



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

**MIKKO KOPONEN**  
**MONITOROINTIMENETELMÄN VALINTA**  
**KAIVOPUMPPAUSLAITTEISTOLLE**  
Diplomityö

Tarkastaja: professori Erno  
Keskinen  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Teknisten tieteiden tiedekunnan  
tiedekuntaneuvoston kokouksessa  
5. maaliskuuta 2014

# TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

**KOPONEN, MIKKO:** Monitorointimenetelmän valinta kaivopumppauslaitteistolle

Diplomityö, 62 sivua

Syyskuu 2014

Pääaine: Koneiden ja järjestelmien suunnittelu

Tarkastaja: professori Erno Keskinen

Avainsanat: Öljy, monitorointi, kunnossapito

Tässä työssä kartoitettiin Wellquip Oy:n jet pump -pumppauslaitteiston monitorointijärjestelmän halutut ominaisuudet ja laitteiston vaatimukset. Tarkoituksena oli aikaansaada taloudellisesti järkevä tuote, joka toteuttaa kaikki kartoitetut järjestelmän ominaisuudet ja laitteiston vaatimukset.

Projektin oli tarkoitus koostua kahdesta vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa piti toteuttaa etämonitorointi ja toisessa vaiheessa etäohjaus. Diplomityön oli tarkoitus käsitellä ensimmäistä vaihetta, mutta logiikan ohjelmoinnin kannalta etäohjaus oli järkevää tehdä jo tässä vaiheessa.

Kokonaisuudessaan työssä onnistuttiin hyvin, ja laitteiston kustannukset ja lisätyöt laitteiston liittämiseksi jo toiminnassa oleviin kontteihin jäivät vähäisiksi.

Monitorointilaitteistoksi valittiin ohjelmoitava logiikka ja samalla todettiin, että laitteiston koko ohjaus olisi taloudellisempaa hoitaa logiikalla releiden sijaan.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

KOPONEN, MIKKO: Choosing the monitoring method for well pumping equipment

Master of Science Thesis, 62 pages

September 2014

Major: Machine design

Examiner: Professor Erno Keskinen

Keywords: Oil, monitoring, maintenance

This thesis studies the desired features and hardware requirements of the monitoring system of Wellquip Oy's jet pump pumping equipment. The goal was to create an economically viable product that implements all of the identified features of the system and hardware requirements.

The project was to consist of two parts. The first part included remote monitoring and the second part remote control. The thesis was to be done out of the first part, but it was rational to realise the second part in this stage, too.

All in all, the work was very successful and the cost and additional work for installing the system to the already working containers were minor.

A programmable logic was chosen as the monitoring system, and at the same time, it was found that the whole control system would be more economical to realise with programmable logic instead of relays.

## ALKUSANAT

Tämä työ tehtiin Porilaisen Wellquip Oy:n jet pump -öljynpumppauslaitteen monitoroinnin tarpeiden selvittämiseksi ja taloudellisen ratkaisun löytämiseksi.

Haluan kiittää Wellquip Oy:n toimitusjohtajaa ja omistajaa Sakari Ojaa tästä mahdollisuudesta. Kiitokset myös Jani Ekmanille, joka toimi projektipäällikkönä tässä projektissa.

Lopuksi haluan kiittää vaimoani jaksamisesta koko opiskelujeni aikana sillä ilman hänen tukeaan ei tämä työkään olisi valmistunut ja siskoani oikolukemisesta.

# SISÄLLYS

1	Johdanto.....	1
1.1	Jet pump -laitteisto.....	1
1.2	Tehtävän määrittely.....	2
1.3	Työn tavoitteet.....	2
2	Wellquip Oy.....	3
3	Öljy.....	4
3.1	Öljyn etsiminen.....	5
3.2	Öljyn poraus ja pumppaus.....	7
4	Monitorointi.....	10
4.1	Etämonitorointi.....	12
4.2	Monitorointi ja organisaation eri osa-alueiden intressit.....	13
4.2.1	Kunnossapito.....	13
4.2.2	Suunnittelu ja tuotekehitys.....	14
4.2.3	Markkinointi.....	14
4.2.4	Asiakas.....	14
5	Kunnossapito.....	15
5.1	Kunnossapitostrategiat.....	16
5.1.1	Korjaava kunnossapito.....	16
5.1.2	Ennakoiva kunnossapito.....	17
5.1.3	Parantava kunnossapito.....	19
5.2	Kunnonvalvonta.....	19
5.2.1	Kunnonvalvonnan vaiheet.....	23
6	Vikamonitorointi.....	24
6.1	Matalataajuiset värähtelyt.....	24
6.1.1	Värähtelyn kokonaistaso ja amplitudijakauma.....	24
6.1.2	Aikatason analyysi.....	25
6.1.3	Spektrianalyysi.....	27
6.2	Korkeataajuiset värähtelymittaukset.....	28
6.2.1	Iskusysäys.....	28
6.2.2	Ultraääni.....	30
6.2.3	Akustinen emissio.....	30
6.2.4	SEE.....	32
6.3	Lämpökamerakuvaus.....	33
7	Monitorointilaitteisto.....	34
7.1	Anturit.....	34
7.2	Tiedonsiirto.....	34
7.2.1	Kenttäväylät.....	35
7.2.2	Langaton tiedonsiirto.....	38

7.3	Ohjelmat.....	39
8	Monitorointilaitteiston vaatimukset ja ratkaisuvaihtoehdot.....	44
8.1	Laitteiston vaatimukset.....	44
8.2	Tarkkailtavat kohteet.....	45
8.3	Peruslähtötiedot.....	45
	8.3.1 Yleistä.....	45
	8.3.2 Monitorointi ja tallennus.....	46
	8.3.3 Ohjaus.....	47
9	ratkaisuvaihtoehdot.....	48
9.1	Hajautettu I/O -pohjainen järjestelmä.....	48
9.2	Dataloggeripohjainen järjestelmä.....	49
9.3	I/O-korttipohjainen järjestelmä.....	49
9.4	Ohjelmitava logiikka käyttäen SCADA-ohjelmaa.....	50
10	Valittu menetelmä.....	52
10.1	Tarvittavat PLC-komponentit.....	52
10.2	Ohjelmisto.....	53
11	Johtopäätökset.....	58
	Lähteet.....	59

# 1 JOHDANTO

Joissain tapauksissa maalla sijaitsevista öljylähteistä ei saada perinteisellä pumppaustekniikalla kustannustehokkaasti talteen kuin noin 25–30 prosenttia öljystä [1] [2]. Wellquip Oy on suunnitellut uuden tuotteen, jolla vanhoista valmiiksi poratuista ja normaalilla pumppaustekniikalla tyhjennetyistä lähteistä saadaan vielä pumpattua niin, että saatu kokonaismäärä voidaan jopa tuplata. Kaivoon johdetaan vettä niin että maahan muodostuu ylipaine, samalla pumpun avulla muodostetaan alipaine imujärjestelmään, ja näin saadaan maahan sitoutunut öljy liikkeelle.

Teoria ei ole uusi, ja samantapaisia jo pumpattujen kaivojen hyötysuhteen parannukseen tähtääviä tekniikoita on muitakin. Koska nykyään uudet öljylähteet sijaitsevat usein vaikeissa ja kalliisti pumpattavissa paikoissa, kuten syvällä merenpohjassa, on valmiiden kaivojen käyttö kiinnostavaa, sillä pumppaus voidaan aloittaa lähes heti laitteiston saavuttua paikan päälle.

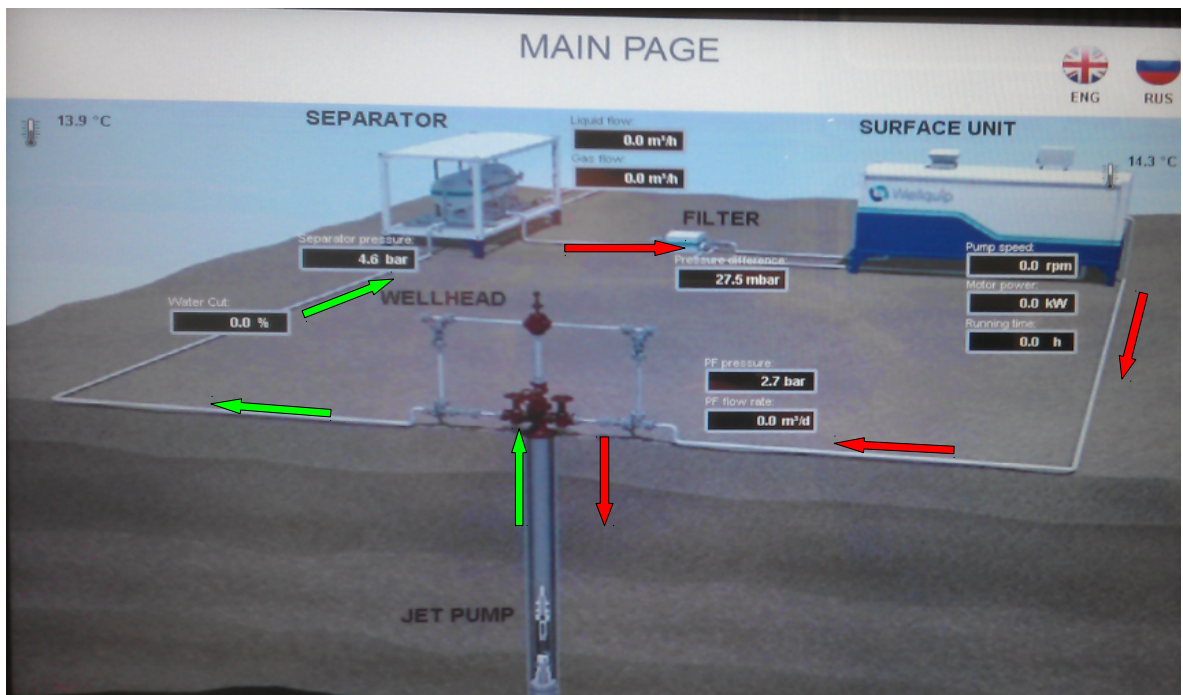
Uusi laitteisto on täysin toimintakykyinen, ja niitä on jo käytössä, mutta siinä ei ole mitään etävalvonta- tai etäohjausjärjestelmää. Tällä hetkellä laitteiston tilan tarkastus onnistuu vain fyysisesti paikan päällä antureiden ja mittalaitteiden mittareista.

## 1.1 Jet pump -laitteisto

Pumppauslaitteisto on esitetty kuvassa 1.1. Se koostuu neljästä erillisestä yksiköstä: pumppukontista, wellheadista, separaattorista ja suodatinyksiköstä.

Pumppukontissa on pumppu ja moottori tai mahdollisesti kaksi kappaletta kumpiakin, tarvittavat käyttölaitteet, kuten taajuusmuuttaja (kahden pumpun yksikössä näitäkin on kummallekin moottorille omansa), sekä mahdolliset palosammutuslaitteet ja monitorointilaitteistot. Wellhead sisältää öljykaivon putkistot, venttiilit ja down hole -laitteet. Wellhead on useimmiten jo kaivolla oleva asiakkaan oma laite, jonka sisään asennetaan down hole -laitteet. Separaattorissa eritellään kaasu ja öljy asiakkaan myyntilinjoihin ja otetaan työneste takaisin kierto. Osa kaivosta nousevasta hiekasta jää separaattorin pohjalle osan jatkaessa eteenpäin. Suodatinyksiköllä suodatetaan hiekkaa, joka on lähtenyt työnesteen mukana kierto.

Työnesteen kannalta järjestelmä on lähellä suljettua systeemiä. Ideaalisessa tilanteessa työneste kiertää koko ajan järjestelmässä, mutta todellisuudessa sitä poistuu suodatushiekan, mahdollisten vuotojen takia ja asiakkaan myyntilinjaan. Yleensä hävinnyt työneste korvautuu kaivosta nousevalla vedellä tai öljyllä.



**Kuva 1.1.** Kuva on logiikan ohjauspaneelin pääikkuna, ja siihen on kuvattu työnesteen kierto. Punainen nuoli on työneste ja vihreä nuoli on kaivosta nouseva työneste, öljy ja kaasu.

## 1.2 Tehtävän määrittely

Työ tehdään osana ulkopuolisesti rahoitettua projektia, joka on jatkoa jet pump -teknologiaan perustuvan pumppausjärjestelmän tuotteistamisprojektille. Työn tavoitteena on kartoittaa kaikki tarkkailtavat kohteet käyttäen jo olemassa olevia laitteita mahdollisuuksien mukaan. Koko projekti koostuu kahdesta eri vaiheesta. Järjestelmän halutaan ensimmäisessä vaiheessa toteuttavan etävalvonnan, mutta säilyttää mahdollisuus järjestelmän päivityksen avulla siirtyä toisessa vaiheessa toteutettavaan etäohjaukseen. Tässä työssä keskitytään ensimmäisen vaiheen tarpeisiin, mutta ratkaisuvaihtoehtoissa on otettava huomioon se, etteivät ne poissulje toisen vaiheen tarpeita.

## 1.3 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on löytää vaihtoehtoisia ratkaisuja jet pump -laitteiston etämonitorointiin ja -ohjaukseen. Ratkaisuvaihtoehtojen tulee täyttää ne kriteerit, jotka saadaan laitteiston tarpeiden ja järjestelmän haluttujen ominaisuuksien kartoituksessa. Laitteiston tulisi olla toteutettavissa eikä pelkästään teorettinen ratkaisu. Sen komponenttien tulisi olla valmistajien standardiosia kustannusten minimoimiseksi.



## 2 WELLQUIP OY

Wellquip on porilainen vuonna 2002 perustettu osakeyhtiö, jonka perustaja ja toimitusjohtaja on Sakari Oja. Wellquip Oy tarjoaa asiakkailleen asiantuntemuspalveluja öljy-, kaasu- ja laivanrakennusteollisuudessa.

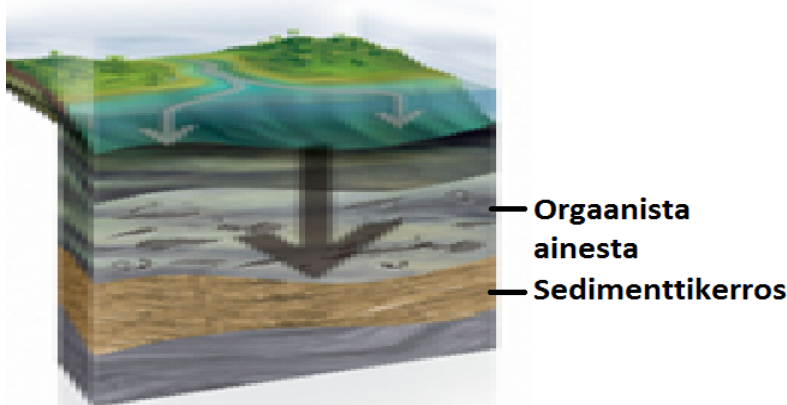
Wellquipin tuotteita ovat muun muassa tankkien sekoittimet, palopellit, laivojen ja lauttojen hyttien ilmastointijärjestelmät, ventilaatiopumput sekä varaosien toimitus ja suunnittelu. Wellquipin henkilöstömäärä on kasvanut tasaisesti perustamisesta lähtien, mutta uuden tuotteen, jet pumpin, kehityksen jälkeen työvoiman tarve on noussut erittäin voimakkaasti. Jet pump -laitteistot kootaan Porissa, josta ne kuljetetaan junalla asiakkaalle. Yrityksen pääasialliset asiakkaat ovat Itä-Euroopan ja Aasian alueen öljyvaltiot.

Wellquipin tulevaisuus näyttää valoisalta, varsinkin uuden jet pump -laitteiston hyvän ja kasvavan kysynnän myötä. Suurimmat haasteet liittyvätkin todennäköisimmin kasvun hillittyyn kehitykseen ja tuotantovarmuuden hallintaan kasvavan kysynnän markkinoilla.

## 3 ÖLJY

Itse jet pump -laitteiston tarpeellisuuden ja sen kysynnän ymmärtämiseksi käsitellään ensin perinteistä öljynpumppausta ja sitä, mitä tapahtuu ennen kuin öljyä päästään pumppaamaan.

Öljystä puhuttaessa puhutaan yleensä raakaöljystä, joka on fossiilinen polttoaine ja monien jalostustuotteiden raaka-aine. Se on muodostunut eläinten ja kasvien jäänteistä, pääosin pienistä eliöistä, eli eläin- ja kasviplanktonista. Eliöt, joista öljy on muodostunut, elivät muinaismerissä 10–600 miljoonaa vuotta sitten. Kuollut plankton vajosi merenpohjan hiekkaan ja mutaan, ja vuosien aikana se hajosi vähähappisiin sedimenttikerrokseen, kuten kuva 3.1 esittää. Erilaiset mikroeliöt muodostivat planktonin jäänteistä orgaanisia, runsashiilyhdistepitoisia kerroksia.

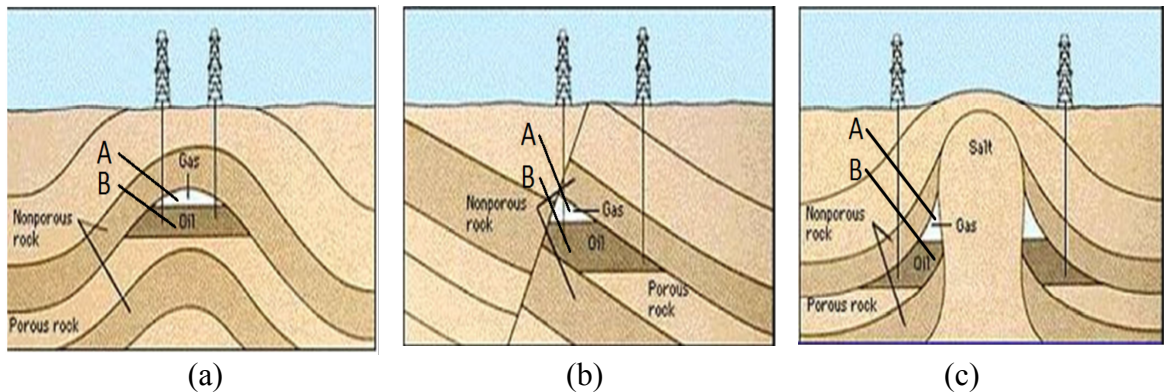


**Kuva 3.1.** Raakaöljyn ja maakaasun muodostuminen.

[2]

Raakaöljyn laatu ja ominaisuudet vaihtelevat suuresti – niihin vaikuttavat sen muodostumisolosuhteet ja sen orgaaninen muodostumismateriaali. Kun sedimenttiin sekoittui orgaanista materiaalia, muodostui hienojakoista savikiveä, ja uusien kerrosten muodostuessa alempiin kerroksiin kohdistui suuri paine ja lämpötila. Paineen ja lämpötilan vaikutuksesta savikiven orgaaninen materiaali tislautui raakaöljyksi ja maakaasuksi. Kun öljy poistui savikivestä, se kerääntyi huokoisempaan kalkkikiveen tai hiekkakiveen. Maankuoren liikkeet vangitsivat raakaöljyn ja maakaasun läpäisemättömien kerroksien väliin taskuihin. Tämänkaltaisia maakerroksia ovat esimerkiksi graniitti tai marmori. Kuvassa 3.2 on esitetty erilaisia tapoja, miten öljy jää vangiksi maakerrosten väliin. Kuvassa 3.2(a) on maa-aineen vaakasuuntaisesta siirtymästä muodostunut pullistuma, johon öljy ja kaasu on kerääntynyt. Kuvassa 3.2(b)

tasku on muodostunut maa-aineksen pystysuuntaisesta siirtymästä ja kuvassa 3.2(c) alemman kerroksen maa-aineksen tunkeutuessa kohti maanpintaa.



**Kuva 3.2.** Erilaisia tapoja öljyn varastoitumiseksi maakerrokseen. A on maakaasu ja B on raakaöljy.

[3]

Koska raakaöljyn kemiallinen koostumus ja ominaisuudet, kuten viskositeetti, vaihtelevat, on jokin raakaöljy haluttavampaa kuin jokin toinen. Raakaöljyä pitää jalostaa, jotta siitä saataisiin erotettua sen useat eri osat, kuten kevyempi yhdiste, josta voidaan jalostaa polttoaineita, ja raskaampia yhdisteitä, kuten bitumi ja hartsit, joilla on omat käyttötarkoituksensa. [3] [4]

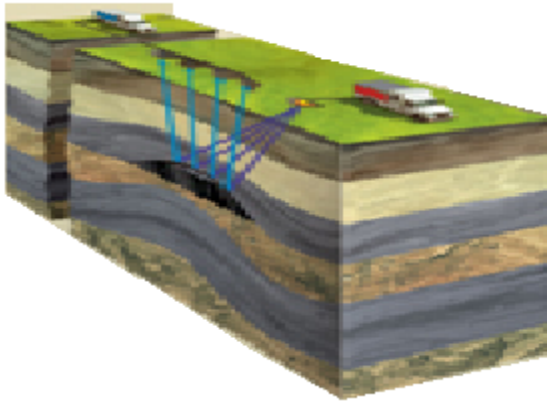
### 3.1 Öljyn etsiminen

Öljyn etsinnässä tarvitaan geologista tuntemusta. Geologien tehtävänä on etsiä sopivia paikkoja, joista voitaisiin mahdollisesti löytää öljyä. Tällaisia paikkoja ovat alueet, jotka koostuvat oikeista kivilajeista ja kerrostumista.

Ensimmäisiä geologien käyttämiä tapoja öljyn etsimiseen oli tehdä johtopäätöksiä pelkästään maanpäälliskerroksen kivien ja tyyppin mukaan. He saattoivat myös tehdä joitain matalia porauksia maaperän tutkimiseksi. Nykyään geologit tarkastavat maaperän tyyppin satelliittikuvien avulla, mutta he käyttävät sen lisäksi myös paljon muita menetelmiä. Öljyn etsinnässä voidaan käyttää tarkkoja painovoimamittareita, joilla voi tarkkailla maan painovoimakentän muutoksia. Nämä muutokset voivat olla merkki virtaavan öljyn liikkeistä. Geologit käyttävät myös tarkkoja magnetomittareita mitataksaan pieniä muutoksia maan magneettikentässä. Myös nämä muutokset voivat olla merkki virtaavasta öljystä. Nykyään voidaan käyttää hiilivetyjen paikantamiseen tarkkoja elektronisia neniä, joilla voidaan haistaa mahdolliset öljylähteet maaperän lisääntyneiden hiilivety-yhdisteiden avulla.

Nykyaikana yleisin tapa on kuitenkin seismologiset mittaukset. Tällä menetelmällä aikaansaadaan shokkiaalto, joka kulkee maan sisällä ja kimpoaa takaisin pintaan. Maalla shokkiaallot aikaansaadaan iskemällä raskailta levyillä maahan tai poraamalla reikä

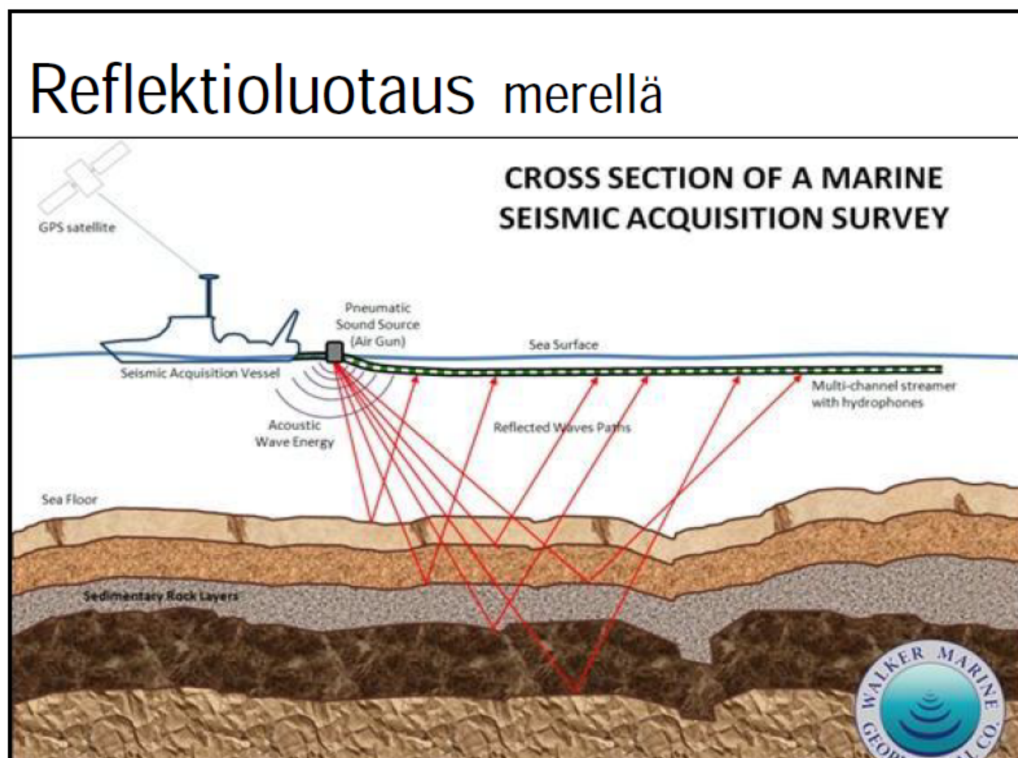
maahan räjähteelle, joka räjäytetään ja näin aikaansaadaan shokkiaalto. Kuvassa 3.3 esitetään tämänkaltainen operaatio.



**Kuva 3.3.** Shokkiaallon mittaus maalla.

[2]

Merellä räjähdettä voidaan heittää veteen tai käyttää voimakasta paineilmatykkiä kuten kuvassa 3.4. Kimmonneet paineaallot kulkevat erilaista nopeutta riippuen siitä, millaisen ja kuinka tiheän maa-aineen läpi ne liikkuvat. Heijasteet havaitaan mikrofoniin tai värähtelymittarien avulla. Seismologi tutkii tuloksia ja etsii niistä merkkejä öljy- ja kaasuesiintymistä.



**Kuva 3.3.** Shokkiaallon mittaus merellä.

[4]

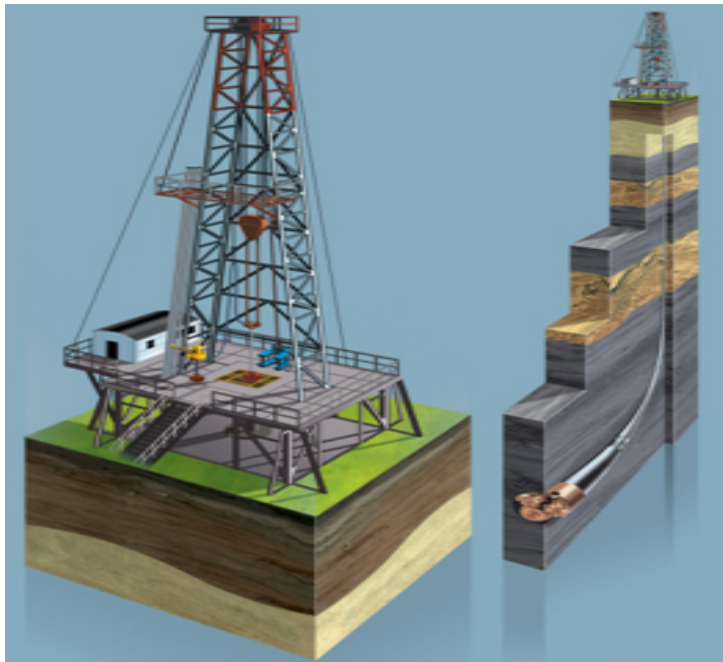
Nykyaikaisilla menetelmillä todennäköisyys uuden öljykentän löytämiselle on noin kymmenen prosentin luokkaa, vaikka menetelmät ovat kehittyneet huomattavasti. Kun mahdollinen öljykenttä on löydetty, merkitään sen GPS-koordinaatit. [3] [4] [5]

### 3.2 Öljyn poraus ja pumppaus

Uuden porauspaikan valinnan jälkeen sen rajat ja rajoitukset pitää kartoittaa tarkkaan. Luonnolle aiheutuvien rasitusten suuruus porauksesta ja pumppauksesta tulee tutkia huolellisesti ja juridiset maan omistusoikeudet selvittää. Porauspaikan vuokra-asioista sopimisen lisäksi on sovittava kulkuyhteydestä pumppauspaikalle sekä selvitettävä sen ympäristövaikutukset.

Kun lakiasiat on saatu järjestettyä, voidaan porauspaikkaa alkaa valmistella. Se pitää tasoittaa ja tarvittaessa pitää rakentaa tieverkosto. Jos porauspaikalla ei ole luonnollista vesilähdettä, esimerkiksi järveä tai jokea, josta saataisiin porauksessa tarvittava vesi, sinne pitää rakentaa kaivo. Jos paikka ei ole ekologisesti hauras, voidaan kaivaa kuoppa, joka vuorataan muovilla. Tähän kuoppaan sijoitetaan porauksen aikana syntyvä kivimurska ja muta. Jos paikka on ekologisesti hauras, kuoppaaminen ei ole sallittua, vaan kaikki porausjäte pitää viedä pois porauspaikalta turvalliseen sijoituspaikkaan.

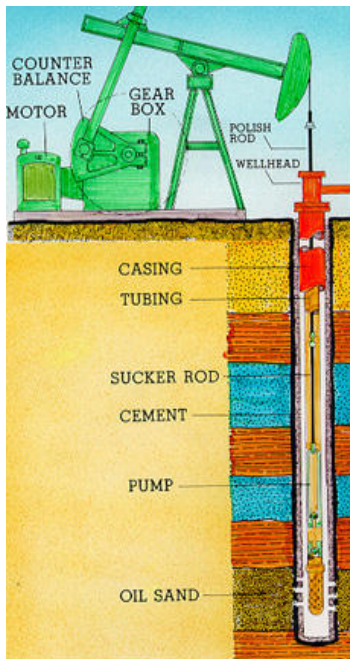
Paikan tasoittamisen ja logististen asioiden hoitamisen jälkeen voidaan aloittaa poraamaan reikiä, joihin öljynporaustorni tuetaan ja kiinnitetään. Ensin porataan leveämpi ja matalampi reikä käyttäen jotain kevyempää porauslaitteistoa itse tornin sijaan. Maahan porataan vielä joitain ylimääräisiä reikiä, joihin varastoidaan tarvikkeita. Riippuen porauspaikan sijainnista laitteistot voidaan tuoda sinne esimerkiksi rekoilla tai helikoptereilla ja pystyttää öljynporaustorni. Kuvassa 3.4 on öljynporaustorni ja poikkileikkaus porauksesta. Poran pyörimisnopeus voi olla jopa yli 250 kierrosta minuutissa, ja sitä pitää jäähdyttää pumppaamalla porausmutaa sen onttoon keskiosaan. Porausmudan koostumus on erittäin tärkeässä asemassa; sen viskositeetti ei saa olla liian pieni eikä suuri. Jos viskositeetti on liian pieni, muta poistuu porausreiästä maaperään, jos se taas on liian suuri, porareian seinämiin siirtyy liikaa voimaa. Tämä voi tukkia kaivon niin, että öljy ei pääse virtaamaan sisään.



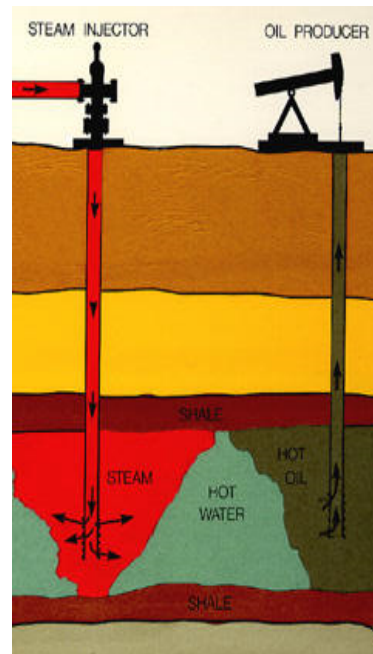
**Kuva 3.4.** Öljynporaustorni ja poikkileikkaus porauksesta.

[2]

Kun poraus on lopetettu ja poraustorni poistettu, voidaan alkaa öljynpumppaus, kuva 3.5(a). Joskus öljyn viskositeetti on liian suuri, jotta sitä voitaisiin pumpata. Tällaisissa tapauksissa täytyy porata uusi reikä, josta johdetaan maahan kuumaa höyryä öljyn viskositeetin pienentämiseksi. Tämä on esitetty kuvassa 3.5(b) [3] [4] [5].



(a)



(b)

**Kuva 3.5.** (a) Öljyn pumppaus ja (b) enhanced oil recovery eli parannettu öljynpumppaus.

[2]

Wellquipin jet pump -laitteisto voidaan asentaa suoraan vanhaan kaivoon, mikäli se ei ole liian huonossa kunnossa. Näin säästytään kokonaan poraamisvaiheelta. Jet pump käyttää paineistettua vettä öljyn virtauksen tehostamiseksi, mutta ylimääräisiä reikiä maahan ei tarvitse porata. Laitteiston tehokkuus riippuu tietenkin lähteen laadusta ja siitä, mitä tekniikoita siihen on jo käytetty saannin maksimoimiseksi.

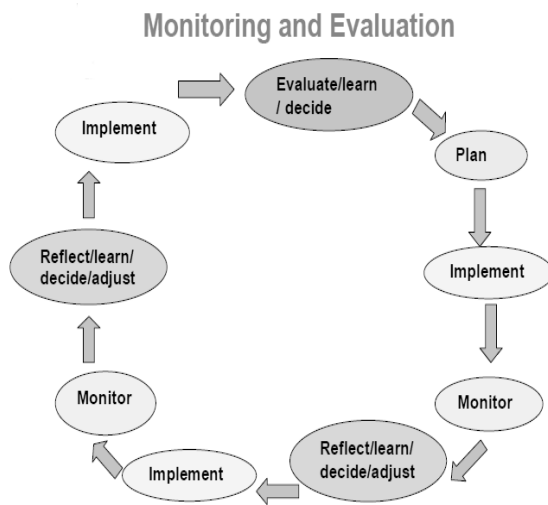
## 4 MONITOROINTI

Monitorointi ei ole yksiselitteinen käsite. Periaatteessa se tarkoittaa jonkin asian valvontaa, teollisuudessa käytetään esimerkiksi käynninmonitorointia eli käynninseurantaa tai kunnonmonitorointia eli kunnonvalvontaa. Käynninseuranta on koneen toimintojen mittaamista ja mittaustulosten käyttämistä koneen ohjaamiseen ja säätämiseen, niin että sitä saadaan käytettyä parhaalla mahdollisella teholla. Käynninseurantajärjestelmällä pyritään siis saamaan maksimikapasiteetti, mutta säilyttämään tasainen käynti ja vaadittu tuotteen tai tuotannon laatu ja luotettavuus. Voidaankin sanoa, että kunnonvalvonnalla etsitään laitteeseen muodostuvia vikoja ja käynninseurannalla ohjataan prosessin toimintaa. Kunnonvalvontaa on käsitelty tarkemmin luvussa 5.2. Usein monitoroinnin kanssa puhutaan muistakin määritelmistä, kuten monitoroinnista saatujen mittaustulosten analysoinnista, diagnostiikasta ja prognostiikasta. Näihin perehdytään paremmin kappaleessa 5. Teollisuudessa monitorointi on tärkeä kunnossapidon ja kunnonvalvonnan apuväline, joten näitäkin aiheita käsitellään tässä työssä.

Monitoroinnin ja mittaamisen tärkeyden voi tiivistää seuraavasti: ”Measurement is the first step that leads to control and eventually to improvement. If you can’t measure something, you can’t understand it. If you can’t understand it, you can’t control it. If you can’t control it, you can’t improve it” --H. James Harrington [6]. Eli et voi huomioida, ymmärtää, kehittää tai ylläpitää sellaista mitä et voi mitata. Vain mittausdataa keräämällä ja tarkastelemalla järjestelmää voidaan saada käsitys siitä, miten järjestelmä toimii ja mitkä ovat sen heikoimmat osa-alueet. Monitorointia voi suorittaa monenlaisiin eri tapauksiin. Sen kohteena voi olla muun muassa koko yrityksen toimiminen, yksittäisen projektin eteneminen tai laitteiston toiminta.

Monitorointi on systemaattista tiedon keruuta ja sen arviointia. Se ei ole lineaarinen, vaan jatkuva prosessi. Monitorointiprosessi on esitelty kuvassa 4.1. Monitoroinnin onnistumisen ja siitä saatavan tiedon tärkeyden ja käyttömahdollisuuksien kannalta on tärkeää, että suunnittelu on tehty oikein. Suunnittelussa on tärkeää, että suunnittelutiimissä on tarpeeksi monipuolisesti henkilöitä eri osa-alueilta, jotka ovat kiinnostuneita saatavasta tiedosta tai joita monitorointi voi muuten koskea. Koska monitorointia voi soveltaa niin monenlaisiin eri kohteisiin, on ymmärrettävää, että valmiita tärkeitä kohteita ei voi luetella, vaan ne ovat aina tapauskohtaisia. Esimerkiksi projektin monitoroinnissa on tärkeää tarkkailla mittareita, joilla projektin etenemistä ja kustannuksia voidaan arvioida, kun taas laitteiston kunnon tai tuoton monitoroinnissa käytetään erilaisista antureista saatavaa tietoa.





**Kuva 4.1.** Monitorointi prosessin kuvaus.

[7, s. 6.]

Huonosti toteutetusta suunnittelusta mutta hyvästä tiedonkeruusta saadaan täysin oikeaa ja ymmärrettävää tietoa, jolla ei kuitenkaan välttämättä saada mitään käsitystä niistä asioista, joita haluttiin monitoroida. Eli jos monitorointia lähdetään suunnittelemaan, se kannattaa tehdä kunnolla. Ei myöskään ole järkevää lähteä tarkkailemaan asioita, joiden parantamiseen ei ole halua tai resursseja. Oikein suoritettulla monitoroinnilla saadaan selville, ovatko resurssit tehokkaassa käytössä ja millä osa-alueilla olisi kenties parantamisen varaa. Varmasti tärkein asia, joka monitoroinnilla voidaan saada selville, on kuitenkin se, tehdäänkö mitä oli suunnitelmassa ja mitä luultiin tehtävän. Monitoroinnista saaduilla arvoilla ei kuitenkaan välttämättä saada paljon hyödyllistä tietoa, jos niitä ei voida verrata mihinkään oletusarvoon. Projektin etenemistä voidaan vertailla projektisuunnitelmassa suunniteltuun aikatauluun, kun taas esimerkiksi laitteiston painetta voidaan verrata sallittuihin raja-arvoihin ja toimia niiden ylittyessä tai alittuessa.[7]

2000-luvun alkuun saakka antureihin perustuvan tiedon hyödyntäminen oli teollisuudessa vähäistä. Yleisimpiä menetelmiä oli käyttötuntien ja kuormitusten seuranta. Laitteet haluttiin pitää yksinkertaisina ja ylimääräisiä kustannuksia, kuten antureiden hintaa, haluttiin välttää. Mittauksiin perustuvan kunnan määrittämisen ei koettu tuovan tarvittavaa lisäarvoa tuotteelle, ja siitä saadun suuren tietomäärän käsittely oli hankalaa. Tiedosta ei myöskään osattu luotettavasti tunnistaa signaalin poikkeaman aiheuttanutta vikaa. Nykyään tehokas tuotantoprosessi perustuu mittasignaaleista saatuun tietoon, jolla toteutetaan ohjaukset ja säädöt. Ne voidaan

toteuttaa joko automaattisena tai manuaalisena, jolloin ihminen toteuttaa itse jonkin muuttujan muuttamisen perustuen järjestelmän anturien antamaan tarpeeseen.

Samoja antureita joita käytetään ohjaukseen ja säätöön, voidaan usein käyttää myös tiedonkeruuseen, laitteiston kunnonvalvontaan ja huoltotarpeen määrittelyyn. Kehityksen myötä anturien hinnat ovat laskeneet huomattavasti ja tietotekniset sovellukset ovat kehittyneet sille tasolle, että nopeidenkaan monianturisten laitteistojen tiedon analysointi ei tuota enää ongelmia. Tuotteiden elinkaari- eli life cycle cost -ajattelun yleistyessä on tärkeää, että resursseja tuhlataan mahdollisimman vähän. Tämä voidaan saada aikaan vain järjestelmän toiminnan ja tilan hyvällä tuntemisella. Pitemmällä aikavälillä voidaan saavuttaa myös merkittäviä säästöjä, kun laitteiston komponenttien todellisia kestoikiä osataan ennakoida ja välttyään suurelta osalta yllättävistä seisokeista, tuotannon menetykset vähenevät ja varaosakustannukset pienenevät. Monitoroinnin ansiosta voidaan myös välttyä jonkin rikkoutuneen osan aiheuttamilta suuremmilta vahingoilta, joita voi seurata, jos prosessia ei korjata tai sammuteta ajoissa. Myös henkilöstöresursseja voidaan hyödyntää tehokkaammin ja monissa tapauksissa työn turvallisuutta parantaa huomattavasti, kun tunnistetaan vialliset kohteet ajoissa ja laitteiston turvallisuutta voidaan arvioida tarkemmin. [8, s. 3.]

## 4.1 Etämonitorointi

Uudet tekniset sovellukset ja internet mahdollistavat tehokkaan etätiedonkeruun. Siinä missä ennen piti olla paikan päällä tarkkailemassa tai hakea laitteiden mittaustiedot paikan päältä, voidaan ne nykyään siirtää internetin välityksellä minnepäin maailmaa tahansa analysoitavaksi. Tämä tehostaa henkilökunnan työn tehokkuutta ja parantaa laitteiston luotettavuutta. Yksinkertaisimmillaan etämonitorointiin ei tarvita normaaliin monitorointiin verrattuna muuta kuin web-pohjainen monitorointijärjestelmä ja internetyhteydet käyttäjälle ja monitoroitavalle kohteelle. Varsinkin langattomat teknologiat ja niiden kapasiteetin kehitys ovat mahdollistaneet paremmat etämonitorointimahdollisuudet syrjäisiin ja vaikeapääsyisiin kohteisiin, joihin ei olisi taloudellisesti järkevää eikä muistakaan syistä mahdollista luoda yhteyttä käyttäen esimerkiksi verkkokaapelia. Erilaisia langattomia tiedonsiirtovaihtoehtoja on käsitelty luvussa 7.2.2. Langaton yhteys tuo silti aina riskinsä turvallisuuden, eli ulkopuolisten hyökkäyksien, ja käyttövarmuuden suhteen. Esimerkiksi tässä työssä suunniteltavaan laitteeseen on saatava sisäinen muistikapasiteetti varmistamaan tietojen saannin jälkikäteen jos ja kun yhteydet ovat poikki. [9]

Nelson Baxter ja Heather De Jesus nimeävät artikkelissaan [9] kymmenen syytä langattomaan etämonitorointiin siirtymiseen:

- Käytetään enemmän aikaa saadun tiedon analysointiin ja vähemmän sen keräämiseen. Työntekijät ovat tehokkaammin käytössä eli saadaan enemmän vähemmällä.

- Voidaan kerätä tietoa paikoista, joista se ei ollut ennen mahdollista. Tämänlaisia kohteita ovat esimerkiksi vaikeapääsyiset tai hengenvaaralliset paikat, joista ei voida käydä keräämässä tietoa.
- Lisääntynyt turvallisuus. Vaikka kohteet eivät olisikaan varsinaisesti hengenvaarallisia, on langattomasti kerättävän tiedon hankkiminen turvallisempaa kuin toiminnassa olevasta koneesta paikan päältä.
- Automatisoitu tiedonkeruu. Tiedonkeruu voidaan tehdä mihin aikaan hyvänsä eivätkä ulkopuoliset tekijät vaikuta siihen.
- Voidaan kerätä muutakin tietoa. Kun kerätään monipuolisemmin erilaisia muuttujia, saadaan parempia analyysejä.
- Oikea-aikainen tiedonkeruu. Kun tieto kerätään kiertämällä tiettyä reittiä kerättävien kohteiden välillä, voivat jotkin laitteet olla juuri sillä hetkellä pois toiminnasta, eli niistä ei saada mitään tietoa.
- Mahdollisuus lisätä tiedonkeruusyклиä. Tietyistä kohteista voidaan haluta lyhyemmällä aikavälillä tietoa kuin toisista, ja se onnistuu etämonitoroinnilla helposti.
- Mahdollisuus tarkastella koko laitteiston tai laitoksen tietoja. Useampi henkilö voi tarkkailla tai analysoida tietoja samanaikaisesti.
- Tarkempien hälytysten mahdollisuus. Jatkuva tiedonkeruu mahdollistaa monipuolisten hälytysrajojen asetuksen.
- Mahdollisuus tarkkailla kriittisten kohteiden toimintaa. On todennäköisempää, että etämonitorointijärjestelmällä havaitaan laitteiston vikaantumiseen viittaavat asiat aikaisemmin, kuten värähtelyn lisääntyminen, kuin tarkastuskäynneillä.

## 4.2 Monitorointi ja organisaation eri osa-alueiden intressit

Järjestelmää voidaan tarkastella ja tuloksia hyödyntää useamman eri organisaation osa-alueen intressien mukaan. Työssä pyrittiin osastojen johdolta ja henkilöiltä kyselemällä kartoittaa, mitkä ovat heidän kannaltaan tärkeimpiä asioita, joihin monitorointi vaikuttaa, ja mitkä asiat monitoroinnissa tulisi ottaa huomioon.

### 4.2.1 Kunnossapito

Kunnossapidon kannalta monitorointi on tärkeää, koska laiterikot voidaan ennakoida ja ongelmat paikantaa huomattavasti tehokkaammin. Jos ongelmat havaitaan vasta kun laitteet seisovat ja sen jälkeen aletaan pohtia syytä seisokille sekä sitä, mikä laitteiston osa sen on aiheuttanut, toiminta tulee monimutkaisemmalla laitteistolla nopeasti kalliimmaksi kuin monitoroinnin toteutus. Monitoroinnista saatavien tulosten avulla voidaan tarkentaa eri osien käyttöaikoja, kun saadaan laitteiden kestosta konkreettista dataa pelkkien laskennallisten tulosten sijaan. Monitoroinnilla voidaan vähentää laiterikkojen aiheuttamien suunnittelemttomien seisokkien määrää, kun ongelmat

havaitaan ajoissa, ja tarvittaessa osa tai koko laitteisto voidaan sulkea mahdollisen vaaratilanteen aiheutumisen estämiseksi. Vaihdeettavien osien varastot saadaan tehokkaan kokoiseksi, sillä osan valmistajan tai omavalmisteisen osan toiminta-aika ei välttämättä ole se, mikä on valmistajan ilmoittama tai laskennallinen. Näin turhan sitoutuneen pääoman määrää saadaan pienennettyä tai välttytään ylimääräisiltä kuluilta, joita voi aiheutua kiireellisten varaosien hankinnasta. Tarkemmin monitoroinnin tärkeyttä kunnossapitoon käsitellään kappaleessa 5.

#### **4.2.2 Suunnittelu ja tuotekehitys**

Monitoroinnista saatavat tulokset ovat tärkeitä, kun mietitään laitteiston tuotekehitystä.

Heikot kohdat paljastuvat helposti samoista mittaustuloksista, jotka kiinnostavat myös kunnossapitoa. Mittausdatasta saadaan viitteitä myös siitä, jos laitteistossa on käytetty yli- tai alimitoitettuja komponentteja, kuten pumppuja tai moottoreita. Ylimoitettujen komponenttien käyttö voi olla merkittävästi kalliimpaa, varsinkin jos mitoitus kertaantuu muissakin järjestelmän komponenteissa. Kappaleessa 5.1.3 käsitellään parantavaa kunnossapitoa, mikä on pitkälti suunnittelijoiden tuotekehityksen lähtökohta teollisissa tuotteissa ja laitteissa.

#### **4.2.3 Markkinointi**

Yrityksen myyntiosaston näyttämä data laitteiston tehokkuudesta ja toimintavarmuudesta on parempi argumentti ostajalle kuin lupaukset luvuista, johon laitteistolla tähdätään. Usein myös kunnossapidon sopimukset kuuluvat myytäviin tuotteisiin, joko tuotteen mukana tarjottaviin tai itsenäiseksi tuotteeksi laitteiston lisäksi. Kunnossapito voidaan hinnoitella tarkemmin, kun tiedetään jotain laitteiston todellisesta toimintavarmuudesta.

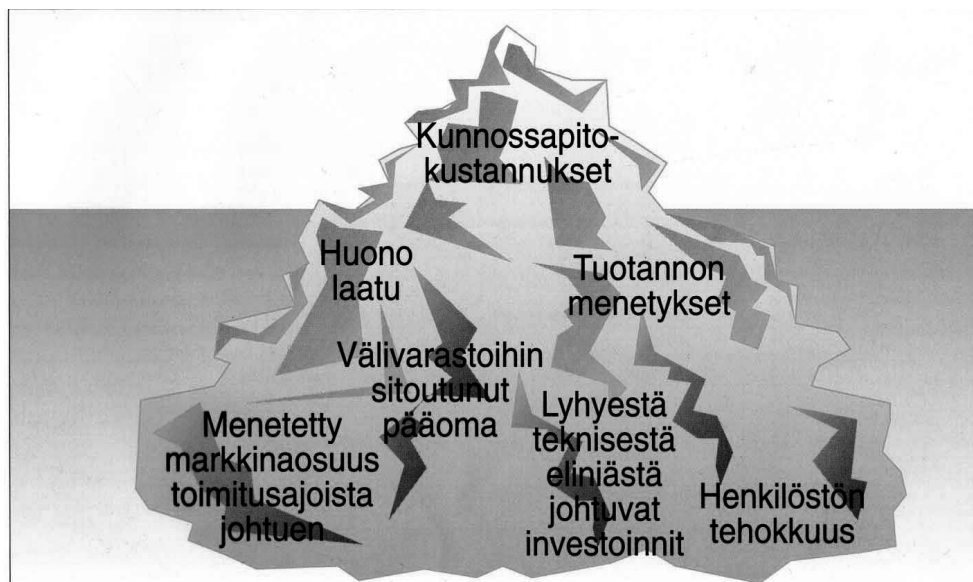
#### **4.2.4 Asiakas**

Asiakasta kiinnostavat yleensä pääasiassa omat voitot, eli kunka paljon laitteisto tuottaa millä kustannuksilla ja millä aikavälillä. Suoraa tuottoa voidaan tarkastella esimerkiksi pumppauslaitteiston pumpun tuotolla, eli separaattorista lähtevien asiakkaan kaasun ja öljylinjan virtausarvoilla. Kokonaistulokseen pitää ottaa mukaan kuitenkin muita muuttujia, esimerkiksi laitteiston kuluttama energia sekä huollon ja kunnossapidon kulut.

## 5 KUNNOSSAPITO

”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana” [10].

Termodynamiikan toisen lain mukaan kaikki järjestelmät hakeutuvat ajan myötä energiaminimiinsä, eli on vain ajan kysymys, milloin laitteet lakkaavat toimimasta, vaikka ne olisi laskettu äärettömän käyttöajan mukaan. Kunnossapidon tehtävä on siis pitää laitteistot toimintakäytössä. Kun laitteet rikkoutuvat, on kaksi vaihtoehtoa: rikkoutuneet laitteet vaihdetaan uusiin tai ne korjataan. Jos valitaan vaihtoehdoksi laitteiden korjaus, tulee sen olla edullisempaa kuin uuden hankkiminen eikä luotettavuus, turvallisuus tai tuotantokapasiteetti saa kärsiä. Tämä voidaan ajatella niin, että kunnossapito tuottaa, eikä se maksa mitään, eli se ei ole kustannus. Kunnossapidon kustannukset ovat pieni osa todellisista kustannuksista, joita vikaantumiset ja vialliset laitteistot aiheuttavat yritykselle. Kuvassa 5.1 on esitettyä vikojen piilovaikutukset.

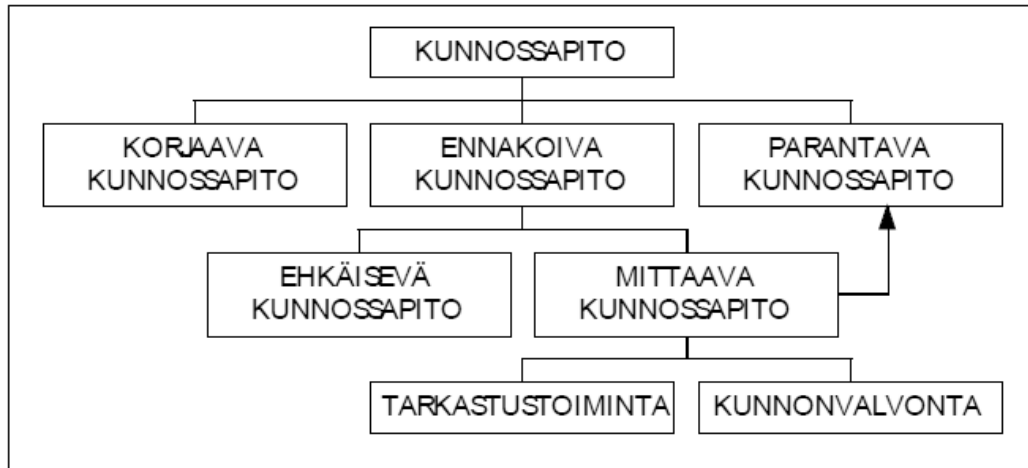


**Kuva 5.1.** Vikojen todelliset vaikutukset yritykselle.

[11, s. 1.]

Kunnossapito on siirtynyt reaktiivisesta eli korjaavasta proaktiiviseksi eli ennakoivaksi kunnossapidoksi. Siinä pyritään monitoroinnilla ennakoimaan laitteiden vioittumista. [12]

Nykyään kuitenkin vaaditaan koko ajan parempaa tuotantokykyä ja laitteiden kestävyyttä, eli pelkkä ylläpitävä kunnossapito ei riitä. Korjaavan ja ennakoivan kunnossapidon lisäksi nykyään tarvitaan parantavia toimenpiteitä takaamaan riittävä käytettävyys. Kuvassa 5.2 on esitetty kunnossapidon strategiakaavio. [11, s. 2.]



**Kuva 5.2.** Kunnossapidon strategiakaavio.

[11, s.2.]

## 5.1 Kunnossapitostrategiat

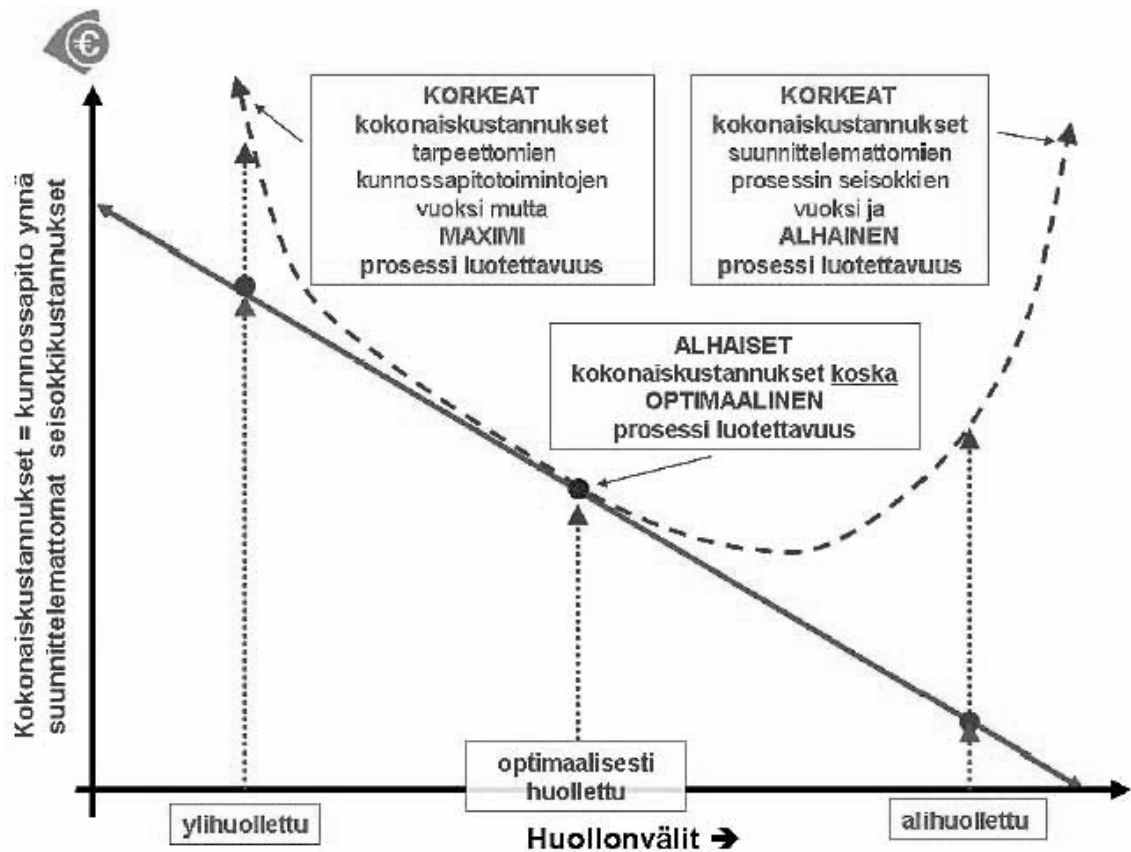
### 5.1.1 Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito on sitä, mitä tehdään, jotta vikaantunut laite saadaan taas toimintakuntoiseksi sen rikkouduttua. Siinä ei suoriteta mitään ehkäiseviä toimenpiteitä, vaan keskitytään vain vian korjaamiseen. Yllättävästä käyttökatkoksesta koituu aina huomattavasti suurimmat yksittäiset menetykset ja kustannukset kuin itse korjauksen kustannukset ovat. Jotta tuotantokatkoksilta voitaisiin välttyä, voidaan tärkeimmille laitteille rakentaa varalaitte, jonka ansiosta tuotanto saadaan pysymään käynnissä, vaikka vaurio sattuisi. Tämä on kuitenkin monesti mahdotonta varalaitteen aiheuttamien lisäkustannuksien tai tilantarpeen takia. Jotta korjaava kunnossapito voi toimia, tulee varastojen ja henkilöstön olla riittävät ja tarpeeksi nopeasti käytettävissä. Tällä strategialla voidaan luoda korjausorganisaation, jota voidaan hyödyntää toiminnallisen vian poistamiseen. Syitä sille, miksi korjaavaan kunnossapitoon joudutaan turvautumaan, voi olla ennakoivan kunnossapidon laiminlyönti tai koneen osan eliniän umpeutuminen. [11, s. 3.]

### 5.1.2 Ennakoiva kunnossapito

Ennakoivalla kunnossapidolla pyritään ehkäisemään laiterikkoja ja niiden aiheuttamia seisokkeja. Sen tarkoituksena on vaihtaa tai korjata toimivat osat juuri ennen niiden rikkoutumista[11, s. 3.]. Ongelmana on kuitenkin tämän rikkoutumisajankohdan selvittäminen. Tähän ongelmaan on kehitetty erilaisia kunnossapitostrategioita, joilla on pyritty ratkaisemaan yli- tai alihuoltamisen ongelma. Jotta kunnossapito olisi mahdollisimman taloudellista ja järkevää, tulee sille löytää tasapainotila, jossa kuitenkin sallitaan pieni vikamahdollisuus. Monesti laatuajattelussa lähdetään siitä, että mitään virheitä ei sallita. Esimerkiksi amerikkalainen Philip B. Crosby on lanseerannut ajattelumallin ”Laatu on ilmaista”. Tällä tarkoitetaan, että asennemuutos ei maksa mitään ja sillä voidaan saavuttaa laadukas toimintatapa. Kuitenkin jotta kunnossapito olisi järkevää, tulee sille löytää oikea taso [13]. Jörg Willemssin mielestä kunnossapidon tulisi täyttää kaksi kriteeriä. Ensimmäinen on se, että seisokin ehkäisevän kunnossapidon kustannusten tulee olla pienemmät kuin seisokista syntyvien kustannusten. Toinen kriteeri on, että prosessia ylläpitävän kunnossapidon tulee tuottaa mitattavaa hyötyä [12].

Minimin prosessiluotettavuuden kalleus ja siitä seuraavat seisokit ovat helposti käsitettävissä, mutta maksimaalisen luotettavuuden tavoittelu on vähintään yhtä kallista ja koska se on käytännössä mahdotonta, resursseja tuhlataan paljon. Silloin saatu hyöty ei kata sen saavuttamiseksi aiheutuvia kustannuksia. Luotettavuuden optimoinnilla pyritään tilaan, jossa päästään parhaaseen taloudelliseen hyötyyn. Tässä tilassa kokonaiskustannukset kasvavat, vaikka kunnossapitoon käytettäisiin enemmän tai vähemmän resursseja. Tällaista analysointimenetelmää, jossa taloudelliset näkökannat ovat tärkeämpiä kuin luotettavuusnäkökannat, kutsutaan ekonomiakeskeiseksi kunnossapidoksi. Kuvasta 5.3 nähdään kokonaiskustannusten ja kunnossapidon optimaalinen tilanne. [12]



Kuva 5.3. Optimaalinen prosessiluotettavuus.

[12]

Laitteiston turvallisuuden kannalta juuri ennakoiva kunnossapito on oleellista. Se voidaan jakaa eri osa-alueisiin. Näitä ovat ehkäisevä ja mittaava kunnossapito. Ehkäisevä kunnossapito on säännöllistä huoltotoimintaa eli määräaikaishuoltoja. Nykyään laitteistoista saadaan mitattavaa dataa helpommin ja taloudellisemmin, ja mittaava kunnossapito on yleistynyt. Mittausten yleistyttyä on siirrytty myös määräaikaishuolloista oikea-aikaisiin huoltoihin, eli huoltotoimenpiteitä suoritetaan kun mitattavat suureet antavat indikaatiota niiden tarpeellisuudesta ja laajuudesta. Mittaavassa kunnossapidossa havaituista ongelmista voidaan saada hyviä ideoita kohteista, joihin suorittaa parantavaa kunnossapitoa.

Kunnonvalvonta, jota käsitellään tarkemmin luvussa 5.2, on yksi mittaavan kunnossapidon osa-alue. Se on jatkuvaa säännöllistä toimintaa, jossa seurataan koneen kuntoa sen käynnin aikana, eli seurataan jonkin mitattavan suureen arvoa, esimerkiksi kiihtyvyyttä tai värähtelyä mitattavaa värähtelyn lisääntymistä tai lämpökameralla mitattavaa lämmön nousua. Nämä ovat yleensä merkkejä koneen tilan muutoksesta. Kunnonvalvonta sisältää muutoksen havaitsemisen, diagnostisoinnin ja prognoosin. [11, s. 3.]



### 5.1.3 Parantava kunnossapito

Parantavassa kunnossapidossa pyritään parantamaan laitteiden suorituskykyä, käytettävyyttä, luotettavuutta ja turvallisuutta. Tähän pyritään esimerkiksi siten, että löydetään vikaantumisen perussyy ja etsitään ratkaisu sen poistamiseksi. Näin voidaan vähentää kunnossapidon tarvetta, kun sama syy ei aiheuta tulevaisuudessa ongelmia. Kaikenlaista laitteiston modernisointia, laitteen käytettävyyttä ja luotettavuutta lisäävää muutostyötä ja laitteiston uusintaa, jota tehdään kunnossapidollisten ongelmien poistamiseksi, voidaan pitää parantavana kunnossapitona. Näillä toiminnoilla voidaan usein välttää uushankintaa. Parantavan kunnossapidon yleisimpiä ongelmanratkaisumenetelmiä ovat juurisyysanalyysi (RCFA, Root Cause Failure Analysis), vika-analyysi (Fault Analysis), materiaalianalyysit, syy-seurauskaavio, suunnitteluanalyysit ja häiriöanalyysi. Ongelmanratkaisumenetelmissä ensimmäiseksi pyritään tarkentamaan ongelman perussyy ja sen jälkeen löytämään ratkaisu sen poistamiseksi. Syyn löytämiseksi joudutaan usein käyttämään erilaisia tietolähteitä. Lähteinä toimivat muun muassa vikahistoria ja erilaiset mitta-anturilta saadut tiedot. Ongelman syyn löytyminen on usein vaativa ja aikaa vievä prosessi, mutta joskus syy selviää taas helposti ja nopeasti. Erilaisia ratkaisuja siihen, että vikaantumisia ei tulisi tai että niiden aiheuttamat vauriot olisivat mahdollisimman pienet, ovat esimerkiksi vahvempien osien käyttäminen muuttamalla niiden geometriaa, eri materiaalin valitseminen tai voiteluaineen käyttäminen. Monesti kunnonvalvonnan menetelmillä, kuten värähtelyn mittaamisella ja analysoinnilla, voidaan löytää rakenteelliset perusviat ja keinot niiden poistamiseksi, joten tarkkaa rajaa mittaavan ja parantavan kunnossapidon välille ei voida asettaa. [11, s. 3.], [14]

## 5.2 Kunnonvalvonta

Jo 1960-luvulta asti teollisuudessa on käytetty erilaisia kunnonvalvontamenetelmiä, mutta 1980-luvulla niihin alettiin panostaa enemmän. Nykyään joka tuotantolaitoksessa käytetään joitain mittalaitteita, joilla voidaan valvoa laitteiden kuntoa. Myös kunnonvalvontaan keskittyvä henkilöstö löytyy yhä useammasta laitoksesta. Jotkin yritykset perustavat toimintansa asiakkaidensa kunnonvalvonnan asiantuntijuudelle, eli kunnonvalvonta on silloin ulkoistettu. Tämänlainen toiminta on yleistynyt lähiaikoina.

Kunnonvalvonnan avulla koneiden ja laitteiden vikaantuminen pyritään havaitsemaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Laakeriviat pystytään havaitsemaan usein niin aikaisessa vaiheessa, että laakereilla voidaan vielä ajaa turvallisesti useampi kuukausi ja vaihdon ajankohta voidaan suunnitella niin, että se haittaisi mahdollisimman vähän laitteiston tuotantoa. Suurin osa kunnonvalvonnasta keskittyykin juuri pyörivien laitteiden ja osien mekaanisen kunnon arviointiin.

Kunnonvalvonnassa voidaan käyttää aistinvaraista tai mitattavaa tarkkailua. Aistinvaraisessa tarkkailussa voidaan esimerkiksi kuunnella laakerin tärinää puukepin

avulla tai laitteiden tärinää tunnustelemalla niitä kädellä tai jalalla. Voidaan myöskin tunnustella laitteiden ja osien lämpötiloja sekä tarkkailla lopputuotteen laatua. Vaikka aistinvaraiset menetelmät ovat vanhoja menetelmiä, niitä ei pidä aliarvioida, sillä ammattitaitoinen henkilöstö osaa kertoa näistä jo paljon koneen senhetkisestä kunnosta. Nykyään mittaavat kunnonvalvontamenetelmät ja erityisesti värähtelymittaukset ovat muodostuneet yhdeksi tärkeäksi teollisuuden kunnossapidon tarkkailutavaksi. Kunnonvalvonnassa kohteen toimintaa tarkkaillaan ja mitataan, joko jatkuvasti tai määräväleihin. Tietokoneavusteisen kunnonvalvonnan käyttöönoton ansiosta suurta mittaustietomäärää pystytään hallitsemaan ja käsittelemään, ja tiedot pystytään tallentamaan raportteja ja myöhempää tarkastelua varten. Koneiden ja yksittäisten laitteiden kunto on jatkuvasti tiedossa, ja sitä voidaan tarkkailla online-tilassa. Tavoitteena on havaita ongelmat ja toimia niin, ettei vaurioitumista pääse tapahtumaan ja että siitä seuraavat tuotannolle aiheutuvat kustannukset jäävät mahdollisimman pieniksi. Normaalista poikkeavan tilanteen havaitseminen on olennaisin asia. Siitä voidaan hyötyä muun muassa tuottavuuden kasvulla, kunnossapidon suunnitelmallisuuden paranemisella, seisokkiaikojen entistä paremmalla hyödyntämisellä, suunnittelemattomien seisokkien vähenemisellä ja koneiden pidentyneellä eliniällä. [11 s. 2.], [14], [15]

Opetushallituksen kunnossapito menestystekijä materiaalissa esitetään seuraavat asiat tärkeimmiksi syiksi mittaavan kunnonvalvonnan käyttöönottoon [15]:

Tuotantolinjoja rakennetaan ilman varakoneita. Tällöin yksittäisen koneen käynti tulee kriittisemmäksi koko tehtaan kannalta.
Tuotantomäärien kohoaminen on aiheuttanut sen, että seisokkituntien hinnat ovat nousseet.
Pyörimisnopeuksien kasvu on aiheuttanut sen, että vikojen kehittyminen tapahtuu nopeammin.
Koneiden rakenteiden keventäminen on tuonut tärinävalvonnan rakenteiden keston kannalta yhä tärkeämmäksi.
Prosessien säätöjen muuttuessa yhä enemmän kierroslukusäätöisiksi vaihtelee koneiden tärinäkäyttäytyminen huomattavasti eri kierroslukualueilla.
Huolto- ja käyttöhenkilökunnan vähentäminen aiheuttaa sen, että säännöllinen aistienvaarainen valvonta koneiden luona on vähentynyt.
Aistinvaraisista huomioista ei saada kirjattuja tunnuslukuja, joiden avulla voitaisiin koneiden kuntoa valvoa.
Keräilevien mittalaitteiden kehittyminen on madaltanut niiden käyttöönottokynnystä.
Meluisa, vaarallinen tai muuten epämiellyttävä ympäristö on antanut aiheen siirtyä käyttämään mittauksia aistihavaintojen sijasta.

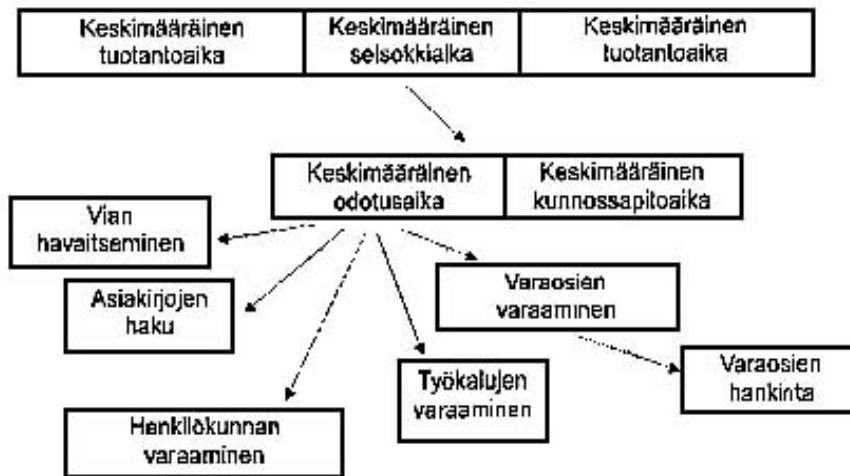
Kunnonvalvonta ymmärretään nykyään oleelliseksi osaksi yrityksen toimintaa, kuten myös sen liittyminen monella tavalla muihinkin yrityksen toimintoihin. Kunnonvalvonnasta saadaan oleellisia tietoja laitteiden investointeja, käyttöä, kunnossapitoa ja yrityksen kannattavuutta ajatellen. Kuvassa 5.4 on kuvattu tätä yhteyttä. [15]



**Kuva 5.4.** Kunnonvalvonnasta saatujen tietojen käyttö kohteita.

[15]

Kunnonvalvonnalla saavutettavia hyötyjä ovat tuottavuuden kasvu, kunnossapidon suunnitelmallisuus, seisokkiaikojen parempi hyödyntäminen, suunnittelemattomien seisokkien väheneminen ja koneen pidentynyt elinikä. Nämä seikat vaikuttavat suoraan yrityksen kannattavuuteen. Esimerkiksi seisokin keskimääräinen odotusaika on suoraan pois laitteiden käyntiajasta. Se voidaan eliminoida kokonaan kunnonvalvonnan avulla, kun tuotantoajalla tehdään siihen kuuluvat toimenpiteet, esimerkiksi varaosien hankinta ja varaaminen. Koska viat havaitaan aiemmin, eivät ne pääse niin pahoiksi tai rikkomaan muitakin laitteita. Tarvittavat kunnossapitotyöt voidaan myös suunnitella paremmin, koska viat ovat jo tiedossa. Tästä syystä keskimääräistä kunnossapitoaikaakin voidaan lyhentää kunnonvalvonnalla. Kuvassa 5.5 on esitetty keskimääräisen seisokkiajan tekijöitä, joiden lyhentäminen tai eliminointi vaikuttaa suoraan tuotantoaikaan. Kuvassa 5.6 taas on esitetty tuotantoajan lisääntyminen eli tuottavuuden paraneminen kunnonvalvonnan seurauksena. Tuotantoajan lisääntymisen lisäksi siirtymällä korjaavasta kunnossapidosta mittaavaan kunnossapitoon voidaan kunnossapitokustannukset saada puolitettua.



**Kuva 5.5.** Keskimääräisen seisokkiajan tekijöitä.

[15]

#### Ilman kunnonvalvontaa

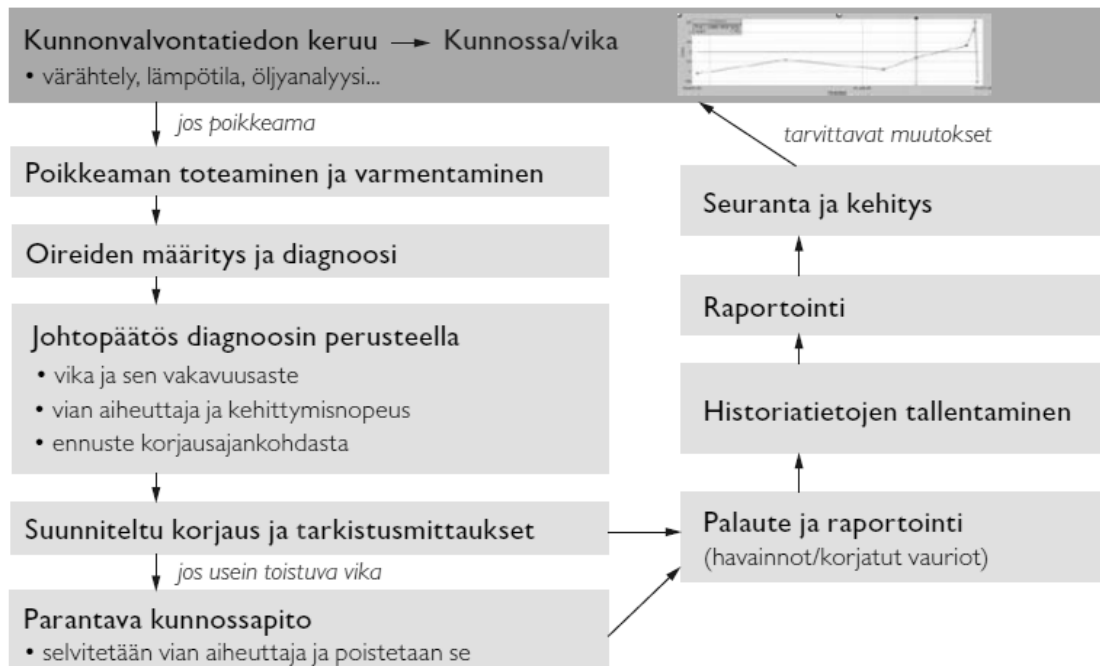


#### Kunnonvalvonnan avulla

**Kuva 5.6.** Tuotantoajan lisääminen kunnonvalvonnan seurauksena.

[15]

Osa kunnonvalvonnasta saaduista mittaustuloksista voidaan käyttää suoraan trendaukseen tai hälytyksiin, mutta suurinta osaa saadusta datasta joudutaan analysoimaan erilaisilla menetelmillä, jotta se olisi käyttökelpoista. Jotta voitaisiin onnistua diagnosoinnissa, täytyy sitä varten olla kerättyä historiatietoa koneista ja tapahtuneista vaurioista. Kuvassa 5.7 on havainnollistettu kunnonvalvontaprosessin kierto. [14], [15]



**Kuva 5.7.** *Kunnonvalvontaprosessi.*

[14]

### 5.2.1 Kunnonvalvonnan vaiheet

Kunnonvalvonnassa on kolme eri vaihetta: detektio, diagnoosi ja prognoosi.

Detektio eli valvonta on poikkeavan tilanteen havaitsemista, jolla pyritään havaitsemaan vikaantumiset mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Yleensä tämä toteutetaan kunnonvalvontajärjestelmällä, mutta lisäksi voidaan tehdä myös prosessimittauksia tai kuntotarkastuksia.

Kun ollaan havaittu poikkeava tilanne, siirrytään diagnosointiin. Diagnosointivaiheessa koetetaan paikantaa muutoksen aiheuttaja. Tässä vaiheessa on tärkeää, että laite tunnetaan hyvin ja kunnonvalvonnasta saatuja mittaustuloksia osataan tulkita. Kun puhutaan kunnonvalvonnasta, sillä tarkoitetaan yleensä detektio- ja diagnoosivaihetta.

Kun vian detektio on suoritettu ja vika on diagnosoitu, voidaan arvioida kuinka kauan laitetta on vielä turvallista käyttää ennen vaihtoa tai korjausta. Tätä vaihetta kutsutaan prognoosiksi eli jäljellä olevan käyttöajan ennustamiseksi. Prognoointi on kunnonvalvonnan osa-alue, jossa käytetään muun muassa kunnonvalvonnan mittauksia, laitteen historiatietoja ja perussuureita hyväksi muodostettaessa arviota laitteen toiminta-ajalle. [16]

## 6 VIKAMONITOROINTI

### 6.1 Matalataajuiset värähtelyt

Matalataajuisen värähtelyn taajuusalue on 0–20 kHz.

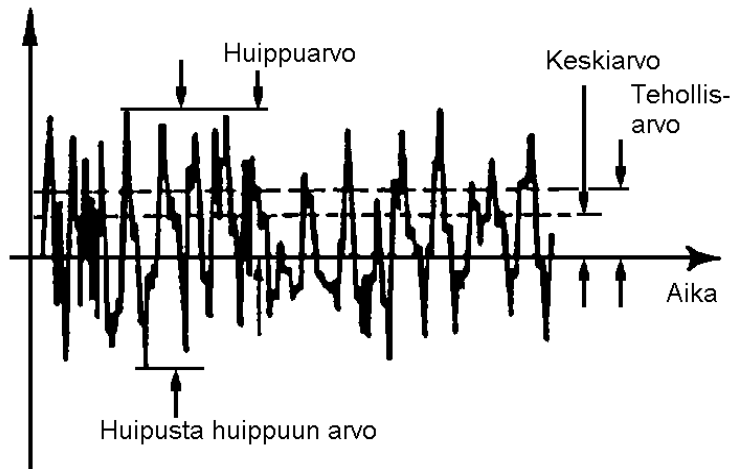
#### 6.1.1 Värähtelyn kokonaistaso ja amplitudijakauma

Koska liike-energiaan verrannollinen nopeuden tehollisarvo ( $V_{rms}$ ), eli värähtelyn kokonaistason mittaaminen, on yksinkertainen suorittaa ja kuvaa hyvin koneen yleiskuntoa, se on eniten käytetty kunnonvalvonnan värähtelymittausmenetelmä. Se lasketaan mittauksissa saadusta värähtelysignaalista käyttäen hyväksi neliöllisen keskiarvon kaavaa.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T a^2(t) dt}$$

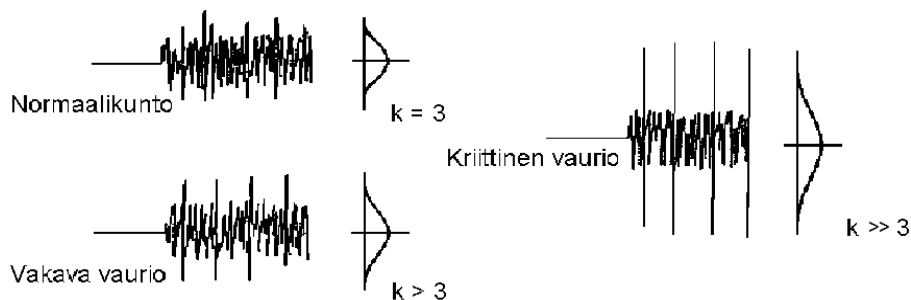
Värähtelyn kokonaistason mittaaminen soveltuu käytettäväksi myös trendi-seurantaan. Sen puutteena on, että sillä ei yleensä pystytä selvittämään vian syytä.

Värähtelyn mittauksessa käytetään yleensä standardin jänniteviestin antavia mittaantureita ja niillä mitataan siirtymää, nopeutta, kiihtyvyyttä tai ääntä. Mittaaminen suoritetaan kohteen pinnasta tai sen läheltä. Kyseessä on matalataajuinen värähtely eli 0 Hz:n ja 20 kHz:n väli. Esimerkiksi vierintälaakeri tuottaa erityyppistä värähtelyä eri vikatapauksissa. Nämä neljä eri tapaa ovat satunnainen värähtely ultraäänialueella, laakerin osien värähtelyt näiden ominaistajuuksilla, laakerin ulko- ja sisäkehän sekä vierintäelinten ja pitimen vauriotaajuudet sekä summautuneet ja moduloituneet värähtelyt. Kun saatua signaalia tarkastellaan graafisesti, siitä voidaan etsiä muutoksia, jotka voivat indikoida häiriöstä. Jos on mahdollisuus tarkastella useampaa signaalia, voidaan vikakohta koittaa myös paikallistaa. Laitteen vikaantumista voidaan mitata myös tarkastelemalla saadun signaalin huippu- ja tehollisarvoja. Näiden suhde kasvaa vikaantumisen pahentuessa. Huippu- ja tehollisarvon suhdetta voidaan vertailla, kun jännitesignaalia tarkastellaan voltthisäänmenona, esimerkiksi volttimittarilla tai ohjelmoitavalla logiikalla. Kuvassa 6.1 on esitetty värähtelysignaali ajan funktiona.



**Kuva 6.1.** Värähtelysignaali ajan funktiona.

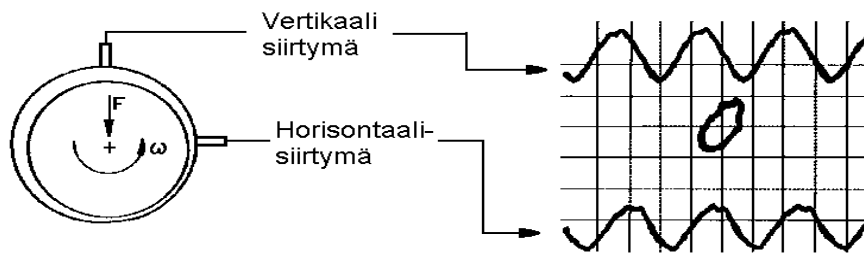
Normaali signaalin amplitudijakauma on lähellä Gaussin jakaumaa, jonka käyryys eli kurtosisarvo  $k$  on noin 3, mutta vioittuessa kurtosisarvot suurenevät. Kuvasta 6.2 nähdään, että kurtosisarvon kasvaessa se nähdään korkeina piikkeinä. Siitä voidaan myös tarkkailla vian vakavuutta [11, s. 17].



**Kuva 6.2.** Vaurion vakavuus kurtosisarvon suureneminen.

### 6.1.2 Aikatason analyysi

Anturilta saadaan signaali, joka antaa värähtelyn arvon mittausajanjakson mukaan. Saadusta nopeus- tai kiihtyvyyssignaalista voidaan seurata värähtelyn huippuarvoja tai tehollisarvoja, joista saadaan jo tietoa kohteen kunnosta. Nopeuden tehollisarvoa eli tärinärasitusta mitataan tavallisimmin taajuusalueella, joka on 10 Hz:n ja 1 kHz:n välillä. Laakerin vaurioitussa kiihtyvyyden huippuarvo kasvaa, mutta se on hyvin herkkä häiriöille. Esimerkiksi siirtymämittauksena toteutettava mittaus, jossa kaksi anturia ovat 90°:n kulmassa toisiinsa nähden, on käyttökelpoinen akselin liikkeen mittaamiseen liukulaakerissa. Kuvassa 6.3 on selitetty mittaus, ja sen tulos esitetään rata- eli orbit-käyränä.



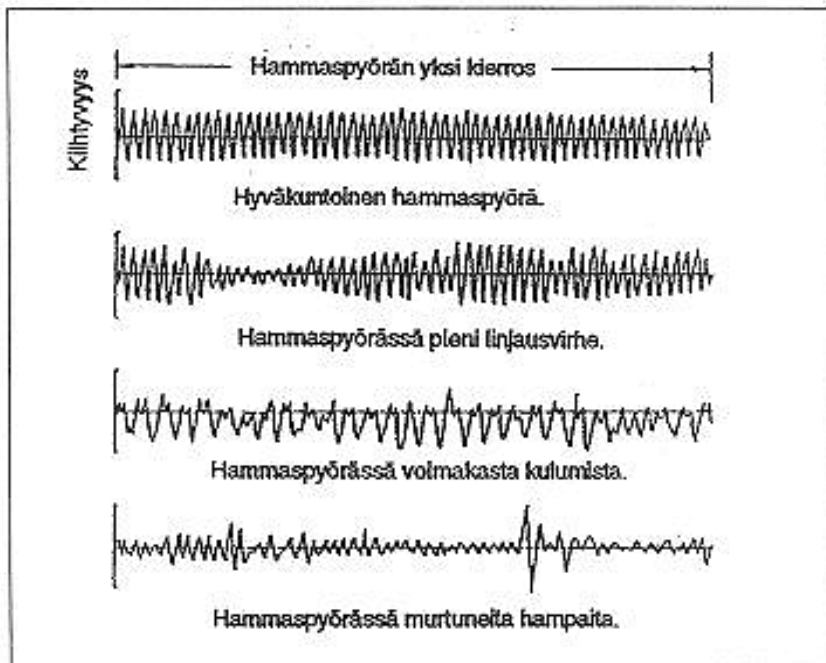
**Kuva 6.3.** Orbit-käyränä esitetty tulos liukulaakerin akselin ratakäyrän mittauksesta.

[17 s215]

Häiriöiden poistamiseksi aikatazon signaali yleensä mitataan keskiarvostettuna. Tässä menetelmässä signaalista otetaan useampi näyte, ja ne tahdistetaan tarkasti pyörimisnopeuden mukaan. Tämä sopii esimerkiksi pyörivien akselien tarkkailuun. Pyörimisen kanssa synkronissa olevat pyörimisnopeuden mukaan esiintyvät huiput korostuvat, kun taas satunnaiset ei-synkroniset huippuarvot jäävät pois, kuten esimerkiksi ympäristöstä tulevat häiriöt. Lukusarjoista voidaan aina ottaa erilaisia tilastollisia tunnuslukuja, kuten erilaiset korrelaatiot. Näitä ovat ristikorrelaatio, ristispektri ja autokorrelaatio. Autokorrelaatiomittauksien tarkoitus on helpottaa aikatasosignaalin esiintyvän säännönmukaisuuden havaitsemista. Muita tunnuslukuja ovat keskiarvot, keskihajonnat, kurtosis ja crest factor eli huippukerroin. Huippukertoimessa verrataan signaalin huippuarvon suhdetta tehollisarvoon.

Keskiarvostettua aikatazon signaalia käytetään pyörivien osien kuten akselien ja telojen vikojen ja epätasapainon tunnistamiseen tai vaihteiston värähtelyn analysointiin. Esimerkiksi kun tunnetaan akselilla olevan mittauksen aloituspisteen sijainti, voidaan vian aiheuttaja paikantaa akselin kehän suhteen. Kuvassa 6.4 on signaali jokaisesta hammaspyörän hampaasta, kun mittausjaksoksi on valittu hammaspyörän pyörimistaajuus tai sen monikerta. Hampaiden kuntoa voidaan analysoida vertailemalla amplitudeja.



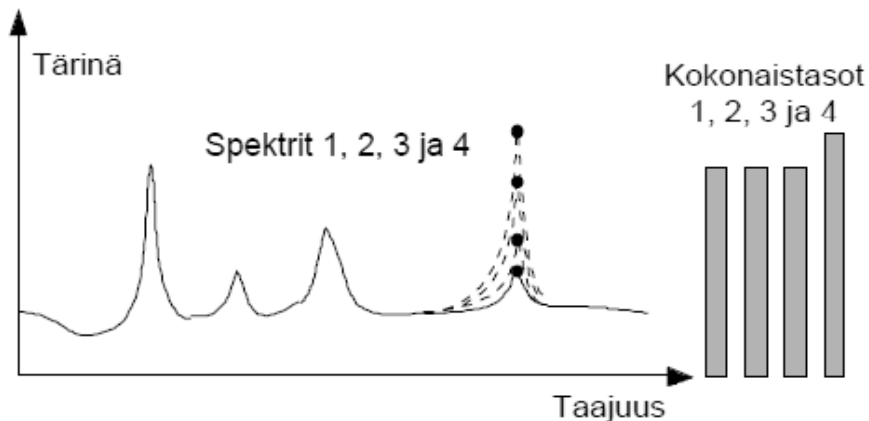


**Kuva 6.4.** Erikuntoisten hammaspyörien yhden kierroksen aikataason värähtelysignaaleja.

Tahdistettu aikakeskiarvomittaus ei sovellu hyvin laakereiden kunnonvalvontaan, koska laakereissa esiintyvät vauriotaajuudet eivät ole useinkaan pyörimisnopeuden kokonaislukumonikertoja. [18 s. 44]

### 6.1.3 Spektrianalyysi

Yleensä spektrianalyysillä saavutetaan riittävä resoluutio vikojen havaitsemiseksi, ja nykyaikaisilla laitteilla spektrilaskenta on nopeaa. Se onkin yleisin vikadiagnostisoinnin menetelmä, sillä monille vikatyypeille kokonaistasotrendin seurannasta ei saada riittävän luotettavia tuloksia. Laitteen vikaantuminen näkyy vikatyypistä riippuen tietyn taajuuden spektrikomponenttien voimistumisena, mutta niitä havaitaan usein ehjässäkin laitteessa, jolloin ne johtuvat valmistuksen epätarkkuuksista. Kuvassa 6.5 nähdään kuinka vian kehittyminen näkyy spektrissä aiemmin kuin tehollisarvossa.



**Kuva 6.5.** Spektrissä näkyvä vika, joka havaitaan kokonaistasoarvossa vasta myöhemmin.

[17 s. 285]

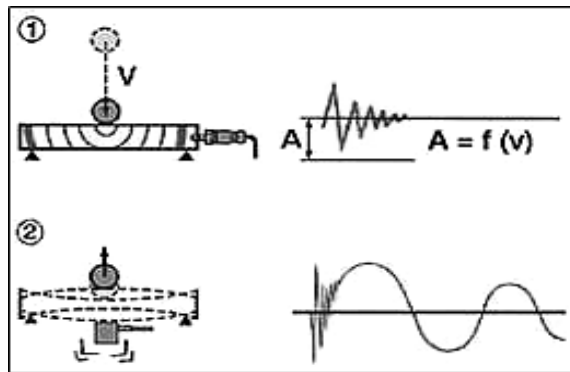
Kaistavalvonta, jossa asetetaan tietyille taajuuskaistoille hälytysrajat, ja spektrivalvonta, jossa asetetaan hälytysraja niin, että hälytys laukeaa minkä tahansa spektrikomponentin ylittäessä rajan, ovat menetelmiä joita käytetään, kun jo matalat spektrihuiput ovat vaarallisia. Vaihekulman mittaamista käytetään kun pyritään selvittämään vikaa tarkemmin, kun se esiintyy spektrissä käyntinopeudella tai sen kerrannaisilla. Tällaisia ovat muun muassa epätasapainon, linjausvirheen ja resonanssin erottaminen toisistaan. [11 s. 13, 17, 18 s. 45–46]

## 6.2 Korkeataajuiset värähtelymittaukset

Värähtelymittauksessa korkeataajuuksinen alue on tyypillisesti 20 kHz:n ja 1 GHz:n välillä. Korkeataajuisen värähtelyn on havaittu kasvavan selvästi, kun jokin laakerivika pääsee syntymään, esimerkiksi kun voitelukalvo häviää vierintälaakerista. [19]

### 6.2.1 Iskusysäys

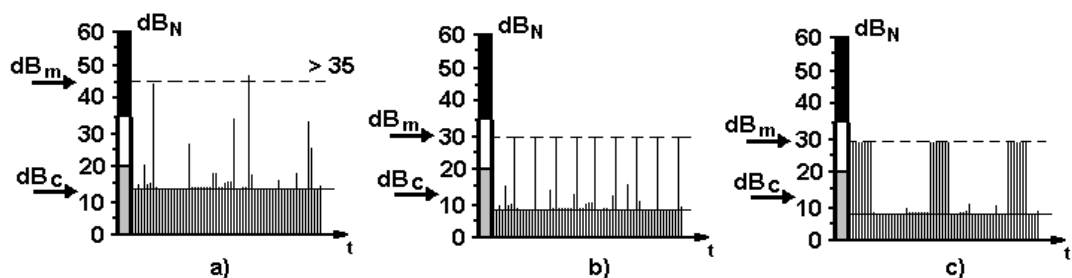
Iskusysäysmenetelmässä, SPM (shock pulse method), mitataan korkeataajuisia värähtelyä, jota muodostuu kun kappaleeseen kohdistuu iskumaisia voimia. Se on kehitetty varsinaisesti laakerien käynninvalvontaan. Iskusysäysmittauksessa käytetään erittäin herkkää pintaa koskettavaa värähtelyanturia. Kuvassa 6.6 on esitetty miten se eroaa matalataajuisesta anturista. Anturi resonoi 32 kHz:n taajuudella.



**Kuva 6.6** Korkea- eli ultraäänitaajuisen värähtelyn (1) ja matalataajuisen värähtelyn (2) ero.

[20]

Isku aiheuttaa kappaleeseen voiman, joka edesauttaa kappaleessa jo olevien mikrokooppisten säröjen kasvua ja uusien säröjen muodostumista. Tämä vapauttaa kappaleeseen varastoitunutta jännitysenergiaa, joka aiheuttaa jännitys-aaltoja. Kappaleessa ei esiinny silmin nähtävää värähtelyä. Jännitys-aalto etenee kappaleen sisällä pintaan ja aiheuttaa siinä niin sanottuja pinta-aaltoja eli Rayleighin tai Lamb-aaltoja. Mitta-anturin resonoinnin tuloksena saadaan iskusysäyksien arvot. Vaurioituneesta laakerista tai pyörivien osien koskettaessa toisiaan saadaan kuvan 6.7a mukainen iskusysäyskuvio. Kuvan 6.7b mukainen, säännöllisempi kuvio saadaan huonosti kiinnitettyjen tai väljien osien liikkeesta. Iskusysäyskuvion, kuten kuvassa 6.7c, jossa on selvästi leveämpiä signaalien maksimiarvoja, aiheuttavat toisiaan vastaan hankaavat kappaleet. Tästä esimerkki on akselin hankaus laakeripesään. [17 s. 249, 18 s. 49]



**Kuva 6.7.** Eri tapausten iskusysäyskuvioita: a) vaurioitunut laakeri b) toisiinsa iskevät osat c) toisiaan hankaavat osat. Huippuarvo (dbm) ja ns. mattoarvo (dbc), joka on mittauksen normaaliarvo.

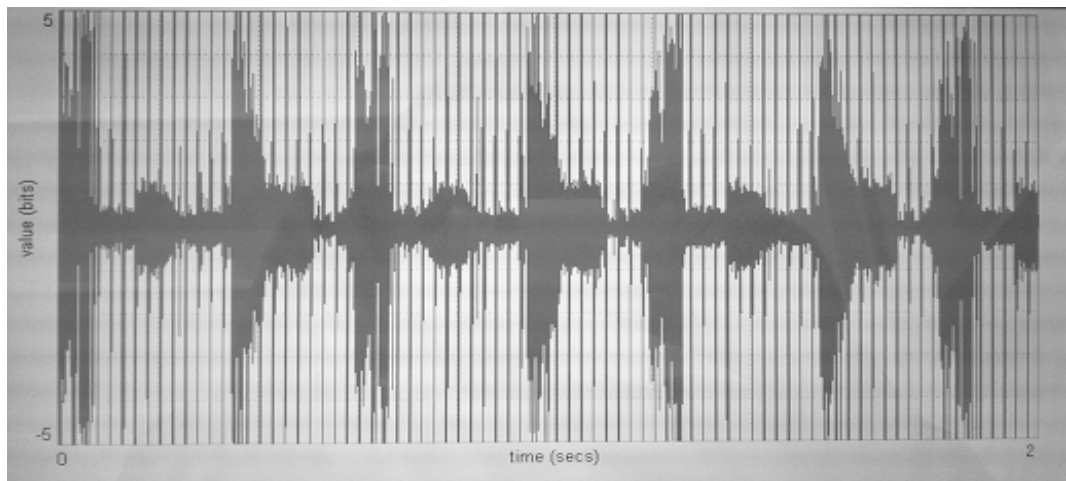
[17 s. 249]

### 6.2.2 Ultraääni

Ultraääni on ääni, jonka taajuus ylittää kuuloalueen. Sen alaraja on 20 kHz ja yläraja on 10 Ghz. Ultraääntä mittaavia mittauksia voidaan tehdä joko kappaleen pinnasta tai ilmasta. Ultraäänimittauksen taajuusalue kattaa myös iskusysäysmenetelmän mittausalueen. Pintaa koskettava ultraäänimittaus ilmaisee samanlaisia ilmiöitä kuin iskusysäys. Koska taajuusalue on laajempi, on sen erottelukyky jonkin tietyn vikaantumistavan kohdalla rajoittuneempi. Kappaleen pintaa koskettavassa mittauksessa kosketetaan pintaa piikillä. Sillä havaittavia tapauksia ovat esimerkiksi kavitaatio, laakerivauriot, osien hankaaminen toisiinsa kiinni ja liukukosketuksen puutteellinen voitelu. Kohteita, jotka voivat muodostaa ultraääntä, ovat muun muassa nopeasti pyörivät moottorit, moottorien vaihdelaatikot ja nesteiden ja kaasujen turbulentit virtaukset. Niihin voidaan käyttää ilmasta mitattavaa ultraäänitekniikkaa. Ultraäänellä tarkastellaan myös rajapintoja ja erilaisia materiaalivaurioita, kuten säröt ja sulkeumat. Tässä mittaustavassa tarvitaan ulkoinen ultraäänilähde, ja se perustuu kiinteiden materiaalien hyvään äänenjohtamiskykyyn. [11 s. 12, 17 s. 250, 21 s. 8]

### 6.2.3 Akustinen emissio

Kun materiaalissa tapahtuu nopea kimmoenergian vapautuminen, muodostuu lyhytaikaista jännitysaaltoja. Tätä korkean ultraäänialueen värähtelyä kutsutaan akustiseksi emissioksi (AE) ja sen taajuusalue on yleensä 50 kHz–1 GHz. Esimerkiksi uudessa vierintälaakerissa akustinen emissio on hyvin alhaisella tasolla. Jännitysaaltoja voidaan mitata kappaleen pinnasta pietsosähköisellä anturilla, jonka taajuusalue on 40 kHz:n ja 1 Mhz:n välillä. Akustisen emission signaalia voidaan käsitellä samalla tavalla kuin tavallista värähtelysignaalia, eli aika- ja taajuustasossa. Monissa tilanteissa akustinen emissio antaa huomattavamasti selkeämmän kuvan tapahtuvista ilmiöistä kuin kiihtyvyyssignaalit. AE-signaalissa (kuva 6.8) mäntien iskutaajuus näkyy tiheinä pystyviivoina huomattavasti selkeämmin kuin kiihtyvyyssanturin signaalissa (kuva 6.9). AE-signaalin voimakkuus moninkertaistui jo kun painetta hieman nostettiin.



**Kuva 6.8.** *AE-signaali.*

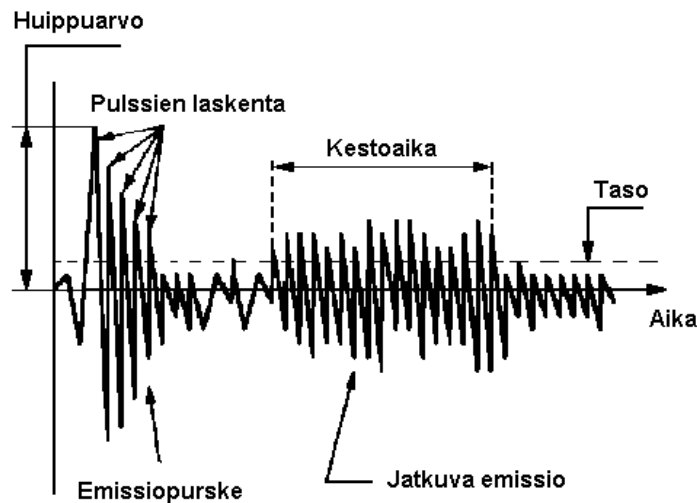
[8 s. 23]



**Kuva 6.9.** *Kiihtyvyyssanturin signaali.*

[8 s. 23]

AE-signaalista voidaan seurata erilaisia tunnuslukuja, kuten tietyn amplitudirajan ylittävien näytteiden määrä tietyssä ajassa, amplitudihuipun mittausta, signaalin kesto-aika ja signaalin energiasisällön mittausta, sekä AE-purskeiden keston ja esiintymisvälin seuranta. AE-purske koostuu useasta peräkkäisestä tietyn amplitudirajan ylittävästä aallosta. Kuvassa 6.10 on esitetty akustisen emission signaalin tarkastelukohteita.



**Kuva 6.10.** Akustisen emissioon signaali ja seurattavia tunnuslukuja.  
[17 s. 251]

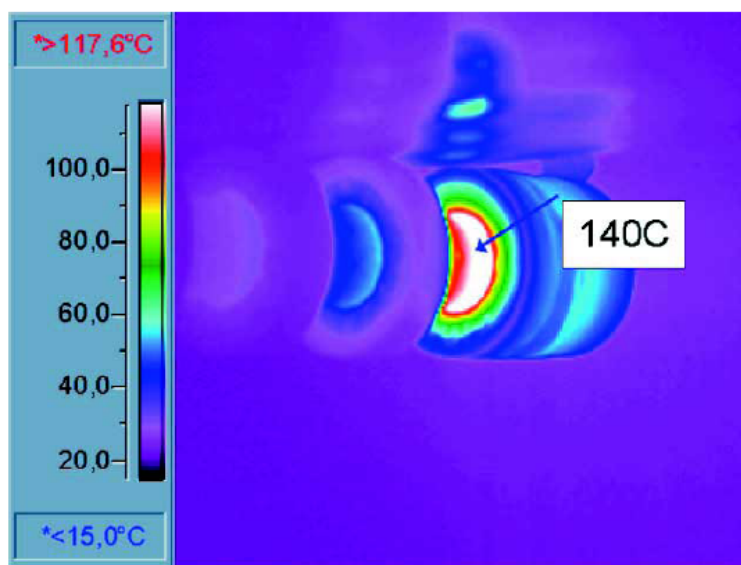
Signaalin analysoinnissa voidaan käyttää myös verhoikäymenettelyä, mutta koska AE-anturit toimivat resonanssiperaatteella ja niiden taajuusvaste on hyvin epälineaarinen, niissä ei yleensä käytetä taajuusanalyysiä. Akustisella emissiolla voidaan tarkastella esimerkiksi laakerivaurioita, kulumismekanismeja, tiivisteiden liukukosketuksia ja murtumismekanismeja. Sillä voidaan myös havaita kohteita, jotka jäisivät havaitsematta värähtelyyn perustuvilla mittausmenetelmillä, esimerkiksi laakerin vauriot, jotka eivät ulotu vierintäpintaan saakka. [8 s. 23, 17 s. 250–251, 18, 19]

#### 6.2.4 SEE

SEE (Spectral Emitted Energy) on SKF:n kehittämä mittausmenetelmä, joka käyttää verhoikäymenettelyä. Kyseessä on saman ilmiön mittaaminen kuin iskusysäysmenetelmässä, akustisessa emissiossa ja pinnasta mitattavassa ultraäänimenetelmässä. Tässä menetelmässä on tavoitteena löytää koneen ja ympäristön melun joukosta hyvin heikkoa signaalia, jota alkavat vauriot aiheuttavat. Mittauksessa käytetään laajakaistaisen signaalin mittaamiseen tarkoitettua akustisen emissioon anturia ja verhoikäyritekniikkaa. Mittauksen taajuusalue on sama kuin akustisen emissioon mittauksessa, eli 250 kHz:stä 350 kHz:iin. SEE-mittauksesta, joka on tavanomaista värähtelymittausta herkempi menetelmä, saadaan SEE-tunnusluku, jolla ei ole yksikköä. SKF on kehittänyt menetelmän vierintälaakereiden kunnonvalvontaan havainnoimaan esimerkiksi laakerivaurioita ja laakereiden puutteellista voitelua, mutta sitä voidaan käyttää myös kavitaation ja pyörivien tai värähtelevien osien toisiinsa osumisen mittaamiseen. [17 s. 252, 18 s. 49]

### 6.3 Lämpökamerakuvaus

Lämpökameroiden käyttö on lisääntynyt kunnonvalvonnassa, kun laitteet ovat tulleet halvemmiksi ja niiden koko on pienentynyt. Lämpökamera ei varsinaisesti anna tietoja esimerkiksi alkavasta laakeriviasta, mutta se kertoo selvästi jos käyttölämpötila on suunnitellusta poikkeava ja mahdollisesti lyhentää käyttöikää. Se mittaa kohteen lämpötilaa, ja muuttaa sen lämpöjakaumakuvaksi. Lämpökameran kuva on visuaalinen, kuten kuva 6.11 osoittaa, joten sitä on helppo tulkita. Yhdestä kuvasta nähdään laajempi lämpöalue kuin mitta-anturin yhden mittapisteen arvo.



**Kuva 6.11.** Lämpökameran kuva laakerin lämpötilajakaumasta. [18 s. 55]

Nykyaikaiset tietokonesovellukset pystyvät tulkitsemaan lämpökuvaa ja saavat siitä erilaista informaatiota, mutta mitta-anturille on helpompi asettaa tietty hälytyksen raja-arvo. Lämpökameralla nähdään selkeästi, jos esimerkiksi pyörivän kappaleen voitelu on puutteellinen tai laakerissa on jo vikaa, joka nostaa sen kitkavoimia. Joissain kohteissa lämmön nousu voi olla erittäin suuri riskitekijä, joka nostaa leimahduksen ja tulipalojen vaaraa. [11 s. 5, 18 s. 54–55]

## 7 MONITOROINTILAITTEISTO

Monitorointilaitteisto koostuu erilaisista mittausantureista, jotka on liitetty jollain tavalla, esimerkiksi standardilla virta- tai jänniteviestillä laitteistoon, joka käsittelee saadun datan. Laitteisto vaatii toimiakseen ohjelman, jonka ominaisuudet määräävät omalta osaltaan laitteiston käyttäjäystävällisyyden ja sen, mitä saadulla datalla voidaan tehdä. Jos mittalaitteita on suurempi määrä, voi olla järkevää käyttää kenttäväyliä. Niillä saadaan useamman anturin signaali kulkemaan samassa kaapelissa ja välttämään suurilta johtonipuilta, joita analogisessa virta- tai jänniteviestissä voi muodostua. Mittaantureilta tuleva signaali voi olla digitaalista tai analogista käytettävistä mittalaitteista riippuen. Jos ne ovat perinteisiä analogisia mittareita, pitää signaali muuttua digitaaliseen muotoon, jotta sitä olisi helpompi tallentaa ja analysoida käyttäen tietokonetta. Luonnollisesti digitaaliset laitteet ovat edullisempia, koska niiltä jää pois signaalinkäsittelyssä analogisen viestin muuttaminen digitaaliseksi, mutta digitaaliset mitta-anturit ovat puolestaan analogisia kalliimpia. Monitoroinnissa ja ohjauksessa käytettäviä laitteistoja on hyvin monenlaisia, ja tekninen kehitys kulkee koko ajan kohti yhä älykkäämpiä laitteita, jotka pystyvät toimimaan itsenäisesti ilman tietokonetta ja ulkoisia ohjelmia. Laitteita käsitellään tarkemmin luvussa 7.3.

### 7.1 Anturit

Erilaisten fyysisten suureiden mittaamiseen voidaan käyttää antureita. Antureista käytetään myös nimeä lähetin ja muunnin. Esimerkiksi paineen mittaamisessa voidaan käyttää mekaanista painemittaria. Siitä ei kuitenkaan saada signaalia, jota voitaisiin tarkastella ja tallentaa. Jos tarkasteltavasta kohteesta halutaan saada signaali, voidaan käyttää mekatronisia mittareita tai puhtaasti sähköisiä mitta-antureita.

Anturit ovat joko analogisia tai digitaalisia, riippuen niiden lähettämästä signaalista. Tyypillinen analoginen signaali on esimerkiksi 4–20 mA -virtaviesti, josta saadaan eroteltua vikatilanteesta johtuva 0 mA -viesti.

### 7.2 Tiedonsiirto

Tietoa voidaan siirtää joko lankoja pitkin johtimessa tai langattomasti.



### 7.2.1 Kenttäväylät

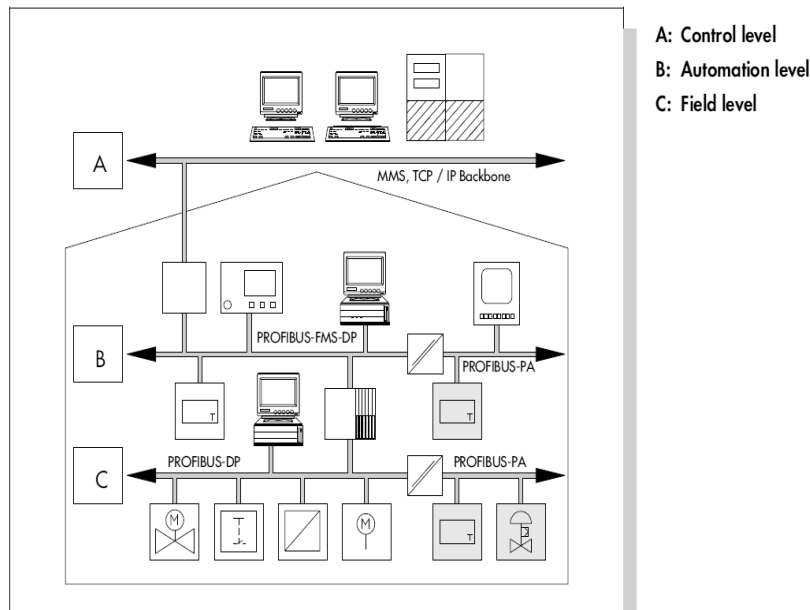
Automaation lisääntyessä lisääntyy myös siirrettävän tiedon määrä, minkä takia on usein järkevää käyttää kenttäväyliä. Ne ovat olleet teollisuudessa käytössä jo 30 vuotta. Jos käytetään perinteistä standardia analogista virtaviestiä, joka on 4–20 mA, tarvitaan jokaista anturia kohden oma parikaapeli ilman kenttäväylää. Parikaapeli kykenee vain yksisuuntaiseen tiedonkulkuun. Kenttäväylä pystyy kaksisuuntaiseen tiedonkulkuun, ja siihen voi liittää useita satoja laitteita protokollasta riippuen. Erilaisia kenttäväyliä on paljon, joten tässä esitetään vain muutama esimerkki. [8 s. 31, 22]

ARCNET oli ensimmäisiä kenttäväyliä. Se kehitettiin jo vuonna 1976, mutta silloin ei vielä ollut kiinnostusta kenttäväylille. Kenttäväylät yleistyivät vasta 80–90-luvun vaihteessa automaation lisääntyessä. [23]

CAN-väylä (Controller Area Network) kehitettiin vuonna 1986. Se käytti koaksiaalikaapelia tiedonsiirtoon. CAN-väylä suunniteltiin alun perin autojen hajautettujen ohjausjärjestelmien reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon, josta esimerkkinä toimii ABS-jarrujen ohjaus. Ajoneuvojen lisäksi CAN-väylää voidaan sovelletaan mm. lääketieteellisissä laitteissa ja hisseissä, koska sillä on muun muassa lyhyt vasteaika sekä hyvä sieto sähkömagneettisia ja muita häiriöitä vastaan. CAN-väylä on kierretty parikaapeli. [24]

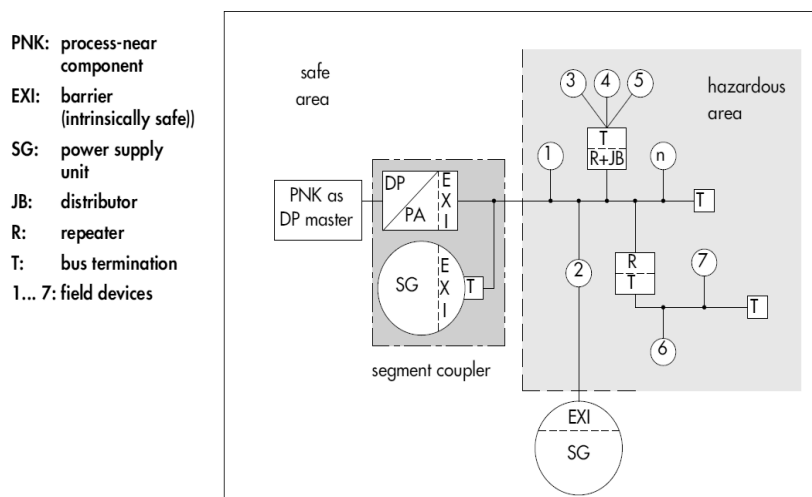
Modbus kehitettiin jo vuonna 1979. Modicon kehitti sen omille ohjelmoitaville logiikoilleen. Koska se on avoin ja lisenssimaksuton sekä siirtää raakadataa ilman laitevalmistajien asettamia rajoituksia, se on muodostunut yleiseksi standardiksi teollisuudessa. Yksinkertaisen protokollan ansiosta väylä on verrattain yksinkertainen. [25]

Profibus on DIN-standardiehdotus prosessiautomaation kenttäväyläksi. Sen esitteli BMBF (Saksan opetus- ja tutkimusministeriö) vuonna 1989. Profibus-väylästä on käytössä kahta eri versiota. Profibus DP (Decentralized Peripherals) on suunniteltu erityisesti nopeaan tiedonsiirtoon. Profibus PA:ta (Process Automation) taas käytetään, kun tarvitaan erityistä turvallisuutta esimerkiksi kohteissa, joissa on räjähdysvaara. Tämänlaisissa kohteissa Profibus PA:n kautta voidaan toimilaitteille tuoda niiden tarvitsema sähkö turvallisesti, jopa laitevian sattuessa. Tämä ominaisuus kuitenkin rajoittaa väylään kerrallaan kytkettävien laitteiden määrää ja väylän nopeutta. Versiot ovat yksinkertaisesti yhteen sovitettavissa, joten Profibus PA:ta voidaan käyttää järjestelmän turvallisuuden kannalta vaativimmissa kohteissa ja Profibus DP:tä nopeutta vaativissa kohteissa. Kuvista 7.1 ja 7.2 nähdään, että Profibus PA voidaan kytkeä kolmella eri tavalla: hierarkisesti, puumallisesti tai näiden yhdistelmällä. [26, 27]



**Kuva 7.1** Hierarkinen Profibus-järjestelmä.

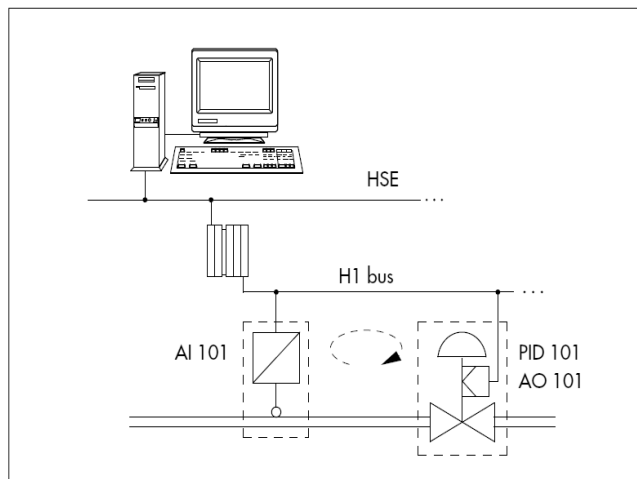
[27 s. 21]



**Kuva 7.2** Hierarkisen ja puujärjestelmän yhdistelmä.

[27 s. 22]

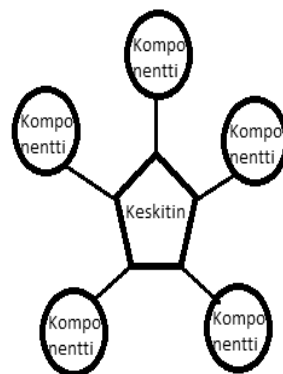
Foundation Fieldbus suunniteltiin korvaamaan standardi 4–20 mA:n jännitesignaali, mutta sen yleistyminen on osittain kaatunut sen kehityksen moniin myöhästymisiin. Sen ensimmäinen osa, alemman tason väyläsegmentti H1, ilmestyi vuonna 1996. Se voidaan toteuttaa osittain käyttäen vanhojen kenttäväylien kaapelointeja. Sen toinen osa, ylemmän tason väyläsegmentti H2, voidaan toteuttaa esimerkiksi HSE:llä (High Speed Ethernet), jolloin kokonaissiirtonopeus saadaan suureksi. Kuvasta 7.3 nähdään miten Foundation Fieldbusin kaksitasoinen järjestelmä toimii. Ylemmän tason väyläsegmenttiin voi liittyä useampi alemman tason väyläsegmentti, ja näin saadaan aikaiseksi monimutkaisia ja nopeita järjestelmiä. [28]



**Kuva 7.3** Foundation Fieldbusin eri tasot.

[28 s. 9]

Nykyään teollisuus-ethernet-pohjaiset järjestelmät yleistyvät, mutta edellä mainittujen kenttäväylien käyttö eri osa-alueilla automaatiojärjestelmissä on vielä yleistä. Teollisuus-ethernet on nimi, joka on annettu ethernetille, jota käytetään teollisuudessa automaatio- ja monitorointijärjestelmissä. Ethernet on pakettipohjainen lähiverkkoteknologia (LAN), johon internet perustuu. Se tarjoaa monia mahdollisuuksia maailmanlaajuiseen verkottumiseen, ja siihen pohjautuvat kenttäväylät tarjoavat monia uusia mahdollisuuksia sen nopeuden ja joustavuuden ansiosta. Ethernet-pohjaisilla kenttäväylillä on ethernetin hyvät ominaisuudet, kuten yksinkertainen kaapelointi, vaivaton integrointi ylemmän tason järjestelmiin ja verkkorakenteen helppo laajennettavuus. Teollisuus-ethernetin komponentit on suunniteltu teollisuuskäyttöön ja ovat tukevatekoisempia kuin perus-ethernet-komponentit. Ethernetin heikkoutena on sen haavoittuvuus. Jos jossain kohtaa kaapelia on häiriö, kokonainen menettää pääväylä toimintakykynsä. Tämä ongelma voidaan kiertää toteuttamalla ethernet-verkko tähtimallilla, jossa jokainen komponentti kytketään omalla johdollaan keskittimiin kuten kuva 7.4 osoittaa.



**Kuva 7.4** Tähtikytkentä.

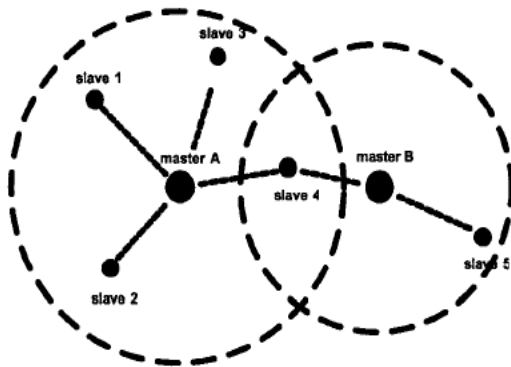
Markkinoilta löytyy useampia reaaliaikaisia teollisuus-ethernet-pohjaisia kenttäväyliä, esimerkiksi EtherCAT, Profinet ja Modbus TCP. [29, 30]

### 7.2.2 Langaton tiedonsiirto

Nykyään langattomat tekniikat pystyvät jo datansiirtoon, joka riittää suurimman osan teollisuuden laitteiden tarkkailuun ja ohjaukseen. Langattomat tekniikat tuovat uusia mahdollisuuksia varsinkin etänä toteutettavaan mittauksiin ja ohjauksiin. Liikkuvat kohteet ja paikat, jotka ovat hankalasti johdotettavissa etäisyyden tai yleisesti ottaen sijaintinsa takia, ovat myös varteenotettavia kohteita langattomille tekniikoille.

Yleisin käytössä oleva langaton järjestelmä on WLAN ja sen standardit 802.11a ja 802.11g, joiden tiedonsiirtonopeus on 54 Mbps, ja 802.11n, joka on huomattavasti nopeampi ja kykenee nopeuteen 600 Mbps. Mittalaitteet voidaan liittää WLAN-kortilla tai käyttämällä langattomia antureita. WLAN-verkon etuna on se, että sitä voi käyttää suoraan ethernet-verkkojen kanssa. WLAN-verkon tiedonsiirtokapasiteetti on hyvä ja käyttöetäisyys on tehdasympäristöön usein riittävä kymmenistä aina satoihin metreihin. WLAN:illa on helppo toteuttaa langattomat laajennukset jo olemassa olevan väyläratkaisun kanssa. Vanhemmilla kenttäväylätyypeillä toteutetun järjestelmän voi liittää jollain keinolla PC-tietokoneeseen ja kytkeä siihen esimerkiksi WLAN-verkkokortin, jolloin saadaan kytkettyä järjestelmä koko tehtaan lähiverkkoon. [31, 32]

Bluetooth on WLAN:ia uudempi, Ericssonin kehittämä langattoman tiedonsiirron standardi. Se on edennyt jo kolmanteen versioonsa, Bluetooth 3.0. Sen tiedonsiirtonopeus on noussut ensimmäisen version nopeudesta 1 Mbps toisen version, Bluetooth 2.0:n, nopeuden 3.0 Mbps kautta kolmannen version nopeuteen 24 Mbps. Se kilpailee periaatteessa WLAN:in kanssa, mutta häviää vieläkin nopeudessa selvästi, varsinkin WLAN:in nopeimmalle standardille IEEE 802.11n 600 Mbps. Se pystyy kilpailemaan kuitenkin edullisemmalla hinnalla, yksinkertaisuudella ja alhaisella virrankulutuksella, joka mahdollistaa paristoilla toimivat lähettimet. Periaatteessa bluetoothin kanssa samanlaisiin käyttökohteisiin sopisi IrDA (Infrared Data Association), mutta se ei kykene yhteyslaitteiden autentikointiin eikä tiedonsalaukseen eli -kryptauksen. Vaikka IrDA onkin huomattavasti vanhempi tekniikka kuin Bluetooth, sitä ei juurikaan käytetä tiedonsiirtoon teollisuudessa. Bluetooth-laitteet muodostavat piconetin, jossa maksimissaan kahdeksan laitetta on yhteydessä toisiinsa yhden ollessa master ja loput ovat slaveja. Bluetooth-verkot voivat kuitenkin muodostua usean piconetin kombinaatioista, jolloin yksi slave kuuluu useammalle masterille, kuva 7.5. [31]



**Kuva 7.5** Useamman piconetin muodostama Bluetooth verkko.

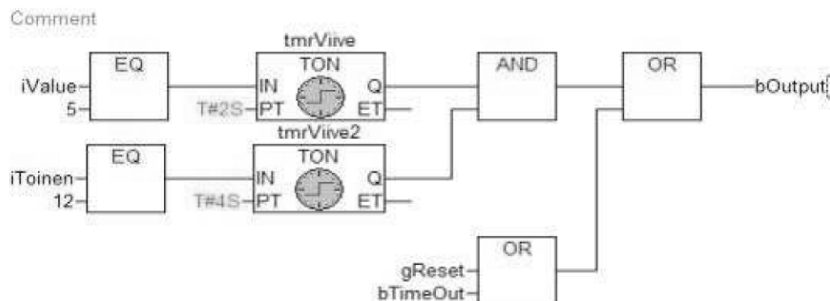
[31]

### 7.3 Ohjelmat

Mittaus- ja säätöohjelmisto on olennainen osa monitorointijärjestelmää. Yksinkertaisimmillaan mittausohjelma näyttää mitattavan signaalin senhetkisen arvon esimerkiksi numerona, mutta tallentaa dataa muistiin myöhempää analysointia varten.

Jos monitorointi- ja ohjausjärjestelmänä käytetään ohjelmoitavaa logiikkaa, muodostuu haasteeksi logiikan ohjelmoinnin vaatimukset. Nykyään suosittuja ovat standardin IEC 61131-3 mukaiset ohjelmointikielet. Niitä on viisi: FBD (Function Block Diagram), LD (Ladder Diagram), ST (Structure Text), IL (Instruction List) ja SFC (Sequential Function Chart).

FBD (Function Block Diagram) eli funktiolohko-ohjelmointi on visuaalinen ja selkeä, siksi se on paljon käytetty ohjelma. Kuvassa 7.6 on esimerkki FBD:llä toteutetusta ohjelmasta ja sen selkeydestä. [33]



**Kuva 7.6** FBD:llä toteutettu ohjelma.

[33]

Ohjelmointitapa LD (Ladder Diagram) eli tikapuukaavio on suoraan graafinen versio todellisesta relekaaviosta, kuten kuvasta 7.7 nähdään. LD on yksinkertainen ohjelmoida

ja vianhaku on helppoa, mutta kasvava tilantarve suuremmissa järjestelmistä tekee siitä sekavan. [33]



**Kuva 7.7** LD:llä toteutettu ohjelma.

[33]

ST (Structure Text) on basic/pascal-sukuinen ohjelmointikieli. Tämä on joustava ohjelmointikieli, mutta ei kerro selkeästi mitään siitä tietämättömälle henkilölle. Kuvasta 7.8 nähdään, että siinä käytetään muun muassa ohjelmoinnista tuttua IF ELSE -silmukkaa. [33]

```
(* Erilliset IF ja ELSE lauseet *)
IF i_VaunuSisaan AND (NOT i_VaunuSisalla) THEN
  o_VaunuSisaan:=TRUE;
ELSE
  o_VaunuSisaan:=FALSE;
END_IF

(* Saman voi tehdä myös suoraan sijoittamalla *)
o_VaunuUlos:=i_VaunuUlos AND (NOT i_VaunuUlkona);

(* Vilkkuvälön välkyttämiseen käytetään globaalia vilkkubittia jota hoidetaan FB_FlashByte funktiosta *)
(* Huomaa, että byte muuttujan yksittäisiin bitteihin voi viitata BYTE.x tyyliä *)
IF (o_VaunuSisaan OR o_VaunuUlos) AND gFlashByte.2 THEN
  o_VilkkuValo:=TRUE;
ELSE
  o_VilkkuValo:=FALSE;
END_IF
```

**Kuva 7.8** ST:llä toteutettu ohjelma.

[33]

IL (Instruction List) eli käskylista on assemblyä muistuttava kieli, joka on yksinkertainen. Sen heikkoutena on monimutkaisten tehtävien hankala toteuttaminen. Kuvassa 7.9 on esimerkki IL:llä toteutetusta ohjelmasta. [33]

```

PROGRAM IL
VAR
  Result: INT;
  I_StartButton: BOOL;
  O_MotorOn: BOOL;
END_VAR
<
LD 2
MUL 2
ADD 3
ST Result

LD I_StartButton
AND TRUE
S O_MotorOn

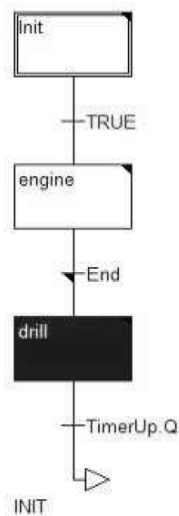
LD Result
GT 5
R O_MotorOn

```

**Kuva 7.9** IL:llä toteutettu ohjelma.

[33]

SFC (Sequential Function Chart) eli vuokaavio on selkeä, kuten kuvasta 7.10 käy ilmi. Sen vahvuuksia on, että siitä käy hyvin selväksi missä koodin suoritus etenee ja mikä on siirtymäehto seuraavaan. [33]



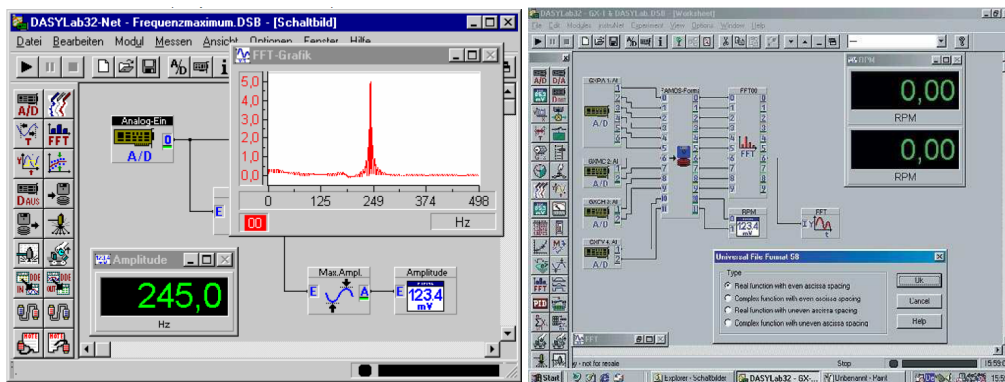
**Kuva 7.10** SFC:llä toteutettu ohjelma.

[33]

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) on graafinen käyttöliittymä ohjelmoitavalle logiikalle. Sillä voi nimensä mukaan kontrolloida järjestelmää ja hallita tiedon keruuta. Suomekielinen nimi SCADA:lle voisi olla valvomo-ohjelmisto tai PC-valvomo. Kaikilla suurimmilla logiikkavalmistajilla on omat valvomo-ohjelmansa, vaikka he eivät niitä aina kutsukkaan SCADA-ohjelmiksi. Periaatteessa eri valmistajien logiikat ja valvomo-ohjelmat toimivat keskenään ja tiedonsiirron eri järjestelmien välillä pitäisi olla mahdollista. [34]

Nykyään markkinoilla on myös paljon erilaisia mittausohjelmistoja, joilla voidaan esittää mitattavat arvot graafisesti erilaisilla mittareilla. Ohjelmat ovat hyvin selkeitä, kuten kuvista 7.11 ja 7.12 nähdään. Ne kertova ohjelma ohjelmointiin perehtymättömällekin henkilölle mitä järjestelmässä tapahtuu. Niillä voidaan asettaa mitattaville arvoille erilaisia rajoja, joiden rikkoutuessa annetaan hälytys tai toteutetaan esimerkiksi koko laitteiston alasajo. Näillä ohjelmilla voi toteuttaa monipuolisesti mittausdatan käsittelyn, yksittäisen laitteen ohjauksen tai vaikka koko laitteiston automatisoinnin. Täysin graafisen käyttöliittymän ansiosta ohjelmointitaitoja ei tarvita entuudestaan, vaan ohjelmointi on hyvin yksinkertaista. Ohjelma tallentaa datan myöhempää käsittelyä varten, mihin voidaan kylläkin tarvita erillistä ohjelmaa.

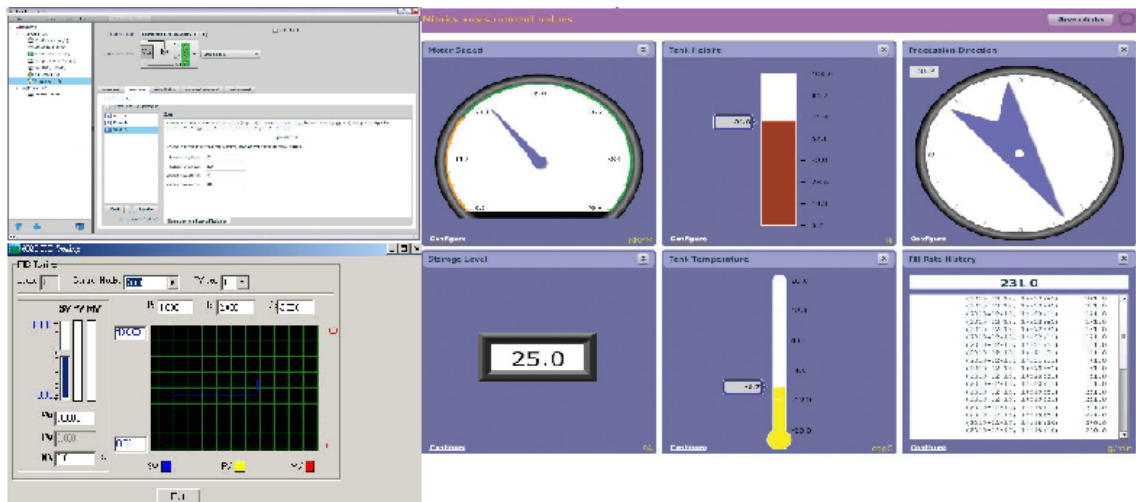
Ohjelmat ovat kuitenkin suhteellisen kalliita ja päivityksien hankkimisesta tulee lisähintaa uusien toimintojen ilmestyessä. Kaikki ohjelmat eivät tue kaikkia komponentteja, ja ongelmia voi tulla myös seuraavan päivityksen kanssa, jos siinä ei olekaan ajureita jo olemassa olevaan laitteistoon. Tällaisia ohjelmia ovat muun muassa DASYlab, labVIEW ja DEWESoft. [35, 36]



**Kuva 7.11 ja 7.12** Esimerkkejä DASYlabin graafisesta käyttöliittymästä.  
[35, 36]

Joissain älykkäissä laitteissa on jo sisäinen ohjelmisto ja siinä toimintoja, niin että erillistä ohjelmaa ei tarvita. Esimerkiksi dataloggereissa on sisäinen WEB-serveripohjainen ohjelmisto, jossa on erilaisia ohjausmahdollisuuksia ja raja-arvon tarkkailua. Ohjelman käyttöliittymä on selkeä kuten kuvasta 7.13 nähdään. Ne myös tallentavat mittadatan automaattisesti myöhempää tarkkailua varten. [37]





**Kuva 7.13** Esimerkkejä dataloggerin ohjelmiston käyttöliittymästä ja graafikasta.

[37]

Usein kerätyn datan analysointiin käytetään erillistä ohjelmaa. Sillä saadaan graafisia selkeitä kuvia, joista selviää hyvin mitä on tapahtunut esimerkiksi pumpun paineille ennen kuin järjestelmä on pysäyttänyt pumpun moottorin. Näin saatu data on helppo dokumentoida, ja siitä on helppo tehdä johtopäätöksiä.

## **8 MONITOROINTILAITTEISTON VAATIMUKSET JA RATKAISUVAIHTOEHDOT**

### **8.1 Laitteiston vaatimukset**

Järjestelmään halutaan ensi vaiheessa etämonitorointi ja saadun mittadatan tallennus myöhempää tarkkailua varten. Siinä pitää olla signaalille sisäinen tallennuskapasiteetti, koska signaalin lähettämisiongelmiä aikana tapahtuneista ongelmista ja katkoihin johtaneista tilanteista pitää saada dataa jatkoselvitystä varten. Järjestelmä täytyy suunnitella toista vaihetta ajatellen, eli siinä on oltava mahdollisuus päivityksellä siirtyä etäohjaukseen. Toimilaitteen signaalin mittaustiheydeksi riittää ensimmäisessä vaiheessa 1–10 minuuttia, mutta toisessa vaiheessa mittaustiheyden tulisi olla niin nopea, että laitteiston ohjaus olisi toteutettavissa ilman pitkää odotusaikaa. Tämä tarve aiheuttaa sen, että laitteen signaalinmittausnopeus on laitteistolle rajoittava tekijä jo ensimmäisen vaiheen suunnittelussa. Mittausnopeuden olisi hyvä olla noin viiden sekunnin luokkaa.

Järjestelmälle kartoitettiin erilaisia vaatimuksia keskustelemalla eri henkilöiden kanssa, joilla on intressejä tulevan järjestelmän ominaisuuksiin. Yleisiä vaatimuksia laitteiston käytettävyyteen ja fyysisiin ominaisuuksiin tuli joitain. Laitteiston tulisi olla kestävä, sillä olosuhteet, joissa itse pumppauslaitteisto toimii, ovat vaativat. Esimerkiksi aavikolla sijaitsevat laitteet joutuvat tekemisiin hiekan ja pölyn kanssa. Monitorointilaitteet sijaitsevat kuitenkin kontin sisällä, erillisessä tilassa, jossa sijaitsevat muutkin sähkölaitteet, eivätkä suorassa kontaktissa ulkona vallitseviin olosuhteisiin. Sähkökaappi on ilmastoitu, joten ulkona vallitseviin olosuhteisiin laitteisto ei joudu. Muita laitteiston fyysisiin ominaisuuksiin liittyviä vaatimuksia on laitteiston koko. Sähkökaappi, johon laitteisto sijoitetaan ei ole tilava, eli kompakti koko on tärkeä ominaisuus. Esimerkiksi pöytätietokonekäyttöinen järjestelmä näyttöineen ei tule kysymykseen. Järjestelmältä olisi toivottavaa, että se ei tarvitsisi toimiakseen ulkoisia lisälaitteita, kuten esimerkiksi tietokonetta. Tilan tarpeen ja muiden kulujen, esimerkiksi varastoitavien varaosien tarpeen, takia olisi hyvä, jos laite olisi mahdollisimman yksinkertainen, mutta pystyisi itsenäiseen työskentelyyn. Jos laitteistossa ei tarvita erillistä tietokonetta, on siinä oltava mahdollisuus liittyä

tietokoneella laitteistoon suoraa paikan päällä ja tehdä laitteiston ohjelman muutoksia ja tarkastella mittausdataa.

Järjestelmän päivitysmahdollisuudet olivat myös yksi tärkeä asia, joka tulisi ottaa huomioon. Jossain vaiheessa monitorointilaitteiston komponentteja voi olla tarpeellista päivittää, ja siksi olisi hyvä, jos laitteisto olisi rakentunut erilaisista moduuleista, joita voisi vaihtaa ilman että koko järjestelmä pitää uusia. Moduuleista koostuvasta järjestelmästä voidaan vaihtaa myös rikkoutuneita komponentteja, mikä voi tulla edullisemmaksi kuin koko järjestelmän uusiminen. Toisaalta varastoitavien nimikkeiden määrän kasvu ei ole hyvä asia, sillä niihin on kiinnitettynä turhaa pääomaa. Modulaarisuus mahdollistaa hyvin myös laajennettavuuden. Se on tärkeää ottaa huomioon, vaikka kyseessä olisikin suhteellisen standardin laitteiston monitorointijärjestelmän suunnittelu. Jos laitteiston kaikkia tulevaisuuden vaatimuksia ei ole vielä tiedossa, eikä välttämättä edes kaikkia haluttavia mittauskohteita, on tärkeää, että laitteeseen saa lisättyä jälkikäteen esimerkiksi uusia signaalien sisääntuloja tai ohjauksen ulostuloja. Tärkeää on myös laitteiston yhteensopivuus erilaisten ohjelmien kanssa. Esimerkiksi mahdollisuus ohjelmistopäivityksiin ilman järjestelmän moduulien vaihtamista on tärkeää, sillä lähes kaikki uudet toiminnot, joita laitteistolta voi tulevaisuudessa vaatia, ovat ohjelmiston kehityksen tulosta. Itse signaalien mittaaminen on suhteellisen yksinkertainen ja muuttumaton asia.

Pumppausasemien sijainnit sijaitsevat yleensä paikoissa joihin ei ole kannattavaa tai mahdollista hankkia muuta internetyhteyttä kuin langaton mobiiliyhteys. Tästä syystä laitteiston suunnittelussa tulee ottaa huomioon mahdollisuus käyttää GPRS- tai 3G-yhteyttä tiedon siirtoon.

## **8.2 Tarkkailtavat kohteet**

Tällä hetkellä tarkkailtavia kohteita on seitsemäntoista.

Kontista tarkkaillaan virtausta; imupainetta; tuottopainetta; painetta kaivolle; pumpun kierroslukua; moottorin virtaa, tehoa ja energiaa; käyntiaikaa; nimellismomenttia; pumpun öljynpintaa ja tärinää.

Separattorista tarkkaillaan ulosmenevää neste- ja kaasuvirtausta, painetta ja nestepinnan tasoa.

Suodattimesta tarkkaillaan paine-eroa.

## **8.3 Peruslähtötiedot**

Saatujen tietojen perusteella tehtiin listaus, mitä laitteistolta vaaditaan.

### 8.3.1 Yleistä

Järjestelmältä halutaan ensi vaiheessa etävalvontaa, mutta lisäksi halutaan säilyttää mahdollisuus siirtyä etäohjaukseen järjestelmän päivityksen avulla.

Toimilaitteen signaalin mittaustiheydeksi ensimmäisessä vaiheessa riittää 1–10 minuuttia, mutta toisessa vaiheessa mittaustaajuus pitää olla 1 s.

Järjestelmän vaatimuksia:

- käytettävyys
  - kestävä
  - kompakti
  - ei tarvitse toimiakseen ulkoisia lisälaitteita, esim. kannettava tietokone
  - mahdollisuus liittyä järjestelmään ulkoisella toimilaitteella
  
- päivitettävyys
  - modulaarisuus
  - laajennettavuus
    - mahdollisuus lisätä järjestelmään toimilaitteiden ohjaus (katso kohta 3)
  - mahdollisuus ohjelmistopäivitykseen ilman moduulien vaihtamista
  
- tietoliikenne
  - tiedonsiirto mahdollista GPRS-yhteyden avulla
  - paikallisen ohjauksen toimintavarmuus
  
- ohjelman käytettävyys
  - ohjelmalla tulee olla mahdollista hallita useampia laitekokonaisuuksia kerralla, niin että hälytykset on helppo paikantaa
  - mahdollisuus asettaa valvontaohjelmalle raja-arvoja, joiden avulla valvontaa voidaan helpottaa ja tulevaisuudessa automatisoida
  
- hardware
  - sisäinen tallennuskapasiteetti signaaleille

### 8.3.2 Monitorointi ja tallennus

Ensimmäisessä vaiheessa toteutetaan etämonitorointi ja tiedon tallennus.

Monitoroitavia suureita:

Kontista:

- virtaus
- imupaine
- tuottopaine

- paine kaivolle
- pumpun kierrosluku
- moottorin virta
- moottorin teho
- moottorin energia
- käyntiaika
- nimellismomentti
- pumpun öljynpinta
- tärinä

Separaattorista:

- nestevirtaus ulos
- kaasuvirtaus ulos
- paine
- nestepinnan taso (selvitettävä)

Suodattimesta:

- paine-ero

### 8.3.3 Ohjaus

Toisessa vaiheessa toteutetaan laitteiston etäohjaus.

Laitteiston on kyettävä tarpeeksi nopeaan ohjaukseen (1 s)

- paikallinen ohjaus
- etäohjaus

Esimerkkejä etäohjattavista toimilaitteista:

- Moottoriventtiili
- Moottorinkierrosnopeuden säätäminen

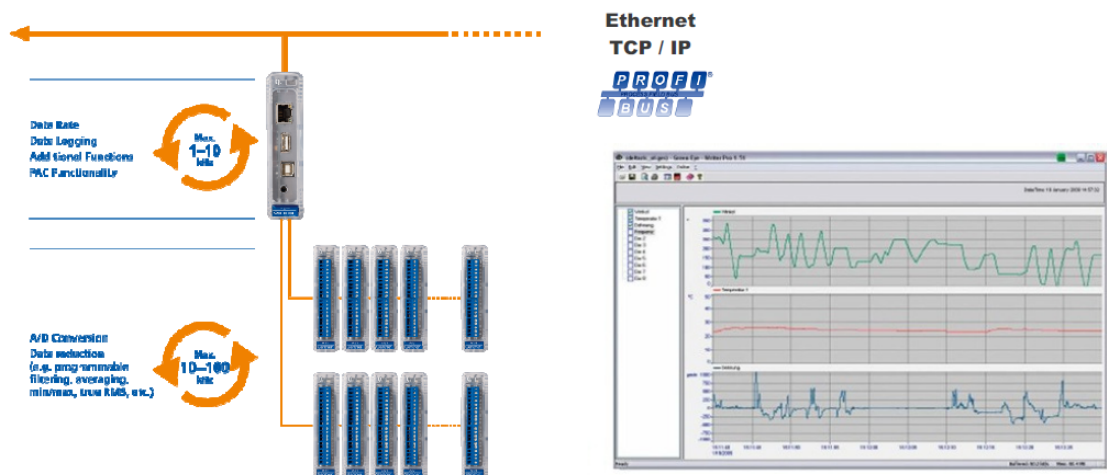
Etäohjattujen toimilaitteiden ja niiden ominaisuuksien määrittäminen tehdään myöhemmässä vaiheessa, mutta ohjauksen mahdollistaminen on otettava huomioon laitteistoa valittaessa.

## 9 RATKAISUVAIHTOEHDOT

Sellaisia ratkaisuvaihtoehtoja, jotka toteuttaisivat kaikki oleellimmat laitteiston vaatimukset, lähdettiin heti etsimään. Vaihtoehtoja haettiin eri valmistajien olemassa olevista ratkaisuvaihtoehtoista, koska näin saatiin mukaan yksi oleellinen valintakriteeri, eli hinta. Toimintaominaisuuksiltaan kolme erilaista vaihtoehtoa toteutti tarvittavan hyvin asetetut vaatimukset.

### 9.1 Hajautettu I/O -pohjainen järjestelmä

Hajautettu I/O on erilaisista komponenteista koostuva älykäs järjestelmä, joka ei tarvitse tietokonetta toimiakseen. Se tallentaa saadun mittausdatan erilliselle muistikortille, josta se voidaan ottaa talteen myöhempää tarkastelua varten. Laitteiston ohjaukseen ja mittadatan tarkasteluun tarvitaan tietokone, mutta nämä toiminnot voidaan tehdä etäkäyttönä, jos järjestelmä on kytkettynä verkkoon esimerkiksi GPS-modeemin avulla. Hajautettu I/O on hyvin monipuolinen ja kuvasta 9.1 nähdään, että sitä on mahdollista laajentaa uusien tarpeiden ilmestyessä lisäämällä siihen vain tarvittavat ominaisuudet omaavia komponentteja.



**Kuva 9.1** Komponenttien, esimerkiksi analogisten mittakorttien, liittäminen hajautetussa I/O:ssa

Hajautettu I/O -laitteisto käyttää standardeja kenttäväyliä, joten useankaan mittalaitteen liittäminen ei tuota ongelmia. Tässä projektissa päätettiin käyttää standardia virtaviestiä, joka saatiin jo olemassa olevista mittalaitteista, joten sen kytkemiseen mittakorttiin tarvitaan erillinen muunnin.

## 9.2 Dataloggeripohjainen järjestelmä

Dataloggeri on itsenäinen ja älykäs laite, jolla voidaan toteuttaa järjestelmän monitorointi. Siinä on yleensä useita sisään- ja ulostuloja, analogisia ja digitaalisia, kuten kuva 9.2 osoittaa.



**Kuva 9.2** Dataloggeri

[37]

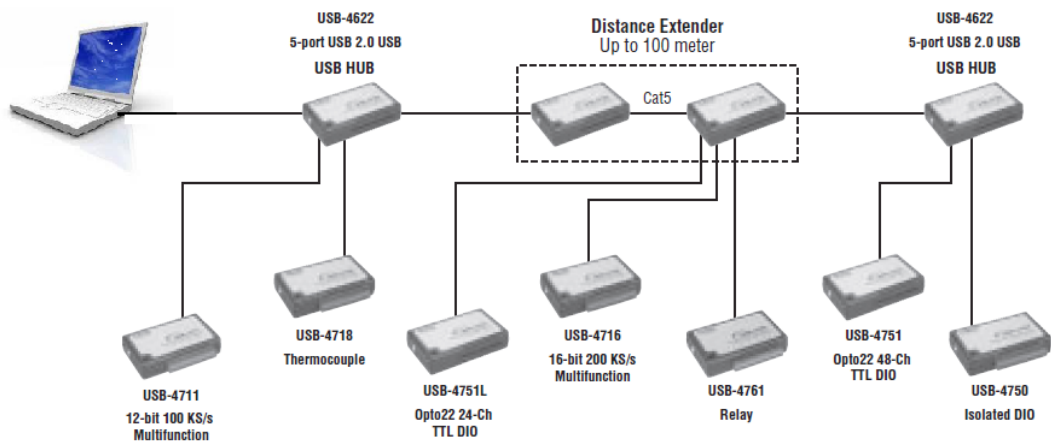
Jos dataloggerin kytkentäkapasiteetti ei ole riittävä, sitä voidaan lisätä erillisellä laajennusosalla. Se kykenee itsenäiseen työskentelyyn sisäisen akkunsaa ja muistikapasiteettinsa ansiosta. Jos sisäinen muisti ei riitä, siitä löytyy USB-portti, johon voidaan liittää muistitikku. Laite ei tarvitse mitään ohjelmaa toimiakseen, sillä siinä on sisäänrakennettu WEB-serveri ja jokaisella dataloggerilla on oma internetosoitteensa. Sen voi liittää verkkoon esimerkiksi GPS-modeemin avulla, jolloin mittausarvoja voidaan seurata laitteen omalta sivulta. Dataloggerin oman verkkosivun voi muokata sellaiseksi kuin haluaa erilaisten graafisten välineiden avulla. Mitattava data voi näkyä esimerkiksi pelkästään numerona, perinteisenä mittakellona tai ajan mukaan etenevänä kaaviona. Nettiyhteyden avulla mittausdata voidaan lähettää automaattisesti FTP-tiedostosiirtona esimerkiksi kerran päivässä. Dataloggerin ominaisuuksiin kuuluu myös erilaisten hälytysrajojen tarkkailu. Sama toiminta voi olla tietysti muiden järjestelmien käyttöohjelmien ominaisuutena. Esimerkiksi GPS-modeemin avulla voidaan lähettää hälytys suoraan matkapuhelimeen, mikä mahdollistaa huoltohenkilöstön erittäin nopean reagoimisen hälytysrajojen rikkoutumisiin.

## 9.3 I/O-korttipohjainen järjestelmä

I/O-mittakorttipohjainen järjestelmä ei kykene itsenäiseen työskentelyyn, vaan vaatii toimiakseen ja tietojen tallentamiseen tietokoneen ja ohjelmiston. Tämä ei kuitenkaan ole täysin yksiselitteistä, sillä joillain valmistajilla on I/O-mittakortteja, joissa on oma käyttöjärjestelmä ja sisäinen tallennusmahdollisuus omalle muistille. Erilaisten

komponenttien määrittäminen erilaisiin kategorioihin on siis hankalaa, koska niiden älykkyys ja ominaisuudet lisääntyvät koko ajan.

Mittakortteja on olemassa erilaisilla liitännöillä varustettuna, esimerkiksi tietokonekotelon sisään asetettavalla PCI-kortti tai ulkoinen USB-kortti. USB-kortti on vielä harvinaisempi, mutta niitäkin alkaa löytyä useammalta valmistajalta. Niiden yleistymistä auttaa kannettavien tietokoneiden kilpailukykyinen hinta ja tätä kautta yleistymisen. USB-mittakortteja voidaan liittää HUBin avulla suuria määriä ja näin aikaansaada laajoja mittausjärjestelmiä (kuva 9.3).



**Kuva 9.3** Tietokoneeseen USB HUBien avulla liitettyjä USB-mittakortteja.

[38]

I/O-mittakorttipohjainen järjestelmä tallentaa datan tietokoneen muistille, joten muistikapasiteetti ei tuota ongelmia. Tietokoneen näytöltä pystytään helposti myös tarkkailemaan dataa paikan päällä ja tekemään säätöjä tai ohjelman muutoksia. Tietokoneessa on paljon muitakin etuja, esimerkiksi hyvät verkkoonliitäntäominaisuudet. Valmistajien ja kilpailun määrän ansiosta tietokoneiden hinnat ovat niin edullisia, että se on lähes järjestelmän edullisin komponentti. Myös erilaiset komponentit ovat edullisempia ja valinnanvaraa on enemmän – esimerkiksi GSM-modeemit ovat noin kymmenen kertaa edullisempia tietokoneelle dataloggerille. Tietokoneen kanssa voi käyttää vakionettitikkua, jossa on vielä lisänä liitäntä ulkoiselle antennille paremman signaalin saamiseksi syrjäisemmissäkin ja vaativimmissa kohteissa. Järjestelmä vie kuitenkin enemmän tilaa, koska tietokoneen pitää olla samassa paikassa mittakortin kanssa. Tietokone voi olla myös epävarmuustekijä, esimerkiksi tärisevissä tai pölyisissä kohteissa.

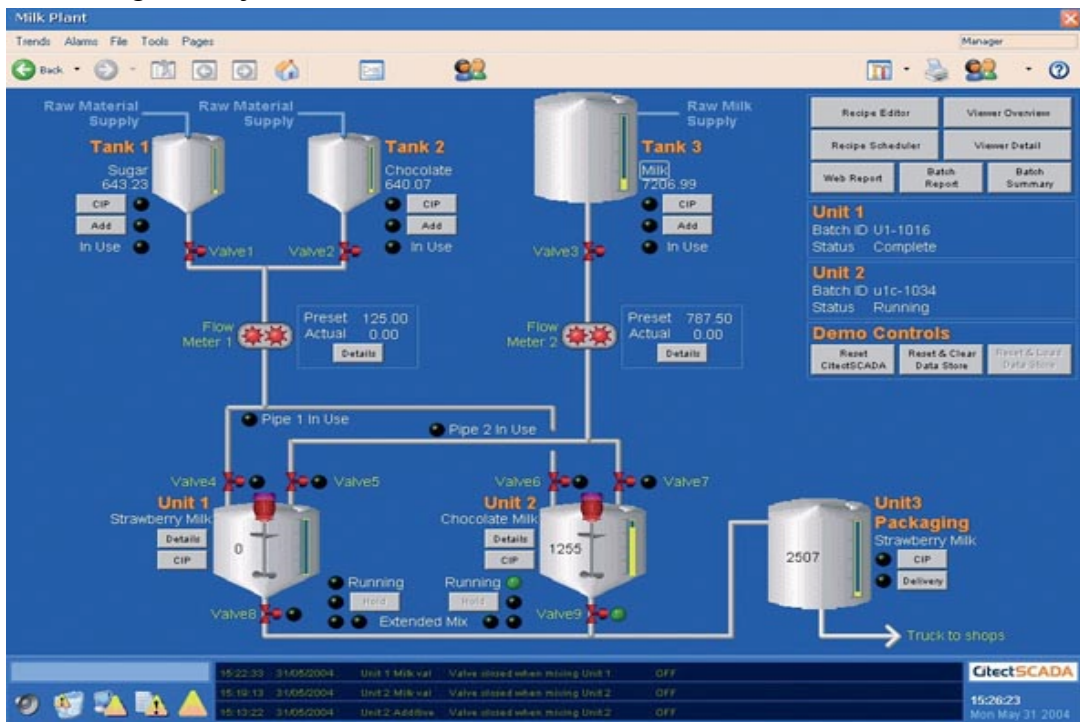
## 9.4 Ohjelmoitava logiikka käyttäen SCADA-ohjelmaa

Ohjelmoitava logiikka ei tarvitse toimiakseen ulkoista tietokonetta. Ohjelmoitavaan logiikkaan saa liitettyä muistikortin, johon tiedot voidaan tallentaa. Erilaisten



tiedonsiirtotapojen käyttö on mahdollista etäkäyttöä ajatellen. Logiikan laajennettavuus on lähes loputon.

Kun logiikan kanssa käytetään SCADA-ohjelmaa, ei tiedon tarkkailuun tarvita kuin logiikkaan liitettävä näyttö. Näytöltä voidaan tehdä myös järjestelmänohjauksia, mikäli sellaiset parametrit on luotu ohjelmaan. Kuvassa 9.4 on CitectSCADA:lla toteutettu logiikkaohjaus.



**Kuva 7.4.** CitectSCADA-ohjelmalla toteutettu kaakaon ja mansikanmakuisen maidon valmistustehdas.

## 10 VALITTU MENETELMÄ

Monitorointimenetelmäksi valittiin ohjelmoitava logiikka, sillä se täytti parhaiten halutut vaatimukset ja sen hinta oli hyvin kilpailukykyinen. Pumppauslaitteiston ohjaus on toteutettu releillä, joten sen toteuttaminen samalla logiikalla onnistuu hyvin ja kustannuksia säästyy enemmän kuin logiikkakomponenttien hinta.

Logiikkavalmistajia on useita ja yhteydessä oltiin useampaan suureen toimijaan. Lopuksi keskusteluja käytiin kolmen valmistajan kanssa: Siemensin, ABB:n ja Schneider Electricin. Tuotteissa ei ollut varsinaisia eroja, ja hinnatkin olivat suurin piirtein samanlaisia. Vaikka ABB on joukon tuntemattomin logiikkapuolella, valitsimme kuitenkin sen, koska Wellquipillä on paljon muuta yhteistyötä heidän kanssaan.

### 10.1 Tarvittavat PLC-komponentit

Peruslähtötietojen ja tarkennettujen mitattavien arvojen avulla voitiin määrittää tarvittavat PLC-komponentit. Taulukossa 10.1 on halutut mitattavat arvot ja niiden tiedot.

Paikka:	Mitattava tieto:	Laite:	Signaali:
Kontti	Virtaus kaivo 1	Anturi	Pulse
Kontti	Virtaus kaivo 2	Anturi	Pulse
Kontti	Imupaine	Anturi	Analog, 4–20 mA
Kontti	Pumpun tuottopaine	Anturi	Analog, 4–20 mA
Kontti	Pumppuhuoneen lämpötila	Anturi	Analog, 4–20 mA
Kontti	Moottorin lämpötila	Anturi	Analog, 4–20 mA
Kontti	Pumpun lämpötila	Anturi	Analog, 4–20 mA
Kontti	Sähköhuoneen lämpötila	Anturi	Analog, 4–20 mA
Kontti	Kontin ulkolämpötila	Anturi	Analog, 4–20 mA
Kontti	Pumpun öljypinta yläraja	Kärkitieto	Digital
Kontti	Pumpun öljypinta alaraja	Kärkitieto	Digital
Kontti	Pumpun 1 tärinä yläraja	Kärkitieto	Digital
Kontti	Hätäseis 1	Kärkitieto	Digital
Kontti	Hätäseis 2	Kärkitieto	Digital
Kontti	Induktiivinen rajakytkin	Kärkitieto	Digital
Kontti	Induktiivinen rajakytkin	Kärkitieto	Digital
Kontti	Induktiivinen rajakytkin	Kärkitieto	Digital
Kontti	Induktiivinen rajakytkin	Kärkitieto	Digital
<i>Kontti</i>	<i>Moottorin kierrosluku</i>	<i>VFD</i>	<i>modbus RS-485</i>
<i>Kontti</i>	<i>Moottorin virta</i>	<i>VFD</i>	<i>modbus RS-485</i>

<i>Kontti</i>	<i>Moottorin teho</i>	<i>VFD</i>	<i>modbus RS-485</i>
<i>Kontti</i>	<i>VFD:n ottama teho</i>	<i>VFD</i>	<i>modbus RS-485</i>
<i>Kontti</i>	<i>Käyntiaika VFD</i>	<i>VFD</i>	<i>modbus RS-485</i>
<i>Kontti</i>	<i>Momentti VFD</i>	<i>VFD</i>	<i>modbus RS-485</i>
<i>Kontti</i>	<i>VFD:n lämpötila</i>	<i>VFD</i>	<i>modbus RS-485</i>
Kontti	Pumpun kierrosluku		Laskennallinen arvo
Separaaattori	Nestevirtaus ulos	Anturi	Pulse
Separaaattori	Kaasuvirtaus ulos	Anturi	Pulse
Separaaattori	Paine	Anturi	Analog, 4–20 mA
Separaaattori	Nestepinnan taso	Anturi	Analog, 4–20 mA
Separaaattori	Tulolinja lämpötila	Anturi	Analog, 4–20 mA
Separaaattori	Tankin lämpötila	Anturi	Analog, 4–20 mA
Filteri	Paine-ero	Anturi	Analog, 4–20 mA

Taulukko 10.1 Mitattavien arvojen tiedot.

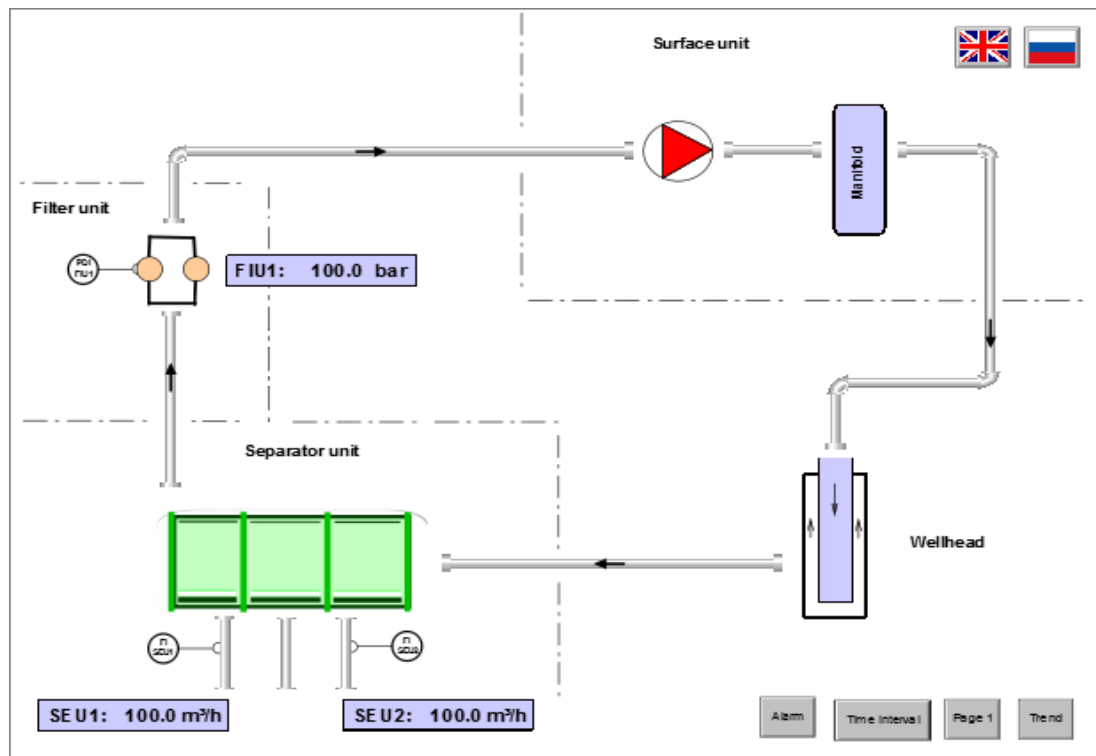
ABB:n tarjouksesta, joka on liitteenä 1, näkee tarkemmat komponenttien määrät.

Logiikan komponentit asennettiin erilliseen sähkökaappiin, jonka kanteen asennettiin kosketusnäyttö. Mahdollisimman selkeän ja helpon käytettävyyden takia valitsimme 15 tuuman näytön. Pumppausyksikön sähkökaappeihin asennettiin tarvittavat riviliittimet, ja antureiden viestit tuotiin niihin. Riviliittimiltä signaalit vietiin monijohdinkaapelilla monitoroinnin sähkökaappiin. Kaikkia haluttuja antureita ei ollut valmiiksi olemassa, joten ne täytyi valita ja asentaa Ex-luokituksen vaatimien kriteerien mukaan. Koska monitoroinnin sähkökaappi tuli pumppuyksikön sähköhuoneeseen, joka ei ole Ex-tila, ei voitu käyttää itseporautuvia ruuveja. Itseporautuvat ruuvit olisivat puhkaisseet seinän ja tila olisi tullut Ex-tilaksi, minkä vuoksi monitoroinnin sähkökaapin kiinnittäminen oli toteutettava hitsaamalla sähköhuoneen seinään kannakkeet.

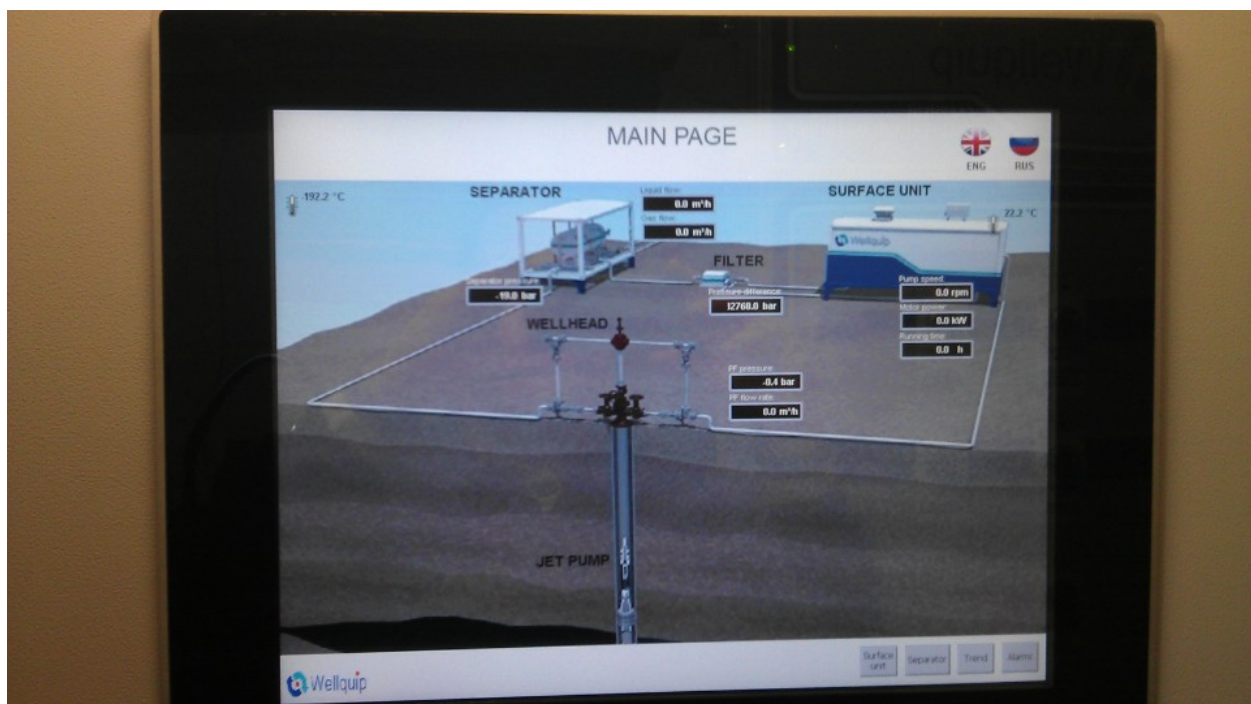
## 10.2 Ohjelmisto

Logiikan ohjelmointi tehtiin käyttäen pääosin tikapuukaaviota, mutta jotkut kohdat tehtiin structure textillä, sillä se antaa paremmat työkalut monimutkaisempiin toimintoihin.

Paneelin grafiikat tehtiin paneelin omalla ohjelmointisoftalla. Kuvasta 10.1 nähdään, miltä paneelin pääkuva näytti. Pääkuvassa on pumppuyksikkö, separaaattori, suodatinyksikkö ja wellhead. Vain tärkeimmät mitta-arvot näkyvät pääkuvassa. Muille sivuille pääsee joko koskettamalla haluttua kohdetta tai valitsemalla painikkeen oikeasta alakulmasta. Järjestelmä on kaksikielinen, valittavana on englanti tai venäjä. Pääkuvan lisäksi kuva on separaaattorista ja pumppuyksiköstä, myös hälytyksille ja trendeille on omat sivunsa. Kuva 10.2 on lopullinen pääkuva, joka esittää selkeästi kaivonpumppauslaitteiston ja tärkeimmät mitta-arvot. Kuva on valokuva monitorointijärjestelmän näytöstä.

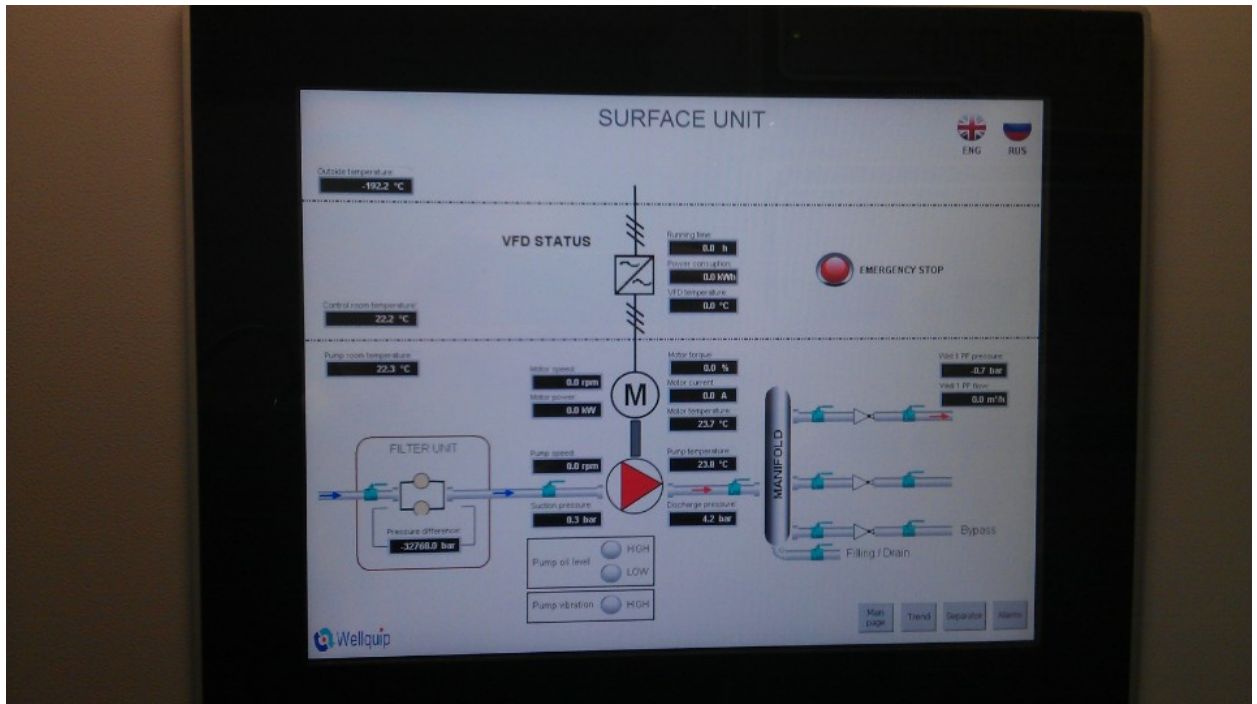


Kuva 10.1 Monitorointijärjestelmän pääkuva.



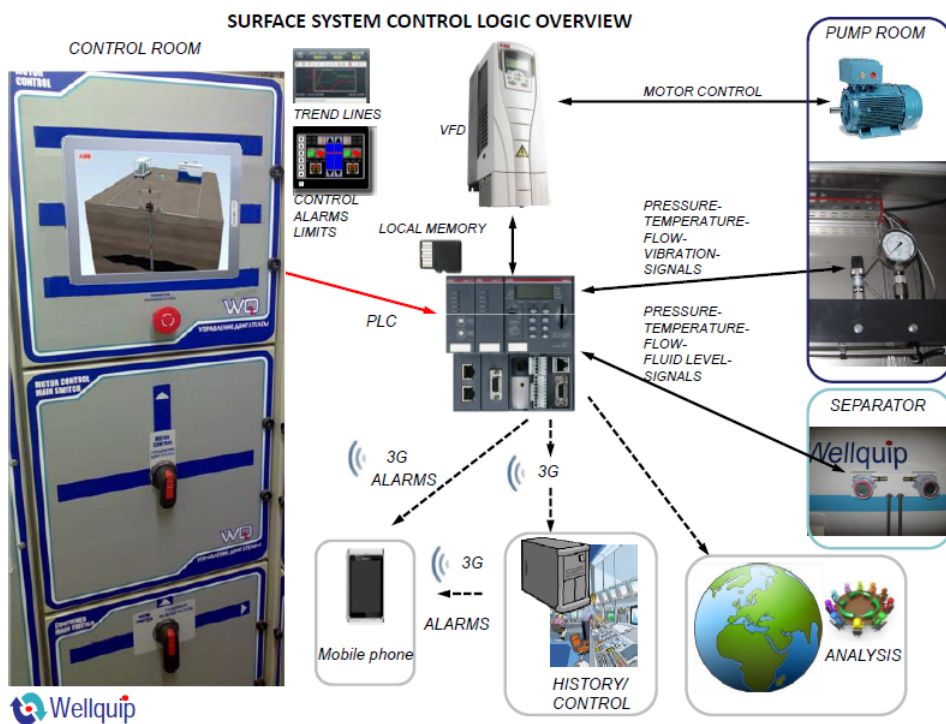
Kuva 10.2 Monitorointijärjestelmän pääkuvan valokuva

Tarkempia tietoja haluttaessa ja esimerkiksi haluttaessa muuttaa moottorin kierroslukua valitaan pumppuyksikkö kuva 10.3. Muutettaville arvoille on annettu rajat, joiden sisällä niitä voidaan muuttaa.



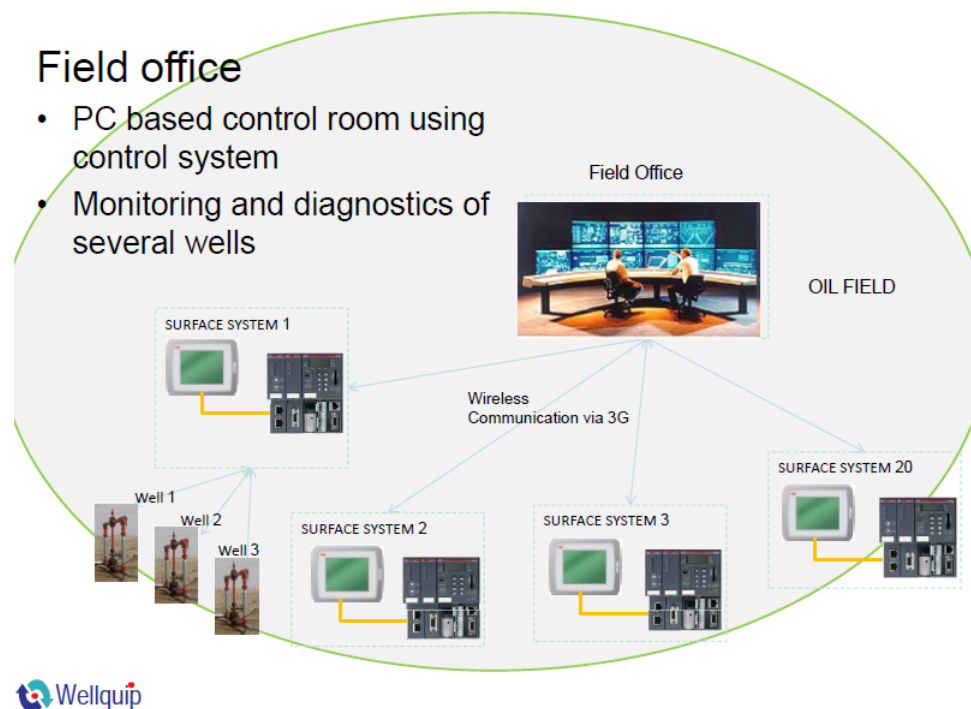
Kuva 10.3 Paneelin pumppuyksikön valokuva.

Kuvassa 10.4 on esitetty yhden pumppauslaitteiston monitoroinnin toimintaperiaate.



Kuva 10.4 Pumppauslaitteiston monitoroinnin toimintaperiaate.

Etävalvomo-ohjelmana on ABB 800XA, jolla tehtiin laitteistosta vastaavat kuvat tietoineen, mutta turvallisuussyistä etäohjaus kytkettiin pois. Tarvittaessa se on kuitenkin helppo toteuttaa, kunhan turvallisuusasiat, muun muassa venttiilien tilatiedot, on ratkaistu. Etävalvomo-ohjelma voidaan rakentaa toimimaan hierarkisesti, jolloin kullekin tasolle saadaan vain ne tiedot, jotka kiinnostavat asianomaisia. Esimerkiksi field officessa on tarpeellista nähdä kaikki valvottavan kentän laitteet. Tämä on esitetty kuvassa 10.5. Kenttäkuvasta nähdään esimerkiksi, mitkä yksiköt ovat päällä, mitkä pois ja missä on huoltoseisakki.

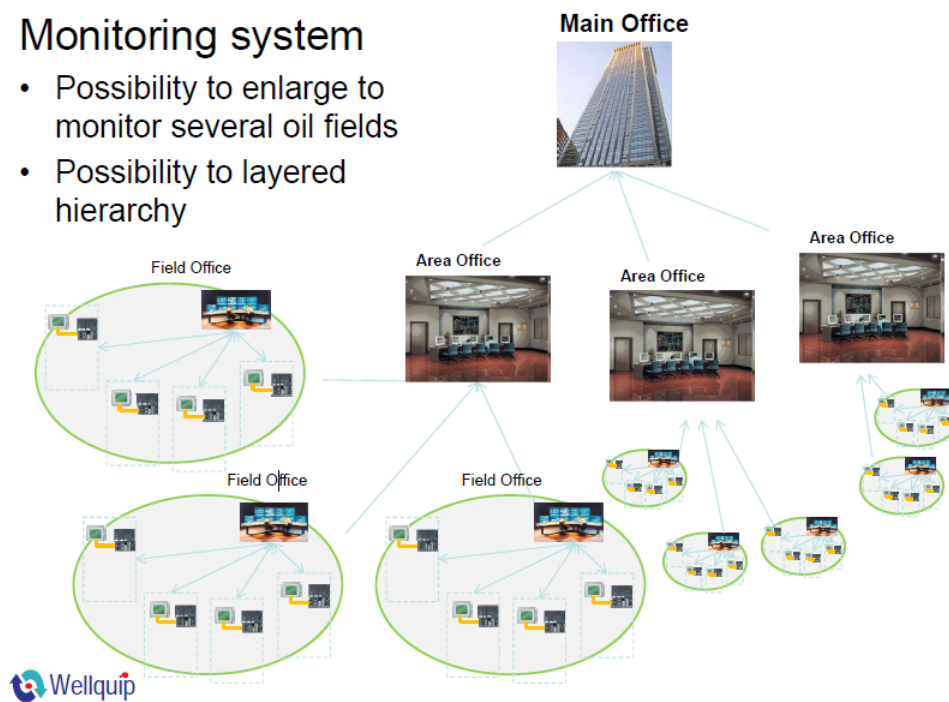


**Kuva 10.5** *Field officen monitorointi.*

Kuvassa 10.6 on jatkettu hierarkista mallia, missä area officessa voidaan monitoroida useampia kenttiä ja päätoimistossa nähdään kaikki mahdolliset kentät. Päätoimistossa ei välttämättä olla kiinnostuneita yhden yksikön moottorin kierrosluvuista, vaan tuotoista tai koko kentän tuotoista, mutta nämä on helppo muuttaa tarpeiden mukaan.

## Monitoring system

- Possibility to enlarge to monitor several oil fields
- Possibility to layered hierarchy



**Kuva 10.6** Monitorointijärjestelmän valvontaohjelmiston hierarkinen malli.

## 11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli saada aikaiseksi ratkaisu jet pump -pumppauslaitteiston etämonitorointia varten. Ensin työssä kartoitettiin järjestelmän halutut ominaisuudet ja laitteiston tarpeet, sitten pyrittiin tutkimaan erilaisia vaihtoehtoja ja löytää kaupallisesti järkevin ratkaisu, joka toteuttaa kaikki saadut vaatimukset. Tässä onnistuttiin hyvin ja laitteiston kustannukset ja lisätyöt laitteiston liittämiseksi jo toiminnassa oleviin kontteihin jäivät vähäisiksi.

Projektin oli tarkoitus koostua kahdesta vaiheesta. Ensimmäisen vaiheen piti koostua etämonitoroinnista ja toisen etäohjauksesta. Diplomityön oli tarkoitus käsitellä ensimmäistä vaihetta, mutta logiikan ohjelmoinnin kannalta etäohjaus oli järkevää tehdä jo tässä vaiheessa. Etävalvomosta kytkettiin etäkäynnistys pois turvallisuusasioiden takia. Jos laitteisto jostain syystä pysähtyy, sen käynnistäminen ei välttämättä ole turvallista ennen kuin on käyty paikan päällä tarkistamassa tilanne, koska laitteistossa ei vielä tässä vaiheessa ole venttiilien asennon tunnistimia. Venttiilien asennon tunnistimilla voidaan varmistaa, ettei kukaan ole paikan päällä vääntänyt venttiiliä toiseen asentoon katkon aikana. Myös moottorin kierrosluvun säätäminen, jolla säädetään pumppua, on tehty mahdolliseksi vain paikan päällä turvallisuussyistä. Hätäseis on etäohjattavissa.

Tulevaisuudessa koko pumppauslaitteiston ohjaus voidaan tehdä logiikalla ilman releitä, joita tällä hetkellä käytetään. Tästä säästyy enemmän rahaa kuin ohjelmoitavan logiikan komponenteista tulee kustannuksia. Kytkentätyöt vähenevät ja sähkökaappien tilantarve pienenee, myös muutoksien tekeminen järjestelmään helpottuu. Muutoksena nykyiseen järjestelmään tulee ohjauspaneelin koko. Nykyinen 15 tuuman paneeli ei mahdu käytössä olevien sähkökaappien oveen, eikä ovien koon muuttaminen ole järkevää, koska suuremmat ovet eivät mahtuisi aukeamaan sähköhuoneessa. 12 tuuman paneeli ei mielestäni tee järjestelmän käytöstä yhtään epäselvää, ja sen kustannukset ovat huomattavasti edullisemmat.



## LÄHTEET

- [1] The Energy And Resources Institute (TERI). Microbially enhanced oil recovery.  
<http://www.teriin.org/technology/microbially.php>
- [2] Shell Todd Oil Services Limited (STOS), Frequently Asked Questions.  
<http://www.stos.co.nz/faq.asp#a1>
- [3] Jackson, W., W. Jackson Petroleum Consultin Inc. OFFKO. Pori 16.5.2013.
- [4] Juurmaa, K. Deltamarin. OFFKO. Pori. 31.8.2012.
- [5] Välitälo, H. Aker Solutions. OFFKO. Pori. 31.8.2012.
- [6] Harrington. H., J. BS in Electrical Engineering, MBA & Ph.D. in Engineering Management.
- [7] Shapiro, J. Monitoring and Evaluation. s 51.  
[www.civicus.org/new/media/Monitoring and Evaluation.pdf](http://www.civicus.org/new/media/Monitoring%20and%20Evaluation.pdf)
- [8] Parikka, R. Ahlroos, T. Halme, J. Miettinen, J. Salmenperä, P. Lahdelma, s. Kananen, M. Kantola, P. Monitorointi ja diagnostiikka. VTT 2001. Research notes. s 55.
- [9] Baxter, N. De Jesus, H. Remote Machine Monitoring: A Developing Industry. 06.2006.
- [10] SFS-EN 13306 2001. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Helsinki. 2001 Suomen standardisoimisliitto.
- [11] ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. luku 23: Kunnonvalvonta ja huolto. s 17.

- [12] Willems, J. Sisu Enterprises. RCM vai järkevä kunnossapito ja optimaalinen luotettavuus? Kunnossapito (2006)7. s. 48-49.
- [13] Crosby, P., B. Quality is free. New York. 1979. McGraw-Hill.
- [14] Leinonen, P. Rautaruukki Oyj. Parantava kunnossapito lisää käyttövarmuutta. Promaint (2010)5. s. 36-41.
- [15] Johdanto kunnonvalvontaan. Kunnossapito menestystekijä. Opetushallitus.  
[www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_k1\\_johdanto\\_kunnonvalvontaan.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnonvalvontaan.html)
- [16] Kunnossapitoyhdistys Promaint. Kunnonvalvonta ja diagnostiikka  
[http://web-archive-net.com/page/976781/2012-12-15/http://www.promaint.net/menu\\_description.asp?menu\\_id=69#](http://web-archive-net.com/page/976781/2012-12-15/http://www.promaint.net/menu_description.asp?menu_id=69#)
- [17] Kunnossapitoyhdistys Promaint. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 13. Kuntoon perustuva kunnossapito. s. 606
- [18] Kirjallisuusselvitys koneenosien käynninvalvonnan ja vikadiagnostiikan menetelmistä. s.72. Saatavissa:  
[http://www.vtt.fi/prognos/prognos/luonnokset/vikadiagnostiikkaselvitys\\_luonnos\\_v4.doc](http://www.vtt.fi/prognos/prognos/luonnokset/vikadiagnostiikkaselvitys_luonnos_v4.doc)
- [19] Miettinen, J. TTY. Korkeataajuinen värähtely kertoo pintojen välisistä kosketuksista. Promaint (2008)8. s. 38-40.
- [20] SPM instrument.  
<http://www.spminstrument.fi/solutions/products/maintenance%5Ftools/>
- [21] Mustonen, M. Paperikoneiden vierintälaakerien kunnonvalvontamenetelmät. VTT 1.8.2000. Espoo. s24.
- [22] Heinonen, V. Beckhoff Automation Oy. Kenttäväylät koneenohjauksessa. Promaint (2007)8. s. 14-15.

- [23] ARCNET Resource Center. <http://www.arcnet.com/index.htm>
- [24] Voss, W. President esd electronics, Inc USA. The Future of CAN / CANopen and the Industrial Ethernet Challenge.
- [25] Modbus Organization, Inc. Modbus FAQ: About the Protocol. <http://www.modbus.org/faq.php>
- [26] [www.profibus.com](http://www.profibus.com). PROFIBUS and Integrated Safety architectures in Ex areas.
- [27] Samsung AG. PROFIBUS-PA. 12.1999. s.44. [www.samson.de/pdf\\_en/l453en.pdf](http://www.samson.de/pdf_en/l453en.pdf)
- [28] Samsung AG. FOUNDATION Fieldbus. 5.2000. s.44. [www.samson.de/pdf\\_en/l454en.pdf](http://www.samson.de/pdf_en/l454en.pdf)
- [29] CICKO Systems. Industrial Ethernet: A Control Engineer's Guide. 4.2010 s.15. [http://www.cisco.com/web/strategy/docs/manufacturing/industrial\\_ethernet.pdf](http://www.cisco.com/web/strategy/docs/manufacturing/industrial_ethernet.pdf)
- [30] Siemens AG. Industrial Ethernet Switching 11.2008. s.32. [http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt\\_is/tuotteet/automaatiotekniikka/teollinen\\_tiedonsiirto/teollisuus\\_ethernet/br\\_ie\\_switching.pdf](http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt_is/tuotteet/automaatiotekniikka/teollinen_tiedonsiirto/teollisuus_ethernet/br_ie_switching.pdf)
- [31] Brooks, T. 3e Technologies International. Wireless Technology for Industrial Sensor and Control Networks. Sensors for Industry, 2001. Proceedings of the First ISA/IEEE Conference.
- [32] Willig, A., Matheus, K., Wolisz, A. Wireless Technology in Industrial Networks. PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 93, NO. 6, 6.2005
- [33] Lahden Ammattikorkeakoulu. AUTOMAATIOTEKNIIKAN LABORAATIO 2010-2011. Laboratorioharjoitus n:o 12. <http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/tiedotteet/labrat/puu/Loglab12new.htm>

- [34] Schneider Electric. Telemetry & Remote SCADA Solutions. SCADA Systems. 3.2012 s.12.  
[http://www.schneider-electric.com/solutions/ww/fr/med/20340568/application/pdf/1485\\_se-whitepaper-letter-scadaoverview-v005.pdf](http://www.schneider-electric.com/solutions/ww/fr/med/20340568/application/pdf/1485_se-whitepaper-letter-scadaoverview-v005.pdf)
- [35] TEAC Corporation.  
<http://www.tic.teac.co.jp/en/products/software/soft.html>
- [36] Maimunah it services  
<http://maimunah.com/>
- [37] dataTaker DT85 Series 3 Data Logger  
[www.datataker.com/documents/specifications/TS-0067-F1%20-%20DT85.pdf](http://www.datataker.com/documents/specifications/TS-0067-F1%20-%20DT85.pdf)
- [38] Advantec. Industrial USB I/O Modules  
[www.bmc.de/datenblaetter/USB\\_Adapter.pdf](http://www.bmc.de/datenblaetter/USB_Adapter.pdf)
- [39] Citect Pty Ltd. CitectSCADA Batch Example – Scribd.  
<http://www.scribd.com/doc/229146371/CitectSCADA-Batch-Example>