



Jenna Byckling

Älykkään instrumentoinnin hyödyntäminen kunnossapidon suunnittelussa ja energianhallinnassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

25.5.2024

Tiivistelmä

| | |
|-----------------------|---|
| Tekijä: | Jenna Byckling |
| Otsikko: | Älykkään instrumentoinnin hyödyntäminen kunnossapidon suunnittelussa ja energianhallinnassa |
| Sivumäärä: | 51 sivua + 1 liite |
| Aika: | 25.5.2024 |
| Tutkinto: | Insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma: | Energia- ja ympäristötekniikka |
| Ammatillinen pääaine: | Energiantuotantomenetelmät |
| Ohjaajat: | Lehtori Kaj Lindedahl Työnsuunnittelija Jari Nikula |

Insinööriyön tavoite on osoittaa älykkään instrumentoinnin hyödyt teollisuuden alojen kunnossapidon työkaluna. Insinööriyössä tarkasteltiin älykkään instrumentoinnin tuomia etuja kunnossapidon suunnittelun ja teollisuuden alan tuotantolaitosten energianhallinnan tueksi.

Perinteisesti kunnossapidon suunnittelu ja kustannukset, kuten huollot ja muut suunnitellut toimenpiteet, ovat perustuneet kalenteriin ja määräaikoihin. Älykkään instrumentoinnin avulla kuitenkin pystytään havaitsemaan vikaantuvia kohteita ennen kuin ne aiheuttavat ongelmia prosessissa, sekä määrittelemään vian aiheuttajia ja tarvittavia korjaustoimia. Älykkään instrumentoinnin tuomalla ennakoivalla ja ennustavalla kunnossapitomallilla on mahdollisuus säästää korjauskuluissa, optimoida varaosavaraustoja ja suunnitella korjaustoimenpiteet niin, että ne voidaan toteuttaa suunniteltujen pysäytysten yhteydessä. Tällä lähestymistavalla voidaan vähentää odottamattomia pysäytyksiä ja parantaa laitosten ja laitteiden tehokkuutta ja luotettavuutta.

Insinööriyössä on pohdittu odottamattomien pysäytysten vaikutuksia laitosten käytävyyteen ja kunnossapidon kuluihin, ja tarkasteltu älykkäiden instrumenttien mahdollisia vaikutuksia laitteiden ja laitosten toimintavarmuuteen, varaosavaraostojen hallintaan ja kunnossapidon suunnitteluun. Insinööriyössä on tarkasteltu jo olemassa olevien älykkäällä instrumentoinnilla varustettujen kohteiden tuomia etuja vianetsinnässä ja kunnossapidon suunnittelussa. Lisäksi on kartoitettu kohteita, joissa kunnossapidon suunnittelu ja energianhallinta hyötyvät parannusten ja modernisoinnin myötä.

Työn tulosten tarkastelu tukee älykkään instrumentoinnin hyödyntämistä kunnossapidon suunnittelussa ja energianhallinnassa. Laitekannan asteittainen uudistaminen vaatii kohteen kartoitusta, toteutuksen ja laitehankinnan suunnittelua. Toiminnanparannus on pitkäjänteinen ja sitoutumista vaativa prosessi, jonka asteittainen ja tarpeenmukainen toteutus vaatii moniammatillisen työyhteisön osallistumista.

Avainsanat: kunnossapito, energianhallinta, instrumentointi

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Jenna Byckling
Title: Utilizing Intelligent Instrumentation in Maintenance Planning and Energy Management
Number of Pages: 51 pages + 1 appendices
Date: 25 May 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Energy and Environmental Engineering
Professional Major: Energy technique
Supervisors: Kaj Lindedahl, Lecturer
Jari Nikula, Long term Planner

The main objective of the engineering thesis was to demonstrate the benefits of intelligent instrumentation as a maintenance tool in industrial sectors. The thesis examines the advantages brought by intelligent instrumentation to support maintenance planning and energy management in industrial production facilities.

Traditionally, maintenance planning and costs, such as inspections and other scheduled activities, have been based on calendars and time limits. However, with intelligent instrumentation, potential failure points can be detected before they cause issues in the process. By utilizing predictive and preventive maintenance models enabled by intelligent instrumentation, there is an opportunity to save on repair costs, optimize spare parts inventory, and plan maintenance activities to coincide with scheduled shutdowns. This approach can reduce unexpected shutdown times and improve the efficiency and reliability of facilities and equipment.

The thesis discusses the impacts of unexpected shutdowns on facility availability and maintenance costs and explores the potential effects of intelligent instruments on equipment and facility reliability, spare parts management, and maintenance planning. It examines the benefits of existing intelligent instrumentation in fault detection and maintenance planning. In addition, it identifies objects where maintenance planning and energy management stand to benefit from improvements and modernization.

The evaluation of the thesis results supports the utilization of intelligent instrumentation in maintenance planning and energy management. The gradual upgrading of equipment requires mapping, implementation, and planning for equipment procurement. Operational improvement is a long-term and commitment-demanding process, requiring the involvement of a multidisciplinary workforce for its gradual and necessary implementation.

Keywords: maintenance, energy management, instrumentation

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Kunnossapito | 2 |
| 2.1 | Aikatauluttamaton ja aikataulutettu kunnossapito | 2 |
| 2.2 | Kunnossapidon tasot | 4 |
| 2.3 | Kunnossapitolajit | 6 |
| 3 | Kunnossapidon suunnittelu | 8 |
| 3.1 | Ennalta ehkäisevä kunnossapito | 8 |
| 3.2 | Ennakoiva ja kuntoperusteinen kunnossapito | 9 |
| 3.3 | Ennustava kunnossapito | 9 |
| 4 | Energianhallinnan tarkastelu | 11 |
| 5 | Tuotannon toimintavarmuus | 14 |
| 5.1 | Toimintavarmuuden turvaaminen | 15 |
| 5.2 | Toimintavarmuuden vaikutus tuotantoon | 15 |
| 6 | Älykkään instrumentoinnin hyödyntäminen | 18 |
| 6.1 | Älykkään instrumentoinnin ominaisuudet | 19 |
| 6.2 | Kunnonvalvonta älykkäillä instrumenteilla | 20 |
| 6.3 | Venttiilinohjainten tarkastelu älykkäillä ominaisuuksilla | 21 |
| 6.4 | Älykkään venttiilinohjaimen ohjelmisto | 22 |
| 7 | Kohteiden kartoituksen tavoitteet | 24 |
| 7.1 | Instrumentoinnin parantaminen kohteessa | 25 |
| 7.2 | Kohteen instrumentoinnin modernisointi | 25 |
| 8 | Älykkäästä instrumentoinnista hyötyvät kohteet | 26 |
| 8.1 | Älykäs instrumentointi kunnossapidon suunnittelussa | 26 |
| 8.1.1 | Kohde 1 | 26 |
| 8.1.2 | Kohde 2 ja 3 | 31 |
| 8.1.3 | Kohde 4 | 34 |

| | |
|--|----|
| 8.1.4 Kohde 5 | 36 |
| 8.2 Älykkästä instrumentoinnista hyötyvät kehityskohteet | 38 |
| 8.2.1 Kohde 6 | 38 |
| 8.2.2 Kohde 7 | 40 |
| 8.3 Älykkästä instrumentoinnista hyötyvät kohteet | 42 |
| 8.3.1 Kohde 8 | 43 |
| 8.3.2 Kohde 9 | 44 |
| 8.3.3 Kohde 10 | 46 |
| 9 Päätelmät | 47 |
| Lähteet | 49 |
| Liite 1: Sulkuventtiilien ominaisuuksien vertailu | |

Lyhenteet

- APC: *Advanced Process Control*. DCS:ää kehittyneempi prosessinohjausjärjestelmä, joka käyttää matemaattisia malleja ja algoritmeja optimoidakseen prosessin suorituskyvyn.
- DCS: *Distributed Control System*. Prosessinohjausjärjestelmä. Tietokonepohjainen järjestelmä, jota käytetään prosessien ohjaukseen, automaatioon, hälytysten hallintaan ja valvontaan.
- DNA: *Dynamic Network of Application*. Valmetin automaatiojärjestelmä.
- DTM: *Device type Manager*. Valmistajakohtainen laitetyypin hallinnan käyttöliittymä.
- EOL: *End of Lifetime*. Laitteiden elinkaari. Laitteen elinkaaren piste, jossa laitteen toiminta ei ole taloudellisesti tai teknisesti kannattavaa ylläpidon ja turvallisuuden näkökulmasta.
- FDM: *Field Devise Manager*. Ohjelmistojärjestelmä, jota käytetään teollisuuden kenttäinstrumenttien hallintaan ja valvontaan. FDM:n ominaisuuksia ovat laitteiden konfigurointi, diagnostiikka, suorituskyvyn valvonta ja huoltotiedot.
- FDT: *Field Device tool*. Ohjelmiston alusta, joka tarjoaa rajapinnat FDM:n ja DTM:n ohjelmiston välille.
- HART: *Highway Addressable Remote Transducer*. Digitaalinen viestintäprotokolla, jota käytetään laitteiden, kuten antureiden, venttiilien ja muun prosessilaitteiston mittauservojen lukemiseen ja laitteiden asetusten muuttamiseen digitaalisella tiedonsiirrolla.

MOC: *Management of Change*. Muutoksen hallinta. Joukko toimintoja, joilla hallitaan muutokseen liittyvät toimenpiteet, riskit ja niiden hallinta.

SMV: *Smart Meter Verification*. Automaattinen virtausmittarin tarkistusohjelma, joka valvoo virtausmittarin suorituskykyä ja eheyttä reaaliaikaisesti ilman prosessin pysäyttämistä.

1 Johdanto

Insinööriyö on toteutettu yritykselle Borealis Polymers Oy:lle kunnossapidon työsuunnittelun ja energianhallinnan tueksi. Borealis Polymers Oy on osa kansainvälistä Borealis-konsernia, joka on yksi maailman johtavista kestävien polyolefiiniratkaisujen toimittajista. Borealoksen valmistamat muovit polyeteeni ja polypropeeni löytävät pääasiallisesti tiensä putkituotteisiin, pakkauksiin, kaapeli-tuotteisiin ja teräsputken päällystykseen. Yritys tunnetaan sitoutumisestaan kestävään kehitykseen ja kiertotalouteen, ja se hyödyntää laajaa polymeeriasiantuntemustaan tarjotakseen kestäviä ja innovatiivisia materiaaliratkaisuja.

Älykkäällä instrumentoinnilla tarkoitetaan laitteistoa ja mittauksia, joilla on jatkuva datan keräys, historian tallennus ja datasta muodostuvat ennusteet ja itse-diagnostiikka. Älykkään instrumentoinnin keräämän datan ja itsediagnostiikan avulla voidaan tuottaa ennusteita laitteiston tilasta ja kunnossapidon tarpeesta, mutta silti ihmisen tulkinta on välttämätön. Ihmisen tulkintaa tarvitaan datan kriittisyyden arviointiin, kunnossapito toimien suunnitteluun ja mahdollisten toimenpiteiden aikatauluttamiseen.

Teollisuuden instrumentit ovat laitteita ja välineitä, jotka ovat olennainen osa teollisia prosesseja, koska ne mahdollistavat prosessiparametrien, kuten lämpötilan, paineen, virtauksen ja kemiallisten yhdisteiden pitoisuuksien, tarkan mittauksen, valvonnan ja hallinnan.

Älykkään instrumentoinnin hyödyntäminen kunnossapidon suunnittelussa ja energianhallinnassa on pitkäjänteinen toiminnan parannus, joka vaatii suunnittelua ja sitoutumista. Insinööriyössä on tarkasteltu älykkästä instrumentoinnista hyötyviä kohteita vianetsinnässä ja kunnossapidon suunnittelussa. Lisäksi on kartoitettu kohteita, jotka hyötyvät älykkään instrumentoinnin lisäämisestä kunnossapidon ja energianhallinnan näkökulmasta.

2 Kunnossapito

Kunnossapito on olennaisesti suunniteltu varmistamaan laitteiden jatkuva käyttökunto. Vaikka kunnossapitoon liittyy rikkoutuneiden laitteiden tai komponenttien korjauksia, korjaustoiminta ei ole kunnossapidon pääasiallinen tavoite. Sen sijaan kunnossapito nähdään merkittävänä tuotannontekijänä, jonka avulla turvataan tuotantolaitoksen kilpailukyky. Kunnossapito ei ole pelkkä kuluerä, vaan se on keskeinen osa toimintaa, joka mahdollistaa tehokkaan ja häiriöttömän tuotannon. [1, s. 22.]

Kunnossapito muodostuu monista erilaisista toimenpiteistä, jotka ulottuvat teknisestä ylläpidosta hallinnollisiin tehtäviin ja johtamiseen. Tarkoituksena on varmistaa, että kohde pysyy hyvässä kunnossa ja säilyttää toimintakykynsä kaikin elinkaarensa vaiheina. [2, s. 3.] Kohteella tarkoitetaan osaa, komponenttia, laitetta, järjestelmää tai toiminnallista yksikköä. Kohde voi sisältää sekä yksittäisiä fyysisiä laitteita että ohjelmistoja, ja useampi kohde tai niiden osat voivat muodostaa yhdessä laajemman kokonaisuuden. [3, s. 6.]

Kunnossapidon toiminnalla pyritään ennaltaehkäisemään vikoja ja varmistamaan, että kohde suoriutuu tehokkaasti ja luotettavasti tehtävistään. Kunnossapito ei ole vain reaktiivista korjaustoimintaa, vaan se muodostaa kokonaisvaltaisen lähestymistavan kohteen elinkaaren hallintaan. [2, s. 3.] Kunnossapidon päämääränä on ylläpitää tai palauttaa laitteen toimintakyky sellaiseksi, että se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon. Teknisiin kunnossapitotoimenpiteisiin sisältyy kohteen tilan havainnointi ja analysointi, kuten tarkastus, tarkkailu, testaus, diagnostiikka ja prognostiikka (ennustaminen). Lisäksi siihen kuuluvat kunnossapidon aktiiviset toimenpiteet, kuten korjaus ja kunnostaminen. [3, s. 5.]

2.1 Aikatauluttamaton ja aikataulutettu kunnossapito

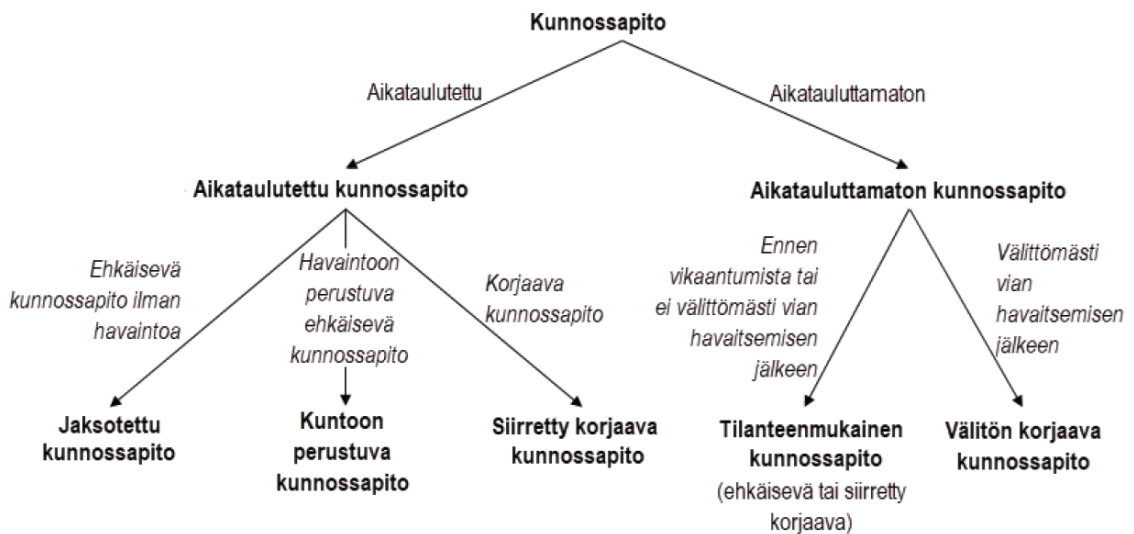
Kunnossapito voidaan jakaa kahteen pääosaan: aikatauluttamaton kunnossapito ja aikataulutettu kunnossapito. [3, s. 23.]

Aikatauluttamaton kunnossapito viittaa kunnossapitotoimenpiteisiin, joita ei tehdä ennalta määritetyn aikataulun mukaisesti. Tämä tarkoittaa, että kunnossapitotoimenpiteet eivät ole sidottuja tiukkaan aikatauluun tai käyttömäärään, vaan ne tehdään tarpeen mukaan. Aikatauluttamaton kunnossapito voi perustua erilaisiin tekijöihin, kuten laitteen tilaan, suorituskykyyn, vikojen ilmaantumiseen tai muihin kriittisiin tekijöihin. Aikatauluttamattomassa kunnossapidossa keskeisenä näkökulmana on reagointi muuttuviin olosuhteisiin ja tarpeisiin välittömästi, kun siihen on tarvetta. Tämä voi olla erityisen tärkeää tilanteissa, joissa kunnossapitotarpeet eivät ole ennustettavissa etukäteen tai kun laitteen tila voi muuttua nopeasti. [3, s. 2.]

Aikataulutettu kunnossapito on strateginen lähestymistapa, jossa kunnossapitotoimenpiteet suunnitellaan ja ajoitetaan etukäteen ennalta määritetyllä aikataululla tai käytön määrän perusteella. Tämä lähestymistapa perustuu ennakoivaan suunnitteluun ja pyrkii optimoimaan laitteiden suorituskyvyn, vähentämään odottamattomia pysäytyksiä ja pidentämään laitteiden käyttöikää. Aikataulutetussa kunnossapidossa säännölliset huolto- ja tarkastustoimenpiteet suoritetaan tiettyin aikaväleihin tai käyttötuntien jälkeen ennalta määritetyn aikataulun mukaisesti. Kunnossapitotarpeet arvioidaan etukäteen ja suunnitelma laaditaan tulevien kunnossapitotoimenpiteiden ajankohdista, tarvittavista resursseista ja mahdollisista varaosista. Tavoitteena on ennakoiminen ja ennaltaehkäisevät toimenpiteet, joilla pyritään minimoimaan odottamattomat pysäytykset ja välttämään kalliita korjauksia. [3, s. 23.]

Aikataulutettu kunnossapito pyrkii optimoimaan laitteen toimintavarmuutta ja käytettävyyttä pitkällä aikavälillä. Järjestelmällisyys on olennainen piirre, kun kunnossapitotoimenpiteet noudattavat selkeää aikataulua tai rutiinia. Tämä helpottaa resurssien hallintaa ja organisaation suunnittelua, mikä voi johtaa kustannustehokkaampaan ja suorituskykyisempään laitteiston ylläpitoon. Aikataulutettu kunnossapito soveltuu erityisesti tilanteisiin, joissa laitteiden vikaantumiseen liittyy ennakoitavissa olevia kulkuja tai kun säännöllinen ylläpito on ratkaisevan tärkeää laitteiston suorituskyvyn ja luotettavuuden varmistamiseksi. Alla

esitettyssä kuvassa (kuva 1) on nähtävissä aikataulutetun ja aikatauluttamattoman kunnossapidon pääperiaatteet.

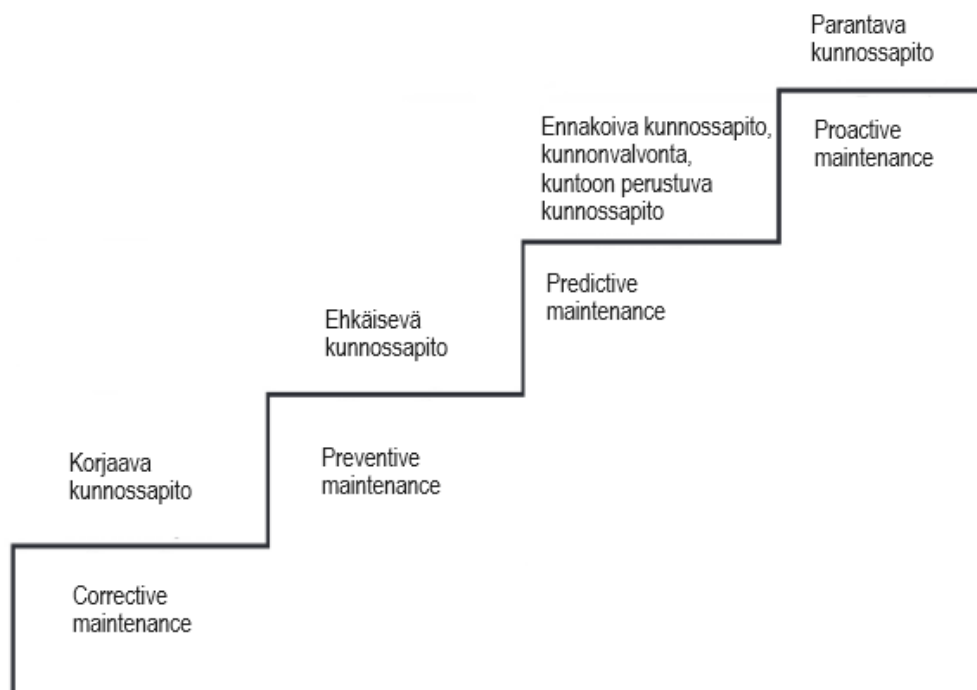


Kuva 1. Aikataulutettu ja aikatauluttamaton kunnossapito [3, s. 23].

Aikataulutetun kunnossapidon alla on kolme luokkaa: jaksotettu kunnossapito, kuntoon perustuva kunnossapito ja siirretty korjaava kunnossapito. Kuntoon perustuva kunnossapito on yhdessä ennakoivan kunnossapidon ja kunnonvalvonnan kanssa yksi kunnossapidon tasoista. [3, s. 23.]

2.2 Kunnossapidon tasot

Kunnossapidon tasot auttavat organisaatioita ja henkilöstöä ymmärtämään, millaista osaamista ja resursseja erilaiset kunnossapitotehtävät vaativat. Tämä luokittelu auttaa myös suunnittelemaan koulutusta ja organisoimaan kunnossapitotyötä tehokkaasti. Kullakin tasolla on omat erityispiirteensä, ja ne voivat vaihdella organisaatiosta ja teollisuudesta riippuen. Alla esitettyssä kuvassa (kuva 2) on kunnossapidon tasot.



Kuva 2. Kunnossapidon tasot [1, s. 22].

Korjaava kunnossapito on perinteinen lähestymistapa, joka perustuu laitteiston korjaamiseen vasta, kun vika tai toimintahäiriö on jo ilmennyt. Tämä tapahtuu yleensä reagoimalla vaurioihin tai ongelmiin niiden havaitsemisen jälkeen. Korjaava kunnossapito pyrkii palauttamaan laitteiston nopeasti toimintakuntoon, mutta se voi johtaa odottamattomiin pysäytyksiin ja lisäkustannuksiin vikatilanteen tason mukaan. [3, s. 14.]

Ehkäisevä kunnossapito on aikataulutettua toimintaa ja keskittyy ennaltaehkäiseviin toimenpiteisiin vikojen ja vaurioiden estämiseksi. Tämä lähestymistapa sisältää suunnitellut huolto- ja tarkastustoimenpiteet, jotka suoritetaan säännöllisesti. Aikataulumäärittely voi olla laitetoimittajien suositusten mukainen tai kokemusperusteinen, usein yhdistelmä molempia, joilla pyritään takaamaan laitteen toiminta koko sen elinkaaren ajaksi. Tavoitteena on pidentää laitteiston käyttöikää, vähentää laitteiston heikentymistä ja odottamattomien vikojen ilmaantumista. [2, s. 31–32.]

Kuntoon perustuva ja ennakoiva kunnossapito liittyvät molemmat laitteen tilan seurantaan ja ennakoivaan toimintaan, mutta niillä on kuitenkin hienovaraisia eroja. Kuntoon perustuva kunnossapito perustuu laitteiston jatkuvaan tilan seurantaan ja kunnan arviointiin. Toimenpiteet suoritetaan tarpeen mukaan, kun laitteen kunto heikkenee. Tämä lähestymistapa pyrkii optimoimaan kunnossapitoressurssien käytön ja vähentämään tarpeettomia huoltoja. [2, s. 44.] Ennakoiva kunnossapito on tilanteenmukaista kunnossapitoa, joka edistää laitteiston suorituskyvyn ennakoimista ja huoltojen suunnittelua ennen vikojen ilmenemistä. Huoltamalla laitteistoa muun huollon yhteydessä ja käyttämällä kunnanvalvontaa ja antureita ennakoiva kunnossapito pyrkii minimoimaan odottamattomat pysäytykset ja vähentämään korjauskustannuksia. [3, s. 15.] Kuntoperusteinen kunnossapito on lähestymistapa, joka perustuu jatkuvan kunnanvalvonnan käyttöön laitteiston tai järjestelmän kunnan arvioimiseksi. Tässä lähestymistavassa käytetään erilaisia sensoreita, antureita ja muita valvontalaitteita, jotka keräävät jatkuvasti tietoa laitteen tilasta. Tavoitteena on tunnistaa mahdolliset kulumisen merkit tai vikatilanteet ennen kuin ne aiheuttavat merkittäviä ongelmia. Kuntoperusteinen kunnossapito siis perustuu reagointiin todellisiin laitetilan muutoksiin eikä ennalta määrättyyn aikatauluun. Tavoitteena on optimoida resurssien käyttö ja vähentää tarpeettomia huoltokustannuksia, irrotuksia, työtunteja ja myös poissulkea mahdolliset kuljetusvauriot huoltojen yhteydessä.

Parantava kunnossapito suuntaa huomionsa laitteiston toiminnan parantamiseen. Tämä lähestymistapa käyttää edistynyttä teknologiaa ja analytiikkaa laitteiston optimoimiseksi, ehkäisten ongelmia ennakolta ja parantaen kokonais-suorituskykyä. [2, s. 44.]

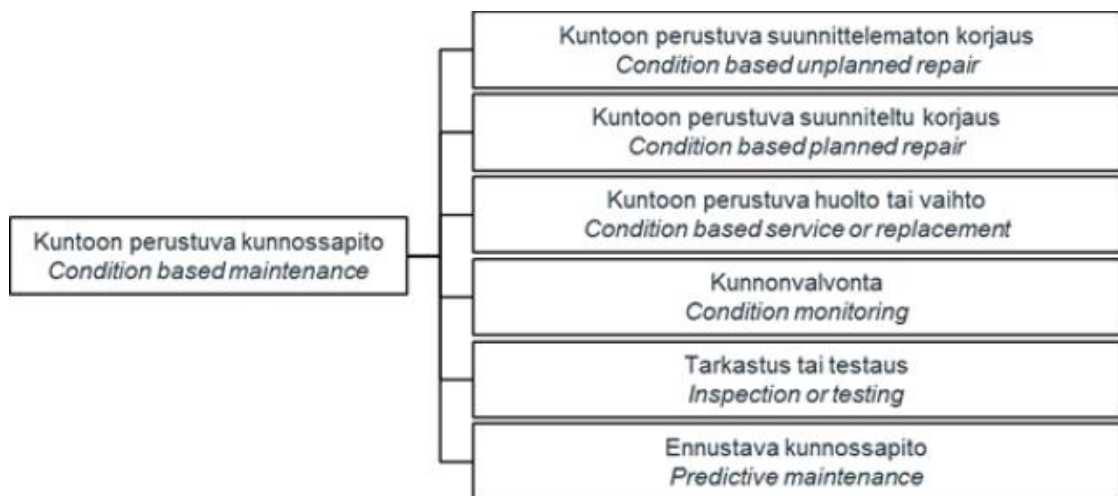
2.3 Kunnossapitolajit

Kunnossapito voidaan jakaa useisiin erilaisiin lajeihin sen mukaan, millaisia toimenpiteitä suoritetaan ja milloin ne suoritetaan. Kunnossapitolajeja ovat

- korjaava kunnossapito
- kuntoon perustuva kunnossapito

- jaksotettu kunnossapito
- parantava kunnossapito
- muu kunnossapito [2, s. 26].

Kuntoon perustuvassa kunnossapidossa on useita erilaisia toimenpidetyyppejä, jotka kaikki lukeutuvat kuntoperusteisen kunnossapidon alle. Alla esitettyssä kuvassa (kuva 3) on kuntoon perustuvalla kunnossapidolla keskeiset toimenpidetyypit.



Kuva 3. Kuntoon perustuvan kunnossapidon toimenpidetyypit [2, s. 26].

Älykkään instrumentoinnin kohteiden kartoituksen jälkeen on suunniteltava toimenpiteet ja riskiarvio, joita tarvitaan toteutukseen. Tällaisia toimenpiteitä ovat mm. parantaminen, muuttaminen ja modernisointi.

Kunnossapidon yhteydessä parantaminen on toimenpide, joka koostuu kaikista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on parantaa laitteen toimintavarmuutta, kunnossapidettävyyttä ja/tai turvallisuutta ilman, että alkuperäinen toiminto muuttuu. Parantamisen avulla voidaan myös estää väärinkäyttöä ja välttää vikaantumista. [3, s. 14.]

Muuttaminen on yhdistelmä teknisiä, hallinnollisia ja liikkeenjohdollisia toimenpiteitä, joilla muutetaan yhtä tai useampaa laitteen tai kohteen toimintoa. Muuttaminen ei ole kunnossapidollinen toiminto, vaan sillä muutetaan kohteen vaadittu

toiminta uudeksi vaadituksi toiminnoksi. Muutokset voivat vaikuttaa käyttövarmuusominaisuuksiin, ja muuttaminen saattaa vaatia kunnossapito-organisaation osallisuutta. [3, s. 14.]

Modernisointi puolestaan tarkoittaa kohteen parantamista tai muuttamista ottaen huomioon teknologiset edut ja pyrkien täyttämään uudet tai muuttuneet vaatimukset. [3, s. 14.]

3 Kunnossapidon suunnittelu

Kunnossapitotoiminnan suunnittelu on jatkuva prosessi, mutta sen merkitys korostuu erityisesti laitteistoinvestointien yhteydessä. Tällöin sekä kunnossapitotoiminnan luonne että kustannustaso pääosin määräytyvät. Suunnittelun lähtökohtana ovat laitteiston ominaisuudet, tuotantotoiminnan luonne ja toimintaympäristö. Kunnossapidon suunnittelun tavoitteena on optimoida kohteen, laitteen tai muun prosessin osan kunnossapitoa koskevat toimenpiteet niin, että asianmukainen prosessin toiminnan vaatima suorituskyky turvataan sen koko elinkaaren ajan. Tämä pyritään saavuttamaan toteuttamalla oikea-aikaisia ja luotettavaan lähtötietoihin perustuvia suunnittelutoimenpiteitä, jotka vaikuttavat kaikkiin kolmeen käytettävyyteen liittyvään tekijään: toimintavarmuus, kunnossapidettävyyden ja kunnossapitovarmuus. [2, s. 15—16.]

Ennaltaehkäisevä, ennakoiva, kuntoperusteinen ja ennustava kunnossapito ovat kunnossapidon suunnittelun kannalta olennaisimmat ja tärkeimmät osa-alueet. Älykkään instrumentoinnin keräämän datan, kunnonvalvonnan havaintojen ja erilaisten antureiden ja sensoreiden keräämän tiedon avulla voidaan löytää poikkeamia esimerkiksi värinämittauksessa havaittu muutos tai venttiilin liikkeen kitkan muuttuminen.

3.1 Ennalta ehkäisevä kunnossapito

Ennaltaehkäisevä kunnossapito (Proactive Maintenance) on laitteelle tehtävä muutostyö tai parannus sen eliniän kasvattamiseksi, kunnossapitotarpeen

vähentämiseksi tai käytettävyyden parantamiseksi niin, että laitteen käyttötarkoitus ja kapasiteetti pysyvät samana. Ennaltaehkäisevää kunnossapitoa suoritetaan, kun tiedetään, että laite on vikaantunut, ja se vaihdetaan ennen lopullista hajoamista. Tällaista kunnossapitotoimintaa vaativa vikaantuminen voidaan havaita ennustavan kunnossapidon kautta tai muun korjaus- tai huoltotoimenpiteen aikana. [4.]

3.2 Ennakoiva ja kuntoperusteinen kunnossapito

Ennakoiva kunnossapito (Preventive Maintenance) on säännöllisin väliajoin tehtävää kunnossapitotoimintaa, ja sen tavoitteena on vähentää laitteen vaurioituminen ja parantaa käytettävyyttä. Tällaista toimintaa ovat mm. puhdistus, tarkistus, kiristys ja voitelu. Ennakoivan kunnossapidon toimia on myös kunnostus ja huolto laitteelle, joka ei ole vielä vikaantunut, mutta tiedetään esimerkiksi kokemuksesta tai tehdyn tutkimuksen perusteella, että laite tulee vikaantumaan ennen seuraavaa huoltomahdollisuutta. Ennakoivalla kunnossapidolla halutaan lisätä laitteen luotettavuutta [4.]

Kuntoperusteinen ja ennakoiva kunnossapito keskittyvät molemmat laitteiston tilan seurantaan ja huoltotarpeiden ennakoimiseen. Kuntoon perustuva kunnossapito voi kuitenkin kattaa laajemman käsitteen, joka sisältää fyysisen tilan arvioinnin ja tarvittaessa suoritettavat kunnossapitotoimenpiteet. Toisaalta ennakoiva kunnossapito erikoistuu erityisesti tulevien ongelmien ennakoimisen ja niihin varautumiseen.

3.3 Ennustava kunnossapito

Ennustava kunnossapito (Predictive Maintenance) on laitteen vaurioitumisen, vikaantumisen tai muun ongelman ennakoivaa tutkimista. Ennustavan kunnossapidon tukena voidaan käyttää jotain erityistä menetelmää tai tekniikkaa, jolla vaurio tai vika voidaan ennustaa. Tällaisia menetelmiä ovat mittaustiedoista tehtävät analyysit, esimerkiksi kitka, värähtely ja lämpötila. [4.] Ennustava kunnossapito hyödyntää edistynyttä analytiikkaa ja ennustemalleja arvioimaan laitteen

kuntoa. Analyysien avulla voidaan ennakoida mahdollisia vikatilanteita ja määrittää, milloin kunnossapitotoimenpiteitä on tarpeen suorittaa. Tämä lähestymistapa pyrkii välttämään tarpeettomia huoltotoimenpiteitä ja keskittymään niihin alueisiin, joilla on todellinen tarve. Toimenpiteet suoritetaan vasta, kun laitteen kunto osoittaa siihen tarvetta. [2, s. 31–32.]

Ennustava kunnossapito on kunnossapidon strategia, jonka tarkoituksena on ennustaa kunnossapitotoimenpiteiden tarvetta ja ajankohtaa koneiden tai laitteiden ylläpidossa. Tämä lähestymistapa perustuu ennusteisiin, jotka johdetaan säännöllisistä analyyseistä ja tunnetuista tunnusmerkeistä sekä tarkastelusta, miten laitteen, mittauksen tai muun kohteen tila muuttuu, esimerkiksi heikkenee, ja miten näitä muutoksia kuvaavia olennaisia arvoja voidaan havaita. [2, s. 31–32.]

Ennustavaa kunnossapitoa sovelletaan ottamalla huomioon laitetta laajempi kokonaisuus, kuten järjestelmä tai laitteisto, kun määritellään laitteiden kunnossapidollisia toimenpiteitä. Tämä strategia mahdollistaa sen, että huomioidaan laitteen toimintaympäristö ja yhteys muihin komponentteihin. Kunnossapidon ennustamiseen käytetään erilaisia tekniikoita, kuten koneoppimista, matemaattisia algoritmeja, tilastotiedettä ja tuotannon sekä älykkäiden instrumenttien mittausdataa ja itsediagnostiikkaa. Näitä menetelmiä yhdistelemällä pyritään luomaan ennusteita, jotka voivat auttaa tunnistamaan tulevat huoltotarpeet ennen kuin laite on vikaantunut ja välttämään odottamattomia laitteiden vikoja. [2, s. 31–32.]

Kunnossapidon suunnittelu voi hyödyntää ennustavan kunnossapidon tuottamia tietoja ja tarjota toimenpidesuosituksia. Ennustavalla kunnossapidolla voidaan varmistaa, että kunnossapitotoimenpiteet suunnitellaan ja suoritetaan optimaalisesti, mikä parantaa luotettavuutta, laitteiden käytettävyyttä ja koko tuotantoprosessin tehokkuutta. [2, s. 31–32.]

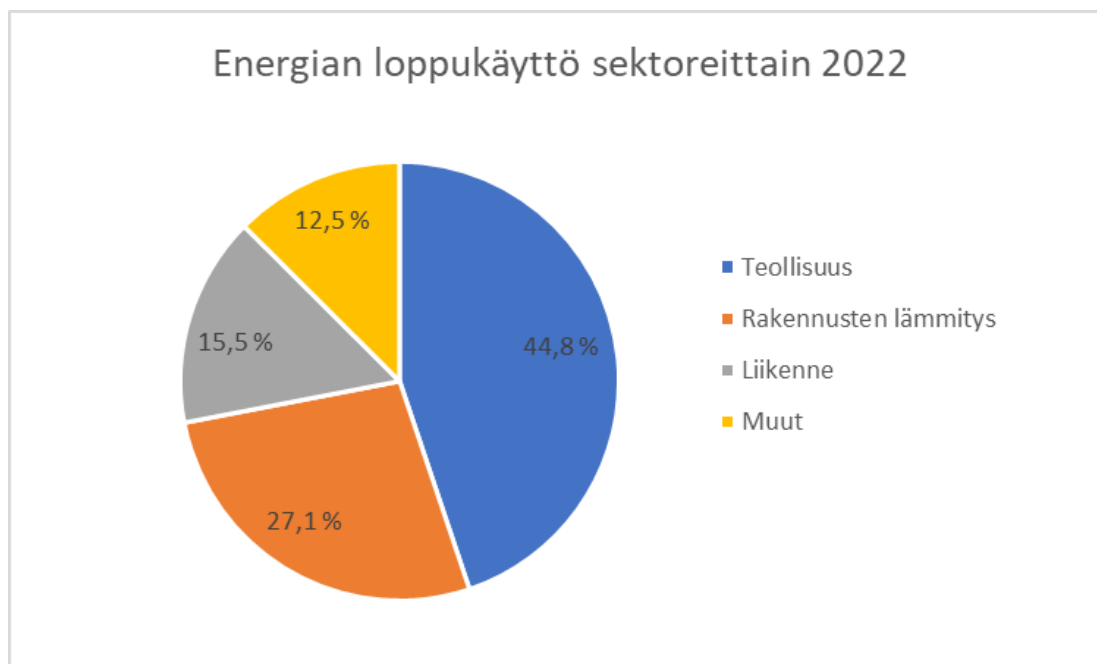
4 Energianhallinnan tarkastelu

Energiakeskeinen suorituskykymittari (Energy Key Performance Indicator) eli energian KPI on mittari, joka auttaa organisaatiota seuraamaan ja arvioimaan sen energiankäyttöä ja tehokkuutta. Tällaiset mittarit voivat olla tärkeitä yrityksille, teollisuuslaitoksille tai muille organisaatioille, jotka kuluttavat energiaa merkittävässä määrin. Energian KPI mittaa mm. energiankulutusta, uusiutuvan energian osuutta ja päästöjä ja määrittelee energiatehokkuusindeksin ja käyttöasteen [5.]

Energiankulutuksen mittaus tarjoaa organisaatiolle tarkan kuvan energian käytöstä tietynä ajanjaksona. Se kattaa sähkön, lämmön ja muiden energialähteiden kulutuksen. Mittarin avulla organisaatio voi seurata kokonaiskulutusta ja tunnistaa mahdollisia säästökohteita. Uusiutuvan energian osuuden seuraaminen arvioi organisaation sitoutumista kestäväan energiakäytäntöön. Mittari kertoo, mikä osuus käytetystä energiasta tulee uusiutuvista lähteistä. Päästöarvioinnissa tarkastellaan energiankäytöstä aiheutuvia päästöjä, mikä on keskeistä ympäristövaikutusten arvioinnissa. Mittari auttaa tunnistamaan keinoja päästöjen vähentämiseksi ja ympäristöystävällisemmän toiminnan edistämiseksi [5.]

Energiatehokkuusindeksi mittaa suhdetta tuotetun tuotoksen ja käytetyn energian välillä. Korkea indeksi osoittaa tehokasta energiankäyttöä, kun organisaatio saa enemmän tuotosta vähemmällä energiankulutuksella. Käyttöasteen seuranta mittaa laitteiston tai järjestelmän käyttöastetta suhteessa maksimaaliseen kapasiteettiin. Mittari auttaa tunnistamaan, käytetäänkö laitteistoja tehokkaasti vai onko mahdollisia tehottomuuksia, jotka voidaan parantaa [5.]

Energian loppukäytön jakautuminen sektoreittain on esitetty alla olevassa kuvassa (kuva 4) vuodelta 2022. Vuonna 2022 teollisuus oli suurin energian loppukäyttäjä, ja täten teollisuuden aloilla on suuri kiinnostus vaikuttaa energian loppukulutukseen niin yleisen energiatilanteen kuin taloudellisen näkökulman vuoksi. Teollisuuden osuus loppukulutuksesta oli 44,8 % eli 132 TWh [6.]

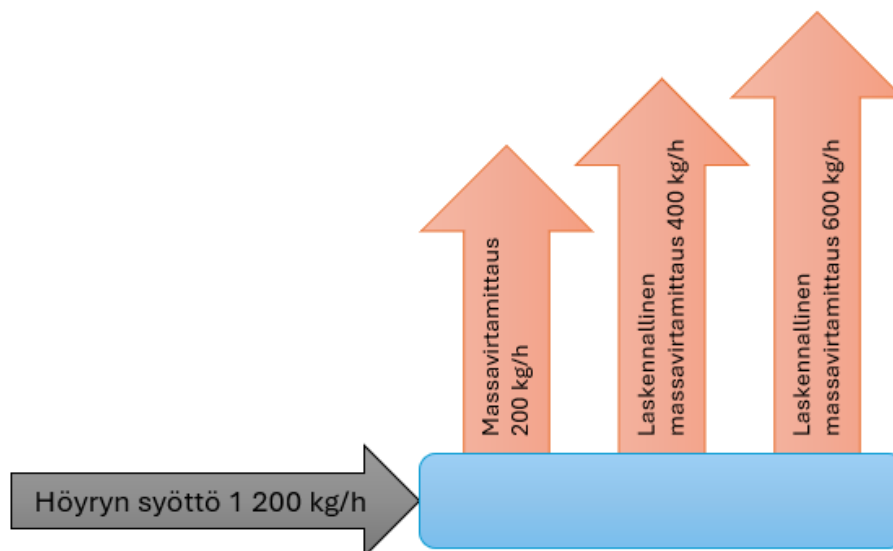


Kuva 4. Energian loppukulutus sektoreittain yhteensä 294 TWh vuonna 2022 [6].

Energiankäyttö kattaa kaikki sähköön ja lämpöön liittyvät osa-alueet. Energianloppukulutukseen vaikuttavia tekijöitä on useita, mutta yksittäiset ja suuret on helppo tunnistaa. Suurimpia energiankuluttajia teollisuudessa ovat höyryyn liittyvät prosessit. Höyryä käytetään teollisuudessa esimerkiksi lämmitykseen ja höyrytykseen, palamisen tueksi ja tiettyjen aineiden käsittelyyn. Höyryn kulutus on teollisuudessa taloudellisesti kiinnostava ja energianhallinnan näkökulmasta merkittävä. Höyry on ostotuote tai sitä voidaan tuottaa itse, mutta kustannuksia syntyy silti. Ostotuotteena höyry hinnoitellaan kulutuksen ja paineen mukaan. [7.]

Höyryn jakautuminen ja kulutuksen määrittely eri prosessivaiheille on olennainen osa tehokkaan tuotannon varmistamista. Tarkastellaan tilannetta (kuva 5), jossa tarvittava höyryn määrä on 1 200 kg/h ja tämä virta jakautuu kolmeen osaan. Ensimmäiseen haaraan virtaa 200 kg/h, mikä perustuu massavirtausmittaukseen. Höyryn massavirran jakautuminen kahteen muuhun haaraan voidaan arvioida putkien koosta ja käyttökohteesta. Oletetaan, että toisessa putkessa on kaksi kertaa suurempi massavirtaus kuin ensimmäisessä, eli laskennallisesti

saadaan höyryn massavirtaukseksi 400 kg/h ja kolmannessa putkessa kolme kertaa suurempi massavirtaus kuin ensimmäisessä, eli höyryn määrä tähän haaraan on 600 kg/h.



Kuva 5. Kaaviokuva höyryn jakautumisesta syötöltä kolmeen linjaan.

Tarkoituksenmukainen höyryn jakautuminen varmistaa, että kullakin haaraosalla on tarvittava määrä höyryä vaatimuksiin nähden. Hallitun höyryjakelun avulla voidaan optimoida prosesseja ja varmistaa, että höyryn käyttö on energiatehokasta.

Jos tarkastellaan tilannetta, että toisessa haarassa ilmenee pieni vuoto, se vaikuttaa koko järjestelmän toimintaan. Vaikka vuoto on pieni, se vähentää käytävissä olevaa höyryn määrää ja voi vaikuttaa höyryn jakautumiseen muissa osissa järjestelmää. Vuoto johtaa siihen, että toisessa haarassa ei ole enää täyttä virtausta, ja tämä voi vaikuttaa kolmannen haaran virtaukseen. Vaikka vuoto olisi pieni, sen vaikutus voi olla merkittävä virtausmäärien kannalta. Laskennallisessa menetelmässä tätä höyryn vuotoa ei välttämättä huomata, ennen kuin siitä aiheutuu haittaa prosessille tai muulle höyryä käyttävälle toimelle.

Ostetun höyryn hinta tuhatta kiloa kohden on 70—90 euroa riippuen höyryn paineesta [7]. Jos virtaus on 500 kg/h ja höyryä vuotaa 10 %, niin vuorokaudessa

12 000 kilosta 1 200 kiloa on häviöinä 84—108 euroa. Tämä ei itsessään kuluosta suurelta, mutta jos vuodon havaitseminen tai tukkiminen viivästyy, viikossa kulu nousee 588—756 euroon ja kuukaudessa 2 604—3 348 euroon nostoen prosessin kokonaiskustannusta. Huomioon otettava asia on myös se, että jos samasta syötöstä jakaantuu useammalle käyttäjälle tai kohteelle höyryä, vuotokohdan mukaan kulut voivat näyttäytyä toiselle kohteelle suuremmilta ja vuodot runkolinjassa voivat kasvattaa ostohöyryn hintaa.

Massavirtausmittaus on teollisuuden mittaustapa, joka mittaa virtaavan aineen, kuten nesteen, kaasun tai höyryn määrää. Mittauksen hyödyntäminen jokaisessa linjassa tekee höyryn määrän ja virtauksen hallinnoinnista luotettavampaa, sekä lisää prosessiturvallisuutta. Mittauksien avulla on mahdollista havaita mahdollisia vuotoja nopeasti esimerkiksi runkolinjan massavirran ja jokaisen haaran massavirtausmittauksen erotuksella ja tunnistaa, mikäli höyryä häviää matkalla.

Instrumentoinnin valintaan vaikuttaa mitattava aine ja instrumentoinnin ominaisuuksia on tarkasteltava kohteen tarpeen mukaan. Älykkäitä ominaisuuksia massavirtausmittauksilla on mm. kunnonvalvontadatan kerääminen, historian tallentaminen ja etäkonfigurointi [8]. Höyryvuodon nopea havaitseminen mitausten avulla on energianhallinnan ja kulujen kannalta kiinnostavaa.

5 Tuotannon toimintavarmuus

Toimintavarmuus viittaa kykyyn ylläpitää ja varmistaa kohteen toimintakyvyn jatkuvuus ja tehokkuus ilman odottamattomia häiriöitä tai pysäytyksiä. Toimintavarmuuden turvaaminen sisältää ennaltaehkäisevät toimenpiteet, kuten säännöllisen huollon, kunnossapidon ja varautumisen mahdollisiin häiriötilanteisiin, kuten esimerkiksi varmuuskopiointijärjestelmät ja hätäsuunnitelmat. [3, s. 7.] Laitteiston toimintavarmuudella turvataan prosessin ja tuotannon toimintavarmuus parantaen tehokkuutta, vähentäen odottamattomia pysäytyksiä ja lisäten asiakastyytyvyyttä laadukkaalla tuotteella.

Tuotannon toimintavarmuuden parantuminen voi vaikuttaa myönteisesti myös työntekijöiden moraaliin ja työtyytyväisyyteen. Kun laitteet ja laitos toimivat moitteettomasti, työntekijät voivat työskennellä tehokkaammin ja vähemmän stressaantuneina. Kaiken kaikkiaan toimintavarmuuden turvaaminen parantaa tuotannon sujuvuutta, tehokkuutta ja työilmapiiriä.

5.1 Toimintavarmuuden turvaaminen

Toimintavarmuuden turvaaminen vaikuttaa tuotantoon monin tavoin. Toimintavarmuuden parantuessa, laitteiden ja järjestelmien odottamattomat vikatilanteet vähenevät. Tämä vähentää tuotantolinjojen pysäytyksiä ja mahdollistaa sujuvamman ja keskeytyksettömämmän tuotannon. Lisäksi toimintavarmuuden parantuminen johtaa korkeampaan tuotantokapasiteettiin ja parempaan tuottavuuteen. Kun laitteet toimivat luotettavasti ja keskeytyksettä, tuotantoprosessit pyörivät tehokkaammin.

Toimintavarmuuden parantaminen myös vähentää korjaustarpeita, mikä puolestaan alentaa korjauskustannuksia ja säästää yritykselle rahaa pitkällä aikavälillä. Ennaltaehkäisevä huolto ja toimintavarmuuden parantaminen auttavat vähentämään vikatilanteita ja odottamattomia ongelmia, mikä puolestaan johtaa parempaan laatuun tuotteissa.

5.2 Toimintavarmuuden vaikutus tuotantoon

Hahmottavana esimerkkinä tässä luvussa on tarkasteltu tilannetta keksityillä luvuilla, kuinka suuri vaikutus kunnossapidon suunnittelun ennustavalla ja ennakkoivalla toimintamallilla on tuotannon toimintavarmuuteen ja energianhallintaan.

Tuotantolaitoksessa on valtava määrä erilaisia prosessinvaiheita, jotka vaikuttavat tuotannon käynnissä pysymiseen ja laatuun. Voidaan siis helposti päätellä, että yhdenkin tärkeän osa-alueen toiminnan heikentyminen tai rikkoutuminen vaikuttaa koko tuotantolaitoksen laadukkaan tuotteen tuotantovarmuuteen.

Vuodessa on 8 760 tuntia, josta tässä esimerkissä laitokselle suunniteltu käyttöaika on 8 000 tuntia tuottaen laadukasta tuotetta ja 760 tuntia on hallittuja ja suunniteltuja huoltopysäytyksiä. Käyttöaika ilmaisee, kuinka paljon tunteina laitos tai laitteisto on vuoden aikana aktiivisessa käytössä. [9, s. 22.] Käyttöaika ei kuitenkaan kerro koko totuutta laitoksen tehokkuudesta tai käytettävyydestä. Käytettävyys ottaa huomioon sekä suunnitellut seisokit että odottamattomat käyttökatkokset, ja se voidaan laskea kaavalla:

$$\text{Käytettävyys} = \frac{\text{Käyttöaika}}{\text{Kalenteriaika}}$$

Jos koko vuoden aikana ei ole suunnittelemtomia pysäytyksiä tai huoltokatkoksia, laitoksen käytettävyys voidaan laskea alla olevalla tavalla:

$$\text{Käytettävyys} = \frac{8\,000\text{ h}}{8\,760\text{ h}} * 100 = 91,3\%$$

Jos tuotantolaitoksella on vuoden aikana 400 tuntia, eli reilu 16 vuorokautta, suunnittelemtomia pysäytyksiä ja huoltokatkoksia lyhentäen käyttöaikaa voidaan käytettävyys laskea alla olevalla tavalla:

$$\text{Käytettävyys} = \frac{8\,000\text{ h} - 400\text{ h}}{8\,760\text{ h}} * 100 = 86,8\%$$

On tärkeää huomata, kuinka lyhyetkin suunnittelemtomat ja yllättävät katkokset vaikuttavat kokonaisuuteen käytettävyyttä tarkkaillessa.

Seuraavaksi tarkastellaan tilannetta keksityillä luvuilla, kuinka suuri vaikutus kunnossapidon suunnittelun ennustavalla ja ennakoivalla toimintamallilla on kunnossapito- ja ylläpitokuluihin. Jos tuotantolaitos pyörii ilman pysäytyksiä ympäri vuorokauden ja vuorokautinen tuotto on 10 000 euroa, mutta yllättävän laiterikon takia tuotanto joudutaan keskeyttämään ja laitos ajamaan alas korjausten ajaksi yhdeksäksi tunniksi, on alle laskettu, kuinka suuri taloudellinen haitta tällä voi olla:

$$\text{Ansion menetys 9 tunnissa} = \frac{10\,000 \text{ €}}{24 \text{ h}} * 9\text{h} = 3\,750 \text{ €}$$

Yhdeksän tunnin pysäytys pitää sisällään kolmen tunnin turvallisen ajas ajon, kolmen tunnin korjaustoimenpiteet ja kolmen tunnin valmistelun ja laitoksen turvallisen ylös ajon. Tässä on erittäin tärkeää huomata, että tarvittavat varaosat ovat olleet välittömästi saatavilla ja työtä tekevien kunnossapidon henkilöiden palkkaa tai mahdollisia ylityötunteja ei ole laskettu mukaan. Mikäli varaosia ei ole välittömästi saatavilla, voi pysäytyksen aika nousta vuorokausien mittaisiksi ja tunteja kulua pelkkään odotteluun.

Kunnossapidon suunnittelun merkitys korostuu edellisessä esimerkissä varaosavarastojen ylläpidossa, kun varaosien saatavuus oli jo ennakoitua ja suunnittelemanon pysäytys jäi vain yhdeksään tuntiin. Nyt kun on ymmärretty kuinka suuri vaikutus yllättävillä ja suunnittelemanonon pysäytyksillä on tuotantolaitoksen käytettävyyteen ja tuottavuuteen, voimme seuraavaksi tarkastella tilannetta, jossa tärkeimmissä prosessin osissa on hyödynnetty älykästä instrumentointia ja kunnossapidon suunnittelu perustuu ennakoivaan ja ennustavaan toimintamalliin.

Tuotantolaitoksen kriittisimmissä prosessivaiheissa on hyödynnetty kunnonvalvontaa ja erilaisia mittauksia, mm. paineen ja lämpötilan mittausta. Paine voi olla oleellinen prosessin vaiheiden kannalta ja lämpötilamittaus voi säätää prosessiin liittyvien käyttöhyödykevirtojen määrää, esimerkiksi höyryn syöttöä. Lämpötila siis voi määrittellä, kuinka paljon höyryä tarvitaan: lämpötilan las-
kiessa venttiili aukeaa nostaen höyryn määrää ja lämpötilaa, ja lämpötilan nous-
tessa höyryn virtaa pienennetään. Tämä toiminto takaa tasaisen lämmön kai-
kille prosessin vaiheelle. Toiminto voidaan toteuttaa mittauksella, säätöventtiilillä ja prosessiautomaatiojärjestelmän säätimellä. Venttiilille on suunniteltu huol-
lot aikaan perustuen, ja ne voivat olla esimerkiksi kerran vuodessa tai kerran kahdessa vuodessa. Venttiilin toiminnan heikentyminen vaikuttaa prosessiin vaikeuttaen ajoa ja heikentäen tuotteen laatua. Rikkoutuessaan se vaikuttaa tuotantolaitoksen prosessin osan toimivuuteen pahimmillaan johtaen laitoksen alasajoon ja tuotannon keskeyttämiseen.

Jos tämä sama toiminto toteutetaan säätöventtiilillä, jossa on älykäs venttiilinojain, venttiilin on toiminta jatkuvassa seurannassa kunnossapidolla. Kunnossapidolla on mahdollisuus laitehallintajärjestelmään asetettujen arvojen puitteissa havaita muutokset venttiilin toiminnassa ennen oireiden alkua ja tarkastella venttiilin toiminnassa tapahtuneita muutoksia historiankeruu toiminnon ansiosta ja päästä käsiksi ongelman aiheuttajaan.

Kun havaitaan kohde, jossa on tapahtunut muutosta toiminnassa, se otetaan erityistarkkailuun ja siihen toteutetaan diagnostiikan perusteella korjaavia toimenpiteitä ja säätöjä niin, että se pysyy toimintakunnossa seuraavaan suunniteltuun pysäytykseen saakka. Tällaisia toimenpiteitä voi olla mm. kääntymisnopeuden, momentin ja syöttöpaineen säätö. Tällaisilla toimenpiteillä voidaan erittäin todennäköisesti lisätä venttiilin toiminta-aikaa turvaten tuotanto ja välttää rikkoutumiseen liittyviä riskejä muissa ympäröivissä prosessinvaiheissa. Toinen erittäin tärkeä seikka on se, että laitteelle ehditään kysyä varaosat, huolto ja muut toimenpiteet ennen kuin se on rikkoutunut. Diagnostiikan perusteella voidaan määritellä tuleva varaosatarve ja huoltotoimenpiteiden kesto. Aiemmin esitetyt esimerkit käytettävyyden laskusta vuositasolla ja yhdeksän tunnin pysäytyksestä 3 750 euron menetyksellä on tällaisessa tilanteessa täysin vältettävissä älykkään instrumentoinnin ominaisuuksien vuoksi.

6 Älykkään instrumentoinnin hyödyntäminen

Älykkäällä instrumentoinnilla tarkoitetaan teknologiaa ja mittausjärjestelmiä, jotka kykenevät jatkuvaan datan keräämiseen, tallentamiseen ja analysointiin teollisuusympäristöissä. Nämä järjestelmät voivat luoda historiatietoa kerätystä datasta ja käyttää sitä ennusteiden muodostamiseen sekä laitteiston tilan ja mahdollisten vikojen diagnostiikkaan. Älykkäät instrumentit edustavat merkittävää edistystä perinteisten mittaus- ja valvontalaitteiden rinnalla.

Vaikka älykkäät instrumentointijärjestelmät voivat tarjota arvokasta tietoa laitteiston tilasta ja ennusteista sen vikaantumisesta, ihmisen tulkinnalla ja osaamisella on edelleen keskeinen rooli. Ihmisen asiantuntemus ja päätöksentekokyky

ovat tarpeen datan analysoinnissa, tulosten tulkinnassa ja toiminnan suunnittelussa vian korjauksen tai huollon osalta. Älykäs instrumentointi voi tarjota automaattisia hälytyksiä ja ennusteita, mutta ihmisen läsnäolo ja osallistuminen ovat usein tarpeen tilanteissa, joissa tarvitaan harkintaa ja kokemusta.

6.1 Älykkään instrumentoinnin ominaisuudet

Yksi älykkäiden instrumenttien keskeisistä piirteistä on niiden kyky kerätä, tallentaa ja lähettää monipuolista dataa. Nämä laitteet eivät rajoitu ainoastaan yhden fyysisen ilmiön mittaamiseen, vaan ne voivat mittauksesta tai laitteesta riippuen tarjota monipuolista tietoa prosessivirroista kuten painetta, virtausta, värähtelyä, venttiilin liikettä ja ulkoisia olosuhteita kuten lämpötilaa [10]. Tämä monipuolisuus mahdollistaa laajemman ymmärryksen ympäristön ja prosessissa tapahtuvien muutosten vaikutuksista laitteen toimintaan.

Toinen keskeinen piirre on tietojenkäsittely. Älykkäissä instrumenteissa löytyy usein sisäänrakennettuja mikroprosessoreita ja muita tietojenkäsittelykomponentteja. Tämä datan analysointi laitteessa mahdollistaa esimerkiksi hälytysten generoinnin tai poikkeamien tunnistamisen ilman ulkoisia tietojenkäsittelyjärjestelmiä. [10.]

Kolmas piirre on kommunikaatiomahdollisuudet. Älykkäillä instrumenteilla on kyky kommunikoida muiden laitteiden tai tietojärjestelmien kanssa esimerkiksi HART-signaalin avulla. Tämä lisää integraation ja yhteistoiminnan mahdollisuuksia eri järjestelmien välillä. [10.] Tässä insinööriyössä huomionarvoinen asia älykkäitä instrumentteja tarkastellessa on, että tässä käyttäjäkohde halutaan suunnata nimenomaan kunnossapitoon. Kunnossapidolle työkaluksi tarkoitettulla laitteiden kommunikaatiojärjestelmällä on mahdollista havainnoida poikkeamia ennen niiden vaikutusta prosessiin ja tarjota arvokasta tietoa mahdollisista toimenpiteistä.

Automaattinen kalibrointi ja säätö ovat neljäs keskeinen piirre. Älykkäät instrumentit voivat automaattisesti kalibroida itsensä tai säätää mittausasetuksiaan

tarvittaessa. [11.] Automaattisten kalibrointien lisäksi on laitteen mukaan kalibrointiohjelmia, joissa toiminnot ovat ihmisen opetettavia, määräajat asetettava ja niiden on vastattava suosituksia ja määräyksiä, mutta ihmisen hyväksyntä vaaditaan ennen kalibrointia. [12, s. 4.] Tämä parantaa mittauksen tarkkuutta ja luotettavuutta, vähentäen virheiden määrää ja työaikaa.

Tämän insinööriyön kannalta olennaisin ja tärkein piirre kunnossapidon suunnittelun näkökulmasta on älykkään instrumentoinnin lisäämä ennakoiva ja enustava kunnossapitotoiminta. Hyödyntämällä älykkäiden instrumenttien keräämää dataa pystytään tunnistamaan muutoksia laitteistossa, ennen kuin ne aiheuttavat ongelmia prosessissa [10.]

6.2 Kunnonvalvonta älykkäillä instrumenteilla

Kunnonvalvonta on prosessi, jossa käytetään erilaisia tekniikoita ja menetelmiä koneiden ja laitteiden tilan seuraamiseen ja arviointiin. Sen tarkoituksena on havaita mahdolliset viat, kulumiset tai muut poikkeamat laitteiden toiminnassa ennen kuin ne aiheuttavat ongelmia tai häiriöitä tuotantoprosessissa. [13.] Kunnonvalvonta auttaa optimoimaan laitteiden käytön, vähentämään ennakoimattomia huoltotarpeita ja parantamaan tuottavuutta.

Kunnonvalvontaa voidaan suorittaa erilaisille kohteille mm. värähtely- ja roikkumamittausten avulla, ja kunnonvalvonnan mittauksille voidaan asettaa erilaisia raja-arvoja. Kunnonvalvonnan mittausten raja-arvoja voidaan asettaa niin, että määrittelyssä arvossa ne antavat varoituksen, laukaisevat hälytyksen tai lukitsevat kyseisen piirin. Värähtelymittaus esimerkiksi tarkkailee kappaleen liikettä tasapainoaseman ympärillä, hallintaohjelma laskee värähdyksen jaksonajan ja tallentaa sen historiatiedon. [14.]

Kun käytössä on kunnonvalvontajärjestelmä esimerkiksi pyörivien koneiden tarkkailuun, jossa on reaaliaikainen tilan seuranta, muutosten tapahtuminen on välittömästi nähtävillä, historia tallentuu ja hälytysrajat voidaan asettaa, on

ymmärrettävää, että samanlaista kunnonvalvonnan toimintamallia halutaan hyödyntää myös venttiilien tai muiden laitteiden osalta.

6.3 Venttiilinohjainten tarkastelu älykkäillä ominaisuuksilla

Olettaen, että on olemassa oleva ja toiminnaltaan vakaa prosessi, johon on jo liitetty tarvittavat mittauslaitteistot ja prosessivirtoja hallitsevat venttiilit ja ohjaimet, voidaan tarkastella muutoksen tarpeessa tai elinkaarensa päässä olevia laitteistoja. Muutoksen tarve on mahdollisesti ilmennyt käytön aikana, ja tällainen voi olla esimerkiksi liian hitaasti tai nopeasti kääntyvä venttiili, kulunut tai juuttuva, joka haittaa prosessivirtaa. Toinen tarve voi olla uusiminen, kun venttiili todetaan olevan joko kokemuksesta tai laitevalmistajan antamien suositusten perusteella elinkaarensa päässä. Elinkaarensa päässä oleva laitteisto ei välttämättä ole vielä rikkoutunut tai aiheuttanut prosessille ongelmia, mutta sitä ei voida enää pitää luotettavana, ja täten se vaatii enemmän huomiota ja tiheytneitä huolto- ja kunnossapitotoimenpiteitä.

Liitteessä (liite 1) olevassa taulukossa on esitetty haastattelutietojen perusteella kolmen ominaisuuksiltaan erilaisten sulkuventtiilipakettien toimintaa yleisesti malli- ja merkkitiedoista riippumatta kunnossapidon näkökulmasta ja niihin vaikuttavia tekijöitä. Liitteessä tarkasteltujen sulkuventtiilityyppien osalta optimaalimman huoltovälin takaa älykkäällä venttiilinohjaimella varustettu venttiilikokonaisuus. Älykkäällä instrumentoinnilla varustetulla venttiilipaketilla on selkeästi vähemmän huoltoa vaativia ja mahdollisesti rikkoutuvia komponentteja kuin toisilla taulukossa tarkastelluilla venttiilipaketti-tyypeillä. Tällöin kunnossapitosuunnitelmaa laatiessa on suurempi luottamus laitteen kestävyys- ja turvallisuuteen. Jatkuva kunnonvalvonta, suorituskyvyn tarkkailu ja älykkään instrumentin itsediagnostiikka tarjoaa käyttäjälleen seurantamahdollisuuden laitteiston suorituskyvylle koko sen elinkaaren ajan.

Field Device Tool (FDT) on ohjelmiston alusta, joka tarjoaa Field Device Managerin (FDM) ja Device Type Managerin (DTM) välille rajapinnan. FDM luo HART-yhteyden laitteelle, ja DTM on laitteen oma käyttöohjelmisto. [15].

Tällainen DTM-ohjelmisto on useilla eri valmistajilla käytössä, esimerkiksi Yogoawalla, Vegalla ja Valmetilla on omat DTM käyttöohjelmistot. Eri valmistajat mm. venttiilinohjaimilla vaativat oman ohjelma-alustan ja tarkastelussa olleissa kohteissa on Valmetin jo entuudestaan integroitunut järjestelmä. Valmetin tarjoama DTM on todettu kokemuksella helppokäyttöiseksi niin ominaisuuksiltaan kuin visuaaliselta ilmeeltään, joten seuraavaksi on tarkasteltu älykkäitä venttiilinohjaimia Valmetin ohjelmistoalustalla.

Neles ND9000 on älykäs säätöventtiilin ohjain, joka on suunniteltu toimimaan kaikäntyyppisissä venttiilin toimilaitteissa. Sen ominaisuudet datan tallentamisessa ja diagnostiikkatiedoissa luovat pohjan suorituskyvyn optimoinnille ja enakoivalle huollolle. [16.]

Älykäs Neles SwitchGuard SG9000 kiinni/auki-venttiiliohjain soveltuu käytettäväksi millä tahansa venttiilin toimilaitteella. Ohjelmoitava nopeudensäätö mahdollistaa sulkemis-/avautumisajan säädön. Diagnostiikkatiedot, kuten venttiilin asento, toimilaitteen paineet ja laitteen lämpötila, auttavat valvomaan venttiilin tilaa ja suorituskykyä, mahdollistaen suunnitellun huollon ennen mahdollisia häiriöitä prosessissa. [17.]

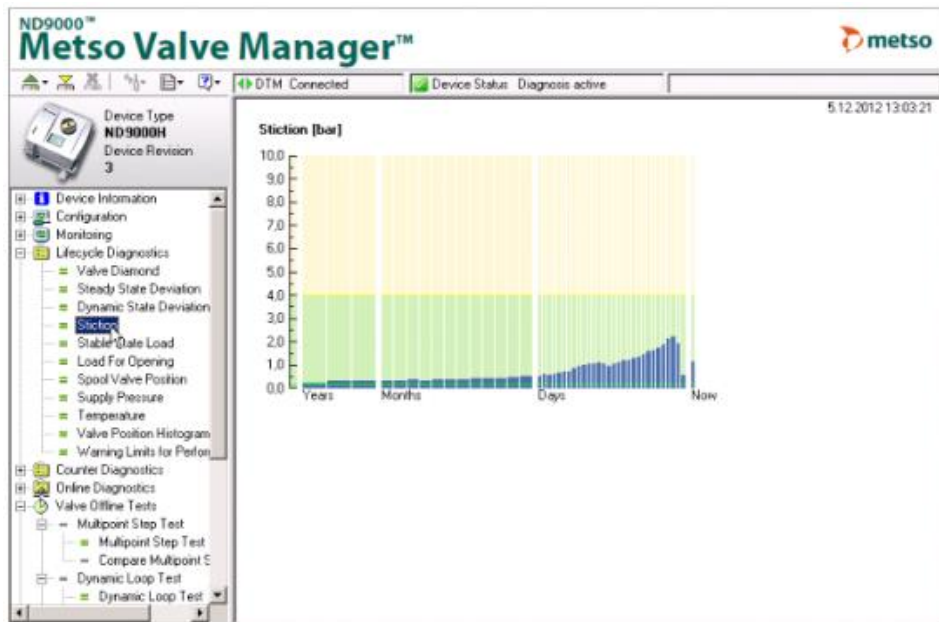
Kolmas Valmetin tarjoamista vaihtoehtoista on älykäs kiinni/auki-turventtiiliohjain Neles ValvGuard VG9000. Tällä ohjaimella on iskuntarkistusominaisuus hätäseisautusten ja tuuletusventtiilien toiminnan turvaamiseksi. Laite testaa itseään liikauttamalla venttiiliä niin vähän, ettei se vaikuta prosessiin, mutta kuitenkin niin paljon, että se saa kerättyä tiedon liikkeen kitkasta. Kerätyn ja tallennetun datan ansiosta tämä älykäs venttiilinohjain pystyy vertaamaan nykytilannetta historiaan ja ilmoittamaan mikäli jotain liikkeessä on muuttunut. VG9000 tukee turvallisuuden lisäämisen ja turvallisuustavoitteiden saavuttamista. [18.]

6.4 Älykkään venttiilinohjaimen ohjelmisto

Valmet Field Device Manager (FDM) on Valmet DNA -järjestelmän ohjelmisto, joka tarjoaa älykkäiden kenttälaitteiden hallintaa ja kunnonvalvontaa. FDM

mahdollistaa kenttälaitteiden ja ohjaussovellusten tehokkaan käyttöönoton samanaikaisesti ja tarjoaa nopean pääsyn oleelliseen tietoon, mikä auttaa merkittävästi käyttäjiä löytämään ratkaisuja laitteiden toimintahäiriöissä. Näiden ominaisuuksien avulla FDM auttaa kunnossapidon suunnittelua optimoimaan kunnossapitokustannuksia ja nopeuttamaan vianmäärittystä kenttälaitteiden osalta ja sitä kautta vaikuttaa myös energianhallintaan teollisuudessa. [19.]

DTM-tiedostot mahdollistavat kommunikoinnin kenttälaitteen ja FDM-järjestelmän välillä. Alla esitetyssä kuvassa (kuva 6) on esitetty, miltä DTM:n etusivu näyttää kunnossapidolle, kun siihen on yhdistetty venttiili älykkäällä ND9000-asettoimella.



Kuva 6. DTM-näkymä [20, s. 12].

Vasemmassa laidassa näkyvässä otsikkopuussa on esitetty selkein otsikoin, millaisia tietoja se tarjoaa venttiilistä. DTM-ohjelman valikon otsikoista ovat

- Valve Diamond
- Steady State Deviation
- Dynamic State Deviation
- Stiction

- Stable State load
- Load for Opening
- Spool Valve Position
- Supply Pressure
- Temperature
- Valve Position Histogram
- Warning Limits for Performance

Valikossa oleva Valve Diamond, tuttavallisemmin kutsuttuna timantti, näyttää yhdellä silmäyksellä älykkään asennoittimen havainnoimat muutokset venttiilissä. Timanttia voidaan pitää sisällysluettelona, ja tarkemmat kaaviot timantin tiedoista ovat nähtävillä vasemmalla olevan puun valikoissa.

7 Kohteiden kartoituksen tavoitteet

Älykästä instrumentointia ei kannata innokkaasti ja huolimattomasti alkaa vaihtamaan ja lisäämään jokaiseen mahdolliseen kohteeseen, vaan kohteiden valinnassa tulee käyttää harkintaa. Huomioon otettavia asioita ovat kohteen soveltuvuus, tarpeellisuus ja diagnostiikasta ja historiaseurannasta saatava hyöty. Ominaisuuksien valinnassa on käytettävä harkintaa, jotta kohde on optimaalinen tarpeisiin. Voidaan todeta, ettei ole kannattava investointi maksaa tarpeettomista ominaisuuksista. Älykkään instrumentoinnin hyödyntämisen tavoite kunnossapidon suunnittelussa ja energianhallinnassa on lisätä prosessin eri vaiheiden turvallisuutta ja luotettavuutta, ja laitteiston suorituskykyä.

Uusien mittalaitteiden tarpeen ja uusinnan edessä olevien kohteiden kartoittaminen voi olla monivaiheinen prosessi, ja se riippuu suuresti siitä, millaisia prosesseja tai järjestelmiä tarkastellaan. Kartoitettavia kohteita määriteltäessä keskeisiä tekijöitä ovat

- EOL (End of Lifetime), laitteiden elinkaari
- muuttuneet prosessiolosuhteet
- ympäristöolosuhteiden muutos
- käytettävyys ja liitettävyys muiden laitteiden kanssa

- energiatehokkuuden lisääminen [21.]

Mittalaitteiden säännöllinen tarkastelu ja päivittäminen ovat merkittäviä tekijöitä tehokkaassa ja kilpailukykyisessä toiminnassa. Uudet mittalaitteet tarjoavat parannuksia tarkkuuteen, energiatehokkuuteen ja teknologiseen älykkyyteen, samalla tukien turvallisuutta ja lainsäädännöllisten vaatimusten noudattamista. Älykäs instrumentointi kohteessa, jossa sen tarjoamat ominaisuudet on kohdistettu oikein, on investointi, joka optimoi kunnossapidon suunnittelua ja lisää laitteiden toimintavarmuutta.

7.1 Instrumentoinnin parantaminen kohteessa

Parantamisella tarkoitetaan toimenpiteitä, jotka voivat parantaa laitteen toimintavarmuutta, kunnossapidettävyyttä ja turvallisuutta yksittäin tai kaikkia ilman, että alkuperäinen toiminto muuttuu. Parantamisen tavoitteena voi olla myös mahdollisen väärinkäytön tai vikaantumisen estäminen. [3, s. 14.] Instrumentoinnin näkökulmasta parantamisen kohde voi olla esimerkiksi mittaustilaite, jonka vaihdon yhteydessä valitaan uusi laite kattavammilla ominaisuuksilla tai muuten kohteeseen paremmin sopivana. Tällaisia voi olla esimerkiksi huollettavuuden parantaminen tai kohteeseen pääsyn helpottaminen.

Kaikki parannukset, muuttaminen ja modernisointi, jotka poikkeavat nykyisestä tilasta, käyvät läpi muutoksenhallintaprosessin, MOC:n, jossa moniammatillinen työyhteisö käy läpi kaikki toimeen liittyvät vaiheet, riskit ja niiden hallinnan.

7.2 Kohteen instrumentoinnin modernisointi

Modernisoinnilla tarkoitetaan kohteen parantamista tai muuttamista teknologiset edut huomioiden. Modernisointi pyrkii täyttämään kohteen muuttuneet tai uudet vaatimukset. [3, s. 14.] Muuttuneita tai uusia vaatimuksia kohteella voi olla esimerkiksi virtausmittauksen vaihtaminen toisella periaatteella toimivaan mittaukseen tai on havaittu tarve laitteen monipuolisemmalle datankeruulle.

Kunnossapidon suunnittelussa älykäs instrumentointi tarjoaa reaaliaikaista tietoa laitteiden tilasta ja suorituskyvystä. Tämä mahdollistaa ennakoivan kunnossapidon toteuttamisen, mikä vähentää odottamattomia laiterikkoja, pysäytyksiä ja lisää laitteiden toimintavarmuutta. Lisäksi parempi datan saatavuus ja analysointimahdollisuudet auttavat optimoimaan kunnossapitotoimenpiteitä ja varaosavarastoja, mikä vähentää kustannuksia ja parantaa tuottavuutta.

8 Älykkäästä instrumentoinnista hyötyvät kohteet

Insinööriyössä on tarkasteltu kohteita, jotka hyötyvät älykkäästä instrumentoinnista vian etsinnän, kunnossapidon suunnittelun, kehityksen ja toiminnan optimoinnin kannalta.

8.1 Älykäs instrumentointi kunnossapidon suunnittelussa

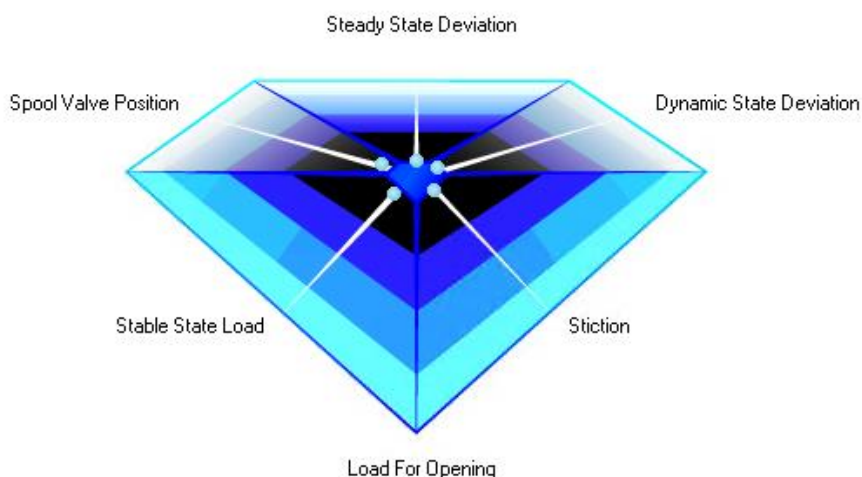
Vian paikantaminen, vian etsiminen, sisältää ne toimenpiteet, joilla voidaan määrittellä vikaantunut kohde tarpeenmukaisella tarkkuudella. [3, s. 16]. Insinööriyössä on tarkasteltu vian etsinnän näkökulmasta kohdetta, joissa on jo olemassa älykäs instrumentointi, ja sen tarjoamasta datasta on ollut merkittävä apu vian etsinnässä ja kunnossapidon suunnittelussa.

Toinen merkittävä hyöty kunnossapidon näkökulmasta on älykkäästä instrumentoinnista saatavan datan avulla tehtävä kunnossapidon suunnittelu. Venttiilien huollot perustuvat pitkälle valmistajan suosituksiin ja kalenteriin perustuneita. Ennustavaa kunnossapitoa voidaan esimerkiksi suorittaa DTM:stä saatavan diagnostiikan avulla huoltoja suunniteltaessa.

8.1.1 Kohde 1

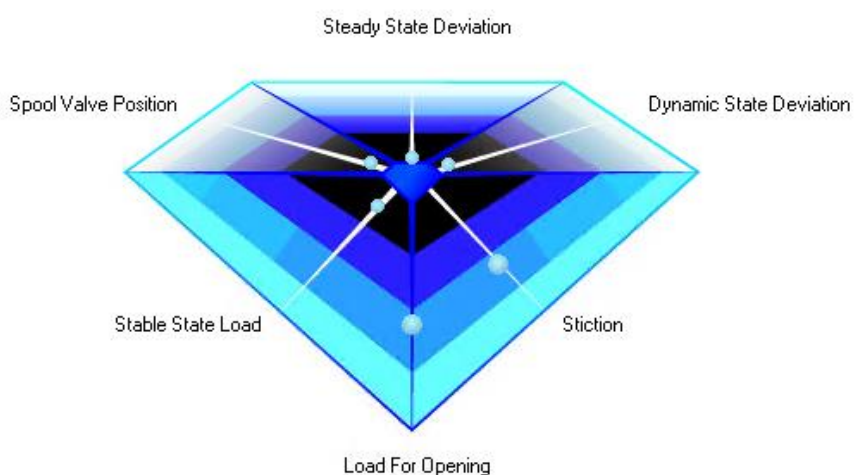
Tässä luvussa esitetään kohde, joka on hyötynyt suuresti älykkään instrumentoinnin tarjoamasta datasta. Tässä kohteessa on läppäventtiili ja ND9000-venttiilinohjain. Huoltoa varten venttiili eristetään ja irrotetaan prosessista ja lähetetään valtuutettuun huoltoon. Edellisessä huollossa venttiili uusittiin, ja toimilaite

ja asennoitin huollettiin. Tämän jälkeen yhdistelmä säädettiin ja kalibroitiin. Timantti ns. nollaantuu huollon yhteydessä, josta datan keräys ja muutosten mitaaminen alkaa uudestaan huollon jälkeisestä tilanteesta. Alla olevassa kuvassa (kuva 7) on esitetty kohteen timantti DTM-ohjelmassa huollon jälkeen.



Kuva 7. Timantin näkymä huollon jälkeen.

Jonkin aikaa huollon jälkeen läppäventtiili alkoi oireilemaan liikkumalla nykykäytännössä ja paukahtamalla auki häiriten prosessia. Alla olevassa kuvassa (kuva 8) on esitetty päivittynyt timantti kohteesta.



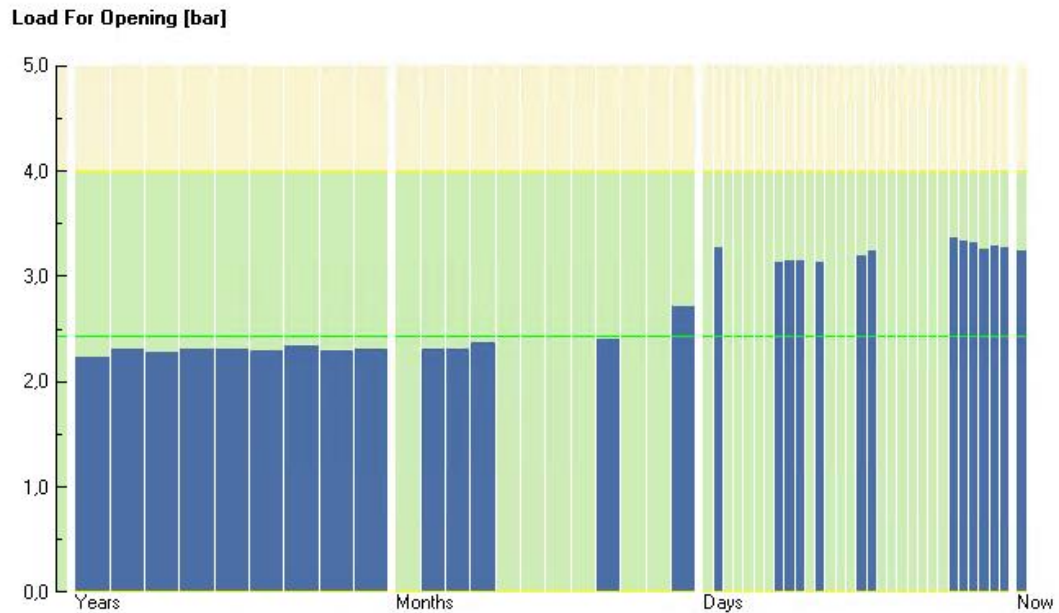
Kuva 8. Timantissa näkyvät muutokset venttiilin toiminnassa.

Timantista saatavien tietojen perusteella nähdään muutokset venttiilin toiminnassa. Alla olevassa taulukossa (taulukko 1) on avattu timantista tehtävää tulkintaa.

Taulukko 1. Timantista saatava tieto ja tulkinta [22].

| Timantin otsikko | Tieto | Tulkinta |
|--------------------------------|--|---|
| Steady State Deviation | Tämä tieto kerätään, kun asetusarvo on vakio | Tämä kuvaa, miten venttiili pysyy asetusarvossa |
| Dynamic State Deviation | Tämä tieto kerätään, kun asetusarvo on muuttuva | Tämä tarkkailee miten venttiili vastaa haluttua liikettä, yleensä tämä nousee ennen Stictionia |
| Stiction | Tahmeus ja kitka venttiilin liikkeessä | Kuvaa läpän laakerien kuntoa, tässä tapauksessa ovat todennäköisesti huonona |
| Load For Opening | Kuvaa toimilaitteen pneumaattista voimaa, jota tarvitaan venttiilin liikkeellelähtoon tiivisteeltä | Muutos tässä indikoi, että läppä jää tiivisteeseen kiinni |
| Stable State Load | Venttiilin vakioasento | Kuvaa millaisella voimalla venttiili pysyy paikoillaan prosessin vastustuksessa (dynaaminen momentti) |
| Spool Valve position | Asennoittimen paineilman pito | Kuvastaa vuotoa ja sen määrää |

Load for Opening ja Stiction ovat tässä kohteessa selkeästi muuttuneet. Aiemmin esitetystä DTM-näkymästä (kuva 8) vasemmalla olevasta otsikkopuusta on nähtävillä timantissa tiivistettynä olevat otsikot laajemmin historiatallennuksen ansiosta. [22.] Alla esitetystä kuvassa (kuva 9) on avattu kohteen Load for Opening-kuvaaja DTM:n valikosta.



Kuva 9. Load for Opening tallennettu historiatieto.

Load for Opening-trendissä on nähtävillä yksityiskohtaisemmin historiatiedot vasemmalta oikealle vuosi-, kuukausi- ja päivätasolla, ja viimeisimpänä on reaaliaikainen mittausta. Kuvaajassa on jokaisen kohdan keskiarvo. Vuositasolla jokaisella venttiilin liikkeellä keskiarvoisesti syöttöpaine venttiilin liikuttamiselle on ollut hieman alle 2,5 baria. Kuukausitasolla nähdään keskiarvoista, että ensimmäisenä kuukautena venttiilistä ei ole liiketietoa, eli venttiili on ollut auki eikä ole irronnut tiivisteeltä kertaakaan. Kolmen kuukauden liikuttamisen syöttöpaineen keskiarvo on ollut samaa luokkaa kuin vuositasolla ja jälleen neljältä kuukaudelta ei ole liiketietoa. Viimeisenä kuuna se onkin noussut jo melkein kolmeen bariin. Päivätasolla viimeisen kuukauden ajalta nähdään, että liikuttavan paineen tarve on selvästi kasvanut. Kasvanut pneumaattinen voima päivätasolla kuukauden ajalta osoittaa, että viimeisestä kuukaudesta eteenpäin pneumaattisen voiman tarve on kasvanut. [22.]

Kerätyn datan ja venttiilin käyttäytymisen perusteella voidaan tehdä oletuksia mahdollisista säädoistä ja korjaustoimenpiteistä. Venttiilin liikkeen parametreja säädettiin APC-järjestelmässä maltillisemmiksi ja kentällä venttiilin sulkumomenttia säädettiin mekaanisesti rajoittavalla ruuvilla ja kalibroitiin. Alla on

esitetty kuva kohteesta (kuva 10). Kuvassa näkyy toimilaitte (sininen), asennoitin (harmaa) ja läppäventtiili laippojen välissä. Mekaaniset ruuvit ovat toimilaitteen ylä- ja alapuolella.



Kuva 10. Kohteen 1 venttiilipaketti.

Kun kohteen nykytilanne on tiedossa, venttiilin toiminnan aktiivinen seuranta on mahdollista ja seuraavaan pysäytykseen voidaan varata osia ja huoltoaikaa tarpeen mukaan. Tässä kohteessa diagnostiikkadata ja kunnonvalvonta antavat kunnossapidon suunnittelulle työkaluja toimintavarmuuden turvaamiseksi.

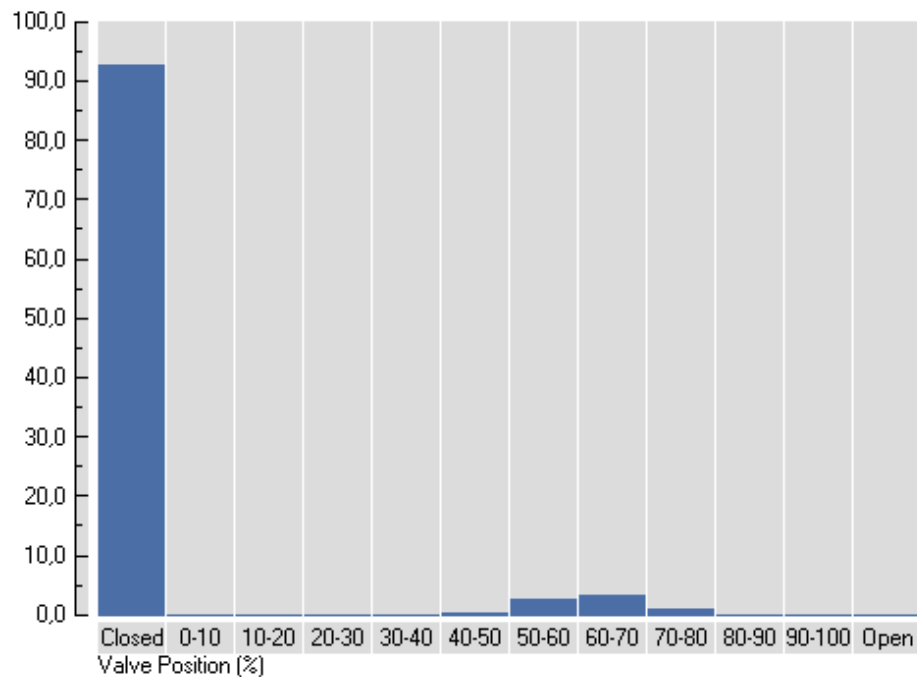
Käytännön esimerkki timantin hyödyistä oli sen avulla tehdä päätelmiä hätäkorjaustoimenpiteistä turvaten venttiilin toiminta huoltoon asti. Timantin tarjoaman tiedon avulla voitiin optimoida venttiilin huolto niin, että välttyttiin ylimääräisiltä kustannuksilta ja samalla huollon kesto saatiin lyhennettyä merkittävästi.

Huollon ja käyttöönoton jälkeen on tärkeää tarkastaa parametrit uudestaan optimaalisen toiminnan turvaamiseksi.

8.1.2 Kohde 2 ja 3

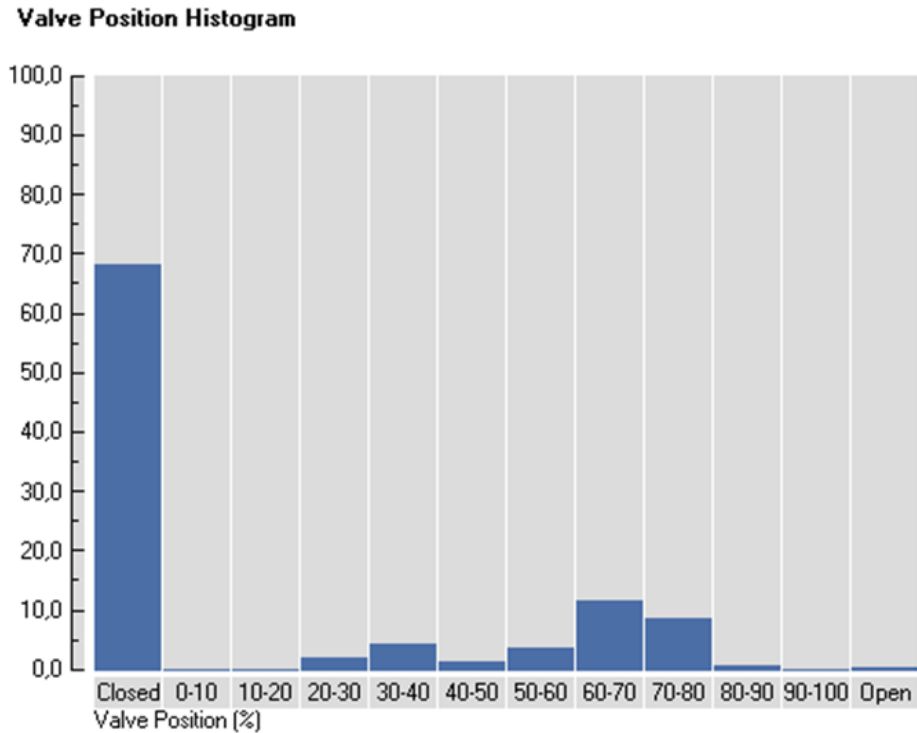
Huollon tarve on määritelty aikaperusteisesti. Säännöllisen huoltosuunnitelman piirissä olevat kohteet nousevat toiminnanohjausjärjestelmässä huollon määräajan lähestyessä. Huoltoa varten venttiilit erotetaan ja irrotetaan linjasta, ja lähetetään valtuutettuun huoltoon. Jokaisessa laitteen irrotuksessa on olemassa riskejä rikkoutumisesta irrotuksessa, rakenteissa ja kuljetuksessa.

Molemmissa tässä luvussa esitetyissä kohteissa säädellään eteenin virtausta istukkaventtiileillä ja molemmissa on ND9000-venttiilinojaimet. Kohteiden noustessa toiminnanohjausjärjestelmään, niiden kuntoa päätettiin tarkastella saatavilla olevan kunnonvalvontadatan perusteella, jotta huollossa tehtävien toimenpiteiden määrittelyä ja kestoja voitaisi suunnitella. Ohjelmassa tarkasteltiin timanttia ja tarkempia yksityiskohtia eri otsikkojen alta. Seuraavissa kuvissa (kuva 11 ja 12) on esitetty kohteiden 2 ja 3 Valve Position Histogram, joka kuvaa, kuinka kauan venttiili on tietyssä asennossa.

Valve Position Histogram

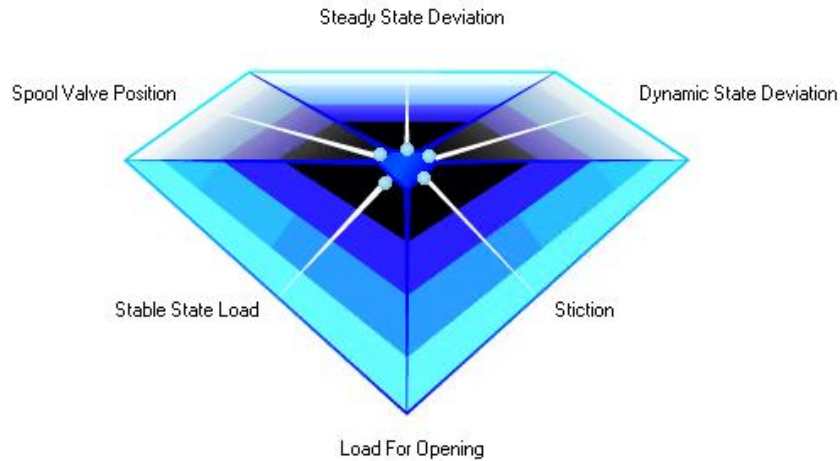
Kuva 11. Valve Position Histogram näyttää, että kohteessa 2 on hyvä säätö-alue.

Kohteen 2 Valve Position Histogramista kuvaajasta nähdään, että venttiili on ollut 90 % ajasta kiinniasennossa. Sen ajan, kun venttiili on liikkunut, se on liikkunut kolmiomaisesti 40—80 %:ssa, eniten 60—70 %:n avaumalla, eli venttiilin säätöalue on ihanteellisella alueella. Tällä venttiilillä ei ollut mitään aihetta ennalta määritellylle aikaperusteiselle huollolle toiminnassa eikä diagnostiikassa, joten tämän venttiilin huolto siirrettiin seuraavaan pysäytykseen.



Kuva 12. Kohteessa 3 näkyy Valve Position Histogramissa vaihteleva säätöalue.

Kohteen 3 Valve Position Histogramista taas nähdään, että tämä venttiili on ollut noin 70 % ajasta kiinniasennossa. Sen ajan, kun venttiili on liikkunut, se on liikkunut eniten kolmiomaisesti 50—80 % välillä. Venttiiliä on ajettu myös hie- man pienemmällä avaumalla yhtä lailla kolmiomaisesti 20—50 %, eli venttiilin säätöalue on hyvällä alueella. Ihanteellinen säätöalue on suurin piirtein 50—70 %:ssa, mutta säätöalueen vaihtelu on normaalia prosessin tarpeen mukaan, eikä tällainen pienempi säätöalue ole haitaksi. Tälläkään venttiilillä ei ollut mi- tään aihetta ennalta määritellylle aikaperusteiselle huollolle toiminnassa eikä diagnostiikassa, joten tämänkin venttiilin huolto siirrettiin seuraavaan pysäytyk- seen. Lisäksi alla on esitetty kohteen 3 timantti (kuva 13), josta on myös nähtä- villä, ettei älykäs asennoitin ole havainnut venttiilin tilassa muutoksia, jotka vai- kuttaisivat sen toimintaan tai luotettavuuteen.

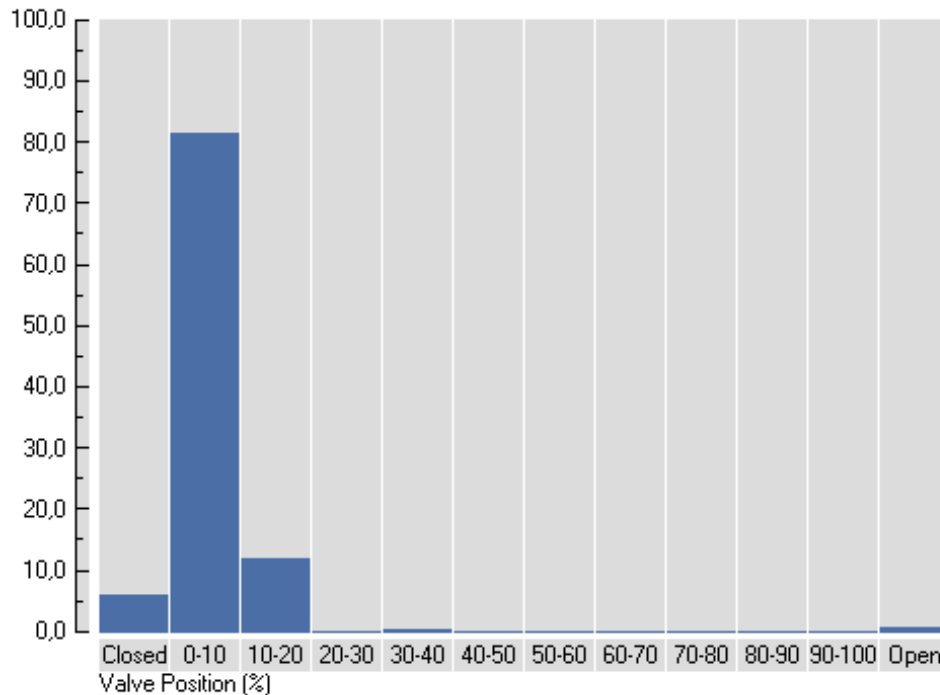


Kuva 13. Kohteessa 3 toiminnassa tai luotettavuudessa ei ole havaittavia muutoksia.

Timantissa näkyvät pallot eivät ole liikkuneet keskipisteeltä ulospäin, joten älykäs asennoitin tässä kyseisessä venttiilipaketissa ei ole havainnut muutoksia.

8.1.3 Kohde 4

Kohde 4 on istukkaventtiili ja ND9000-venttiilinohjain, joka säätelee propeenin virtausta. Tässä kohteessa oli myös aikaperusteisesti määritelty huoltosuunnitelma ja kohteen huollontarvetta tutkittiin kunnonvalvontadatan avulla. Seuraavassa kuvassa (kuva 14) on esitetty kohteen 4 Valve Position Histogram, josta on heti nähtävillä, ettei venttiilin toiminta ole asianmukainen.

Valve Position Histogram

Kuva 14. Kohteen 4 Valve Position Histogramista nähdään, että venttiilin säätöalue on todella pieni.

Kuvassa esitetty Valve Position Histogram näyttää, että kyseinen venttiili on hyvin vähän kiinniasennossa ja huomattavan, yli 80 % ajasta, pienellä 10 %:n avaumalla. Venttiili on tässä tapauksessa huomattavan suuri kohteen käyttötarkoitukseen nähden. Tässä ei ole enää kyse virtauksen säätämisestä, vaan kuroistamisesta. Prosessin tilanne voi olla muuttunut, venttiili on voinut olla suunnitteluvaiheessa hyvä, mutta jokin prosessissa on mahdollisesti muuttunut. Tämän diagrammin avulla kunnossapidossa saadaan työkalut venttiilin koon optimoimiseksi seuraavan huollon yhteydessä kohteelle sopivaksi. Venttiilin oikea mitoittaminen säästää energiaa, pidentää venttiilin elinikää ja lisää säätötarkkuutta.

8.1.4 Kohde 5

Säännöllisen aikaperusteisen huoltosuunnitelman piirissä oleva suurikokoinen palloventtiili nousi toiminnanohjausjärjestelmässä työlistalle huollon ajankohdan lähestyessä. Huoltoa varten venttiili täytyy irrottaa prosessista ja lähettää valtuutettuun huoltoon. Tämän kohteen irrotuksessa pysäytyksen aikana ilmeni ongelma ympärillä olevista rakenteista, eikä venttiiliä eikä toimilaitetta saatu irrotettua sellaisessa ajassa riskittömästi, että se olisi ehtinyt käydä huollossa ja palautua takaisin ennen pysäytyksen päättymistä. Ympärillä olevia rakenteita olisi pitänyt purkaa, ja yllä olevia vahvistaa, jotta venttiili ja toimilaitte olisi voitu turvalisesti nostaa prosessialueen toisesta kerroksesta pois. Alla esitetyssä kuvassa (kuva 15) on havainnollistettu, kuinka suuresta kohteesta on kyse.



Kuva 15. Kohteen toimilaitte ja venttiili ovat erittäin suurikokoisia.

Seuraavassa kuvassa (kuva 16) on havainnollistettu toimilaitteen ja venttiilin suuren koon lisäksi irrotukselle haasteellinen sijainti.



Kuva 16. Haasteellisen irrotuksen lisäksi kohdetta ympäröivät rakenteet tuottivat haasteita.

Palloventtiilin alla on polymeeripulverisäiliö, joka suunnitellussa pysäytyksessä irrotettiin pesua varten. Tälle kyseiselle sulkuventtiilille tehtiin paikan päällä visuaalinen ja toiminnallinen tarkastus kun alla oleva säiliö oli irti. Tarkastuksessa katsottiin venttiilin tiivistepinnat ja palloventtiilin liike ajelemalla sitä kiinni ja auki asennon välillä. Visuaalisella ja toiminnallisella tarkastuksella venttiilin todettiin

olevan kunnossa, liikkeessä ei havaittu kitkaa eikä liikkeelle laittava paine ollut suurentunut.

Jokaisessa irrotuksessa on olemassa riskejä laitteen erotuksessa, ympäröivissä rakenteissa ja kuljetuksessa, jotka käydään läpi ennen kunnossapitotoimenpiteiden suorittamista. Tässä kohteessa oli erittäin järkevä ratkaisu tehdä tarkastus paikan päällä visuaalisesti ja toiminnallisesti yhdessä moniammatillisen työryhmän kanssa, koska riskien ja ajankäytön arviointi puolsi oireettoman venttiilin irrottamista jättämisestä. Tämän kohteen määräaikainen huolto siirrettiin seuraavaan suunniteltuun pysäytykseen ja tarvittavat toimenpiteet kohteen turvalliselle irrottamiselle tehdään suunnitellusti ennen sitä.

Tämä kohde hyötyisi kunnossapidon suunnittelun näkökulmasta Neles ValvGuard VG9000 älykkäästä venttiilinohjaimesta. Älykkään venttiilinohjaimen osaistutuksista saatavan kunnonvalvontadatan ansiosta tämän huollontarpeen arvioiminen olisi optimaalisempaa.

8.2 Älykkäästä instrumentoinnista hyötyvät kehityskohteet

Kehityskohteita tulee kartoitusten ja määräaikojen lisäksi usein vastaan myös tavallisen kunnossapitotoiminnan yhteydessä. Kehityskohteita ovat sellaiset kohteet, joille havaitaan turvallisempi ja luotettavampi tapa saman toiminnon suorittamiselle.

8.2.1 Kohde 6

Kohde 6 löytyi vikatilanteessa, jossa istukkaventtiilin asentomittaus ei näyttänyt luotettavia lukemia. Kentällä havaittiin, että kohteessa oli asennoittimen lisäksi mekaaninen asentomittaus, joka oli tässä toimintahäiriön aiheuttaja. Mekaaniselle asentomittaukselle tehtiin korjaavia toimenpiteitä säätämällä sitä mekaanisesti, rasvaamalla ja kiristämällä ruuveja. Alla olevassa kuvassa (kuva 17) on esitetty kokonaisuudessaan kohteen 6 toimilaite (vihreä), asennoitin (musta

laatikko taka-alalla), erillinen mekaaninen asentomittaus ja lähetin (vaalean sininen laatikko etualalla) ja istukkaventtiili alhaalla linjassa laippaliitoksilla.



Kuva 17. Kohteen 6 toimilaitte, asennoitin, erillinen mekaaninen asentomittaus ja istukkaventtiili alhaalla linjassa laippaliitoksilla.

Mekaaninen asentomittaus voidaan todeta korvattavaksi komponentiksi, koska sama tieto on saatavilla älykkäällä asennoittimella. Seuraavassa kuvassa (kuva 18) on esitetty lähikuva mekaanisesta asentomittauksesta.



Kuva 18. Mekaaninen asentomittaus venttiin karasta lähettimelle.

Kohteelle suunnitellaan parannustoimenpiteet, tarkistetaan nykyisen asennoittimen kyky suorittaa asentomittaus kytkentämuutoksella ja tarvittaessa laitetaan kyselyyn uusi asennoitin tarvittavilla ominaisuuksilla. Kunnossapidon näkökulmasta rikkoutuvien komponenttien määrän vähentäminen parantaa laitteen luotettavuutta ja vähentää korjausta vaativien komponenttien määrää. Tässä kohteessa tehdään suunnitelma valmiiksi ja toteutetaan seuraavassa sopivassa ajankohdassa, kun mekaaninen asentomittaus hajoaa lopullisesti, suunnitelmassa pysäytyksessä tai kun venttiili voidaan pitää pois käytöstä vaihdon ajan.

8.2.2 Kohde 7

Seuraavaksi esitetty kohde on massavirtamittaus, joka mittaa laitokselle tulevaa eteeniä. Kohteen massavirtamittaus ei ole vikaantunut, mutta se on EOL-tilaan luokiteltu, koska laitteeseen ei ole enää saatavilla varaosia. Kyseinen mittaus

kuuluu kiertotalousmittausten piiriin, jotka yrityksessä auditoidaan vuosittain [23.] Tämä tarkoittaa, että massavirtamittauksen luotettavuus ja toiminta varmenneetaan säännöllisesti toimintavarmuuden ja luotettavuuden turvaamiseksi. Kiertotalousmittaukset liittyvät resurssitehokkuuteen ja materiaalien kierrätykseen, mikä on olennaista kestäväen kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa. Auditointi vuosittain varmistaa, että mittaus pidetään luotettavana ja sen avulla saadut tiedot ovat tarkkoja ja hyödyllisiä päätöksenteossa. Kun varaosia ei enää ole saatavilla, EOL-tilaan luokiteltuun massavirtamittaukseen liittyvä haaste on siis varmistaa mittauksen jatkuvuus ja luotettavuus.

Älykkäällä ominaisuudella varustettu massavirtamittaus, jonka ohjelmistojärjestelmänä toimii Smart Meter Verification (SMV) on helppokäyttöinen ja automaattinen diagnostiikkatyökalu, joka seuraa virtausmittarin suorituskykyä ja eheyttä ilman, että prosessia tarvitsee pysäyttää. Tämä työkalu tarjoaa reaaliaikaista tietoa varmistaakseen virtausmittauksen tarkkuuden ja auttaa määrittämään parhaan hetken virtausmittarin kalibroinnille. [24.]

Smart Meter Verification toimii Emersonin Micro Motion Coriolis mittareiden kanssa, ja se on suunniteltu tarjoamaan lisäluotettavuutta virtausmittauksiin eri teollisuudenaloilla. Tämä järjestelmä auttaa varmistamaan, että virtausmittaukset ovat jatkuvasti tarkkoja ja mahdolliset ongelmat voidaan havaita ja korjata nopeasti ilman mittauksen keskeytystä [24.] Alla esitetyssä kuvassa (kuva 19) on esitetty SMV:n näkymä.



Kuva 19. Smart Meter Verificationin näkymä [24].

Uusi mittaus on hankittu ja seuraavassa suunnitellussa pysäytyksessä asennetaan. Laite korvataan uuteen, SMV-ominaisuudella varusteltuun massavirtamittaukseen, jonka kattavaan itsediagnostiikkaan perustuen saadaan tulostettua verifiointiraportit auditointeja varten. SMV kunnossapidon suunnittelun työkaluna tarjoaa reaaliaikaista tietoa todentamaan virtausmittauksen tarkkuuden ja luotettavuuden.

8.3 Älykkäistä instrumentoinnista hyötyvät kohteet

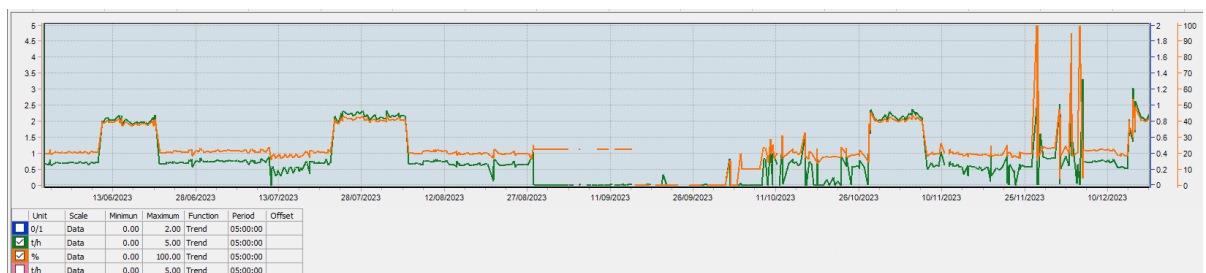
Insinööriyön aikana on kartoitettu kohteita, joissa instrumentointi on jo olemassa, mutta sen älykkäillä ominaisuuksilla modernisoiminen voisi tuoda merkittävää hyötyä kunnossapidon suunnitteluun ja energianhallintaan. Kartoitettujen kohteiden modernisointi antaa mahdollisuuden optimoida toimintaa entistä paremmin, edistää laitteiden turvallisuutta, lisätä prosessien tehokkuutta ja vähentää suunnittelemattomia pysäytyksiä ja näin ollen edistää myös kestävä kehitystä ja lisätä toimintavarmuutta.

Älykkään instrumentoinnin hyödyntäminen on pitkäjänteinen ja sitoutumista vaativa toiminnan parannus, ja kartoitettujen kohteiden modernisointi ja parannukset ovat suunnitelmallisesti suoritettavia. Suunnitelmallisuutta vaaditaan siihen, mitä osia prosessissa voidaan missäkin pysäytyksessä suorittaa ottaen huomioon siihen liittyvä kriittisyys, aika ja kulut. Seuraavat kohteet ovat energia-asiantuntijan tarkasteluun antamia kohteita, jotka ovat suurimpia energiankuluttajia. Näitä kohteita halutaan tarkastella energianhallinnan näkökulmasta, jotta toiminta olisi optimaalista ja mahdollista energiahävikkiä voitaisiin estää.

8.3.1 Kohde 8

Kohde 8 on löydetty kartoitusten yhteydessä, eikä se ole osoittanut vikaantumisen merkkejä. Kohteessa virtaa kolonnin pohjakiehutuksen höyry ja sen virtausta säätää Masoneilan Camfex säätöventtiili. Höyry näyttelee teollisuudessa merkittävää osaa niin lämmitykseen kuin prosessin eri vaiheiden kannalta. Höyryä voidaan käyttää mm. lämmitykseen, lämmönsäätelyyn, prosessin höyrytykseen, prosessin ainesosana ja ylimääräisten ainesosien poiskeittämiseen.

DCS-prosessinhallintaohjelman historiatrendissä on selkeästi nähtävissä, että säätöventtiili on mitoitettu tarpeettoman suureksi. Säätöventtiilin tarkoitus olisi säätää prosessivirtaa, eikä kuristaa sitä. Alla olevassa kuvassa (kuva 20) on esitetty säätöventtiilin trendi, vihreä kuvaaja on mittaus ja oranssi on ohjaus.



Kuva 20. Kohteen 8 säätöventtiilin mittaus ja ohjaus.

Vasemman puoleisen pystysarakkeen 0—5 arvot kuvaavat mittausta (vihreä), joka on esitetty määreessä tonnia tunnissa. Eli tässä kohteessa höyryn virtaus

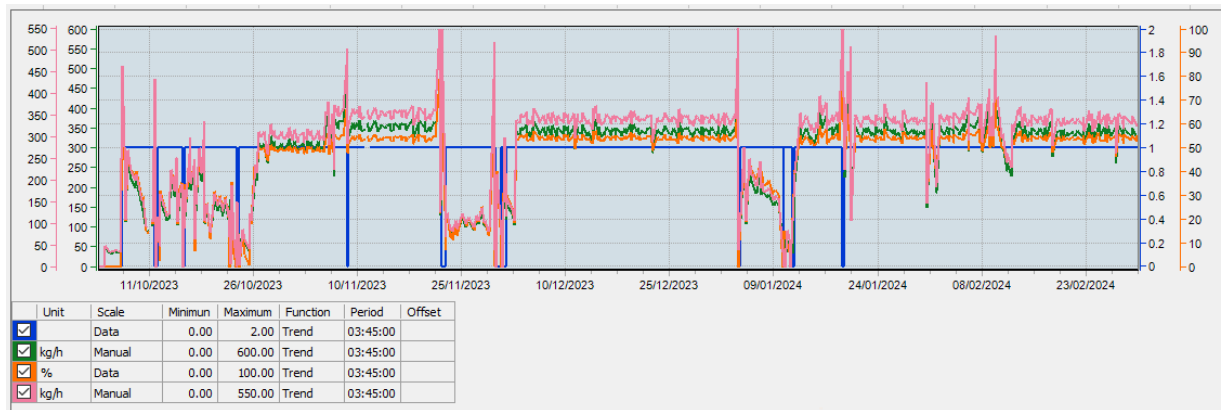
vaihtelee suurinpiirtein 500 kilosta noin 2 000 kiloon. Oikean puoleinen sarake 0—2 kuvaa venttiilin ohjausta, 0 manuaaliohjaus ja 1 automaattiohjaus. Tätä ei ole trendissä esitetty. Laittimainen oikea sarake arvoilla 0—100 on prosentteja joka kuvaa venttiilin ohjausta (oranssi). Venttiilin ollessa kiinni arvo on 0 ja täysin auki 100.

Venttiilin optimaalinen mitoitusalue on 50—70 % alueella, eli venttiili olisi noin puoliksi auki ja säätövaraa molempiin suuntiin. Venttiilin väärin mitoittaminen voi aiheuttaa useita riskejä laitteille ja haitallisia seurauksia prosessille. Näihin kuuluvat muun muassa huono säätö, ylikuormitus, kavitaatio, energianhukka ja yllättävät toimintahäiriöt. On tärkeää mitoittaa venttiilit huolellisesti ja ottaa huomioon prosessin vaatimukset ja olosuhteet. Kuvaajasta on nähtävissä, että ohjaus ja mittaus kulkevat käsikädessä, eli venttiili säätää virtausta oikein ohjauksen mukaan. Kavitaatio syntyy venttiilin yli, kun kuristus on liian suuri ja paine-ero kasvaa, nesteeseen syntyy kiehuvia kaasukuplia. Kohteet, joissa ollaan lähellä kiehumispistettä, ovat riskialttiimpia. Kavitaatio voi nopeastikin olosuhteitten mukaan aiheuttaa venttiilin sisäelimille kulumia ja vaurioita [25]. Tässä kohteessa on otettava huomioon, että höyry saattaa olla ylösajon yhteydessä osittain nestemäistä.

Tässä kohteessa ei ole älykästä venttiilinohjainta, mutta se olisi hyödyllinen. DCS-trendissä nähdään, että mitoitus on liian suuri tarpeeseen nähden, mutta ohjauksessa on tapahtunut lopussa piikkailua. Älykkään venttiiliohjaimen tarjoaman datan avulla olisi mahdollisesti havaittavissa, onko venttiilin toiminnassa muutosta, vai voiko muutokset johtua vaihtelevista prosessiolosuhteista ja näin päästä kiinni mahdollisen ongelman juurisyöhyn.

8.3.2 Kohde 9

Kohteessa 9 on virtaavana aineena myös höyry, jota säätää istukkaventtiili. Kohteen historiatrendissä on nähtävissä laajempi ohjaustarve. Alla olevassa kuvassa (kuva 21) on esitetty kohteen trendi, jossa vihreä kuvaaja on mittaus ja oranssi on ohjaus, vaaleanpunainen asetusarvo ja sininen manuaali/automaatti.



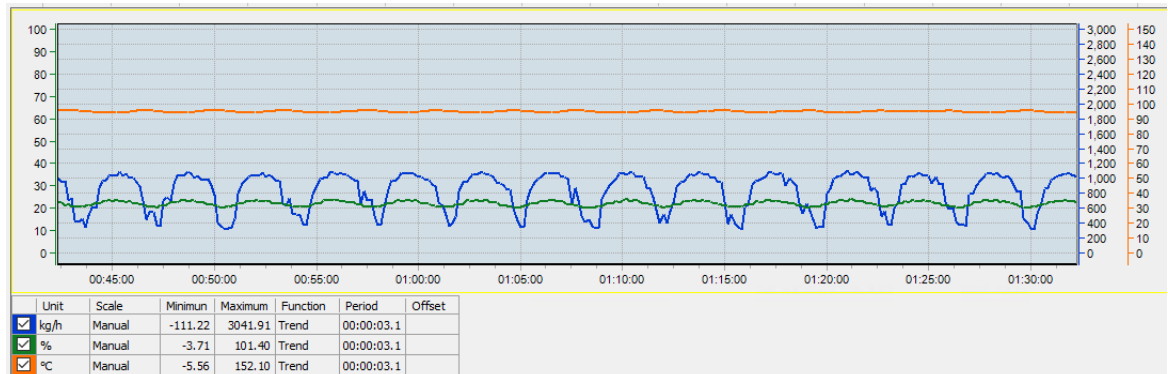
Kuva 21. Kohteen 9 trendi.

Vasemman sarakkeen asteikko 0—600 kuvaa mittausta määreessä kiloa tunnissa (vihreä) ja 0—550 asetusarvoa (vaaleanpunainen). Näille on määritely 50 kg/h ero trendin sarakkeisiin, koska mittaus vastaa niin hyvin asetusarvoa, että ne olisivat samalla asteikolla täysin päällekkäin. Tässä tapauksessa ero on laitettu vain havainnollistamisen vuoksi. Kuvaajan asteikko on oikealla 0—2 ja se kuvaa venttiilin ohjausta: 0 on manuaaliohjaus ja 1 automaattiohjaus (sininen). Laitimmainen oikea sarake arvoilla 0—100 on prosentteja ja kuvaa venttiilin ohjausta (oranssi).

Trendistä nähdään, että ohjaus liikkuu lähes nollan ja yli 80 %:n välillä, eli virtauksen tarve vaihtelee nolasta yli 400 kiloon tunnissa. Tässä tapauksessa voisi olla varsin järkevä venttiileitä säästävää vaihtoehto ohjata toimintaa kahdella rinnakkaisella venttiilillä, joilla voisi säätää virtausta vaihtelevan tarpeen mukaan. Molemmat venttiilit optimaalisesti mitoitettuina säätötarkkuus sekä venttiilien toimintavarmuus lisääntyisi. Älykäs asennoitin myös lisäisi kohteen ohjauksen tarkkuutta, ja historian keruun ansiosta venttiilin kunto ja toiminnassa tapahtuvat muutokset olisi helposti seurattavissa. Kunnossapidon suunnittelun näkökulmasta tämän kohteen huoltojen tarpeen optimointi parantuisi.

8.3.3 Kohde 10

Seuraavaksi esitetty kohde 10, jossa höyrylinjan virtauksella säädellään lämpötilaa. Höyryn virtausta säädellään istukkaventtiilillä. Lämpötila on esitetty kuvassa oranssilla, virtaus sinisellä ja ohjaus vihreällä. Kohteen trendi on esitetty alla olevassa kuvassa (kuva 22).



Kuva 22. Kohteen 10 trendi.

Kohteen sinisessä trendissä nähdään selkeästi höyryn vaihteleva virtaus. Oranssista kuvaajasta nähdään, että lämpötila vaihtelee tasaisesti. Tämä säättää venttiilin asentoa (vihreä kuvaaja), joka puolestaan säättää virtauksen määrää pitääkseen lämpötilan tasaisena. Kuvassa x-akselilla on aika ja tässä tapauksessa viiden minuutin välein. Kuvasta nähdään, että venttiili vaihtaa hie-man asentoa alle viiden minuutin välein ja venttiilin ohjaus liikkuu 20 %:n avauman ympärillä. Toisin sanoen, piiri ”värähtelee” tarpeettomasti.

Kohteessa tapahtuva jatkuva liike on venttiilille hyvin kuluttavaa, ja venttiilin paremmalla mitoituksella ja älykkäällä asennoittimella voisi saada huomattavaa tarkkuutta säätöön. Säädön tarkkuus on olennainen tekijä venttiilin liikkeen hallinnassa. Älykkään asennoittimen kunnonvalvontadatan ja historiankeruun ansiosta muutokset venttiilin kunnossa ja toiminnassa olisi havaittavissa. Nopea reagointi kunnonvalvonnasta havaittaviin muutoksiin, kulumisen hallinta ja energiatehokkuus ovat myös tärkeitä näkökohtia.

9 Päätelmät

Insinööriyössä tarkasteltiin jo olemassa olevien älykkäiden instrumenttien ominaisuuksia ja niistä saatavaa hyötyä kunnossapidon suunnittelussa. Lisäksi on tarkasteltu vianetsintää ja kehityskohteita. Älykkään instrumentoinnin avulla varaosavarastojen ylläpito ja hallinta on helpompaa. Varaosien kyselyä ja hankintaa on älykkään instrumentoinnin datan avulla helpompi ennakoita.

Älykkään instrumentoinnin hyödyntäminen on onnistunut, kun sen avulla on löydetty vika, optimoitu huolto ja/tai ennakoitu varaosatarve. Älykkään instrumentoinnin hyödyntäminen voi vähentää suunnittelemattomia pysäytyksiä ja siten nostaa käytettävyyttä ja vähentää niistä koituvia kuluja.

Älykkään instrumentoinnin avulla on mahdollisuus havaita muutoksia laitteen toiminnassa ennen laitteen vikaantumista, tai ennen kuin ne aiheuttavat ongelmia prosessissa. Diagnostiikka antaa arvokasta tietoa laitteen kunnosta ja toiminnan muutoksista, joita kunnossapito voi hyödyntää päätöksenteossa. Älykkäällä instrumentoinnilla on myös merkittävä rooli varaosavarastojen hallinnassa. Kerätyn datan ja sen tulkinnan avulla on mahdollista parantaa varaosavarastojen hallintaa ja suunnitella kunnossapidon toimia. Energianhallinnan näkökulmasta älykäs instrumentointi tuo merkittäviä hyötyjä energiavirtojen hallintaan, lisää luotettavuutta kulujen hallinnassa ja jakautumisessa.

Älykäs instrumentointi on tehokas kunnossapidon työkalu teollisuusympäristöissä, mutta ihmisen rooli datan tulkinnassa, päätöksenteossa ja toiminnan ohjauksessa on edelleen korvaamaton. Älykäs instrumentointi yhteistyössä ihmisen osaamisen, harkintakyvyn ja kokemuksen kanssa mahdollistaa toimintavarmuuden, suorituskyvyn ja tehokkuuden parantamisen teollisuusprosesseissa lisäten turvallisuutta ja luotettavuutta.

Älykkäitä toimintoja tukevien instrumenttien lisääminen huolto- ja korjaustoimenpiteiden yhteydessä, sekä EOL-laitteiden uusinnan yhteydessä on tässä insinööriyössä tarkasteltujen tilanteiden valossa kunnossapidon suunnittelun ja energianhallinnan näkökulmasta merkittävä tuki ennakoivassa,

ennaltaehkäisevässä ja ennustavassa toimintamallissa. Älykkäiden instrumenttien keräämä data ja diagnostiikka antaa arvokasta tietoa, jonka hyödyntämisellä on suoria taloudellisia vaikutuksia, lisäävät laitteiden toimintavarmuutta, luotettavuutta ja turvallisuutta. Laitteiden toimintavarmuus lisää prosessien jatkuvuutta ja vähentää ennakoimattomia pysäytyksiä.

Lähteet

- 1 Henry Mikkonen. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Käsikirja. Kunnossapitoyhdistys Promaint. 1. painos.
- 2 Kunnossapito, käsitteet ja määritelmät. 2022. PSK 6201. PSK Standardisointi. 4. painos.
- 3 Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. 2017. SFS-EN 13306:2017. Suomen Standardisoimisliitto. 3. painos.
- 4 Toiminnanohjausjärjestelmän koulutusmateriaali. 2022. Yrityksen sisäinen aineisto. Borealis Polymers Oy. Porvoo.
- 5 Elliot, Clark. Energy theory. Verkkoaineisto. What are Energy Key Performance Indicators? 18.4.2023. <<https://energytheory.com/what-are-energy-key-performance-indicators/>>. Luettu 23.12.2023
- 6 Energian loppukäyttö väheni jokaisella sektorilla. 2022. Tilastokeskus. Verkkoaineisto. <<https://www.stat.fi/julkaisu/cl8Int36ar51h0duts69hbekez>>. Luettu 5.4.2024.
- 7 Höyryn hinnoittelu. 2024. Yrityksen sisäinen aineisto. Borealis Polymers Oy. Porvoo.
- 8 Coriolis-massavirtausmittarit. Endress+Hauser. Verkkoaineisto. <<https://www.fi.endress.com/fi/tuotteet/nesteiden-kaasujen-h%C3%B6yryn-virtausmittaus/coriolis-massavirtausmittarit>>. Luettu 8.4.2024.
- 9 Hannu S. Laine. 2010. Tehokas kunnossapito. Kunnossapitoyhdistys Promaint. 1. painos.
- 10 Using smart instrumentation. 2011. Control Engineering. Verkkoaineisto. <<https://www.controleng.com/articles/using-smart-instrumentation/>>. Luettu 5.4.2024.
- 11 Self-calibrating thermometer - iTHERM TrustSens hygienic compact thermometer. 2022. Endress+Hauser. Verkkoaineisto <https://www.youtube.com/watch?v=AbiYeyD-CPg&ab_channel=Endress%2BHauser>. Katsottu 5.4.2024.
- 12 An Automated Instrument Calibration System. 2007. Emerson, Process Management. PDF. Verkkoaineisto. <chrome-extens-

- ion://oemmndcbldboiebfnladdacbfmadadm/https://www.emerson.com/documents/automation/white-paper-automated-instrument-calibration-system-ams-en-38432.pdf>. Luettu 5.4.2024.
- 13 Kunnonvalvontajärjestelmät. SKF. Verkkoaineisto. <<https://www.skf.com/fi/products/condition-monitoring-systems>>. 5.4.2024.
 - 14 Teollisuuden värähtelymittaus ja analysointi. 2024. Nome. Verkkoaineisto. <<https://nome.fi/varahtelymittaus/>>. 5.4.2024.
 - 15 Yogogawa. 2007. Verkkoaineisto. FDT/DTM Framework For New Field Device Tools. <<https://www.yokogawa.com/library/resources/yokogawa-technical-reports/fdt-dtm-framework-for-new-field-device-tools/>>. Luettu 18.2.2024.
 - 16 Neles ND9000™ – intelligent valve controller. 2024. Verkkoaineisto. Valmet. <<https://www.valmet.com/flowcontrol/valve-automation/valve-controllers/neles-nd9000-intelligent-valve-controller/>>. Luettu 13.1.2024.
 - 17 Neles SwitchGuard™ SG9000 – intelligent on/off valve controller. 2024. Verkkoaineisto. Valmet. <<https://www.valmet.com/flowcontrol/valve-automation/valve-controllers/neles-switchguard-sg9000--intelligent-onoff-valve-controller/>>. Luettu 13.1.2024.
 - 18 Neles ValvGuard™ VG9000 – intelligent safety solenoid. 2024. Verkkoaineisto. Valmet. <<https://www.valmet.com/flowcontrol/valve-automation/valve-controllers/neles-valvguard-vg9000--intelligent-safety-solenoid/>>. Luettu 13.1.2024.
 - 19 Valmet. 2024. Engineering and maintenance tools. Valmet DNA Automation System. Verkkoaineisto. <<https://www.valmet.com/automation/distributed-control-system/engineering-maintenance-tools/valmet-dna-field-device-manager/>>. Luettu 20.2.2024.
 - 20 PlantPax Process Automation System. 2013. Verkkoaineisto. Metso Neles ND9000 Valve Controller via HART to the PlantPax Process Automation System. <chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfmadadm/https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/at/proces-at020_-en-p.pdf>. Luettu 18.2.2024.
 - 21 Jari Nikula. Työsuunnittelija. Borealis Polymers Oy. Haastattelu 17.4.2024.
 - 22 Olli Repo. Venttiilien erityisasiantuntija. Valmet. Haastattelu 22.2.2024.

- 23 Auditoitavat mittaukset. 2024. Yrityksen sisäinen aineisto. Borealis Polymers Oy. Porvoo.
- 24 Emerson. 2024. Smart Meter Verification. Verkkoaineisto. <<https://www.emerson.com/fi-fi/automation/brands/micro-motion/smart-meter-verification>>. Luettu 9.3.2024.
- 25 Kavitaatio. 2023. Konwell. Verkkoaineisto. <<https://www.konwell.fi/fi/viestinta-ja-julkaisut/blogit/kavitaatio-syoe-venttiileitae>>. 4.5.2024

Sulkuventtiilien ominaisuuksien vertailu

| | Perinteinen sulkuventtiili venttiilinohjaimella | Sulkuventtiili venttiilin ohjaimella, jolla on asentopalaute | Sulkuventtiili, jossa on älykäs venttiilinohjin |
|---|---|---|--|
| Käyttäjäkohde | Operaattori | Operaattori | Operaattori ja kunnossapito |
| Toiminto | Kiinni/auki | Kiinni/auki | Kiinni/auki |
| Toiminta-aika | Venttiilin koosta ja instrumentoinnista riippuen | Venttiilin koosta ja instrumentoinnista riippuen | Ohjelmoitavissa |
| Kunnossapidon suunnittelema huoltoväli | Ennalta määriteltä | Ennalta määriteltä | Ennalta määriteltä tai kuntoperusteinen |
| Huoltosykli | Aikaperusteinen | Aikaperusteinen | Aikaperusteinen ja kuntoperusteinen |
| Huoltoväliin vaikuttavat tekijät | Yhdistelmä toimittajan suositusta ja kokemusta | Yhdistelmä toimittajan suositusta ja kokemusta Asentopalaute voi indikoida huollon aiempaa tarvetta | Diagnostiikan avulla voidaan ennustaa huollon ajankohtaa |
| Komponenttien määrä | Sulkuventtiili, venttiilinohjin, toimilaite, rajat, solenoidiventtiili Ulkoinen paine- ja lämpötilamittaus | Sulkuventtiili, venttiilinohjin, toimilaite, rajat, solenoidiventtiili Ulkoinen paine- ja lämpötilamittaus | Sulkuventtiili, älykäs venttiilinohjin, toimilaite |
| Kerätty data ja historiatieto | Kiinni/auki asentotieto ja historiankeruu ulkoisessa järjestelmässä | Kiinni/auki asentotieto, historiankeruu ulkoisessa järjestelmässä | Kiinni/auki asentotieto, historiankeruu ulkoisessa järjestelmässä Tilastoiva historiankeruu laitteen omalla ohjelmistolla |

| | | | |
|---|---|---|--|
| Menetelmät datan ja historia-tiedon keruulle | Testaus vaatii laitteen testiajon, laite oltava poissa käytöstä | Testaus vaatii laitteen testiajon, laite oltava poissa käytöstä | Testaus voidaan tehdä ajon aikana seuraamalla venttiilin normaalia toimintaa ajon aikana |
| Kerätyn datan ja historiatiedon käyttö | Asentotieto, onko venttiili auki vai kiinni | Asentotieto, asentopalautteella nähdään koko venttiilin liikerata ja miten saavuttaa loppupisteen | Asentotieto, venttiilin tilan valvonta, suorituskyvyn seuranta, muutoksen havainnointi ja ennustaminen |
| Huollon joustavuus | Kokemusperusteisesti huollon tarvetta voidaan uudelleen tarkastella | Nähtävillä olevan asentotiedon muutoksen perusteella huollon tarvetta voidaan uudelleen tarkastella | Kerätyn ja tallennetun datan avulla huolto voidaan optimoida |