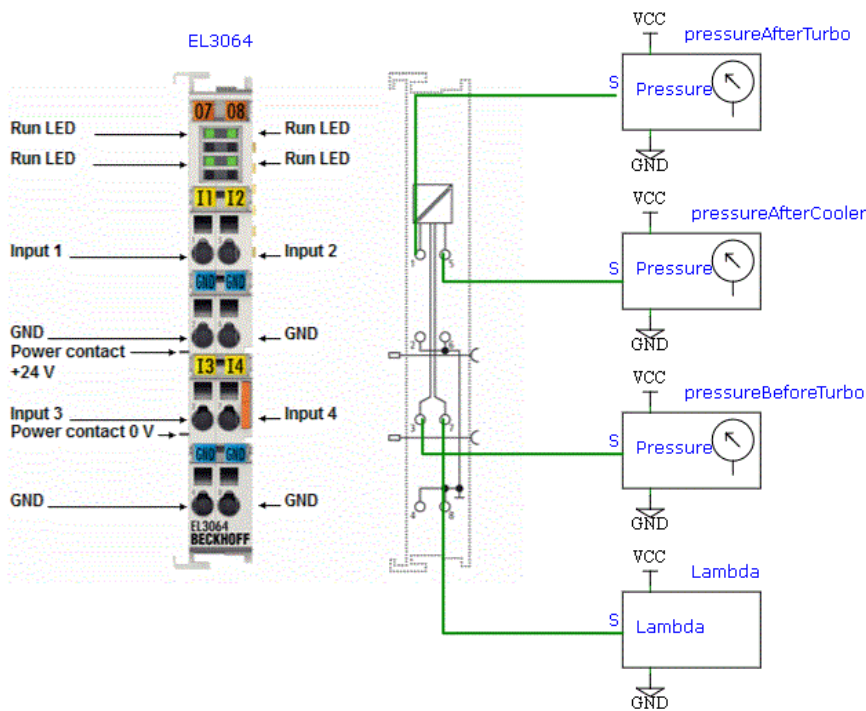


Lähde: <https://www.beckhoff.com/en-us/products/i-o/ethercat-terminals/el1xxx-digital-input/el1252.html>



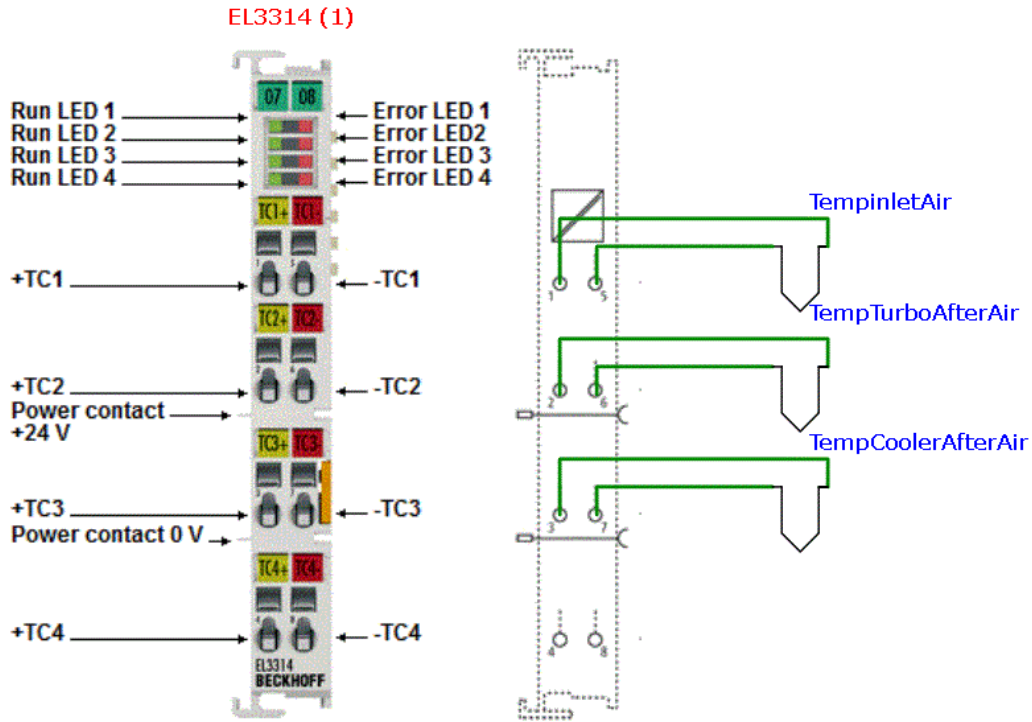
Lähde:

[https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3\\_plc\\_intro/2528329355.html&id=](https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_plc_intro/2528329355.html&id=)

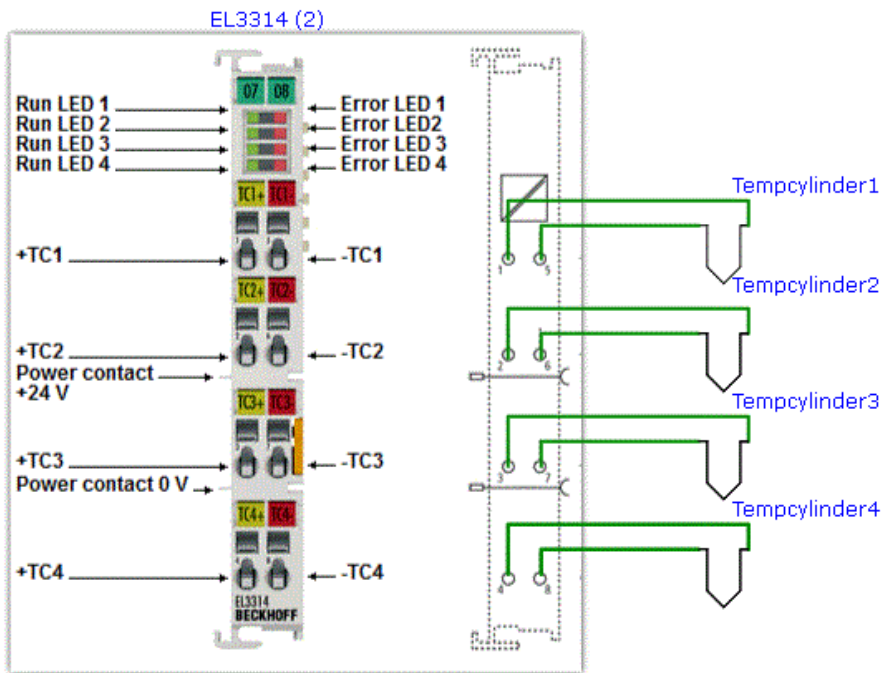


Lähde:

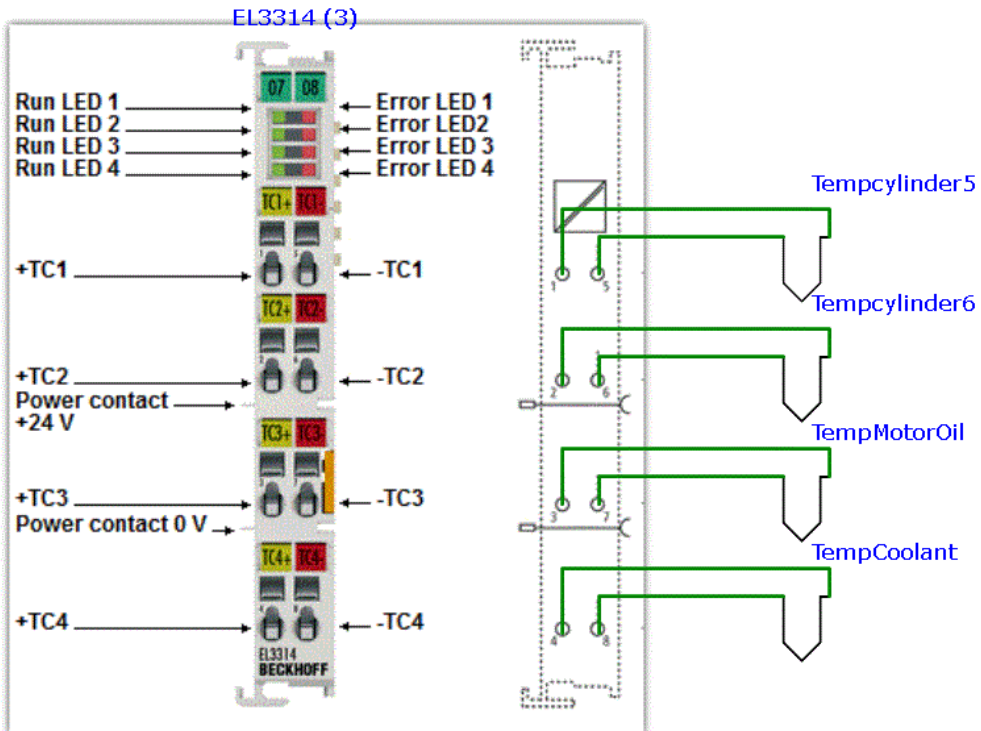
[https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3\\_plc\\_intro/2528329355.html&id=](https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_plc_intro/2528329355.html&id=)



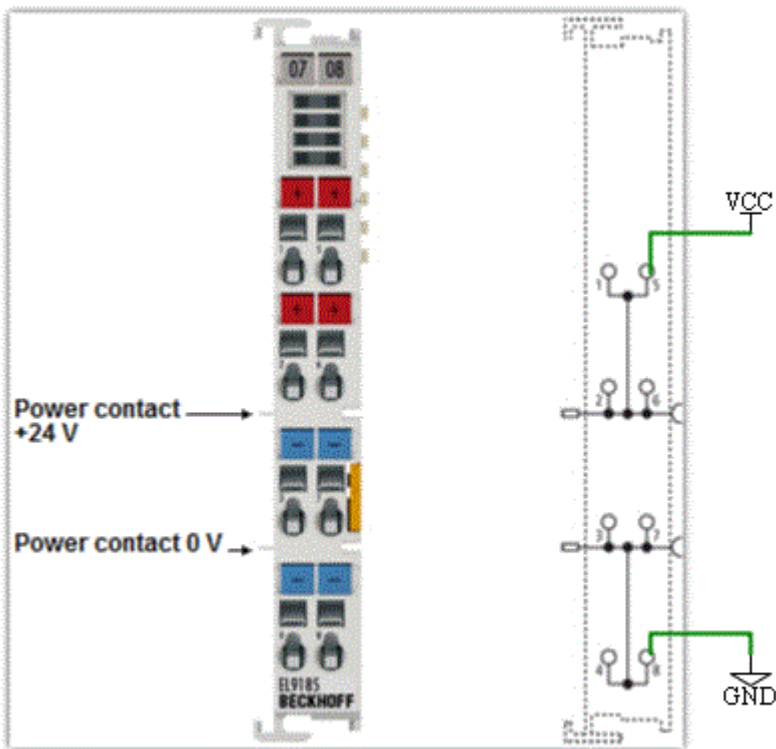
Lähde: [https://infosys.beckhoff.com/content/1033/el33xx/Images/gif/2004520843\\_\\_Web.gif](https://infosys.beckhoff.com/content/1033/el33xx/Images/gif/2004520843__Web.gif)



Lähde: [https://infosys.beckhoff.com/content/1033/el33xx/Images/gif/2004520843\\_\\_Web.gif](https://infosys.beckhoff.com/content/1033/el33xx/Images/gif/2004520843__Web.gif)



Lähde: [https://infosys.beckhoff.com/content/1033/el33xx/Images/gif/2004520843\\_\\_Web.gif](https://infosys.beckhoff.com/content/1033/el33xx/Images/gif/2004520843__Web.gif)



Lähde: [https://infosys.beckhoff.com/content/1033/el9xxx/Images/png/3845205003\\_\\_Web.gif](https://infosys.beckhoff.com/content/1033/el9xxx/Images/png/3845205003__Web.gif)



