

Säätöventtiilidiagnostiikan analysointi ja visualisointi pilvipalvelussa

Control valve PARAMeter ANALyzer 2.0

Tiivistelmä

Tekijä(t) Antti Parantainen	Julkaisun laji Opinnäytetyö, YAMK Sivumäärä 61	Valmistumisaika 2023
Työn nimi Säätöventtiilidiagnostiikan analysointi ja visualisointi pilvipalvelussa Control valve PARAMeter ANALyzer 2.0		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (YAMK), IoT:stä tekoälyyn		
Toimeksiantajaorganisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja) Metsä Fibre		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön kehitystyön tavoitteena oli luoda pilvipohjainen analyysityökalu tehtaan säätöventtiilien kunnonvalvonnan tueksi. Lähtötilanteessa tehtaalla käytetyn kenttälaitteiden kunnonvalvontajärjestelmän käyttöliittymä ei vastannut kunnossapidon vaatimuksia, eikä säätöventtiilien ja mittalaitteiden toimintakunto ollut hallinnassa. Opinnäytetyössä kenttälaitteiden diagnostiikkatiedot vietiin pilvipalveluun ja rikastettiin kunnossapitojärjestelmän laitetiedoilla. Tiedot visualisoitiin Power BI -käyttöliittymässä päätöksenteon tueksi.</p> <p>Suunnittelutieteellisen tutkimusmenetelmän avulla luotu diagnostiikkatietojen analysointi- ja visualisointityökalu osoitti tehokkuutensa vikojen ja riskien havainnoinnissa. Visualisoinnin avulla säätöventtiileistä löytyi monia erilaisia vikoja, jotka voitiin korjata ennakoivasti ennen laiterikkoa. Analyysin avulla tehdyt korjaukset vähensivät venttiileitä kuluttavaa liikettä viidesosaan.</p>		
Asiasanat Pilvipalvelu, säätöventtiili, diagnostiikka, kenttälaitteet, kunnonvalvonta		

Abstract

Author(s) Antti Parantainen	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2023
	Number of Pages 61	
Title of Publication Analysis and visualization of control valve diagnostics in the cloud service Control valve PARAMeter ANALyzer 2.0		
Degree, Field of Study Master of Engineering, From IoT to AI		
Organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party) Metsä Fibre		
Abstract <p>In the thesis, a cloud-based analysis tool was developed to support the condition monitoring of the factory's control valves. Initially, the user interface of the field device condition monitoring system used in the factory did not meet the maintenance department requirements, and the condition of the control valves and measurement devices was not under control. In the thesis, diagnostic data from the field devices were transferred to a cloud service and enriched with equipment data from the plant maintenance system. The data was visualized in the Power BI interface to support decision-making.</p> <p>Through the application of a design science research method, the created diagnostic data analysis and visualization tool demonstrated its effectiveness in detecting faults and risks. Visualization revealed various faults in the control valves, enabling proactive repairs before equipment failure. The repairs conducted based on the analysis reduced the wear of the valves by one-fifth.</p>		
Keywords Cloud service, control valve, diagnostics, field devices, condition monitoring		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
1.1	Työn tausta ja tavoitteet.....	1
1.2	Tutkimuskysymykset ja rajaukset.....	2
1.3	Tutkimusmenetelmät	2
2	Metsä Fibre.....	4
3	Säätöventtiilit	6
3.1	Säätöpiirit sellu- ja prosessiteollisuudessa.....	6
3.2	Hyvän säätöventtiilin ominaisuudet.....	8
3.3	Säätöventtiiliyhdistelmän rakenne.....	9
3.3.1	Palloventtiilit	10
3.3.2	Läppäventtiilit.....	11
3.3.3	Segmenttiventtiilit	11
3.3.4	Toimilaite	13
3.3.5	Asennoitin.....	14
3.4	Säätöventtiiliyhdistelmän viat.....	16
3.4.1	Säätöventtiilin vikojen vaikutus säätöpiirin suorituskykyyn	16
3.4.2	Kitka	17
3.4.3	Venttiilin viat	22
3.4.4	Toimilaitteen viat.....	25
3.4.5	Asennoittimen viat	25
3.4.6	Venttiiliyhdistelmän yhteiset viat	25
3.5	Säätöventtiilin diagnostiikka.....	26
4	Kunnossapito.....	31
4.1	Kunnossapito teollisuudessa	31
4.2	Korjaava kunnossapito	32
4.3	Ennakoiva/ehkäisevä kunnossapito	32
4.4	Kunnonvalvonta.....	33
4.4.1	Kunnonvalvonnan merkitys ennakoivalle kunnossapidolle	33
4.4.2	Kunnonvalvontajärjestelmät.....	33
4.5	Kunnossapidon neljä sukupolvea.....	35
4.6	SAP toiminnanohjausjärjestelmä kunnossapidossa	36
4.7	Varaosien hallinta osana kunnossapitoa.....	38
4.8	Venttiilin huolto/vaihto kunnossapitotyönä Metsä Fibrellä	39
5	Control Valve PARAMeter ANALyzer 2.0.....	42

5.1	Pilvipalvelualusta	42
5.2	Käytettävät komponentit	43
5.2.1	Datan siirto ja käsittely	43
5.2.2	Datan tallennus ja mallinnus	45
5.2.3	Tiedon visualisointi	45
5.2.4	Poikkeamantunnistus.....	50
6	Yhteenveto	53
6.1	Lopputuloksen arviointi	53
7	Pohdinta	55
7.1	Haasteet	55
7.2	Jatkokehitys.....	56
	Lähteet	58

1 Johdanto

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Säätöventtiilit ovat kriittinen osa tehtaan prosessinohjausta Metsä Fibren sellutehtailla. Säätöventtiileiden toiminnalla on merkittävä vaikutus tehtaan ajettavuuteen, käytettävyyteen sekä laatuun. Merkittävyys nousee voimakkaimmin esiin, kun vikaantunut säätöventtiili jumiuudessaan tai toimiessaan epävakaasti aiheuttaa tehtaalle prosessi- tai käyntihäiriön, joka johtaa pahimmillaan koko tehtaan alasajoon. Tehtaan hallitsematon alasajo johtaa merkittäviin ja ennakoimattomiin kustannuksiin tuotantomäärän laskemisen ja laadun heikkenemisen seurauksena.

Säätöventtiili on myös säätöpiirin tärkein elementti, koska se vaikuttaa suoraan säädettävään prosessisuureeseen (Valmet Flow Control 2022c). Jos säätöventtiili ei toimi optimaalisesti eikä toteuta säätöpiirin haluamaa ohjausta, säätöpiiri ei toimi halutulla tavalla. Metsä Fibren sellutehtailla panostetaan paljon systemaattiseen säätöpiirien ylläpitoon ja kehitykseen, ja siksi on tärkeää tuntea hyvin säätöventtiileiden toimintakunto ja -edellytykset.

Metsä Fibren sellutehtailla käytettävän kenttälaitteiden kunnonvalvontajärjestelmän käyttöliittymä on teknisesti rajoittunut eikä vastaa käytettävyydeltään nykypäivän vaatimuksia. Säätöventtiileiden asennoittimilla on paljon hyödyllistä diagnostiikkatietoa, mutta vanhentuneesta teknologiasta johtuen se on yksittäisillä laitekorteilla, ja estää siten diagnostiikkadatan täysimääräisen hyödyntämisen tehokkaasti ennakoivassa kunnossapidossa.

Näistä lähtökohdista Metsä Fibren Äänekosken tehtaalla lähdettiin kehittämään kenttälaitteiden kunnonvalvontaa datan ja analytiikan avulla. Päämääränä kehitystyölle oli jalostaa kunnonvalvonnan keräämä diagnostiikkatieto nykypäivän teknologialla helposti sisäistettävään muotoon päätöksenteon tueksi.

Kunnonvalvontajärjestelmän diagnostiikkadataa jalostamalla sekä rikastamalla SAP-kunnossapitojärjestelmän laiterakenteen ja kunnossapitoilmoitusten datalla, saadaan tehtaan kunnossapito-osastolle selkeä näkemys säätöventtiileiden kunnosta ja huoltotarpeesta. Dataan perustuvalla elinkaarisuunnittelulla venttiilien huollot voidaan tehdä ennakoiden ennen laiterikkoa.

Opinnäytetyön kohteena oleva säätöventtiileiden diagnostiikkatiedon analysointi- ja visualisointityökalu perustuu aikaisempaan ”proof of concept” -työkaluun, jolla testattiin diagnostiikkadatan pohjautuvaa vikojen tunnistusta. Tämä pohjana oleva työkalu osoitti, että jalostettua diagnostiikkatietoa visualisoimalla vikoja voidaan estää ja jatkaa säätöventtiileiden elinkaarta huomattavasti. Esiversion heikkoutena oli ylläpidon monimutkaisuus ja datan

harva päivitysväli. Myöskään visualisointi ei palvellut täysimääräisesti tarkoitustaan, koska diagnostiikan aikasarjadata oli esiversiossa luonnoltaan pakkautunutta. Näistä lähtökohdista uusi työkalu suunniteltiin pilvipalvelupohjaiseksi ja automaattisesti päivittyväksi. Pilvipalvelua käyttäen aikasarjadataan oli mahdollista lisätä tarkkuutta, joka parantaa visualisointia ja siten analyysin tarkkuutta. Työkalun määrittelyvaiheessa tietokannan datamalli päätettiin suunnitella siten, että analyysityökalu oli laajennettavissa kaikille Metsä Fibren sellutehtaille. Metsä Fibren sellutehtaille toteutettavan yhtenäisen kunnossapidon toimintamallin ansiosta käytettävät laitteistot ja järjestelmät on suunniteltu yhdenmukaiseksi, joka mahdollistaa skaalautuvuuden kaikille tehtaille.

1.2 Tutkimuskysymykset ja rajaukset

Opinnäytetyössä vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Kuinka voidaan ennakoivasti varmistaa venttiilien toimintakunto?
- Millaisista komponenteista pilvipohjainen ennakoiva kunnonvalvonta koostuu?
- Millaisia teknologioita ja komponentteja tarvitaan kunnonvalvontasovellukseen?
- Mitkä tekijät vaikuttavat komponenttien valintaan?

Analyysin piirissä olevat venttiilit rajataan neljänneskiertoisiin säätöventtiileihin, joita ohjataan pneumaattisilla sylinteritoimilaitteilla. Venttiilin paikoitukseen käytetään Neles ND9000-sarjan digitaalisia asennoittimia. Analysoitavat viat rajataan sellaisiin, jotka ovat diagnostiikalla havaittavissa. Myöskään venttiilin kavitointi, flashing, eroosio tai korroosio mekanismeja ei analysoida. Säätöpiirien teoriassa keskitytään säätöpiireihin, joissa toimilaitteena on säätöventtiili. Venttiilin mitoitusongelmat käsitellään säätötarkkuuden näkökulmasta. Venttiilin komponenttien rakenteessa keskitytään ominaisuuksiin, jotka vaikuttavat venttiilin säätöominaisuuksiin. SAP-järjestelmä esitellään säätöventtiileiden kunnossapidon ja diagnostiikan lisäarvon näkökulmasta. Pilvipalvelun komponentit esitellään työssä sovelletussa laajuudessa.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyötä lähestytään suunnittelutieteellisellä (Design Science) tutkimusmenetelmällä, jonka lähtökohtana on tieteellisen tutkimustiedon soveltaminen käytäntöön. Suunnittelutieteellisessä tutkimuksessa kehitetään tuote tai palvelu, joka pyrkii vastaamaan toimintaympäristön tarpeisiin. Kehitystyö perustuu tietopohjaan eli tieteellisiin teorioihin ja metodeihin sekä asiantuntemukseen ja osaamiseen. (Johannesson & Perjons 2014.) Tässä

työssä suunnittelutieteellisen tutkimusmenetelmän tuotos on pilvipohjainen säätöventtiilien diagnostiikan analyysityökalu tehtaan kunnossapidon tarpeisiin.

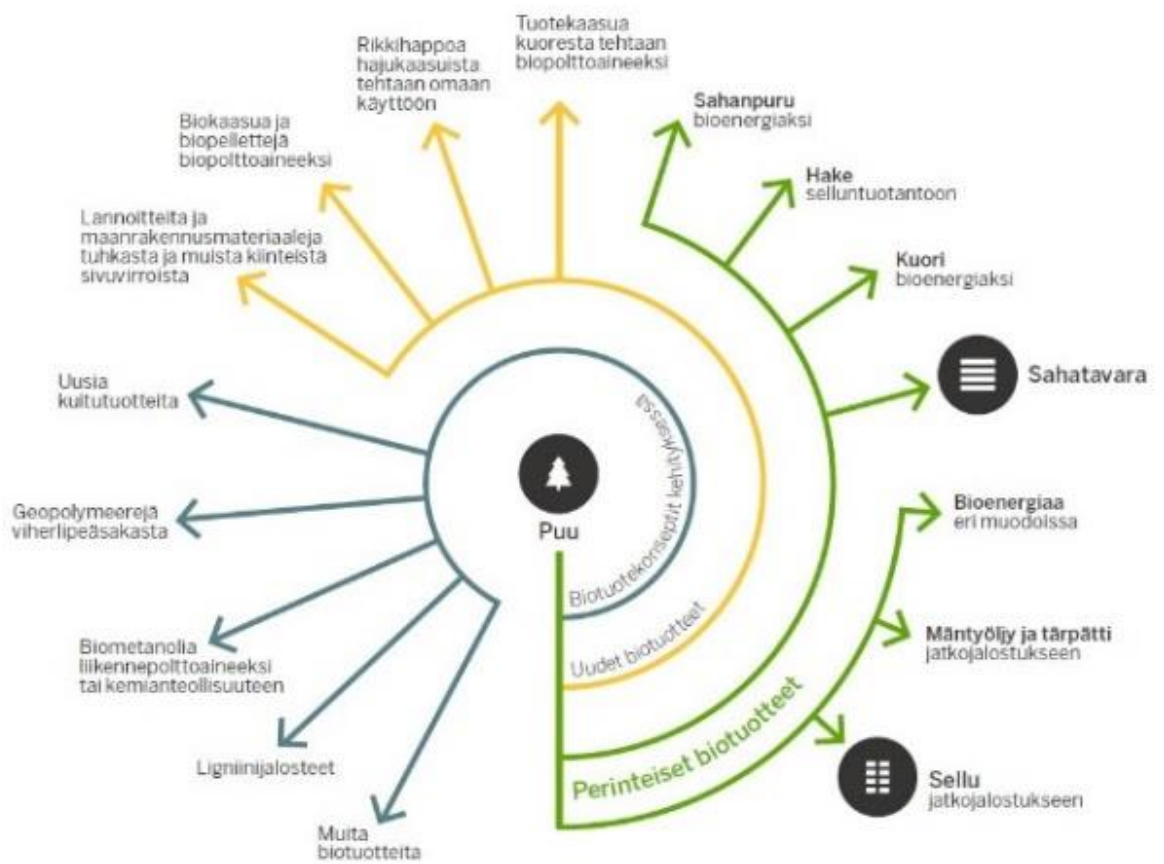
2 Metsä Fibre

Metsä Fibre on osa Metsä Groupia, joka muodostuu Metsäliitto Osuuskunnasta, siihen kuuluvista Metsä Forestista ja Metsä Woodista sekä osuuskunnan tytäryhtiöistä Metsä Tisuesta, Metsä Boardista ja Metsä Fibrestä. Metsä Groupin emoyritys on Metsäliitto Osuuskunta, jonka omistaa yli 90 000 yksityistä metsänomistajaa. Metsä Fibreä omistavat emoyhtiö Metsäliitto Osuuskunnan (50,1 %) lisäksi Metsä Board (24,9 %) ja ITOCHU Corporation (25,0 %). (Metsä Group a.)

Metsä Fibre on johtava puupohjaisten biotuotteiden, kuten sellun, sahatavaran, biokemikaalien ja bioenergian tuottaja. Metsä Fibre valmistaa sellua ja muita biotuotteita Äänekoskella, Kemissä, Raumalla ja Joutsenossa sekä sahatavaraa viidellä sahalla Suomessa. Metsä Fibre on maailman johtava markkinahavusellun tuottaja. Metsä Fibrellä on yhteensä 1600 työntekijää. (Metsä Group c.)

Vuonna 2017 valmistunut Äänekosken tehdas ja 2023 valmistunut Kemin tehdas ovat Metsä Fibren biotuotetehdaskonseptin mukaisia biotuotetehtaita (kuvio 1). Biotuotetehdaskonseptin ytimessä on erittäin resurssitehokas sellutehdas, joka hyödyntää puuraaka-aineen ja tuotannon sivuvirrat sataprosenttisesti selluna ja muina erilaisina biotuotteina. Konsepti mahdollistaa sellutuotannon sivuvirtojen hyödyntämisen arvokkaiksi biokemikaaleiksi, biopohjaiseksi energiaksi ja muiksi biotuotteiksi. Biotuotetehtaan teknologia on niin tehokasta, että se tuottaa huomattavasti enemmän biopohjaista sähköenergiaa kuin mitä se kuluttaa eikä selluntuotannossa tarvita lainkaan fossiilisia polttoaineita. (Metsä Group b.)

PÄÄ- JA SIVUVIRTOJEN HYÖDYNTÄMINEN BIOTUOTETEHDASKONSEPTISSA



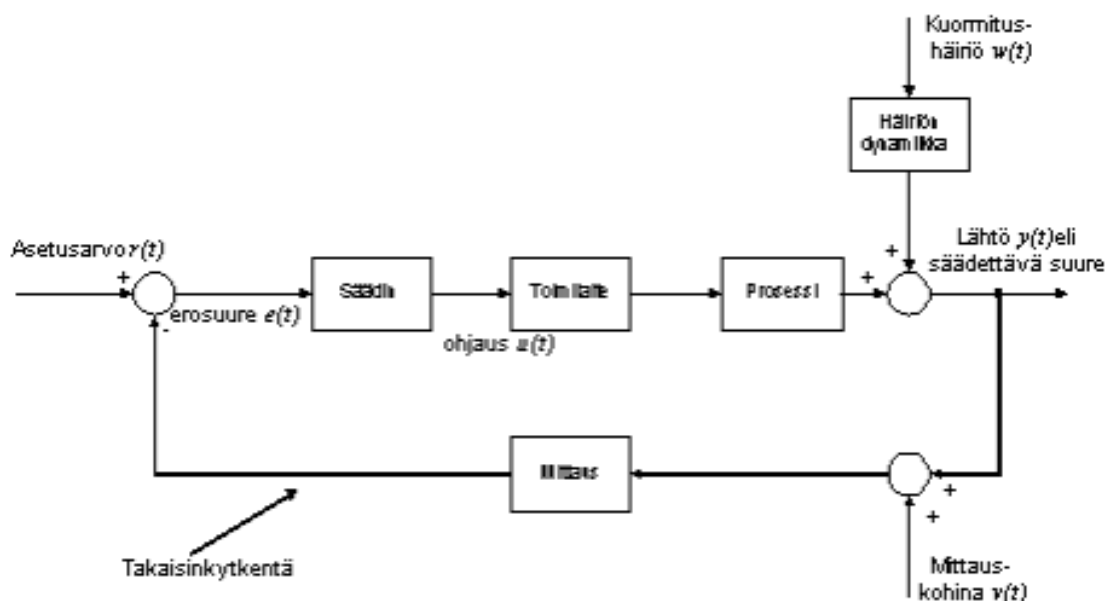
Kuvio 1. Metsä Fibren biotuotetehdaskonsepti (Metsä Group c)

3 Säätöventtiilit

3.1 Säätöpiirit sellu- ja prosessiteollisuudessa

Säätöpiiri on automaatio- ja prosessiteollisuuden peruskomponentti. Sen tehtävä on mitata prosessisuureta ja säätää prosessisuureeseen vaikuttavan toimilaitteen ohjausta, jotta suure saavuttaa halutun asetusarvon. Säädinyksikön algoritmi laskee mittauksen ja asetusarvon eroisuureen sekä säätöparametrien avulla ohjauksen, jolla säädettävän mittauksen ja asetusarvon välinen eroarvo pyritään minimoimaan. Säätöparametrit ovat algoritmin kertoimia, jolla säätöpiiri viritetään. Hyvin viritetty säätöpiiri seuraa nopeasti ja tarkasti vertailusignaalin muutoksia ja kompensoi optimaalisesti prosessiin vaikuttavia häiriöitä. Huonosti viritetyssä säätöpiirissä vaste värähtelee eli oskilloi tai eroisuureeseen jää pysyvää säätöpoikkeamaa. (Kippo & Tikka 2008, 38.) Säätöpiirin toimilohkokaavio on esitetty kuviossa 2.

Viritysparametrit ovat aina säätöpiirikohtaisia, koska jokaisella säätöpiirillä on oma prosessista ja laitteistosta johtuva dynamiikkansa.



Kuvio 2. Säätöpiirin toimilohkoesitys (Harju & Marttinen 2000)

Säätöpiirin toimilaitteita ovat esimerkiksi säätöventtiilit, pumput, sähkömoottorikäytöt, kuljettimet, pneumaattiset ja hydrauliset sylinterit. Toimilaitte muuntaa säätöpiirin ohjauksen toimielimen vaikutukseksi ja lopulta haluttu vaikutus näkyy säädettävässä suureessa. Toimilaitte on säätöpiirin ainoa mekaaninen osa ja sen vaikutus säätöpiirin toimintaan on merkittävä. (Harju & Marttinen 2000.)

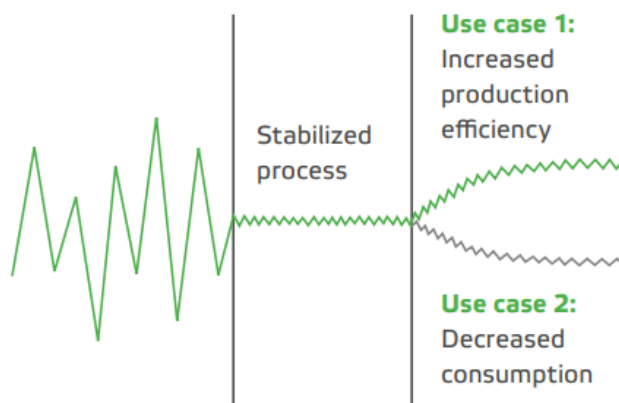
Venttiiliyhdistelmällä toimilaitteena on erityisen keskeinen merkitys säätöpiirin suorituskyvyssä, sillä jopa 30 % säätöpiirin ongelmista johtuvat venttiiliyhdistelmän vioista (Choudhury

ym. 2004). Suurin osa Suomen sellu- ja paperiteollisuuden säätöventtiileistä on sähköpneumaattisia. Sähköpneumaattisen venttiilin toimintaa ohjaa asennoitin, jolle annetaan milliampeeriviestinä haluttu venttiilin asento. Asennoitin on itsessään asennonsäätöpiiri venttiiliyhdistelmässä, jonka mittaus on venttiilin asento. Asennoitin ohjaa paineilmaa, joka ohjataan toimilaitteen männän eri puolille aiheuttaen halutun liikkeen säätöventtiilissä. (Harju & Marttinen 2000.) Säätöventtiilin ollessa säätöpiirin viimeinen komponentti, ja ainoa, joka voi vaikuttaa säädettävään suureeseen, on sen tarkkuudella suurin vaikutus koko säätöpiirin tarkkuuteen. (Valmet Flow Control 2022c.)

Metsä Fibren sellutehtailla toteutetaan kunnossapito- ja tuotantohenkilöstön yhteistyönä systemaattista säätöpiirien kehitystoimintaa, jonka päämäärä on tasoittaa tehtaan prosesseja ja vähentää säätöpiireistä ja kenttälaitteista johtuvia häiriöitä. Huojuvat säätöpiirit ja prosessit estävät tehtaan ajamisen täydellä kapasiteetilla ja lisäävät hyödykkeiden ja arvokaiden prosessikemikaalien kulutusta. Oikein toimivien säätöpiirien asetusarvoja voidaan ajaa lähempänä tehokkuuden kannalta optimaalisia arvoja, joka mahdollistaa suuremman tuotannon paremmalla resurssitehokkuudella kuvion 3 mukaisesti. Myös äkillisten tuotantokatkosten riski pienenee, kun säätöpiirit ja kenttälaitteet toimivat optimaalisesti. Koska säätöventtiilillä on suurin merkitys säätöpiirin suorituskykyyn, on tärkeää tuntea hyvin säätöventtiilien toimintakunto.

Improving performance based on real-time data

Over a mill's life cycle, optimizing process performance based on real-time data can yield tangible results in terms of profitability. More stable flow characteristics ensure process efficiency and the even and predictable quality of the output. Accurate process control data also enables the effective planning of predictive maintenance operations, reducing the risks of valve failure and expensive unplanned shutdowns.



Kuvio 3. Optimaalisen toiminnan vaikutus säätöpiiriin (Valmet b)

Metsä Fibren Äänekosken tehtaalla käytetään säätöventtiiliyhdistelmissä pääosin Valmetin Neles -tuoteryhmän laitteita. Säätöventtiilit ovat pääasiassa pallo-, segmentti- ja läppäventtiileitä. Toimilaitteena käytetään B1-sarjan sylinteritoimilaitteita. Venttiilinojaimina käytetään Neles ND9000 -sarjan asennoittimia. (Valmet 2018.)

3.2 Hyvän säätöventtiilin ominaisuudet

Säätöventtiilin tehtävä on säätää prosessiputkessa virtaavan väliaineen virtaamaa säätämällä paine-eroa venttiilin yli (Valmet Flow Control 2022c). Säätöventtiilistä puhuttaessa tarkoitetaan yleensä koko säätöventtiiliyhdistelmää (kuvio 4) sisältäen venttiilin, toimilaitteen, asennoittimen ja erikoiskohteissa lisäksi esimerkiksi turva- ja käsikäyttölaitteet sekä paineenalentimet (Emerson Automation Solutions 2019). Säätöventtiileitä ohjataan prosessiautomaation säätimillä, tyypillisesti portaattomasti. Säätöventtiilit valitaan ja mitoitetetaan prosessin vaatimusten ja olosuhteiden mukaisesti (Heinonkoski 2013, 106).



Kuvio 4. Venttiiliyhdistelmä. Asennoitin, toimilaite ja venttiili. (Valmet a)

Pullin (2018, 142) mukaan säätöventtiilin valinta- ja mitoitusvaiheessa on otettava huomioon prosessin käyttötarpeiden ja tavoitteiden lisäksi tekniset, fyysiset, kemialliset, operatiiviset ja taloudelliset rajoitteet. Tavoitellun toiminnallisuuden ja rajoitteiden välillä tehtävä kompromissi määrittää tapauskohtaisesti venttiilin suorituskyvyn. Hyvän säätöventtiilin ominaisuudet ovat:

- Virtausteknisesti optimaalinen toiminta säädettävyyden, melun ja kavitaation kannalta
- Riittävä kestävyys mekaanisia ja kemiallisia kuormituksia vastaan niin sisäisesti kuin ulkoisesti

- Riittävä kapasiteetti erilaisia prosessin ajotilanteita varten
- Tiiviys
- Asennettavuus ja huollettavuus

Onnistuneesti mitoitettun ja valitun säätöventtiilin asennettun venttiilin ominaiskäyrä on optimaalinen, joka yleisesti määriteltynä tarkoittaa, että prosessin toiminta-alueella säätöventtiilin asentomuutos vaikuttaa tehollisesti mitattavaan prosessisuureeseen ilman prosessia häiritseviä epälineaarisuuksia. (Pulli 2018, 145.)

Venttiilin vahvistukseksi kutsutaan suhdelukua mitattavan suureen muutoksen ja venttiilin asentomuutoksen välillä, kun venttiili tekee liikkeen. Jos esimerkiksi venttiili avautuu 1 % lisää auki ja mitattava suure kasvaa 2 %, on venttiilin vahvistus siinä pisteessä 2. Venttiilillä on teoreettinen ominaiskäyrä, joka kuvaa venttiilin vahvistuksen suuruutta eri avautumilla. Säätökäytössä ideaalisen venttiilin vahvistus on 1 läpi koko säätöalueen. (Pulli 2018, 145.) Liian suuri venttiilin vahvistus aiheuttaa epätarkkuutta säätöpiirin toimintaan. Vahvistuksen suuruuteen eri avautumilla on kiinnitettävä huomiota säätöventtiilin valintavaiheessa (Valmet Flow Control 2022c).

Prosessin äkilliset muutokset eivät saa olla liian suuria suhteessa venttiilin asennon muutoksiin, jotta ei tapahdu ns. hunting-ilmiötä, jossa venttiilin asentomuutokset yliohtautuvat. (Pulli 2018, 145). Hunting-ilmiö saa venttiilin ja säätöpiirin värähtelemään.

3.3 Säätöventtiiliyhdistelmän rakenne

Säätöventtiileinä käytettäviä venttiilityyppejä on useita, mutta sellu- ja paperiteollisuudessa yleisimpiä sulkuelimen tyyppin mukaan jaoteltuna ovat pallo-, segmentti-, läppä-, ja istukka-venttiilit. Sulkuelin toimii virtauksen katkaisevana ja virtausmäärää säättävänä osana. Säätöventtiilityypeillä ja sulkuelimen muotoilulla voidaan vaikuttaa venttiilin säätö- ja sulkuominaisuuksiin. (Heinonkoski 2013, 108.)

Säätöventtiilin rakenteen pääkomponentit ovat pesä, sulkuelin, tiivisteet, akseli ja runko. Venttiilin liikuttamiseen käytetään pneumaattista, hydraulista tai sähköistä toimilaitetta, jota ohjaa asennoitin. Venttiili kiinnittyy putkilinjaan kierteellä, hitsaten tai laippojen väliin puristaen. Sulkuelin toimii prosessiaineen virtausta säättävänä osana ja katkaisee virtauksen täysin kiinni ollessaan. Tiivisteiden tehtävänä on pitää sulkutoiminto tiiviinä ja estää prosessiaineen vuodot. Laakeroitu akseli välittää toimilaitteen voiman sulkuelimelle, ja vaatii oman tiivisteensä, jotta prosessiaine ei vuoda putkiston ulkopuolelle. (Heinonkoski 2013, 109.) Säätöventtiilin ensisijainen tehtävä on prosessiaineen virtaaman säätö, joten usein säätöventtiileille sallitaan sulkuventtiiliä suurempi läpivuoto. Tilanteen vaatiessa voidaan putkilinjaan laittaa sarjassa erillinen sulkuventtiili, jolla on paremmat sulkuominaisuudet.

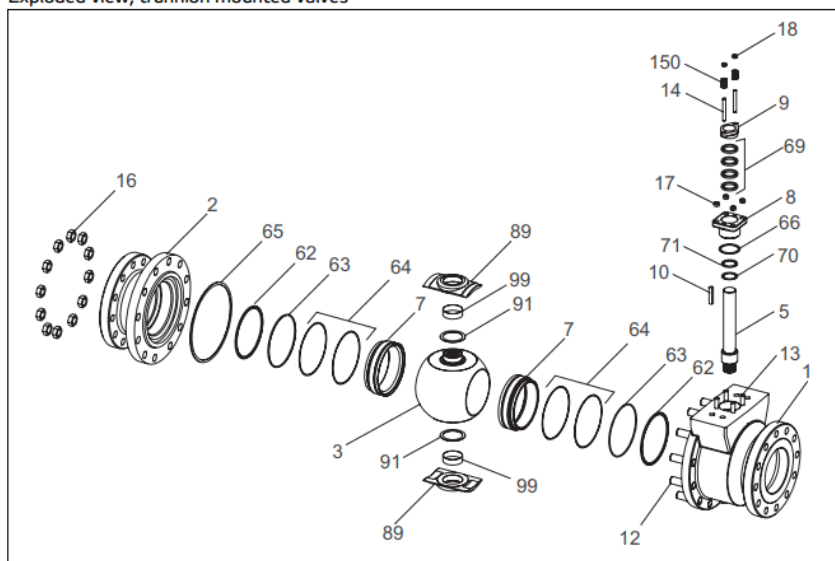
Tässä työssä analysoidut säätöventtiilit ovat neljänneskiertoventtiileitä, joita ohjataan pneumaattisilla toimilaitteilla. Venttiilin paikoituksen ja valvonnan hoitaa digitaalinen säätöventtiilin ohjain eli asennoitin. Kyseinen rakenne on yleisin säätöventtiilityyppi sellu- ja paperiteollisuudessa, ja hyvin laajasti käytössä myös muualla prosessiteollisuudessa (Valmet 2018).

3.3.1 Palloventtiilit

Palloventtiilissä sulkuelin on pallon muotoinen, ja pallossa on tyypillisesti laippojen kokoinen virtausaukko keskellä (Emerson Automation Solutions 2019). Palloventtiili on virtausteknisesti hyvä, koska täysiaukkoinen palloventtiili täysin avattuna ei kurista virtausta. Mekaaninen rakenne on varsin yksinkertainen, mutta putkilinjan nimelliskokoon nähden fyysisesti massiivinen, mikä tarkoittaa suurempaa rakennemateriaalimäärää verrattuna muihin venttiilityyppeihin. Pallo on koneistettu tarkasti sopimaan runkoon, ja toimilaitteelta vaadittava momentti on usein kohtalainen verrattaessa muihin venttiilityyppeihin. Palloventtiilillä on usein hyvät tiivistysominaisuudet suljettuna. Virtauksen säädössä palloventtiili oikein mitoitettuna on hyvä. (Pulli 2018, 155.)

Neles -palloventtiilit ovat joko laakeroituja tai tiivistetuettuja. Laakeroitussa palloventtiilissä (kuvio 5) sulkuelin on laakeroitu runkoon molemmista päistä, ja tiivistykseen käytetään virtaussuunnan tulopuolella jousitettuja tiivistettä, jotka yhdessä prosessiaineen paineen kanssa tiivistävät venttiilin. Tiivistetuetussa pallossa sulkuelin ”kelluu” tulo- ja jättöpuolen tiivisteiden välissä, ja venttiilin tiiveys perustuu prosessin paine-eroon venttiilin yli.

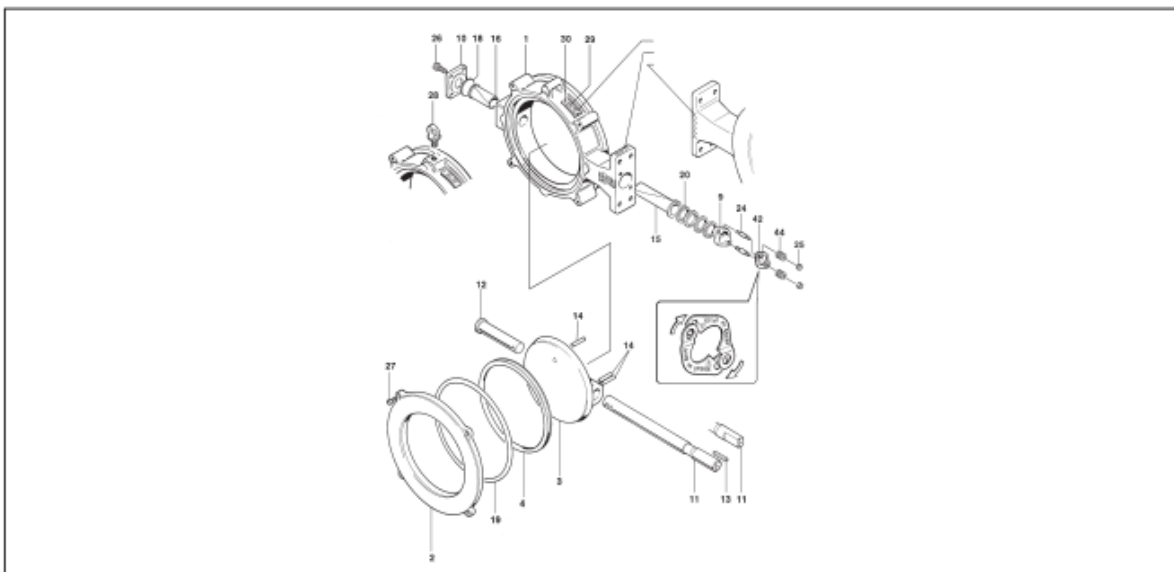
Exploded view, trunnion mounted valves



Kuvio 5. Neles -palloventtiilin rakenne (Valmet Flow Control d)

3.3.2 Lämpäventtiilit

Lämpäventtiilissä sulkuelimenä on läppä, joka on suljettuna hyvinkin tiivis, mutta täysin auki ollessaankin läppä on aina virtauksen edessä ja siten kuristaa virtausta. Kuvion 6 mukainen läppäventtiili on rakenteeltaan yksinkertainen ja nimelliskokoonsa nähden kevytrakenteinen, ja siten myös kustannustehokas verrattuna muihin venttiilityyppeihin. Säätokäytössä läppäventtiili on välttävä, koska venttiilin yksinkertaisesta rakenteesta johtuen läppäventtiilin virtausominaisuudet eivät ole lineaariset. (Peters 2016.)



Kuvio 6. Neles -läppäventtiili (Valmet Flow Control 2022a)

Tyypillisesti läppäventtiileiden käyttökelpoinen säätöalue alue venttiilin avautumasta on 25 ja 50 prosentin välillä. Pienemmällä avautumalla venttiilin vahvistus on suuri, mikä tarkoittaa pienellä ohjausmuutoksella tapahtuvaa hyvin suurta muutosta virtauksessa. Tämä aiheuttaa mitattavassa suureessa asetusarvon ali- ja yliampumista, joka johtaa venttiilin ja säätöpiirin värähtelyyn eli oskillointiin. Tehollisen säätöalueen yläpuolella venttiilin vahvistus erittäin pieni, joka johtaa pieneen muutokseen mitattavassa suureessa samalla ohjausmuutoksella. Tämä tekee venttiilin ja säätöpiirin suorituskyvystä hitaan suurella avautumalla. Säätöpiirin viritys pienellä venttiilin avautumalla ei toimi samoin kuin isommalla venttiilin avautumalla. (Emerson Automation Solutions 2019.)

3.3.3 Segmenttiventtiilit

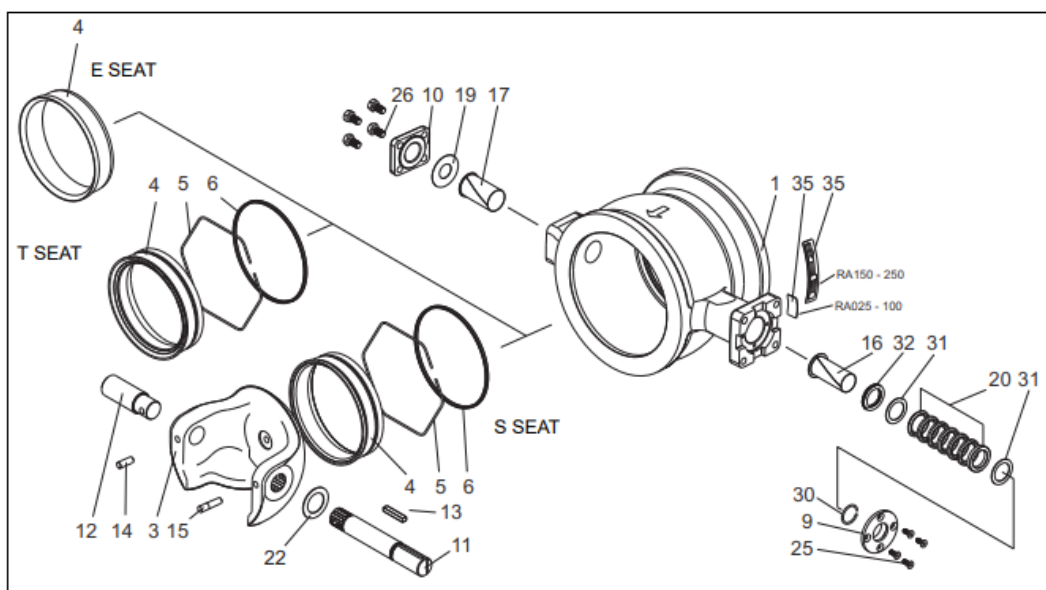
Segmenttiventtiilissä rakenne vastaa laakeroitua palloventtiiliä, mutta sulkuelin on puolipallon muotoinen. Sulkuelimessä on virtauksensäädön tarkkuutta parannettu sulkuelimen muotoilulla ja usein V-malliseksi, joka tekee venttiilin ominaiskäyrästä tasaprosenttisen.

Tasaprosenttinen ominaiskäyrä lisää venttiilin säätötarkkuutta. (Emerson Automation Solutions 2019.) Esimerkki segmenttiventtiilin sulkuelimestä on kuviossa 7.



Kuvio 7. Segmenttiventtiilin V-aukkoinen sulkuelin (Emerson Automation Solutions 2019)

Virtauksen säätöön segmenttiventtiili (kuvio 8) on erinomainen laajan säätöalueen ja lineaarisen ominaiskäyrän ansiosta. Tiivistysominaisuuksiltaan segmenttiventtiili on kelvallinen. Segmenttiventtiilissä sulkuelimen ja tiivisteiden jatkuva kontakti kiertoalueella puhdistaa sulkuelintä käytössä, joka vähentää väliaineen kiteytymistä sulkuelimeen. (Emerson Automation Solutions 2019.) Mekaaniselta rakenteelta segmenttiventtiili on palloventtiiliä kevytrakenteisempi. Myös segmenttiventtiilin sulkuelimen ja tiivisteiden väliset kitkavoimat ovat pienempiä, mistä johtuen voidaan käyttää pienempiä toimilaitteita verrattuna palloventtiiliin.

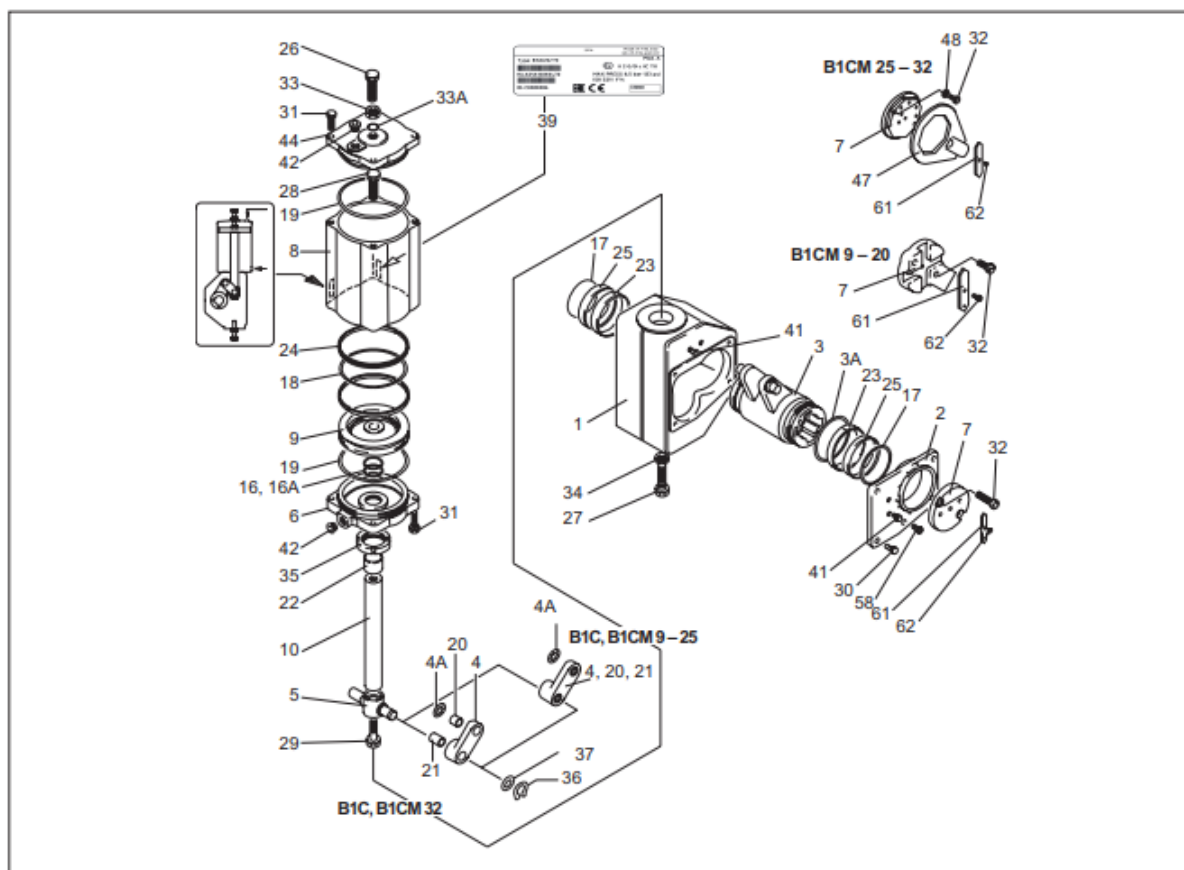


Kuvio 8. Neles RA-sarjan segmenttiventtiili (Valmet Flow Control 2022e)

3.3.4 Toimilaite

Säätöventtiilikäytössä tyypillisin toimilaitetyyppi selluteollisuudessa on pneumaattinen sylinteritoimilaite. Toimilaiteella paineilman voima liikuttaa lineaarisesti sylinterin sisällä olevaa mäntää, ja kääntökoneiston mekaaninen laakeroitu vivusto muuntaa männän lineaarisen liikkeen neljänneskiertoventtiin vaatimaksi kiertoliikkeeksi. Toimilaitteen runko kiinnitetään venttiin runkoon siten, että venttiin akseli asettuu toimilaitteen kiilauralliseen akseliporaukseen.

Pneumaattisista toimilaitteista Metsä Fibren sellutehtailla yleisin on kuvion 9 mukainen Neles B1 sarjan toimilaite. B1 sarjan toimilaitteista B1C on kaksitoiminen ja B1J on yksitoiminen, jossa on paineilman lisäksi jousi, jolla venttiili pakotetaan turvasuuntaan häiriö- ja turvalukitustilanteessa. (Valmet Flow Control 2022a.)



Kuvio 9. Neles B1-sarjan toimilaite (Valmet Flow Control 2022a)

Toimilaite mitoitetaan siten, että toimilaitteen tuottama momentti riittää voittamaan venttiin momenttarpeen. Neles toimilaitteissa vääntömomentti ei ole lineaarinen, vaan suurin momentti saavutetaan lähellä venttiin sulkuasentoa, joka parantaa venttiin aukeamista ja sulkeutumista. (Valmet Flow Control 2022a.) Kuviossa 10 esitetään toimilaitteen momenttikäyrä.

Double acting actuator, series B1C

Operation

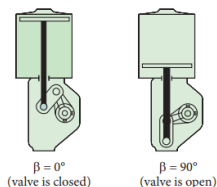
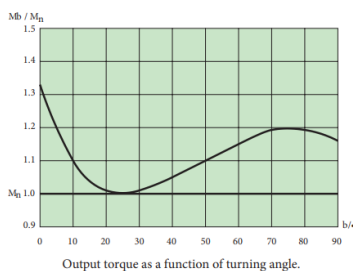
The linkage mechanism within the B-series actuator converts linear motion of the piston into a 90° (max. 98°) rotation of the actuator shaft. The line in the figure on the right shows torque characteristics vs. actuator shaft angle.

Max. torque is achieved at $\beta = 0^\circ$ which usually corresponds to the closed position of ball and butterfly valves and where max. seat torque normally appears.

Another peak is achieved at 60-80° which corresponds to the dynamic torque peak of butterfly valves. The torques in the table below show the minimum torque M_n at different supply pressures.

Selection

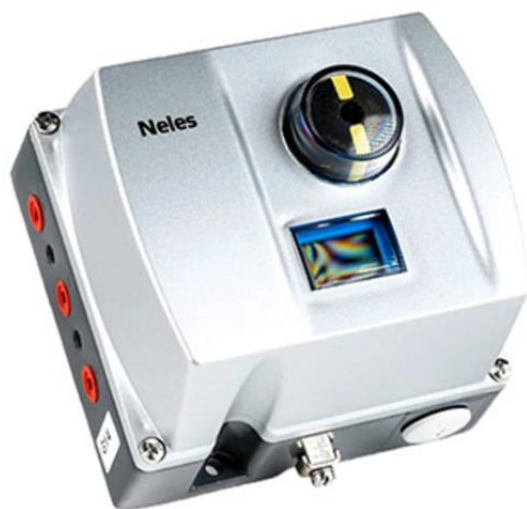
To select the proper actuator for a particular valve and service, first determine the maximum operating torque that will be required for the valve from the applicable valve torque table, then refer to the appropriate mode of operation of the actuator in the torque output tables below and select the actuator that will, at the available air supply pressure, provide a torque output no less than the required operating torque for the valve. If in doubt, select the next larger actuator.



Kuvio 10. Neles B1 toimilaitteen momenttikäyrä (Valmet Flow Control 2022a)

3.3.5 Asennoitin

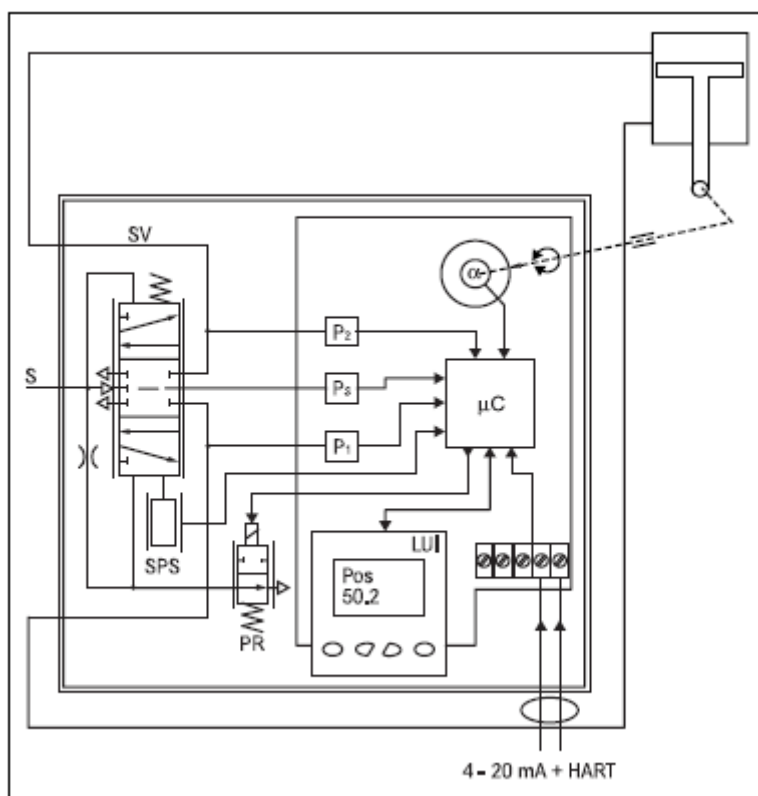
Neles ND9000 asennoitin (kuvio 11) muuntaa ohjauksjärjestelmän sähköisen asentopyyntitiedon toimilaitteen ohjauksen tarvitsemaksi paineilmaksi. Asennoittimen diagnostiikan ke-
räämät tärkeimmät muuttujat ovat ohjauksignaali, venttiilin asento, syöttöpaine, toimilaitteen ohjauksipaineet, luistiventtiilin asema ja laitteen lämpötila. Asennoitin on kiinnitetty toimilaitteen runkoon ruuviliitännällä kannakkeella. (Valmet Flow Control 2022b.)



Kuvio 11. Neles ND9000 sarjan asennoitin (Valmet Flow Control 2022b)

Asennoittimen toimintaperiaate on kuvattu kuviossa 12. Venttiilin mekaaninen asento (α) välitetään toimilaitteelta asennoittimen asentoanturille vetokappaleen ja kytkinistukan välityksellä. Mikroprosessori (μC) lukee virtasilmukassa olevan automaatiojärjestelmän antaman asentopyynnin, ja ohjaa esiohjauksyksikön (PR) ohjaukskelan virtaa siten, että

asentopyynnin ja asentomittauksen ero on nolla. Esiohjausyksikkö muuntaa ohjauksen virran luistiyksikön ohjauspaineeksi. Ohjauspaine liikuttaa luistiventtiilin alemman painetasoon suuntaan, ohjaa paineilman toimilaitteen männän toiselle puolelle ja vastaavasti päästää männän vastapuolen paineen ulospuhallukseen. Näin toimilaitteelle saadaan haluttu liike, ja mikroprosessori valvoo, että venttiin mitattu asentotakaisinkytkentä vastaa automatiojärjestelmän pyyntiä. (Valmet Flow Control 2022b.)



Kuvio 12. Asennoittimen toimintaperiaate (Valmet Flow Control 2022b)

Asennoittimen piirikortilla on paineanturit syöttöpaineen ja toimilaitteen ohjaamiseen käytettävien paineiden mittaamiseen. Ohjauspaineiden sekä asentoanturin ja asentopyynnin muutoksista asennoittimen mikroprosessori laskee muistiinsa diagnostiikkatietoja, jotka ovat luettavissa kunnonvalvontaan virtaviestissä kulkevan HART-väylän kautta. ND9000 sarjan asennoittimesta on olemassa myös Profibus- ja Foundation Fieldbus kenttäväyliä tukevat versiot, jotka eroavat HART versiosta vain kommunikaatioprotokollan osalta. (Valmet Flow Control 2022b.)

3.4 Säätöventtiilyhdistelmän viat

3.4.1 Säätöventtiilin vikojen vaikutus säätöpiirin suorituskykyyn

Epälineaarisuudet säätöventtiilin vasteessa rajoittavat säätöpiirien suorituskykyä. Epälineaarisuudella tarkoitetaan sellaista käyttäytymistä, joka ei ole suoraviivaista eli suoraan verrannollista oletettuun toimintaan (Harju & Marttinen 2000).

Tehtaassa on tuhansia säätöpiirejä. Säätöpiirien suorituskyky on erittäin tärkeää tuotteen laadun ja tuotantokustannusten alhaisuuden varmistamiseen. Suorituskyvyn vaikutuksesta johtuvia taloudellisia hyötyjä on vaikea arvioida yksittäisen säätöpiiri kerrallaan, koska säätöpiireillä on ristikkäisvaikutuksia toisiinsa ja yksittäisen säätöpiirin häiriöt vaikuttavat kokonaisprosessin suorituskykyyn. (Choudhury ym. 2004.) Ongelmallisen säätöpiirin löytäminen ja korjaaminen vähentää huonolaatuisen lopputuotteen määrää, vähentää tuotteen laatuvaihtelua, alentaa käyttökustannuksia sekä parantaa tuotantonopeutta (Paulonis & Cox 2003). Joskus jopa 1 % parannus energiatehokkuudessa tai paremmassa säätimen suorituskyvyssä merkitsee satojen miljoonien eurojen säästöjä (Desborough & Miller 2001).

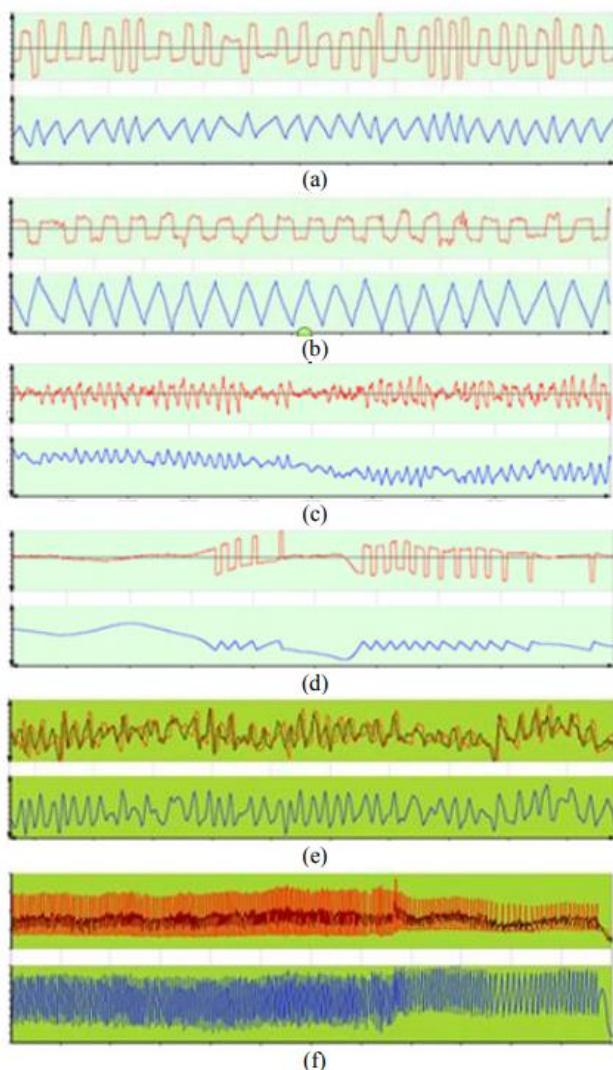
Oskillointi eli huojunta on yksi merkittävistä syistä säätöpiirien heikkoon suorituskykyyn. Keskeinen haaste säätöpiirien optimoinnissa on löytää oskillointien juurisyitä (Thornhill ym. 2003). Oskillointi säätöpiirissä lisää prosessimuuttujien vaihtelua, mikä johtaa huonolaatuisen lopputuotteeseen, suurempiin hylkäysprosentteihin, lisääntyneeseen energiankulutukseen, tuotannon laskuun ja kannattavuuden heikkenemiseen. Oskillointi saa venttiilin kulumaan paljon nopeammin kuin alun perin on suunniteltu. (Choudhury ym. 2004.) Shinskeyn (1990) mukaan oskillointi lisää käyttökustannuksia suunnilleen poikkeaman suuruuden verran suhteessa optimaaliseen toimintaan. Prosessin oskillaation juurisyiden havaitseminen ja diagnosointi on tärkeää, koska laitos, joka pystyy operoimaan lähellä tuotteen laadun optimaalisia raja-arvoja, on kannattavampi kuin laitos, joka operoi kauempana raja-arvoista oskilloivien vaihteluiden vuoksi (Choudhury ym. 2004).

Oskilloivat säätöpiirit ovat teollisuudessa yleisiä säätöventtiilin kitkan ja heikon säätimen parametroiden vuoksi ja heikentävät prosessin suorituskykyä ja huojunnallaan aiheuttavat häiriöitä prosessiin (Daiguji & Yamashita 2022). Säätöpiirin ainoa liikkuva osa on säätöventtiili. Jos säätöventtiilin toiminnassa on epälineaarisuuksia, kuten kitkaa, välystä ja kuollutta aluetta, venttiilin ohjaus on oskilloivaa, mikä puolestaan voi aiheuttaa oskillaatioita mitattavassa prosessisuureessa. Yleisin säätöventtiileissä esiintyvistä epälineaarisuuksista on kitka ja yksi suurimmista ongelmista prosessiteollisuuden säätöpiireille. Se estää säätöventtiilien ja säätöpiirien optimaalisen suorituskyvyn saavuttamisen. (Choudhury ym. 2004.)

3.4.2 Kitka

Kitka on voima, joka pyrkii vastustamaan kahden keskenään kosketuksissa olevan pinnan välistä liikettä toisiinsa nähden. Kitkalla on kaksi muotoa, staattinen kitka ja dynaaminen kitka. Staattinen kitka on voima, joka on voitettava ennen kuin kahden pinnan välillä tapahtuu suhteellista liikettä. Staattisen kitkan vaikutus tunnetaan venttiiliteknologiassa myös nimellä Stiction. Kun staattinen kitka on voitettu, alkaa voimakkuudeltaan pienempi dynaaminen kitka, joka on voitettava ylläpidettäessä jatkuvaa suhteellista liikettä. Staattisen ja dynaamisen kitkan vuorovaikutus aiheuttaa venttiiliyhdistelmälle haitallisen Stick/Slip-ilmiön. (Emerson Automation Solutions 2019.) Stick/Slip-ilmiössä korkeampi staattinen kitka ja dynaaminen kitka vaihtelevat, ja aiheuttavat säätöpiirille värähtelyä.

Staattinen kitka on myös yksi merkittävimmistä syistä venttiilikokoonpanoissa ilmenevälle kuolleelle alueelle (Emerson Automation Solutions 2019). Kitka on aina haitallista säätöventtiiliyhdistelmän optimaaliselle toiminnalle, ja yhdessä venttiiliyhdistelmän välyksien kanssa aiheuttavat eniten epälineaarisuuksia säätöventtiilin toiminnassa. Kuviossa 13 on esitetty esimerkkejä kitkaisten venttiileiden ohjauksen (sininen viiva) suhteessa mitattavaan suureeseen (punainen viiva). Kitkan merkittävyys korostuu kitkan noustessa niin suureksi, että säätöventtiili jumittaa kokonaan ja aiheuttaa tehtaalle prosessi- tai käyntihäiriön. Jumittaminen kriittisessä säätöventtiilissä johtaa pahimmillaan tuotannon alasajoon vian korjaamiseksi. Sellutehtaassa tuotannon alasajon kustannukset nousevat tuotannon menetyksien myötä yleensä miljooniin euroihin.

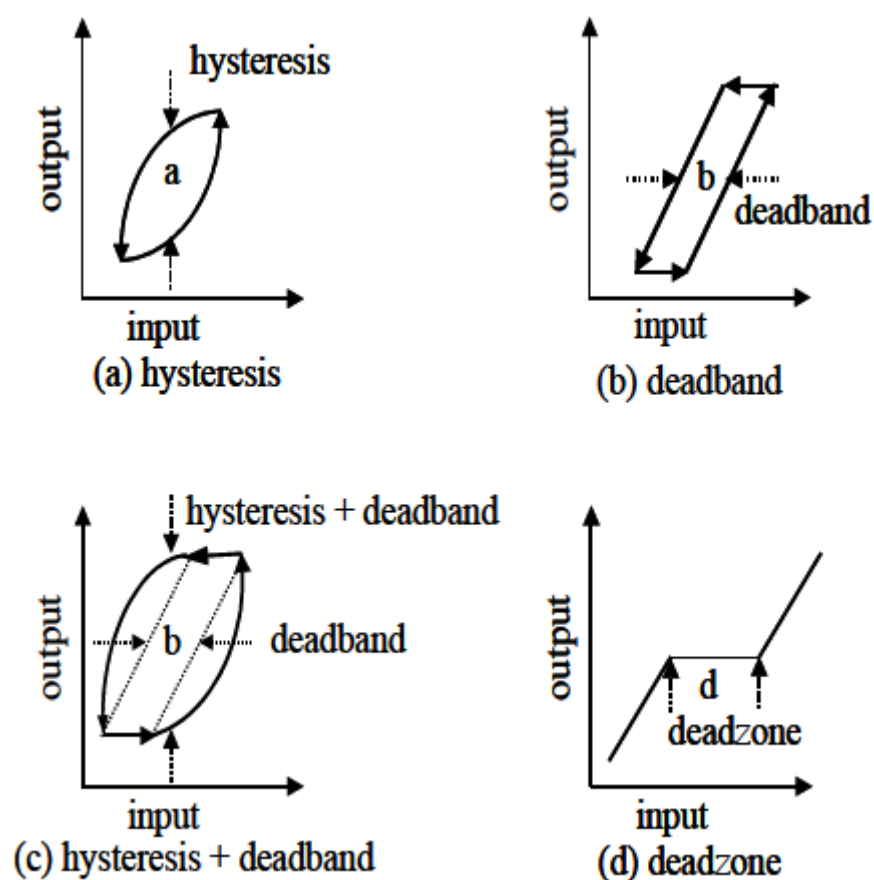


Kuvio 13. Esimerkkejä kitkaisista virtaussäätö venttiileistä (Patwardhana ym. 2014)

Kitkaisen venttiilin ongelmat voidaan korjata lopullisesti vain venttiiliyhdistelmän huollolla tai vaihdolla. Usein kriittisen venttiilin huolto voidaan tehdä vain vuosihuolto- tai häiriöseisokissa. Kitkaisen venttiilin aiheuttamia häiriöitä prosessiin voidaan kuitenkin vähentää väliaikaisesti säätöpiirin ja asennoittimen parametroinnilla, ja häiriöt minimoimalla pärjätä osittain toimivalla venttiilillä seuraavaan vuosihuoltoseisokkiin asti. (Daiguji & Yamashita 2022.)

ANSI-määrittelyn (ISA-S51.1-1979, Process instrumentation Terminology) mukaisesti stiction-ilmioon liittyy termejä, kuten backlash, hystereesi, dead band ja dead zone (kuvio 14). Choudhury ym. (2004) mukaan backlash eli välitys on prosessi-instrumentoinnissa suhteellista liikettä vuorovaikutteisten mekaanisten osien välillä, joka johtuu osien löysyydestä liikkeen suunnan muuttuessa. Säätöventtiileillä välystä voi olla esimerkiksi venttiilin akselin ja toimilaitteen välisessä kiilaurassa, toimilaitteen vivustossa tai toimilaitteen ja asennoittimen välisessä vetokappaleessa. Hystereesi on ominaisuus, joka ilmenee poikkeamana

mitattavassa suureessa suhteessa venttiilin ohjaukseen, kun ohjaus muuttuu tasaisesti samaan suuntaan. Poikkeaman suunta muuttuu, kun ohjauksen suunta muuttuu. Ilmiö näkyy kuvaajissa poikkeamana y-akselilla. Dead band eli kuollut alue on prosessi-instrumentoinnissa alue, jossa venttiilin ohjaus voi muuttua ilman että mitattavassa suureessa tapahtuu muutosta. Kuollut alue aiheuttaa vaihesiirtoa ohjauksen ja mitattavan suureen välille. Kuollut alue ilmoitetaan yleensä prosentteina koko mittausalueesta. Ilmiö näkyy kuvaajissa x-akselilla. Hystereesin erottaa kuolleesta alueesta siitä, että hystereesin vaikutuksen alaisuudessa ohjausmuutokseen tapahtuu haluttua pienempi muutos mitattavassa suureessa, mutta kuolleella alueella muutosta ei tapahdu ollenkaan. Todellisuudessa nämä ilmiöt usein esiintyvät yhtä aikaa.



Kuvio 14. Stiction-ilmiöön vaikuttavat termit (Choudhury ym. 2004)

Vaikka stiction on venttiiliteknologiassa hyvin tunnettu ilmiö, on sille olemassa useampi määritelmä. Instrument Society of America (ISA) Choudhury ym. (2004) mukaan määrittelee stiction-ilmiön seuraavasti:

"Stiction on liikkeen aloittamista vastustava voima, yleensä mitattuna erotuksena ohjauksen arvoissa liikuttaessa ylöspäin ja alaspäin jotta voitetaan staattinen kitka".

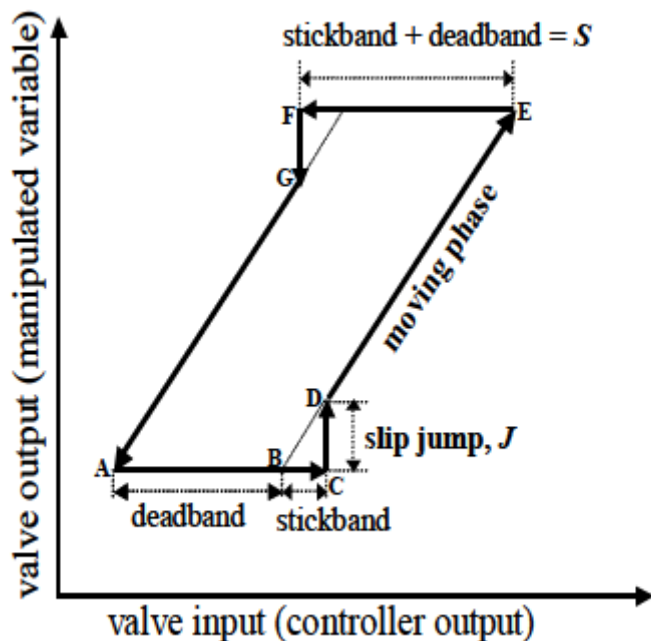
Tämä määritelmä esitettiin ensimmäisen kerran vuonna 1963 American National Standard C85.1-1963 -standardissa "Terminology for Automatic Control", eikä sitä ole päivitetty sen jälkeen. Tämä määritelmää hyväksyttiin ISA 1979 Handbookissa (ISA Subcommittee SP75.05, 1979) ja se pysyi täysin samana myös vuoden 1993 uudistetussa versiossa. (Choudhury ym. 2004.)

Ruel (2000) puolestaan määrittelee stiction-ilmion säätöventtiileissä seuraavasti:

"Stiction on yhdistelmä sanoista 'stick' ja 'friction'. Termi on luotu korostamaan eroa staattisen ja dynaamisen kitkan välillä. Stiction ilmenee, kun staattinen kitka ylittää dynaamisen kitkan venttiilyhdistelmässä. Stiction kuvaa venttiilin varren tai akselin kiinni juuttumista, kun yritetään tehdä pieniä muutoksia. Liikkuvan kohteen kitka on pienempi kuin silloin, kun kohde on paikoillaan. Stiction voi estää varren tai akselin liikkumista pienillä ohjaussignaalin muutoksilla, ja sitten varsi tai akseli liikkuu, kun tarvittava voima on riittävän suuri vapauttaakseen sen. Stiction seurauksena tarvittava voima varren tai akselin liikkuttamiseksi on suurempi kuin tarvittava voima haluttuun asentoon menemiseksi. Stiction ilmiön läsnä ollessa liike on nykivää."

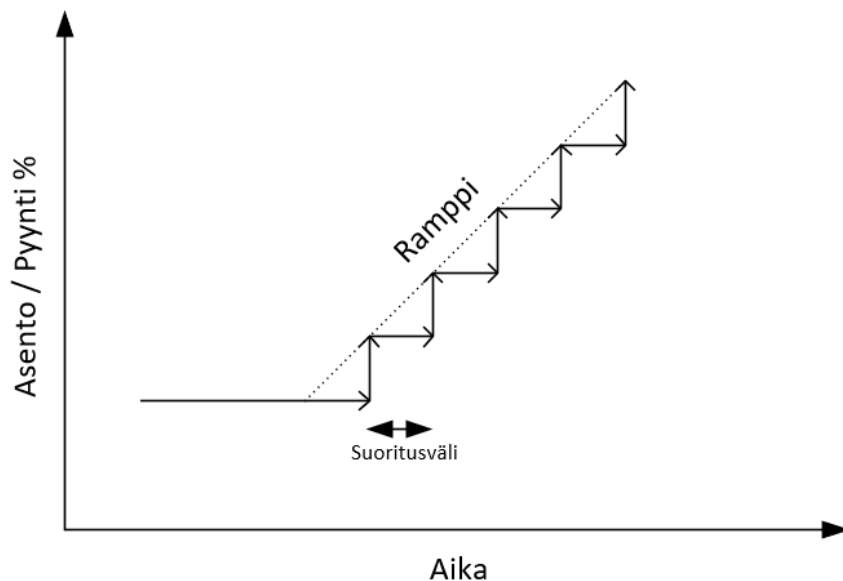
Ruelin tuoreempi kuvaus on osuvampi käytännön havaintojen kanssa.

Choudhury ym. (2004) esittää huolellisten tutkimusten ja todellisen prosessidatan analyysin perusteella stiction-ilmion määritelmäksi kuvion 15 mukaisen käyttäytymisen, johon on yhdistetty mukaan ANSI:n mukainen määritelmä vällyksestä, kuolleesta-alueesta, ja hystereesistä. Kuvaajassa x-akselilla on säätöpiirin ohjaus ja y-akselilla on venttiilin vaste ohjaukseen. Kuvaajan vaihekäyrässä on neljä vaihetta, vällysalue, jumitusalue, hyppy ja liikevaihe. Kohdassa A venttiili pysähtyy ja aloittaa suunnanvaihdon. Pysähtymisen jälkeen säätöpiirin ohjaus kasvaa välillä AB, mutta venttiili ei liiku, koska ollaan vällysalueella. Jumitusalueella BC välly on voitettu, mutta venttiili ei edelleenkään liiku staattisen kitkan vaikutuksesta. Hyppykohdassa C toimilaitteeseen sitoutunut potentiaalienergia ylittää staattisen kitkan ja muuttuu venttiilyhdistelmän kineettiseksi energiaksi venttiilin hypätessä kohtaan D pienemmän dynaamisen kitkan vuoksi. Staattisen kitkan määrä vaikuttaa toimilaitteeseen sitoutuvaan energiaan ja voi saada hypyn häiritsevän suureksi. Välillä DE venttiili on liikkeessä säätöpiirin ohjaamaan suuntaan, mutta voi edelleen pysähdellä, jos liikenopeus on pieni. DE välillä on huomattavaa, että välly ei vaikuta koska liikkeen suunta ei muutu. Kohdassa E venttiili pysähtyy jälleen ja ilmiöt toistuvat vastakkaiseen suuntaan.



Kuvio 15. Stictionin määrittely Choudhury ym. (2004) mukaisesti

Myös automaatiojärjestelmän ohjelmakerroilla on vaikutusta stiction-ilmion esiintymiseen. Teollisuuden automaatiojärjestelmissä (DCS) käytetään usein verrattain harvoja ohjelmakiertoja. Esimerkiksi Äänekosken tehtaan säätöpiirit pyörivät pääosin 700 ms – 1000 ms suoritusvälillä. Säätöventtiilille tämä tarkoittaa, että asentopyynti päivittyy nopeimmillaan ohjelmakierron välein. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että automaatiojärjestelmässä pyörivän säätöpiirin integrointitermin vaikutuksesta tapahtuva tai ohjelmallisesti tehty liikkeen nopeutta hillitsevä ohjausramppi ei ole ramppi vaan diskreetti kantikas porrasmainen kuten kuviossa 16 on esitetty. Stiction-ilmioon tämä vaikuttaa siten, että edellisen kuvion liikkuvassa vaiheessa venttiilin asentopyynnin muutos ei ole lineaarinen vaan kantikas. Sopivissa olosuhteissa nopeasti liikkuva venttiili ehtii asennoittaa itsensä ohjelmakiertoa nopeammin, ja stick-slip tapahtuu ilmiö jokaisella ohjelmakerroilla. Ongelmaa voidaan kiertää laittamalla asennoittimelle sopiva muutosnopeusramppi, jolloin asennoittimen algoritmi paikkaa automaatiojärjestelmän ohjauksen diskreettiä luonnetta.



Kuvio 16. Ohjelmakierron vaikutus venttiilin liikkeeseen

3.4.3 Venttiilin viat

Jumittaminen itse venttiilissä johtuu tyypillisesti virtaavan prosessiaineen kiteytymisestä venttiilin rakenteeseen, tai venttiilin sulkuelimen vioittumisesta, erityisesti pallo- ja segmenttiventtiileillä. Sulkuelin voi vioittua esimerkiksi kuluttavan prosessin väliaineen tai prosessiin joutuneiden vierasesineiden kosketuksesta kuvion 17 mukaiseen kuntoon. Sellutehtaissa esimerkiksi mustalipeä ja tuhka ovat erittäin alttiita kiteytymään (kuvio 18) sulkuelimen ja venttiilin rungon rakenteisiin.



Kuvio 17. Väliaineen ja prosessin vierasesineiden aiheuttama vaurio



Kuvio 18. Sulkuelimen pintaan kiteytynyttä väliainetta

Jumituksen osalta läppäventtiilit ovat säätökäytössä toimintavarmempia mekaanisen rakenteensa yksinkertaisuuden vuoksi, sillä sulkuasentoa lukuun ottamatta läppäventtiileissä ei ole mekaanista kosketusta sulkuelimen ja tiivisten välillä. Laakeroinnin ja akselin välinen kitkamekanismi on sama kaikilla neljänneskiertoventtiileillä.

Mekaaninen sulkuelimen jumittaminen häiritsee jo alkavana vikana venttiilin säätötarkkuutta. Pahentuessaan jumittava venttiili aiheuttaa vakavia prosessihäiriöitä, ja jos venttiili jumittaa kokonaan, on se huollettava tai vaihdettava välittömästi.

Venttiilin läpivuodossa venttiilin tiiveys kärsii joko sulkuelimen, tiivisteiden tai rungon (kuvio 19) mekaanisen vaurion vuoksi. Venttiilin läpivuotoa on hankala havaita diagnostiikasta, mutta prosessiautomaation mittausten avulla se on mahdollista.



Kuvio 19. Vaurioitunut venttiilin runko

3.4.4 Toimilaitteen viat

Toimilaitteessa tyypillisimmät viat ovat paineilman läpivuoto, kääntökoneiston vivuston kuluminen tai jumittaminen. Paineilmavuodot ovat mahdollisia joko sylinterin ja männän välistä tai sylinteristä kääntökoneiston koteloon männän varren tiivisteestä. Kääntökoneiston vivusto kuluu käytön myötä ja aiheuttaa venttiiliyhdistelmään välyksen. Vivustoon voi tulla myös korroosioperäistä jumittamista hankalista ympäristön olosuhteista johtuen, jotka aiheuttavat häiritsevää kitkaa. Lisäksi kitkaa voi ilmetä toimilaitteen männän ja sylinterin tai männänvarren ja tiivisteiden välillä. Toimilaitteen sylinteri voi myös vaurioitua, joka aiheuttaa toimilaitteen läpivuotoa. (Valmet Flow Control 2022a.)

3.4.5 Asennoittimen viat

Asennoittimen viat paikantuvat yleensä pneumatiikan komponentteihin. Asennoittimessa on hienomekaanisia osia kuten luistiventtiili, joka voi alkaa jumitella paineilman epäpuhtaudesta tai liiallisesta kulumisesta. Myös sähköpneumaattinen esiohjausyksikkö voi vikaantua. Elektroniikan komponentit harvoin vikaantuvat ja silloinkin on usein kyse ympäristön olosuhteiden vaikutuksesta esimerkiksi korkean lämpötilan, kosteuden tai paineilman laadun takia. ND9000 -sarjan asennoittimet ovat osoittautuneet käytössä venttiiliyhdistelmän luotettavimmiksi komponenteiksi. Asennoittimet ovat myös venttiiliyhdistelmän huoltoystävällisin komponentti, koska vikoja voi korjata asennoitinta irrottamatta puhdistamalla ja komponentteja vaihtamalla asennuskohteessa.

3.4.6 Venttiiliyhdistelmän yhteiset viat

Prosessin väliaineen ja venttiiliyhdistelmän mekaanisen rakenteen lisäksi myös ympäristön olosuhteet vaikuttavat säätöventtiileiden vikaantumismekanismeihin. Yleisimpiä ympäristön häiriötekijöitä ovat värinä, lämpötila ja kosteus. Värinä aiheuttaa venttiilin liikkuvien osien ennen aikaista kulumista ja asennoittimen hienomekaanisten osien virhetoimintoja. Myös venttiiliyhdistelmän pulttiliitokset voivat aueta voimakkaan värinän vaikutuksesta. Liian korkea lämpötila vaurioittaa venttiiliyhdistelmän komponentteja ja matala lämpötila altistaa jäätymiselle yhdessä kosteuden kanssa. Kosteus myös altistaa venttiiliyhdistelmän komponentit korroosiolle, joka lisää venttiiliyhdistelmän kitkaa.

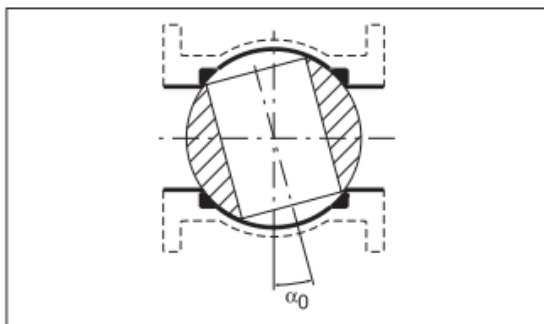
Olosuhteiden lisäksi prosessiautomaatiojärjestelmän liian aggressiivinen säätöpyynti aiheuttaa koko venttiiliyhdistelmän kaikkien komponenttien ennen aikaista kulumista ja vikaantumisherkkyttä. Säätöpiiri on liian aggressiivinen, jos säätöpiiri yrittää ohjata venttiilin asentoa niin voimakkaasti, että prosessi tai säätöventtiili eivät ehdi reagoida muutoksiin. Tämä aiheuttaa venttiilille turhaa kuluttavaa liikettä ja venttiilin ja prosessin oskillointia.

Säätöpiirin toimintaa optimoimalla venttiilin turhaan tekemä liike voidaan minimoida ja jatkaa venttiilin komponenttien elinikää huomattavasti.

Tietyillä säätöpiirityypeillä venttiili on herkkä prosessimittauksen kohinalle. Prosessimittauksissa on tyypillisesti prosessiperäistä tai lähettimen signaalikohinaa, joka voi säätimen parametroidista riippuen aiheuttaa säätöventtiilille turhaa liikettä. Esimerkiksi virtaussäätöpiirien pitää reagoida nopeasti pieniinkin virtausmuutoksiin, ja signaalikohina voi saada venttiilin liikkumaan kohinan mukaisesti. Näissä tapauksissa mittauksen kohinaa on vaimennettava mittausta suodattamalla joko ohjelmallisesti tai lähetintä parametroimalla. Kohinan poistossa mittauksen liiallinen suodattaminen aiheuttaa viivettä säätöön.

Myös ehjän venttiilin mitoitus- ja valintavaiheessa tehdyt virheet voi lukea venttiiliyhdistelmän viaksi. Säätöventtiilin toiminta ei ole lineaarista säätöalueen äärilaidoilla, eli venttiili toimii huonosti lähellä auki ja kiinniasentoja (Harju & Marttinen 2000). Ylimoitettulla venttiilillä on suurempi asennetun venttiilin vahvistus eli pieni ohjausmuutos saa aikaan suuremman vasteen mitattavassa suureessa, joka lisää säätövirhettä (Harju & Marttinen 2000).

Säätöventtiileillä voi esiintyä myös ns. osittaisia vikoja, jotka häiritsevät venttiilin säätökäyttöä, mutta ovat korjattavissa parametroimalla. Tällaisia ovat esimerkiksi parametrintivirheet asennoittimen paikoituksen vahvistuksessa tai pienellä venttiilin säätökulmalla esiintyvät virheet kuollleen kulman parametroidinnissa. Venttiilin kuollut kulma on pallo- ja segmenttiventtiileillä oleva kulma α_0 (kuvio 20), jonka verran venttiilin pitää aueta kiinniasennosta ennen kuin sulkuelimen virtausaukko alkaa avautua. Väärin asetettu kuollut kulma aiheuttaa säätöpiirille huojuntaa ja viivettä pienellä avaumalla ja turhaa venttiiliä kuluttavaa liikettä.

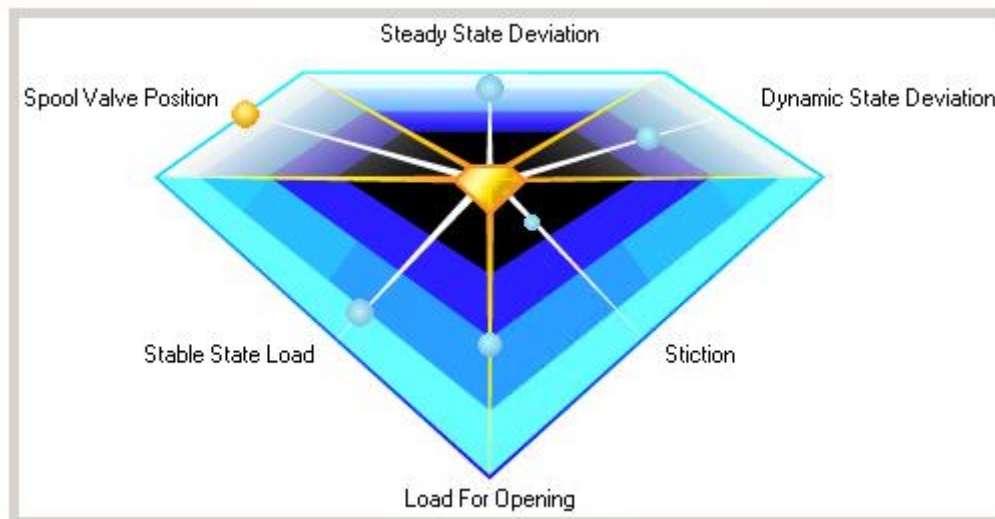


Kuvio 20. Venttiilin kuollut kulma (Valmet Flow Control 2022b)

3.5 Säätöventtiilin diagnostiikka

Neles ND9000 sarjan asennoittimet keräävät diagnostiikkaansa tilastotietoa venttiiliyhdistelmän suorituskyvystä. Tiedoilla voidaan arvioida niin venttiilin, toimilaitteen kuin asennoittimen toimintakuntoa ja elinkaarta. Diagnostiikkatieto tallennetaan asennoittimen muistiin ja

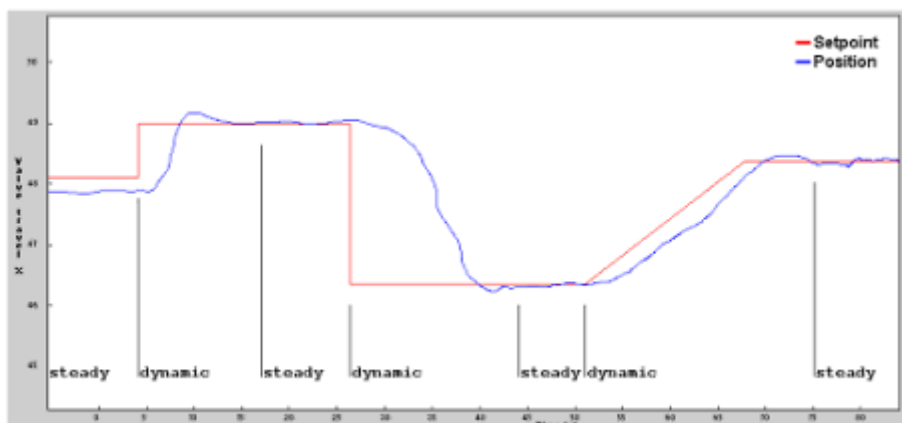
siirretään kunnonvalvontajärjestelmään. Elinkaaren ja toimintakunnon kannalta tärkeimmät arvot on esitetty ND9000 sarjan asennoittimen DTM parametrintyökalun näkymässä, jota kutsutaan venttiilitimantiksi (kuvio 21). Arvojen nimet on timantin ulkokehällä, ja kutakin arvoa vastaava pallo timantin sisällä. Pallon etäisyys keskiöstä kuvaa arvon suuruutta suhteessa hälytysrajaan.



Kuvio 21. Neles ND9000 diagnostiikan timantti (Valmet Flow Control)

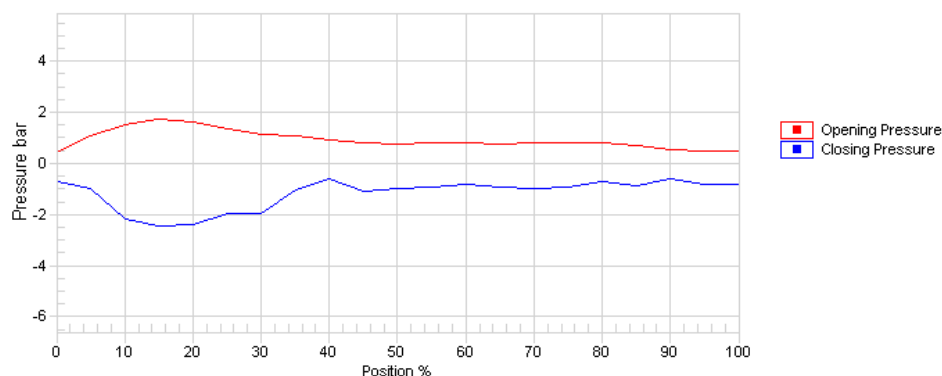
Steady State Deviation, Lepotilan asentopoikkeama, kertoo venttiilin asentotavoitteen ja mitatun venttiilin asennon välisen poikkeaman, kun asentotavoite ei muutu. Arvon yksikkö on prosentti. Korkea arvo kuvastaa tilannetta, että venttiili ei ole päässyt tavoiteasentoonsa, arvon suuruus kertoo eron prosentteina. (Valmet Flow Control.) Jos arvo nousee, voi kyseessä olla esimerkiksi sulkuelimen jumittaminen tai pneumatiikkavuoto. Oikein toimivalla säätöventtiilillä asentopoikkeamaa ei ole.

Dynamic State Deviation, Liikkuvan tilan asentopoikkeama, kertoo venttiilin asentotavoitteen ja mitatun venttiilin asennon välisen poikkeaman, kun venttiilin asentotavoite muuttuu, toisin sanoen venttiili on liikkeessä. Lepotilan ja liikkuvan tilan ero on esitetty kuviossa 22. Arvon yksikkö on prosentti. Arvo nousee, jos venttiilin todellinen asento ei kykene seuraamaan asentotavoitteen muutoksia tarpeeksi tarkasti ja nopeasti. (Valmet Flow Control.) Korkea arvo kuvastaa esimerkiksi venttiilin mekaanista hitautta säätötilanteessa. Liikkuvan tilan asentopoikkeamaa on tulkittava varauksella. Esimerkiksi isoilla toimilaitteilla varustetuilla palloventtiileillä asentopoikkeama suurilla liikkeillä on normaalia suuresta toimilaitteen ilmatilavuudesta ja venttiilin mekaanisesta hitaudesta johtuen.



Kuvio 22. Lepotilan ja liikkuvan tilan erottelu (Valmet Flow Control)

Stiction, liikkeellelähtökuorma, kertoo stick/slip-ilmiön voittamiseen tarvittavan toimilaitteen kuorman. *Stiction* -arvo kuvastaa koko venttiilyhdistelmän yhteenlaskettua kitkaa, joka pitää voittaa toimilaitteen paineella liikkeen aikaansaamiseksi. Arvo mitataan toimilaitteen sylinterin paineesta ja sen yksikkö on bar. Kohonnut arvo kuvastaa lisääntyntä kitkaa venttiilyhdistelmässä ja huonontaa venttiilin säätötarkkuutta. Kun arvo nousee tarpeeksi lähelle syöttöilman painetta, venttiili ei enää liiku ja jumittaa kokonaan. Äkillisesti pienentynyt arvo kertoo venttiilin kulumasta tai akseliston rikkoontumisesta. (Valmet Flow Control.) *Stiction* arvo on tärkeä säädettävyyden ja toimintavarmuuden näkökulmasta, mutta sille on hankala asettaa absoluuttista raja-arvoa diagnostiikkaan. Arvon suuruus riippuu paljon ohjattavan säätöventtiilin rakenteesta ja venttiilyhdistelmän komponenttien koosta, siksi on hyödyllistä vertailla mitatun *stiction* arvon kehitystä ja vertailla suuruutta vastaaviin venttiilyhdistelmiin. Arvo on erittäin havainnollinen tarkasteltaessa toimilaitteen mitoitusta kyseiselle venttiilyityypille ja koolle. Analysoitaessa on huomioitava, että diagnostiikan *Stiction* on keskiarvo koko venttiilin käyttöalueen toimintapisteissä mitatuista liikkeellelähtökuormista auki ja kiinni suuntaan. Toisin sanoen arvo voi olla matala, mutta *stiction*-ilmiö saattaa ilmetä voimakkaana tietyssä venttiilin toimintapisteessä. Kuviossa 23 on esitetty erään segmenttiventtiilin liikkeellelähtökuormat avautuman mukaan. Kuvaajasta voidaan havaita, että *stiction* ilmiö tapahtuu voimakkaimmin 10 – 20 % avautumalla, vaikka keskiarvoitettu *stiction* on normaallilla tasolla.



Kuvio 23. Segmenttiventtiilin epätasainen liikkeellelähtökuorma

Load for Opening, avautumiskuorma, kuvaa toimilaitteen painetta, joka vaaditaan venttiilin liikauttamiseen täysin kiinniasennosta. Arvo mitataan sylinterin paineesta ja sen yksikkö on bar. Nouseva arvo kuvastaa esimerkiksi läppäventtiilillä läpän tai tiivisteiden kulumaa, palloventtiilillä väliaineen kiteytymistä sulkuelimeen. (Valmet Flow Control.) Jos arvo nousee liian suureksi, ei venttiili pysty avautumaan ja jumittaa kiinniasentoon. Äkillisesti pienentynyt arvo voidaan tulkita akselivaurioksi tai läppäventtiileillä sulkutiiveyden huononemiseksi. Kuten Stiction, tämäkin arvo riippuu suuresti venttiiliyhdistelmän rakenteesta ja komponenttien mitoituksesta.

Stable State Load, vakaan tilan kuorma, kuvaa jousitoimisilla toimilaitteilla jousen tuottamaa voimaa, kun venttiilin asento on vakaa. Arvo mitataan sylinterin paineesta ja sen yksikkö on bar. Muutokset arvossa kuvastavat jousen rikkoontumista ja kuoleentumista. (Valmet Flow Control.)

Spool Valve Position, luistiventtiilin asento, kertoo luistiventtiilin suhteellisen asennon verrattuna liikealueeseen prosentteina. Erityisesti kaksitoimisilla toimilaitteilla luistin tulisi olla keskiasennossa, ja muutokset arvossa kuvastavat vuotoa toimilaitteessa tai pneumatikassa. (Valmet Flow Control.)

Venttiilitimantin arvojen lisäksi asennoitin kerää muitakin hyödyllisiä tietoja kunnonvalvonnan analyysin tueksi. Erityisen hyödyllisiä arvoja ovat esimerkiksi venttiiliyhdistelmän päivittäiset suunnanvaihdot. Jokainen venttiilin tekemä liike kuluttaa venttiiliyhdistelmän komponentteja, ja on siten pidettävä mahdollisimman pienenä tarvittavaan säätömäärään suhteutettuna. Myös asetusarvon ja venttiilin toteuttamien suunnanvaihtojen välisestä suhteesta voi päätellä parametrintivirheitä asennoittimella tai säätöpiirillä, jotka vaikuttavat säätöpiirin toimintaan ja venttiilin suorituskykyyn. Liikemäärien vähentäminen onnistuu hyvin usein säätöpiirin tai asennoittimen uudelleen parametroinnilla tai säädettävän

mittauksen suodatuksen tarkistuksella. Liikemäärien vähentäminen on siis erittäin kustannustehokas tapa lisätä venttiilin elinkaarta ja toimintavarmuutta. Samalla myös venttiilin turhaan tekemien liikkeiden vaikutus prosessisuureeseen vähenee, joka tasoittaa prosessia.

Asennoittimen lämpötila kertoo venttiilyhdistelmän ympäröivästä lämpötilasta. Korkeat lämpötilat rasittavat asennoittimen komponentteja ja toimilaitteen tiivisteitä. Matalissa lämpötiloissa toimilaitteen sisään mahdollisesti kertyvä kondenssivesi voi jäättyä ja jumittaa venttiiliä.

Venttiilin asentomittauksen keskiarvosta on pääteltävissä venttiilin mitoitusvirheitä. Jos venttiili on säätötilanteessa toistuvasti täysin auki, on venttiilin koko alimitoitettu. Vastavasti jos venttiilin avautuma säätötilanteessa on alle 20 %, on venttiilin koko ylimitoitettu. Säätöventtiilin ylimitoitus on haitallista, sillä venttiilin säätötarkkuus huononee pienellä avautumalla säädettäessä. Mitoitusvirheet ovat tyypillisesti korjattavissa vain venttiilin kokoa tai tyyppiä vaihtamalla.

Lisäksi asennoittimen itsediagnostiikka päättelee paine- ja asentoantureiden suhteista hyödyllisiä hälytystietoja vianselvityksen tueksi. Jos venttiilin asentoanturin mittausta ei vastaa asentopyyntiä, asennoitin antaa asentopoikkeamaa kuvaavan hälytyksen ”Steady State Deviation”. Lisäksi asennoitin päättelee toimilaitteen syöttöpaineista ja luistin asennosta tarkentavan hälytyksen, joka ohjaa vianselvitystä oikeaan suuntaan. Mikäli asentopoikkeama johtuu luistiventtiilin asentopoikkeamasta, asennoitin antaa ”Spool Valve Problem” hälytyksen, joka ohjaa toiminnan asennoittimen luistiventtiilin tarkastamiseen. Jos luistiventtiili on asentopoikkeaman sattuessa oikeassa asennossa, mutta toimilaitteen ohjauspaineet eivät riitä venttiilin liikuttamiseen antaa asennoitin ”Pneumatics Problem” hälytyksen, joka kuvaa vuotoa tai tukosta toimilaitteessa, liitännöissä tai luistiventtiilissä. Jos toimilaitteen ohjauspaine saavuttaa riittävän tason, mutta asentopoikkeama on edelleenkin aktiivinen, asennoitin antaa ”Friction Problem” hälytyksen, joka kuvastaa venttiilin mekaanista jumittamisesta liian suuren kitkan takia.

Tässä työssä keskitytään neljänneskiertoisiin säätöventtiileihin pneumaattisella sylinteritoimilaitteella ja Neles ND9000 sarjan asennoittimilla, mutta edellä mainitut vikamekanismit ja kitkaongelmat koskevat yhtäläillä myös muita asennoitintyyppisiä sekä lineaarisia luisti- ja istukkaventtiileitä ja ovat analysoitavissa vastaavalla tavalla. ND9000 sarjan asennoittimien vahvuus analysoinnissa on selkeä ja luotettava sisäinen diagnostiikankeräys, joka on luotettavissa ulkoiseen kunnonvalvontajärjestelmään.

4 Kunnossapito

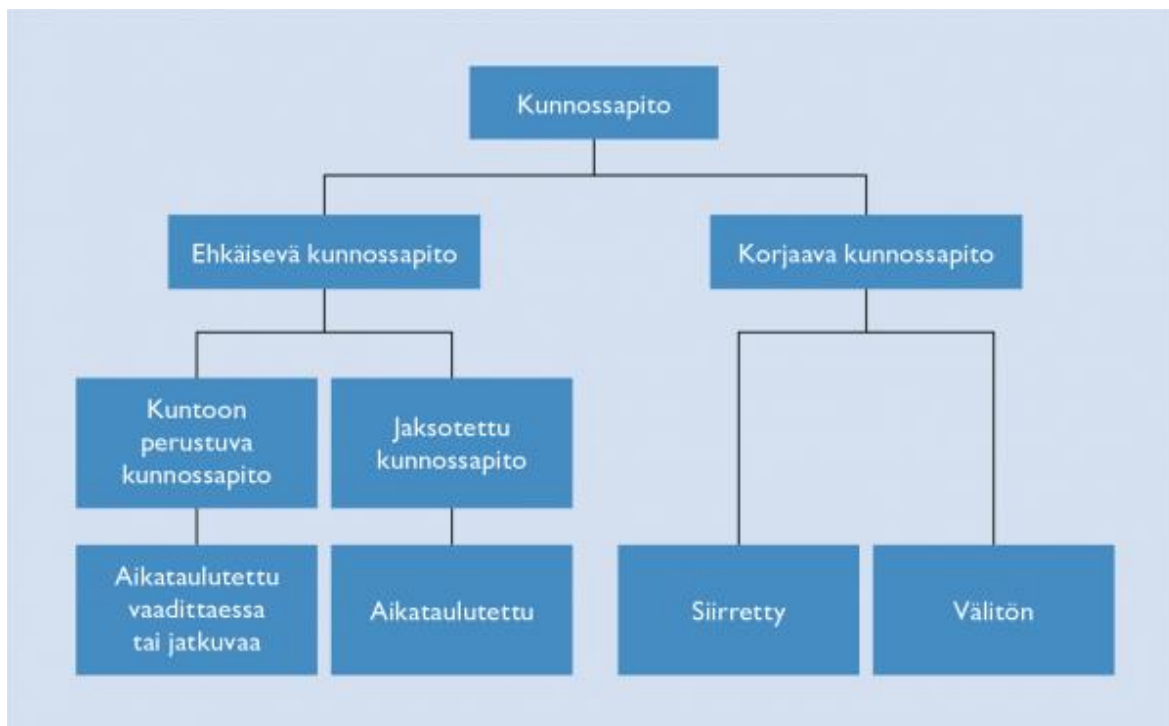
4.1 Kunnossapito teollisuudessa

PSK 6201 määrittelee kunnossapidon seuraavasti:

”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, ja 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.” (Järviö ym. 2007.)

Heinonkosken (2013, 145) mukaan kunnossapito- ja käyttöorganisaatiolla on yhteinen tavoite eli mahdollistaa luotettava ja tuottava prosessin toiminta koko laitteiston elinkaaren ajan. Toimiva kunnossapito edellyttää organisaatiolta sitoutumista elinkaaren aikaisiin toimiin, budjetointiin, koulutukseen ja kunnossapitosuunnitelmaan. Tärkeimpiä kunnossapidon tavoitteita ovat komponenttien vikojen määrän vähentäminen, haitallisten prosessihäiriöiden määrän ja keston vähentäminen, vikojen juurisyiden analysointi ja korjaavien toimenpiteiden loppuunsaattaminen.

Perinteisesti kunnossapito jaetaan kunnossapitolajeihin SFS-EN 13306 mukaan kuvion 24 mukaisesti. Kuvion mukaiset toiminnallisuudet on havainnollistettu seuraavissa kappaleissa.



Kuvio 24. Kunnossapitolajit (Konkarikoski 2013)

4.2 Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito on kunnossapitostrategia, jossa koneet ja laitteet annetaan vikaantua tai mennä rikki. Korjaavan kunnossapitostrategian tarkoituksena on palauttaa niiden toiminta tai kunto takaisin sellaiseen tilaan, jossa ne voivat toteuttaa niiltä vaaditut toiminnot. (Manninen 2023a.)

Manninen (2023b) korostaa, että korjaavan kunnossapidon toimenpiteet tehdään vasta vian havaitsemisen jälkeen. Korjaava kunnossapito voidaan jakaa välittömään korjaamiseen ja siirrettyyn korjaamiseen. Välitöntä korjaamista kutsutaan myös hätäkorjaukseksi, joka on tyypillisesti kallein kunnossapidon muoto. Siirrettyä korjaamista voidaan soveltaa koneille ja laitteille, jotka eivät ole kriittisiä tuotannolle, ja niiden huolto tai vaihto uuteen voidaan suunnitella ja toteuttaa kustannustehokkaasti asianmukaisessa aikataulussa vikaantumisen jälkeen.

Korjaavan kunnossapidon etuja ovat alhaiset investointikustannukset, yksinkertainen hallinta ja joustavuus. Korjaavan kunnossapidon haittoja ovat suuret käyttökustannukset, epävarmuus tuotannossa, turvallisuusriskit ja ympäristövaikutukset.

Järviö ym. (2007, 48) kuvaa korjaavan kunnossapidon soveltuvan teollisuudessa hyvin esimerkiksi valaistukseen, mutta huonosti tuotantolaitteille ja -koneille, joissa laitteiden toimintavarmuus on tärkeää ja häiriöstä johtuvat seisokit aiheuttavat suuria taloudellisia menetyksiä.

4.3 Ennakoiva/ehkäisevä kunnossapito

Ennakoiva kunnossapito kunnossapitostrategiana pyrkii ennaltaehkäisemään laitteiden vaurioitumista käynninaikaisen ennakkohuollon ja havainnoinnin avulla. Ennakoiva kunnossapito perustuu suunnitelmallisiin huoltotoimenpiteisiin, jotka tehdään ennalta määritettyjen aikavälien tai käyttötuntien mukaan. Ennakoivan kunnossapidon tavoitteena on tehdä huoltoja ennen kuin laitteet alkavat osoittaa merkkejä toiminnan heikkenemisestä tai vioista. Ennakoivan kunnossapidon etuja ovat alhaiset kunnossapidon kustannukset, korkea tuotavuus, parempi turvallisuus sekä pienemmät ympäristövaikutukset. Ennakoivan kunnossapidon haasteita ovat korkeat investointikustannukset, monimutkainen hallinta ja datan hyödyntäminen. Ennakoiva kunnossapito sopii paremmin kriittisille tuotantolaitteille, joissa laitteiden kunnan seuranta ja ennakkohuollot voivat vähentää häiriöseisokkeja ja parantaa laatua. Ennakoiva kunnossapito edellyttää hyvää suunnittelua, dokumentointia ja resursien hallintaa. (Järviö ym. 2007; Manninen 2023a.)

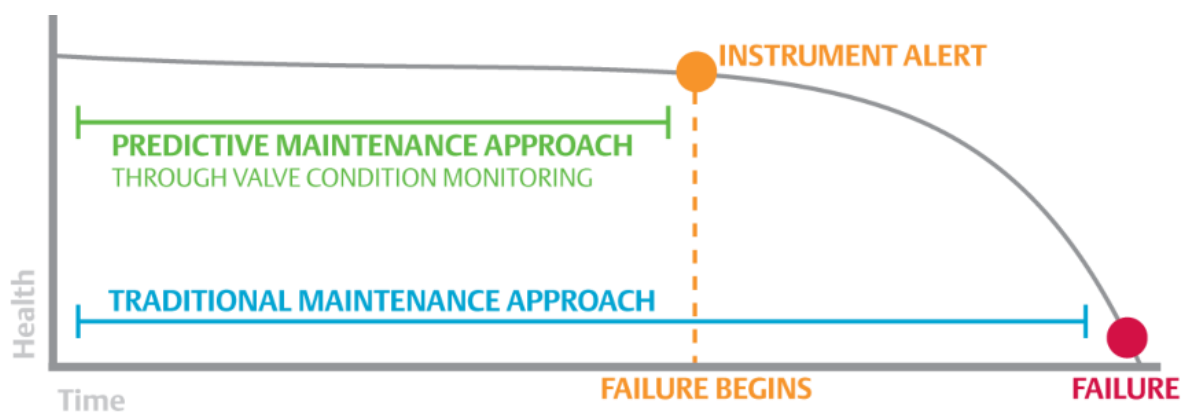
Ehkäisevään kunnossapitoon kuuluu seuraavat säännöllisesti tehtävät toimenpiteet:

- Vikaantumiseen johtavien syiden ja olosuhteiden havainnointi ja tarkkailu
- toimenpiteet, joilla kone pidetään siinä kunnossa, että se voi suorittaa sille suunnitellulla tavalla, esimerkiksi voitelun varmistaminen, liitosten kireyden ja linjausten tarkistus sekä ympäristön siistinä pitäminen
- alkaneen vikaantumisen havaitseminen ja korjaaminen ennen kuin vika pysäyttää koneen. Tähän sisältyy myös suunniteltu korjaava kunnossapito eli kunnostaminen. (Järviö ym. 2007.)

4.4 Kunnonvalvonta

4.4.1 Kunnonvalvonnan merkitys ennakoivalle kunnossapidolle

Kunnonvalvonta on prosessi, jossa määritellään käynnissä olevan laitteiston kunto (SKF). Kunnonvalvonta on osa ennakoivaa kunnossapitoa, jossa laitteen toimintakuntoa valvotaan käytön ja huoltojen aikana. Kunnonvalvonnan tarkoituksena on, että laitteen viat voidaan havaita ennen kuin ne pysäyttävät prosessin toiminnan kuvion 25 mukaisesti. Viat voivat olla myös osittaisia, jolloin ne heikentävät prosessin suunniteltua toimintaa. Kunnonvalvonta voi olla jatkuvaa tai aikataulutettua, siten kun laitteen häiriöiden ennakoitavuuden kannalta on tarpeellista. Kunnonvalvontaa voidaan tehdä silmämääräisesti laitteiston toimintaa tarkkailemalla, mittaamalla tai prosessiautomaatio- ja kunnonvalvontajärjestelmiä hyödyntämällä. (Heinonkoski 2013, 186.)



Kuvio 25. Kunnonvalvonnan vaikutus (Emerson Process Management)

4.4.2 Kunnonvalvontajärjestelmät

Kunnonvalvontajärjestelmät ohjaavat vikojen diagnosointia kohteisiin, joissa on havaittavissa poikkeamia. Järjestelmät antavat informaatiota, jotka tukevat empiirisiä havaintoja. Järjestelmien informaation ja havaintojen perusteella on mahdollista korjata ongelmia aiheuttavien osien vaurioituminen ennen vikojen syntymistä. Onnistunut kunnonvalvonta

auttaa tehtaan tuotanto- ja kunnossapitohenkilöstöä vähentämään kriittisten vikojen todennäköisyyttä, ja lisäksi he osaavat tilata osat ajoissa, suunnitella työvoiman käytön ja ajoittaa muut korjaukset huoltokatkoksen ajaksi. (SKF.) Käynninaikaista kunnonvalvontaa hyödyntämällä ennakoivat toimenpiteet voidaan kohdentaa ja aikatauluttaa taloudellisesti ja resurssitehokkaasti.

Kenttälaitteiden kunnonvalvonta

Älykkäissä kenttälaitteissa on mikroprosessori, joka mittausviestin käsittelyn ja välittämisen ohessa havaitsee ja kerää toiminnastaan diagnostiikkatietoja, joilla avustetaan laitteistojen ylläpitoa. Diagnostiikkaa seuraamalla viat ja virheet voidaan havaita ja korjata ennen kuin ne aiheuttavat varsinaista vikaa. Diagnostiikkaa analysoimalla pyritään parantamaan laitoksen käytettävyyttä siten, että häiriöt ja huoltokustannukset optimoidaan. Itsediagnostiikka ei kata läheskään kaikkia mahdollisia vikatilanteita, mutta yleisempien vikatilanteiden indikoinnilla kunnossapitohenkilöstö voi paikallistaa ja rajata vikoja. (Heinonkoski 2013, 45)

Metsä Fibren sellutehtailla käytettävä kenttälaitteiden kunnonvalvontajärjestelmä

Metsä Fibren sellutehtailla käytetään kenttälaitteiden kunnonvalvontaan järjestelmää, joka tarkkailee kenttälaitteilta, kuten mittareiden lähettimiltä ja toimilaitteiden asennottimilta diagnostiikkatietoja HART- ja Profibus-väylän kautta ja tallentaa ne omaan tietokantaansa. Tietokantaan tallennettua diagnostiikkadataa visualisoidaan Web-pohjaisella käyttöliittymällä, joka on samalla kunnonvalvontajärjestelmän heikkous. Kenttälaitteiden keräämä data esitetään erillisillä laitekorteilla, eikä laitteiden diagnostiikkadataa voi lajitella tai vertailla keskenään. Tämä ongelma korostuu etenkin kun valvottavia kenttälaitteita on paljon. Esimerkiksi Äänekosken tehtaalla kunnonvalvonnassa on yli 5000 kenttälaitetta, joista säätöventtiileitä on 1187 ja mittauksia 3841. Suurien laitemäärien tarkkailu ja analysointi erillisillä laitekorteilla ei ole resurssitehokasta.

Käytettävä kunnonvalvontajärjestelmä ei myöskään sisällä tietoa valvottavien laitteiden asennuskohteista, nimiketietoja, eikä säätöventtiileiden tapauksessa tietoa venttiilin, toimilaitteen tai asennoittimen tyyppistä tai koosta. Venttiilin kuntoa analysoitaessa nämä tiedot ovat kriittisen tärkeitä analyysin onnistumisen kannalta.

Käytettävän kunnonvalvontajärjestelmän tuotekehitys on ollut tuotteen markkinoille tulon jälkeen vähäistä, ja viimeisen toistakymmentä vuotta jopa pysähdyksissä. Toisaalta kunnonvalvontajärjestelmä on osoittautunut hyvin varmatoimiseksi ja kenttälaitteilta kerätty data on laadukasta.

Säätöventtiileiden diagnostiikkatiedot sisältävät aikasarjana sensoridataa, kuten lämpötila, venttiilin todellinen ja tavoiteasento, pneumatiikan paineet ja erilaisia käyttömäärälaskureita. ND9000 sarjan asennoittimen diagnostiikka on esitetty tarkemmin kappaleessa 3.5.

Älykkään asennoittimen diagnostiikkaa analysoimalla useimmat venttiilikomponenttien viat ovat tulkittavissa ja kunnossapitotyöt ovat siten kohdennettavissa huoltoa tarvitseviin kohteisiin. Näin alkavat viat voidaan korjata ajoissa ennen kuin ne aiheuttavat prosessiongelmia. Diagnostiikkaan pohjautuvalla kunnonvalvonnalla myös vältytään ylihuoltamiselta, kun venttiilyhdistelmän komponenttien elinkaarenhallinnan tukena käytetään komponenttien kuormituksesta kertovia diagnostiikkatietoja.

Kenttälaitteiden kunnonvalvontajärjestelmän lisäksi Metsä Fibren sellutehtailla käytetään värähtelymittauksiin perustuvaa online-kunnonvalvontajärjestelmää, joka paikantaa vikaantuvia kohteita pyörivistä laitteista kuten moottoreista, pumpuista ja teloista. Pyörivien mekaanisten laitteiden värähtelyvasteesta on luettavissa laitteen mekaaninen kunto ja kehitys. Värähtelyspektrejä ja tasoja analysoimalla on mahdollista havaita mm. epätasapaino, laakeriviat ja hammaspyörävauriot.

Lisäksi kunnonvalvonnan tukena käytetään prosessiautomaatiojärjestelmän tuottamia mittauksia kuten virtauksia, paineita ja lämpötiloja. Prosessiautomaatioon on myös lisätty kriittisiin kohteisiin kunnonvalvontaan erikoistuneita värinä- ja äänenvoimakkuusmittauksia, joilla voidaan havaita ja seurata muutoksia prosessissa ja prosessilaitteiden toiminnassa.

4.5 Kunnossapidon neljä sukupolvea

Kunnossapidon jakoa voidaan strategioiden lisäksi jakaa menetelmien kehityksen sukupolvien mukaan. Järviön ym. (2007) mukaan kunnossapidossa on erotettavissa seuraavat neljä sukupolvea. Ensimmäisessä sukupolvessa tärkeää oli nopea reagointi ja korjaaminen. Toisessa sukupolvessa kunnossapitotoimia jaksotetaan ja mukaan astuvat työnsuunnittelu ja johtaminen sekä ensimmäiset tietokoneet. Kolmannessa sukupolvessa mukaan tulee kunnonvalvonta, riski-, vikaantumis- ja juurisyyanalyysit, asiantuntijuus ja moniosaaminen. Viimeisin eli neljäs keskittyy pääosin digitalisaatioon. Neljännessä sukupolvessa:

- Teknologinen kehitys tuo mukanaan järjestelmiä, jotka monitoroivat prosesseja ja laitteita älykkäiden antureiden avulla, jotka mahdollistavat mittaamisen sellaisista kohteista, joka ei aiemmin ollut mahdollista.
- Laitteet tallentavat tietoja käynnistä, olosuhteista sekä käytön laadusta. Toiminnan laatua voidaan mitata myös epäsuorasti.

- Tiedot tallennetaan (datawarehousing) ja analysoidaan tarkkoja juurisyyanalyysijä sekä seurataan laitteen ikääntymistä. em. käynninvalvonnassa seurataan, että kohde toimii luotettavasti.
- Antureiden ja muun seurantatiedon ilmoittaessa normaalista poikkeavaa toimintaa, voidaan olettaa, että jossain on vikaa ja käynnistää toimet syyn määrittämiseksi ja korjaamiseksi. Näin perinteinen jaksotettu ennakoiva kunnossapito muuttuu enemmän kunnonvalvontaan perustuvaksi.
- Etävalvonta helpottaa resurssien käyttöä ja mahdollistaa asiantuntijoiden käytön entistä tehokkaammin.
- Kunnossapidon ohjaukseen ja johtamiseen nousee uusia tekijöitä kuten tuotteiden ja toimintojen laatu, turvallisuus ja ympäristöystävällisyys. (Järviö ym. 2007, 20.)

Tämä opinnäytetyö on vahvasti neljännen sukupolven aallonharjalla.

4.6 SAP toiminnanohjausjärjestelmä kunnossapidossa

Laadukas kunnossapito teollisuudessa vaatii tuekseen kunnossapitojärjestelmän. Metsä Fibren tehtailla käytössä on SAP R/3 toiminnanohjausjärjestelmä, joka koostuu useasta moduulista. Kunnossapidon toiminnanohjaukseen käytetään SAP R/3 PM kunnossapito-moduulia, jonka avulla hallitaan mm. tehtaiden laitteiden tekniset toimintopaikka- ja laiterakennehierarkiat sekä kunnossapito-, suunnittelu- ja ennakkohuoltotyöt. Lisäksi PM moduulilla hallitaan raportointia kuten vikojen havaitsemisen ja korjaustöiden raportoimisen kunnossapitoilmoituksilla. Toimenpideilmoituksilla raportoidaan laitteille tehtyjä ennakoivia huoltoja ja parametrointeja.

Toimintopaikka koostuu laitteista tai laitekokonaisuudesta, joka suorittaa toiminnankuvauksessa määritellyn toiminnon. Toimintopaikoista luodaan kuvion 26 mukainen rakennepuu linkittämällä ne yhteen siten, että rakenteen ylimpänä toimintopaikkana on koko laitos, seuraavalla tasolla osastot, näiden alapuolella osaston osat ja alimmalla tasolla on yksittäisen laitekokonaisuuden toimintopaikka.

Toimintopaikan rakenne-esitys: rakenneluettelo						
Toimintopaikka		BTT	VO:n alku		09.09.2023	
Nimitys		BIOTUOTETEHIDAS				
▼	BTT	BIOTUOTETEHIDAS				
▶	BTT-10	PUUNKÄSITTELY				
▼	BTT-20	MASSATEHDAS				
▶	BTT-20-120	MASSATEHDAS YHTEISET				
▶	BTT-20-121	KEITTÄMÖ				
▶	BTT-20-121-010	HAKKEENSYÖTTÖ				
▶	BTT-20-121-020	SYÖTTÖKIERTO				
▶	BTT-20-121-030	IMEYTYYS				
▶	BTT-20-121-040	SIIRTOKIERTO				
▼	BTT-20-121-040-99	INSTRUMENTOINTI				
▼	BTT_121A0018-FIC	SIIRTOKIERRON KYTTILIPÄÄ				
▶	BTT_121A0018-FE	MAGNEETTINEN VIRTAAUSPUTKI				
▶	BTT_121A0018-FT	MAGNEETTINEN VIRTAAUSLÄHETIN				
▶	BTT_121A0018-FV	SÄÄTÖVENTTIILI				
•	190381	SEGM.VENTTIILI DN350 PN40 REMA350AJJSV	N		1	KPL
•	190592	TOIMILAITE B1CU20/70Z	N		1	KPL
•	190616	ASENNOITIN ND9106HN	L		1	KPL
•	190301	KAAPELIHOIKKI CGS	N		1	KPL
•	194149	LAIPPATIIIVISTE DN350 PN40 PSM	N		2	KPL

Kuvio 26. Säätoventtiilin toimintopaikkarakenteen SAP-järjestelmässä

Laitteiden tekniset toimintopaikka- ja laiterakenteet sisältävät hierarkkiset tiedot tehtaan osastoista, laitteistoista ja niiden kokoonpanoista ja komponenteista. Jokaisella tehtaan laitteella on oma nimetty toimintopaikka, jolle on kiinnitetty kyseiseen toimintopaikkaan liittyvät laitteet. Esimerkiksi säätoventtiilin toimintopaikalle on kiinnitetty tekniset tiedot venttiilyhdistelmän asennoittimesta, toimilaitteesta ja venttiilytyypistä. Säätoventtiili on kiinnitetty säätopiiriin toimintopaikkaan.

SAP PM moduulin ilmoituksia käytetään laitehäiriöiden ja vikojen raportointiin ja seurantaan. Jos käyttö- tai kunnossapitohenkilöstö havaitsee laitteistossa koneen tai prosessin suorituskykyyn, tuotteen laatuun tai turvallisuuteen vaikuttavan toiminnan, aiheesta kirjataan kyseisen laitteen toimintopaikalle kuvion 27 mukainen kunnossapitopyyntö tai häiriöilmoitus. Häiriöilmoitukseen kirjataan häiriötoiminnan kuvaus ja olosuhteet. Ilmoituksen perusteella kunnossapito diagnosoi vian ja suunnittelee tarvittavat korjaustoimenpiteet. Mikäli tarvittavia toimenpiteitä ongelman korjaamiseksi ei voida tehdä prosessin käydessä, työt kiinnitetään seisokkityöksi ja suunnitellaan tehtäväksi seuraavassa suunnitellussa huolto-seisokissa tai häiriöpysäytyksessä.

Näytä KP-ilmoitus: Häiriöilmoitus

Uudelleen käsiteltävänä

Ilmoitus 2000047398 M2 Jumitus

Ilmoit. tila ILPÄ TIKO MOPM

Tilaus 34003446

Ilmoitus Takuutiedot Laitteiston käytettävyys Häiriö, katkos Sijaintitiedot Pvm-yleistiedot Asiakirjat Rivit Syyt

Viiteobjekti

Toimintopaikka BII_126A0160-PDIC

Laite

Kokoonpano

Asiasisältö

Kuvaus Jumitus

13.02.2023 09:48:34 EET Antti Parantainen (U00545730) Puh.
Tornin vaihdon jälkeen tämä venttiili jäi diagnostiikan mukaan 17% auki vaikka piti mennä kiinni. Diagnostiikassa ei aiempaa historiaa vastaavasta.

Venttiilipaketin visuaalinen tarkistus.

6-koon toimilaitte, pienellä kynnyksellä vaihtoon ja 9 tilalle.

Vastuut

Suunn.ryhmä A20 / 6900 Massatehdas AUT

Vast. työpiste /

Vastuullinen os

Vastuuhenkilö

Ilmoittaja A PARANTAINE Ilmoituspvm 13.02.2023 09:45:52

Kuvio 27. Häiriöilmoitus SAP-järjestelmässä

4.7 Varaosien hallinta osana kunnossapitoa

Sellu- ja prosessiteollisuudessa prosessilaitteistot ovat suunniteltu toimimaan jatkuvasti mahdollisimman suurella kapasiteetilla ja kuormituksella. Jatkuva kuormittava käyttö ja olosuhteet aiheuttavat laitteistolle kulumista, materiaalin väsymistä, laiterikkoja ja korroosiota. Laitteistojen käyttövarmuuden ylläpitämisen ja tehokkaan häiriöstä toipumisen perustana on toimiva varaosahuolto. Hyvin toimiva varaosahuolto kattaa mm. varaosien varastointia, logistiikkaa, osien nimeämistä, tarkastamista ja hankintaa sekä kriittisten ja ei-kriittisten laitteiden määrittelyä. Varaosan hankinta on teollisuuslaitokselle kallis investointi, ja se kasvattaa kunnossapitoon kiinnitettyä pääomaa. Tarkoin suunnitellulla varaosien hallinnalla varaosien budjetointi voidaan pitää taloudellisesti kohtuullisella tasolla. (Heinonkoski 2013, 234.)

Toimintopaikoilla käytävien laitteiden määritykset on tallennettava tarkoin kunnossapitojärjestelmään ja laitoksen tekniseen dokumentaatioon laitekannan ja varaosien yhteensopivuuden hallitsemiseksi (Heinonkoski 2013, 234). Kunnossapitojärjestelmässä hallittuja säätoventtiileiden laitetietoja voidaan käyttää diagnostiikan tukena analysoitaessa samankaltaisten venttiiliyhdistelmien toimintaa.

Metsä Fibren sellutehtailla venttiileiden varalaitteiden hallintaa ja varastointia koordinoidaan yhteistoiminnassa päälaitetoimittaja Valmet Flow Controlin kanssa. Metsä Fibren ja Valmet Flow Controlin välillä on huolto-, varaosa-, varastointi- ja palvelusopimus, joka kattaa varalaitteiden varastointi- ja huoltopalvelut. Sopimukseen sisältyy sellutehtaiden venttiileiden varastointi toimittajan varastoissa ja vikaantuneiden venttiileiden sopimushuolto ja logistiikka. Palvelusopimuksella tuetaan venttiileiden toimintavarmuutta. (Valmet 2018)

4.8 Venttiilin huolto/vaihto kunnossapitotyönä Metsä Fibrellä

Diagnostiikkatietojen avulla poikkeavat säätöventtiilit saadaan poimittua analysoitavaksi. Analyysin perusteella tehtaan automaatiokunnossapito-osasto tutkii poikkeamat tarkemmin aikasarjamuuttujien ja hälytysten perusteella. Analyysin tukena käytetään automaatiojärjestelmän prosessimuuttujien historiatietoja ja tarvittaessa säätöventtiilin diagnostiikka-antureiden toimintaa seurataan reaaliajassa kuten kuviossa 28 on esitetty. ND9000 asennoittimen DTM- käyttöliittymässä on mahdollista monitoroida ohjauspaineita ja venttiilin ohjauksen ja asentotakaisinkytkennän muutoksia ja varmistaa epälineaarisuudet venttiilin toiminnassa.



Kuvio 28. Venttiilin diagnostiikka-antureiden reaaliaikainen tutkiminen

Diagnoosin perusteella valikoidaan potentiaalinen vika venttiilissä ja diagnoosi varmistetaan venttiilin asennuskohteessa empiirisillä havainnoilla. Havainnoinnissa on tärkeää visuaalisesti tutkia välyksiä komponenteissa ja jumittamisesta johtuvaa nykivää liikettä. Visuaalisesti ja tunnustelemalla voi myös havainnoida mahdollisia pneumatiikkavuotoja. Kuuntelemalla poikkeavia ääniä venttiiliyhdistelmän komponenteista ja prosessista, voidaan myös havainnoida asioita, joita visuaalisesti ei voida päätellä.

Kun vika on paikannettu ja vahvistettu, raportoidaan se SAP-järjestelmään häiriöilmoituksena. Mikäli vika ei ole korjattavissa venttiiliyhdistelmän komponentteja irrottamatta, osaston automaation alueinsinööri suunnittelee venttiilin vaihtotyön ja tilaa laitetoimittajalta kyseiseen kohteeseen sopivan huolletun venttiilin odottamaan vaihtoa. On myös mahdollista, että venttiiliyhdistelmän sijasta vaihdetaan vain yksittäinen komponentti. Vaihdon yhteydessä on mahdollista tarkastella myös venttiilin mitoitusongelmia ja vaihtaa venttiiliyhdistelmän komponentteja paremmin kohteeseen sopiviksi. Mikäli venttiiliyhdistelmän tai komponentin vaihtoa ei voida tehdä prosessia häiritsemättä, vaihtotyö kiinnitetään SAP PM-

järjestelmässä seuraavaan huoltoseisokkiin ja aikataulutetaan tehtäväksi seuraavan huoltoseisokin aikana.

Verrattuna muihin prosessilaitteisiin kuten pumppuihin ja sähkömoottoreihin, säätöventtiileiden vikojen kehittyminen havaitusta oireesta toiminnan pysäyttävään häiriöön on usein paljon pidempi. Alkavien oireiden vaikutusta voidaan myös lieventää asennoittimen ja säätöpiirin parametroinnilla ja siten pidentää venttiilin elinkaarta vian havaitsemisesta vaurioon. Tämä mahdollistaa venttiileiden vaihtotöiden painottamista vuosihuoltoseisokkeihin, joka mahdollistaa venttiilin vaihtotyön huolellisen suunnittelun. Vuosihuoltoseisokissa venttiilihuollon tekeminen on myös turvallisempaa, koska prosessin säiliöt ja putkilinjat tyhjenetään ja huuhdellaan vuosihuoltoseisokkia varten ja työkohteet voidaan erottaa tarkemmin.

Venttiiliyhdistelmän huollon tai vaihdon jälkeen toiminta tarkastetaan uudelleen ja kirjataan huomiot SAP-järjestelmään. Usein samalla viritetään säätöpiiri uudelleen vastaamaan parantunutta venttiilin suorituskykyä.

Metsä Fibren sellutehtaiden säätöventtiileiden korjaustoiminnassa pyritään aina korjaamaan vaurion juurisyy, jotta voidaan estää saman vian esiintyminen uudelleen. Useimmiten vian ilmetessä ensiksi nähdään oire, mutta oireen takana olevan juurisyyn selvityksellä ja korjauksella vaikutus on pysyvä ja se saattaa estää muita vikoja tulevaisuudessa. Esimerkkinä juurisyyn selvitykseen käy säätöventtiilin toimilaitteen väljäksi kulunut vivusto. Vika on hyvin tyypillinen ja aiheuttaa kasvavaa epätarkkuutta säätöpiirille. Vian voi korjata vain vaihtamalla toimilaite. Usein vaurion juurisyynä on esimerkiksi aggressiivinen säätöpiiri yhdistettynä mittauksen kohinaan, jotka ovat aiheuttaneet säätöventtiiliyhdistelmän komponenteille ennen aikaista kulumista. Kun mittauksen suodatus ja säätöpiirin parametointi korjataan, voi vaihdetun venttiiliyhdistelmän elinikä kulumisen suhteen olla suoraan verrannollinen liikemäärien vähenemiseen. Usein oheisella menettelyllä on päästy liikemäärissä ja kulumisessa kymmenesosaan lähtötilanteesta.

5 Control Valve PARAMeter ANALyzer 2.0

5.1 Pilvipalvelualusta

Pilvipalvelualusta on palveluntarjoajan ylläpitämä palveluiden, sovelluksien ja resurssien valikoima, jota pilvipalvelun ylläpitäjä tarjoaa yritysten ja yhteisöjen käyttöön internetin välityksellä. Pilvipalvelun palvelut voivat olla esimerkiksi sovelluksia, laskentaresursseja tai tallennustilaa, joita asiakas voi tilata ja käyttää tarpeidensa mukaisesti. Pilvipalvelun kilpailukyky perustuu resurssien jakamiseen ja skaalautuvuuteen. Pilvipalvelut mahdollistavat datan virtauksen asiakkaan palvelimilta ja laitteilta pilvipalveluntarjoajien palvelimille ja toisin päin. Pilvipalveluiden avulla asiakkaat voivat luopua investoinneista omien palvelimien hankkimiseen ja ylläpitoon sekä ohjelmistolisenssien maksamiseen. Pilvipalvelujen avulla asiakas pääsee käsiksi ohjelmistoympäristöihin, tallennustilaan, laskentatehoon, verkkoinfrastruktuuriin ja muihin palveluihin ilman, että tarvitsee kantaa ylläpitokustannuksia tai suorittaa ohjelmisto- ja laitepäivityksiä. Pilvipalvelut tarjoavat erilaisia laskutusmalleja, jotka riippuvat kulutetuista resursseista. Ne ovat yleensä kulutuksen mukaan skaalautuvia kuukausi- tai vuositulauksia. (Corporate Financial Institute 2023.)

Metsä Group käyttää data- ja analytiikkaratkaisuiden toteutukseen Microsoftin Azure pilvipalveluympäristöä. Azure on tällä hetkellä maailman toiseksi suurin pilvipalvelu Amazonin jälkeen (Zhang 2023). Azurella on tarjota yli 200 erilaista pilvipalvelutuotetta sovelluksien rakentamiseen (Microsoft b). Azuren lisäksi Metsä Groupin data- ja analytiikkaratkaisuissa hyödynnetään SAP Business Warehouse ja Analytics Cloud teknologioita.

Metsä Groupissa on käytössä ICT:n Data & Analytics organisaation hallinnoima digitalisaatiohankkeiden arkkitehtuurialusta "Data & Analytics Platform". Alusta on luotu integroimaan, tallentamaan ja yhdistämään tietoja eri lähteistä Metsä Groupin liiketoiminta-alueiden analytiikka- ja raportointitarpeisiin sekä tallentamaan ja jakamaan tietoa niin sisäisesti kuin ulkopuolisille sidosryhmille. Arkkitehtuurialusta yhtenäistää digitalisaatioratkaisuissa käytettävät komponentit ja ratkaisumallit sekä varmistaa tietoturvan, tietosuojan ja datahallinnon periaatteiden noudattamisen. Alustalla ratkaisut dokumentoidaan huolellisesti ylläpidon ja monistettavuuden helpottamiseksi. (Solita 2023.)

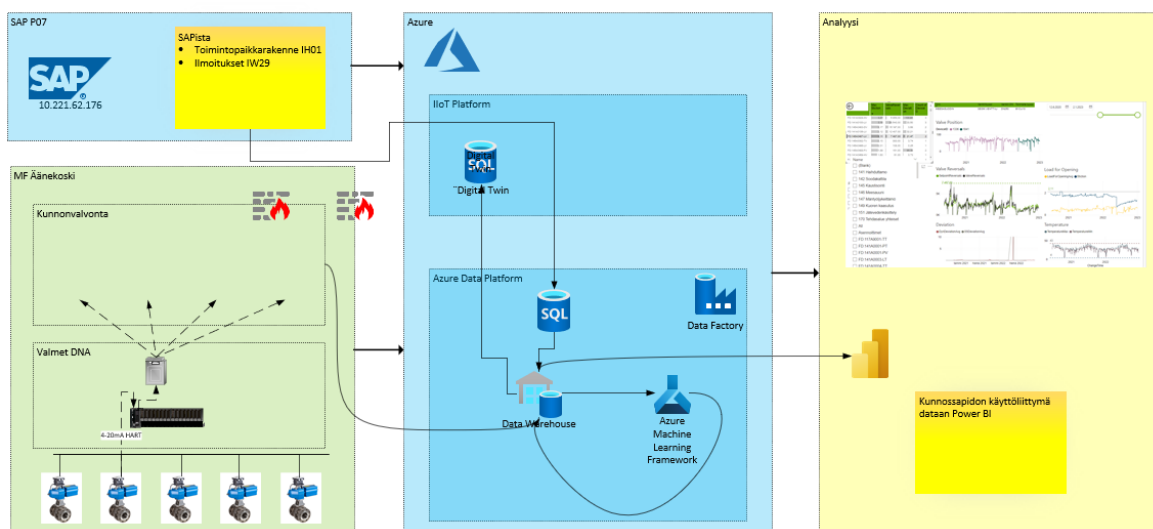
Azure on valikoitunut Metsä Groupin pilvipalvelualustaksi koska se tarjoaa sisäänrakennetut integraatio-ominaisuudet palveluiden välillä, modulaarisen arkkitehtuurin ja kyvykkyyden hallinnoida Microsoftin palveluiden lisäksi avoimen lähdekoodin ratkaisuja, standardoituja tiedonsiirtoprotokollia ja eri ohjelmointikieliä. Lisäksi Azure pilvipalveluympäristön vahvaa osaamista on laaja-alaisesti saatavilla Metsä Groupin yhteistyökumppaniverkostosta.

Data & Analytics Platformin lisäksi Metsä Groupin ICT hallinnoi myös IIoT Digiplatformia, joka on alusta teollisen internetin laitteiden reaaliaikaisen tiedon keräämiseen ja jakamiseen sekä digitaalisten kaksosten ylläpitämiseen. (Solita 2023.)

5.2 Käytettävät komponentit

Säätöventtiileiden kunnonvalvontatyökalu toteutettiin Metsän ”Data & Analytics Platform” -alustalla. Tarvittavien komponenttien valintaprosessi aloitettiin olemassa olevien komponenttien teknologian ja käytössä olevien tiedonsiirtoprotokollien kartoituksella. Kartoituksen jälkeen arvioitiin lähdedatan monimuotoisuus ja soveltuvuus analyysitulosten visualisoitavuuteen ja algoritmeille sekä esisuunniteltiin tarvittavat mallinnustarpeet datalle. Arvioinnin tulosten pohjalta valittiin tarvittavat komponentit, ja valintaa tarkennettiin myöhemmin, kun datan ja visuaalisuuden tarpeet selventyivät. Komponenttien valinnassa ohjasivat myös vahvasti aikaisemmat digitalisaatiohankkeet, sillä kunnossapitojärjestelmän data oli tuotu jo alustalle aikaisempiin raportointitarpeisiin ja diagnostiikkadatan siirtoon oli rakennettu vastaava järjestely, joka oli helposti monistettavissa.

Kartoituksen tulos dokumentoitiin karkeasti Microsoft Visio työkalulla. Valintaprosessin edessä dokumentti kehittyi ratkaisun arkkitehtuurikuvaksi (kuvio 29).



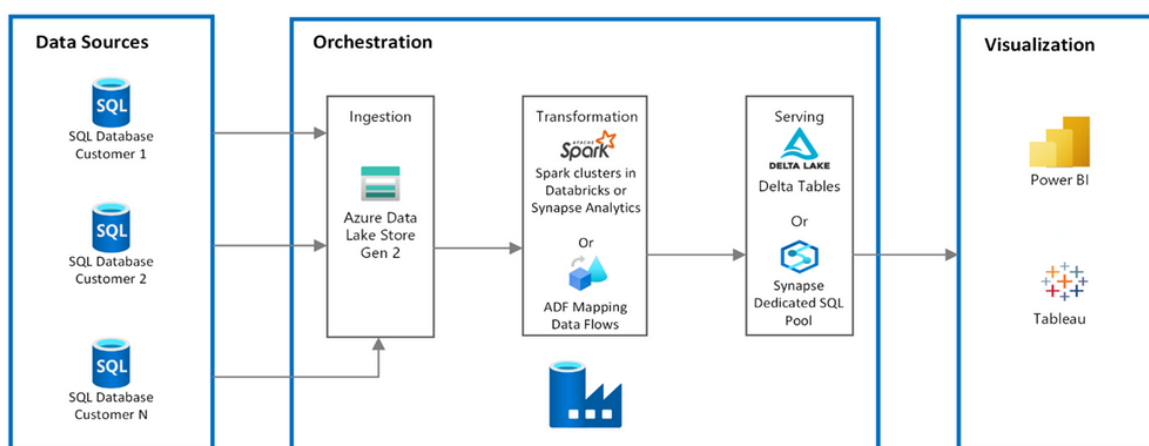
Kuvio 29. Arkkitehtuurikuva

5.2.1 Datin siirto ja käsittely

Datankäsittelyssä ensimmäinen käytetty palvelu Azuressa on Data Factory. Palvelua käytettiin kunnonvalvonta- ja SAP-datan siirtämiseen Azure ympäristöön.

Data Factory on integraatiopalvelu Azure pilvipalveluympäristössä, jonka avulla hallinnoidaan datan siirtämistä ja jatkojalostamista lähdejärjestelmistä kohdejärjestelmiin (Microsoft

a). Azure Data Factoryn avulla voi rakentaa dataputket, toteuttaa ajastukset ja ylipäättään suorittaa tarvittavat kuvion 30 mukaiset ETL/ELT-prosessin vaiheet. Data Factoryn perustoiminto, datan kopiointi, on yksinkertainen ja tehokas työkalu. Sen avulla dataa voi hakea monissa eri muodoissa ja monista eri lähteistä sekä toimittaa eteenpäin seuraavaan vaiheeseen. Välissä dataa voidaan myös esikäsitellä jatkokäsittelyn helpottamiseksi. (Lumijärvi 2018.)



Kuvio 30. Mallisuoritus Data Factoryn käytöstä ETL prosessissa (Microsoft Tech Community 2022)

Azure Data Factory palvelun avulla voidaan myös hallinnoida muita Azuren palveluita kuten Databricks, Azure SQL ja Azure SQL Data Warehouse datan käsittelyn tukena. (Microsoft a.) Data Factoryn dataputket ovat JSON-pohjaisia dokumentteja, joita luodaan graafisella käyttöliittymällä. Dataputkessa datan käsittelyn vaiheet ketjutetaan sekvenssiksi, joka suorittaa tarvittavat toimenpiteet järjestyksessä halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. (Microsoft a.)

Tyypillisen dataputken vaiheet ovat yhdistäminen ja keräys, muunnos ja rikastus sekä julkaisu. Yhdistämis- ja keräysvaiheessa Data Factory palvelu yhdistyy lähdetietoihin ja kerää määritellyt tiedot seuraavaa vaihetta varten. Muunnos- ja rikastusvaiheessa dataa voidaan puhdistaa, yhdistellä ja käsitellä tarpeiden mukaisesti Data Factoryn tai muiden Azuren palveluiden avulla analyysi- ja raportointitarpeille sopivaksi. Julkaisuvaiheessa Data Factory julkaisee käsitellyt tiedot kohdejärjestelmään, esimerkiksi Azure SQL tietokantaan. Kun dataputki on julkaistu, sen toimintaa voidaan seurata Data Factoryn käyttöliittymästä ja logien avulla. (Kanjilal 2022.)

Tässä sovelluksessa tietojen haku lähteistä ja siirto kohdejärjestelmään eli Azure SQL tietokantaan tehdään ajastetusti Data Factoryllä kerran vuorokaudessa. Diagnostiikan

visualisointiin ja analysointiin päivittäinen päivityssykli koettiin riittäväksi, koska analysointiakin tehdään tyypillisesti päivittäin.

5.2.2 Datan tallennus ja mallinnus

Data & Analytics Platform alustalla tiedon varastointiin käytetään Datalake ratkaisua, joka on kustannustehokas datan versiointiin ja historiointiin. Datalakeen voidaan tallentaa lähes kaikkea organisaatiossa syntyvää joustavasti eri rakenteissa ja tiedostomuodoissa. Strukturoidun tiedon tallentamiseen käytettävä Data Warehouse -ratkaisu perustuu Azure SQL tietokantaan.

Azure SQL mahdollistaa suurten tietomäärien käsittelyn ja analysoinnin Azure pilviympäristössä. Azure SQL:n käyttö perustuu pitkälti MS SQL Serveriin, joten käyttö on yhdenmukainen verrattuna on-premise MS SQL Serveriin. Azure SQL:ssä on mahdollista säätää dynaamisesti tietovaraston kokoa ja nopeutta datavaraston tarpeiden mukaiseksi. Azure SQL integroituu saumattomasti muihin Azure pilvipalveluihin, kuten Power BI, Azure Data Factory ja Databricks. Azure SQL sopii data warehouse-ratkaisuksi, koska se on nopea joustava ja turvallinen. (Microsoft 2018.)

Säätöventtiileiden diagnostiikan analysointisovelluksen datan mallinnusosuus tehtiin pääosin Azure SQL tietokannassa SQL-tietokannan näkymien avulla. Azure SQL tietokannassa jalostettua ja rikastettua data on mahdollista käyttää useissa eri sovelluksissa. Näin lähdedata saatiin yhdellä kertaa sovitettua visualisointien ja koneoppimismallin tarpeisiin.

SQL-näkymissä kunnonvalvonnan laitetietokanta ja SAP PM-kunnossapitomodulin laitetiedot yhdistettiin visualisoitavaan muotoon. Lisäksi kunnonvalvonnan diagnostiikan aikasarjadata jäseneltiin ja linkitettiin laitetietokantaan kerrostamalla näkymiä halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Tässä sovelluksessa kunnonvalvonnan datamäärät ovat huomattavia ja hajautettuna useisiin tauluihin. Datan esikäsittelyn painottamisella SQL -näkyymiin saatiin Azure SQL:stä Power BI tietomalliin siirrettävän datan määrää pienennettyä huomattavasti. Lisäksi useat datan mallinnustarpeet oli tehokkaampaa tehdä SQL-kyselyillä Power BI -työkalujen sijasta. Lisäksi huolellisesti Azure SQL-tietokannassa esikäsitelty data oli suoraan käytettävissä myös koneoppimismallien käyttöön.

5.2.3 Tiedon visualisointi

Kun kunnonvalvonnan ja kunnossapitojärjestelmän raaka lähdedata on jalostettu tiedoksi, on se muutettava visuaaliseen muotoon päätöksenteon tueksi. Azure alustalla käytetään tähän Power BI -komponenttia. Power BI on niin kutsuttu Business Intelligence -työkalu, mutta sitä voidaan soveltaa myös diagnostiikkadatan esittämiseen.

Power BI on Microsoftin tarjoama ohjelmistokokonaisuus, joka mahdollistaa erilaisten tietolähteiden esittämisen visuaalisissa ja interaktiivisissa näkymissä. Power BI Desktop on työpöytäsovellus näkymien suunnitteluun ja datan jalostamiseen näkymille sopiviksi. Power BI Desktop työkalulla luodut raportit julkaistaan Microsoftin pilvipalveluun, josta ne ovat organisaation käytettävissä WEB-selaimella. Raporttien käyttöoikeudet ovat hallittavissa kuten muissakin Microsoftin palveluissa. Power BI Desktop työpöytäsovelluksessa käytetään tietojen käsittelyyn Power Queryn ja DAX-kielen työkaluja lähdetietojen muokkaamiseen ja analysointiin. Power Query on tietojen haku- ja mallintamistyökalu tietojen tuomisen eri lähteistä, kuten SQL Serveristä, ja niiden muokkaamisen haluttuun muotoon. DAX on tietojen analysointikieli, jolla tehdään laskentaa ja logiikkaa sisältävien kaavojen avulla, jotta data muokataan visualisointiin sopivaksi. DAX kieltä käytetään luomaan mittareita, hierarkioita, suodattimia ja muita toimintoja, jotka tekevät raporteista interaktiivisia ja informatiivisempia. Power BI raportit voidaan integroida SQL Server -tietokantaan joko tuomalla tietoja tai käyttämällä DirectQuery-tilaa. Tuontitilassa Power BI kopioi tiedot SQL Serveristä omaan tietomalliinsa, kun taas DirectQuery-tilassa Power BI lähettää käytettäessä kyselyt suoraan SQL Serverille ja näyttää tulokset reaaliajassa. (Microsoft 2023c.)

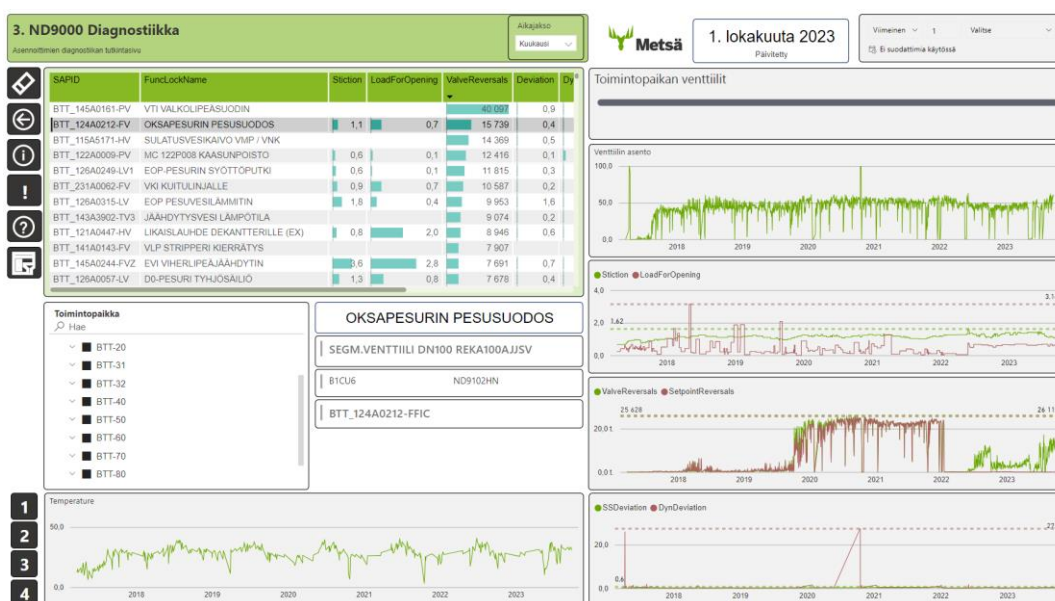
Power BI valikoitui säätöventtiileiden diagnostiikan esittämiseen, koska se integroituu luontaisesti Azure ympäristöön. Lisäksi Power BI raportteja käytetään laajasti Metsä Groupin eri toiminnoissa, joten niiden käyttö ja suunnittelu on tuttua organisaatiossa. Power BI Desktop työkalu on käyttäjäystävällinen ja hyvin dokumentoitu, ja soveltuu siten hyvin datanmallintajan ja visualisoijan tarpeisiin.

Visualisointien suunnittelussa ohjaavana tekijänä oli käyttöliittymän muotoilu mahdollisimman yksinkertaiseksi ja selkeäksi. Säätöventtiileiden diagnostiikkadatan analysointi ja poikkeamantunnistus silmällä vaatii harjoittelua, siksi visualisointien monimutkaisuus ei palvele tarkoitustaan. Visualisointien sijoittelu näkymissä suunniteltiin siten, että tärkeimmät visualisoinnit asetettiin näkyvimmälle paikalle ja tarvittaessa kevyesti värillä korostaen.

Käyttöliittymään valittu värimaailma ja yleisilme noudattaa Metsä Groupin yhtenäistä visuaalista linjaa. Visuaalisen yleisilmeen yksinkertaisuuden vastapainona näkymissä panostettiin visualisointien dynaamisuuteen. Yksittäisten näkymien rakenteen kantavana ajatuksena oli, että venttiileiden diagnostiikkadatan analysointi onnistuu yhdestä näkymästä ilman turhiksi koettuja porautumishyppyjä toisiin näkymiin tai raporteihin. Myös turhia kustomoituja tooltippejä vältettiin, koska visuaaliseen analyysiin tarvittava data haluttiin selkeästi esillä oleviin kuvaajiin ja visualisointeihin. Tämän kantavan ajatuksen haasteena oli mahdollistaa näkymiin tarvittava määrä visualisointeja ja dataa siten, että kuvaajien tarkkuus riittää visuaaliseen poikkeamien tunnistukseen. Toteutuksessa apuna käytettiin visualisointien

dynaamista piilottamista ja näyttämistä kirjanmerkkien (bookmark) avulla. Kirjanmerkkejä soveltavasti hyödyntämällä Power BI näkymiin on tehtävissä käyttöliittymäisiä ominaisuuksia perinteisiin raporttinäkymiin verrattuna. Kirjanmerkeillä käyttäjälle voidaan luoda illuusio avautuvista valikoista ja dynaamisista kuvaajista, vaikka taustalla on päällekkäisten visualisointien dynaaminen piilottaminen ja näyttäminen. Tällä teknologialla näkymistä voidaan piilottaa toiminnallisuuden kannalta toissijaisia asioita valintanapeilla, pois näyttöpinta-alaa viemästä analyysin kannalta tärkeämmiltä visualisoinneilta.

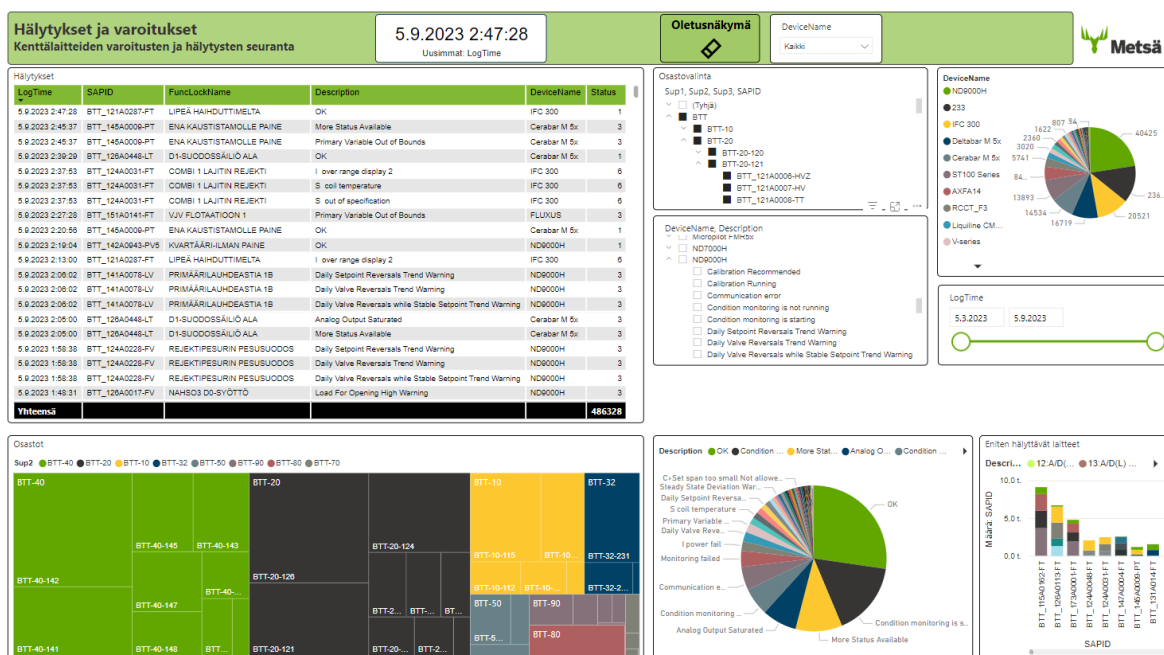
Venttiilidiagnostiikan visuaaliseen analysointiin ja poikkeaman tunnistukseen käytettävässä näkymässä (kuvio 31) ytimessä on taulumuotoinen selain, jossa on sarakkeina diagnostiikan tärkeimmät arvot. Avainarvojen valinta vastaa pitkälti ND9000 DTM:n venttiilitimantin muuttujia. Venttiilit voidaan järjestää halutun avainarvon mukaan huonousjärjestykseen. Järjestelyyn vaikuttava aikajänne on valittavissa viimeiseksi viikoksi, kuukaudeksi, puoleksi vuodeksi, kokonaiseksi vuodeksi tai koko kunnonvalvonnassa olevaan historiaan. Valinnan aikajänne tarkoittaa taajuutta, jolla analysoija haluaa tehdä analyysiä. Taulukkomuotoisen selaimen sarakkeiden solujen visualisoinnissa käytetään "databar"-tyyppistä visualisointia, jonka tarkoituksena on kuvastaa yksittäisen arvon suhdetta niin toisiin venttiileihin ja venttiilin muihin avainarvoihin. Tämä on ensimmäinen merkittävä visualisoinnilla saavutettu hyöty. Taulukkomuotoisessa selaimessa voidaan jo silmällä poimia poikkeamia massasta. Poikkeamien tunnistuksen tarkkuus paranee, kun selaimen suodatetaan esimerkiksi vain palloventtiilit DN100-200 koossa. Näin valituilla venttiileillä on mahdollisimman samanlaiset fyysiset ominaisuudet, jotka vaikuttavat avainarvojen suuruusluokkaan. Osastosuodattimella kukin käyttäjä voi valita analyysiin vain oman osastonsa venttiilyhdistelmät ja keskittyä niiden analysointiin.



Kuvio 31. Venttiilidiagnostiikan data visualisoituna Power BI työkalussa

Kun taulukkomuotoisesta venttiiliselaimesta valitaan analysoitava venttiili, kyseisen venttiilin analysoitavat arvot esitetään näkymän aikasarjatrendeissa. Kun arvot esitetään aikasarjana, on mahdollista arvioida kyseisen avainarvon kehitystä ajan funktiona, ja siten havainnoida kehittyviä muutoksia. Samalla on mahdollista havainnoida riippuvuuksia avainarvojen kesken. Arvojen suuruusluokan ja kehityksen arvioinnissa on tärkeä tuntee venttiilin mekaaninen rakenne ja koko sekä virtaava väliaine. SAP PM-järjestelmän toimintopaikkarakenteesta haettu venttiilin ja toimilaitteen tyyppi ja koko näytetään tekstinä omassa visualisoinnissa. Toimintopaikan nimiteksti kertoo käyttäjälle kohteen ja virtaavan väliaineen, joka auttaa analysoinnin onnistumisessa. Aikasarjatrendien pituutta voi säätää lyhyemmäksi ja katsoa tarkemmin esimerkiksi viimeisen vuoden kehitystä.

Työn edetessä tuli tarve analysoida aikasarjatyyppisten diagnostiikkatietojen lisäksi myös kenttälaitteiden hälytyshistoriaa (kuvio 32). Hälytyshistoria on kenttälaitteen itsediagnostiikan muodostamia aikaleimattuja hälytystietoja, jotka kertovat kenttälaitteen tilasta ja suorituskyvystä. Säätöventtiileillä hälytystietoja ovat esimerkiksi liikemäärälaskureiden raja-arvon ylityksiä, stiction tai load for opening antureiden korkeita arvoja. Asennoittimen diagnostiikka osaa myös ilmoittaa mm. venttiilin jumittamisesta, venttiilyhdistelmän pneumaattikavuodoista ja kalibrointitarpeesta.



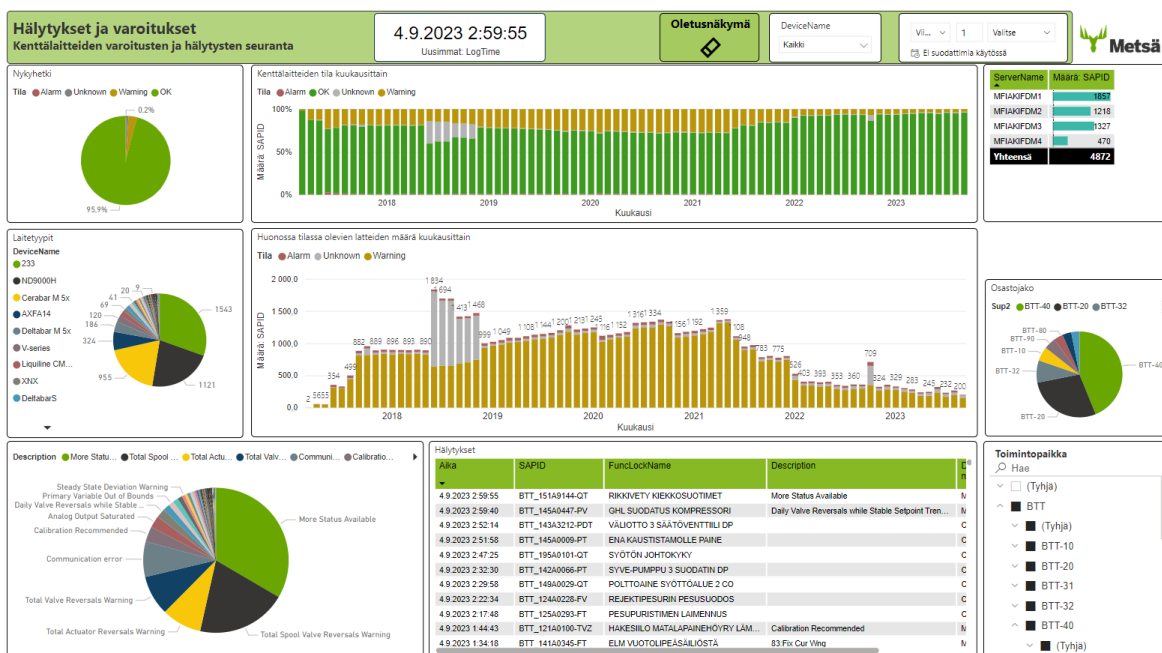
Kuvio 32. Kenttälaitteiden hälytysten analysointiraportti

Hälytyshistoria kattaa säätöventtiileiden lisäksi myös mittalaitteiden, kuten paine, virtaus, lämpötila ja pH-mittauksien hälytykset. Mittauksilla itsediagnostiikka painottuu hälytyksiin ja tilatietoihin, joita massana analysoitaessa voidaan parantaa myös mittausten luotettavuutta. Mittauksien kunnonvalvonnalla ei tyypillisesti saada niin suurta hyötyä kuin

säätöventtiileillä, johtuen mittausten yksinkertaisemmasta rakenteesta ja vaihtelevasta toimintaperiaatteesta ja vikaantumismekanismeista. Mittauksien kunnonvalvonnan osalta tärkeämpää on havainnoida yleiskuntoa hälytysten kautta, ja poimia systemaattisia ongelmia kenttälaitetyypeittäin. Kunnonvalvonnan hälytystietojen visualisointi palvelee myös säätöventtiileiden diagnostiikkaa. Hälytyksiä analysoimalla päästään helposti kiinni systemaattisiin ongelmiin, jopa tehtaiden välillä.

Kenttälaitteiden itsediagnostiikan hälytyksiä visualisoidaan listamuotoisena hälytyslistana, joka sisältää aikaleiman, laitteen positiotunnuksen, toimintopaikan nimen, hälytyksen selitteen ja laitetyypin. Hälytyslistaa on mahdollista suodattaa em. sarakkeiden mukaisesti. Näin on mahdollista keskittyä esimerkiksi pelkästään säätöventtiileiden jumituksien tai pneumaattikkavuotojen analysointiin. Lisäksi näkyvässä visualisoidaan eniten hälytyttävät toimintopaikat, laitetyypit ja hälytystyypit. Myös hälytysten jakauma tehtaan osastoittain visualisoidaan, joka kertoo hälytysten kohdentumisesta kullekin osastolle. Kenttälaitteiden kunnonvalvontajärjestelmän web-käyttöliittymässä on pelkästään saatavilla hälytyslista aikaleiman mukaan toimintopaikoittain, mutta ei mitään edellä mainittuja suodatusominaisuuksia tai visualisointeja. Näiden suodatusten ja visualisointien avulla käyttäjä saa nopeasti kattavan kuvan oman osastonsa kenttälaitteiden tilasta, ja voi tarvittaessa pureutua ongelmiin ennakoivasti.

Lisäksi hälytyshistoriaan tehtiin kuvion 33 mukainen kuukausittainen kehitysseurantareportti. Tässä raportissa seurataan ja suodatetaan samoja asioita kuin hälytysseleimessä, mutta käännetään visualisointien näkökulma kuukausittaiseksi aikasarjaksi. Näin on mahdollista analysoida kenttälaitteiden kunnonvalvonnan hälytysten ja varoitusten kehityssuuntaa. Hälytyksiä suodattamalla on mahdollista myös suodattaa lista aktiivisista hälytyksistä laite ja hälytystyyppittäin. Näin muutamalla klikkauksella on haettavissa esimerkiksi lista kalibroitivista venttiileistä, joka ennen oli usean tunnin manuaalinen työ.



Kuvio 33. Hälytysten kuukausiseuranta

5.2.4 Poikkeamantunnistus

Visualisoinnin ohella työssä kehitettiin säätöventtiileiden vikojen tunnistamista koneoppimismallien avulla. Koneoppimismalleilla voidaan tehostaa poikkeamantunnistusta verrattuna ihmisen visualisoidun datan perusteella tekemään analyysiin. Koneoppimismalleilla voidaan käsitellä suuria tietomääriä automatisoidusti ilman ihmisen jatkuvaa ohjausta. Koneoppimismallit koulutetaan olemassa olevalla datalla ja parametroidaan vastaamaan mahdollisimman hyvin ennalta syötettyihin lajitteluihin, tässä tapauksessa venttiileiden vikaantumisesta.

Koneoppimismallien kehitys ja koulutusympäristönä käytettiin Azuren Databricks komponenttia, joka tarjoaa ympäristön erilaisten datalähteiden analysointiin, jalostamiseen ja visualisointiin. Azure Databricks perustuu avoimen lähdekoodin Apache Spark -analytiikkamoottoriin. Azure Databricksissä on notebook-ympäristö (kuvio 34) eri ohjelmointikielien kuten Python ja SQL soveltamiseen.



Kuvio 34. Koneoppimismallien testaus Databricksin notebook-ympäristössä

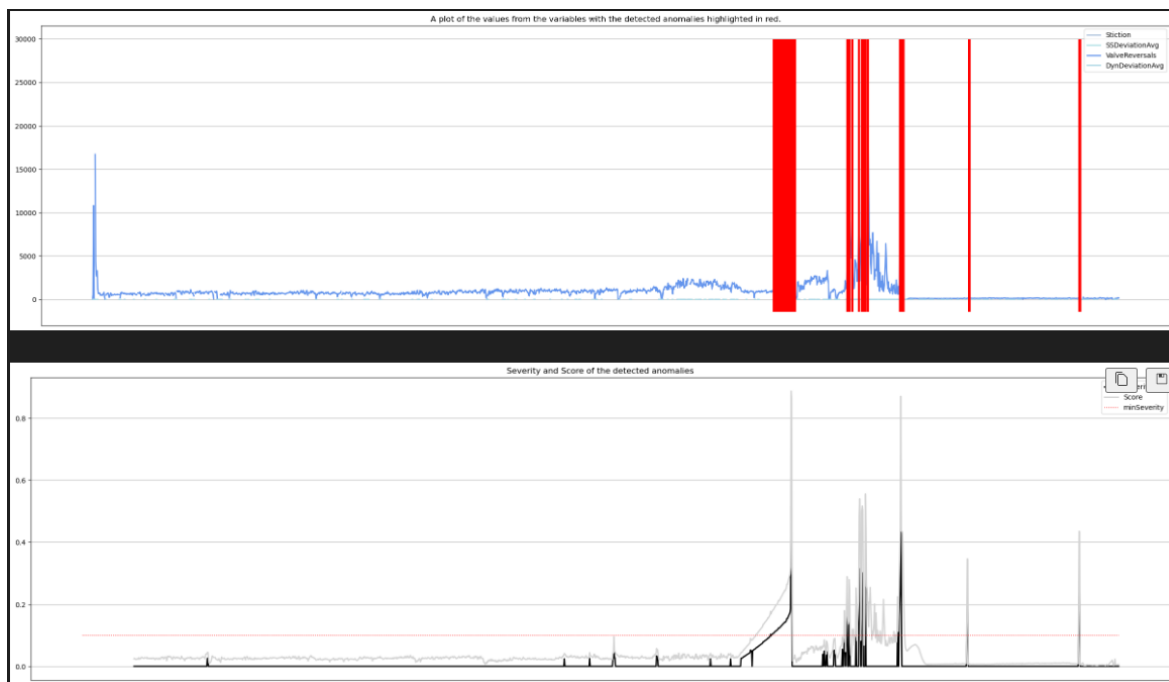
Pääpaino koneoppimismallien soveltamisessa oli tutkimuksessa ja eri mallien soveltuvuuden testaamisessa säätöventtiileiden diagnostiikan analysointiin. Ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin luokittelumallien soveltuvuutta kunnonvalvonnan diagnostiikkadatalle. Mallintamisessa esikäsitellylle diagnostiikkatiedolle laskettiin KPI-arvoja aikasarjadataan viimeisimmistä arvoista ja arvojen muutosnopeudesta aikasarjadataan yksinkertaistamiseksi luokittelumalleille sopivaksi. Venttiileiden diagnostiikkahistoriasta rajattiin mallien soveltuvuuden testaamiseen kokonaisuus, johon luokiteltiin venttiilit hyviin ja huonoihin huoltohistorian perusteella. Data jaettiin train ja test osioihin ja testattiin muun muassa logistisen regressio, ML flow algoritmien soveltuvuutta valitun kunnonvalvontahistorian luokitteluun. Mallien hyvyttä arvioitiin mm. tulosten confusion matrixien avulla. Samalla testattiin koneoppimismallien tulosten vientiä visualisointien rinnalle Power BI käyttöliittymään.

Valittujen luokittelumallien lisäksi testattiin Azure Databricksin AutoML funktiota, joka ajaa automaattisesti useita erilaisia algoritmeja ja parametreja rinnakkain ja pisteyttää eri

algoritmit onnistumisen mukaiseen järjestykseen. Tuloksista voi valita parhaan vasteen antavan algoritmin ja jatkokehittää mallin toimintaa parametroimalla ja laajentamalla analysoitavaa datamäärää. (Microsoft 2023b.)

Luokittelumallien lisäksi testattiin Azure AI Anomaly Detector komponenttia, joka on suunniteltu poikkeamantunnistukseen aikasarjasta. Anomaly Detector on rajapinta Azuren palveluun, joka ottaa vastaan aikasarjoja csv-muodossa, ja osaa tunnistaa ja merkitä poikkeamat aikasarjasta halutun parametroinnin mukaisesti. Anomaly Detectorilla on kaksi toimintamallia, Univariate ja Multivariate. Univariate tunnistaa poikkeamia yhdestä aikasarjan muuttujasta aikaisemman muutoshistorian huomioon ottaen. Multivariate tunnistaa poikkeamia useamman muuttujan aikasarjasta, ja osaa ottaa huomioon muutoshistorian lisäksi muuttujien keskinäiset riippuvuudet ja suhteet. Multivariate Anomaly Detectorin taustalla on Graph Attention Network neuroverkkoalgoritmi. (Microsoft 2023a.)

Tässä työssä testattiin Multivariate Anomaly Detectoria syöttämällä algoritmilte vikaantuneen venttiilin diagnostiikkahistoria avainmuuttujien osalta. Tuloksissa (kuvio 35) algoritmi antaa poikkeamien aikaleimojen lisäksi myös poikkeamalle pisteytyksen, joka kuvaa poikkeaman merkittävyyttä aikasarjassa. Algoritmi myös pisteyttää syötetyt muuttujat sen mukaisesti, kuinka suuri merkitys kyseisellä muuttujalla on poikkeaman havaitsemisessa. Algoritmin antamat tulokset olivat loogisia ja korreloivat varsin hyvin ihmissilmin tehtyyn analyysiin.



Kuvio 35. Anomaly Detector poikkemantunnistuksen lopputulos

6 Yhteenveto

6.1 Lopputuloksen arviointi

Metsä Fibren Äänekosken biotuotetehtaalla diagnostiikkadataan perustava säätöventtiilianalyysi on osoittanut kyvykkyytensä ja siirtänyt säätöventtiileiden kunnossapidon ”tulipalojen sammuttelusta” ennakoivan toiminnan kautta ennustavaan kunnossapitoon. Säätöventtiileistä johtuvia alasajoja ei ole ollut analyysityökalun käyttöönoton jälkeen, koska venttiilihuollot on pystytty tekemään mahdollisimman laajasti vuosihuoltoseisokeissa. Myös ylittävät säätöventtiileistä johtuvat prosessihäiriöt ovat vähentyneet merkittävästi. Säätöventtiileistä johtuvia häiriöitä ei voida kokonaan estää tämänkään työkalun avulla, mutta riskin todennäköisyyttä voidaan vähentää merkittävästi.

Äänekosken sellutehtaalla oli tiedostettu, että kenttälaitteiden kunnonvalvontajärjestelmän web-pohjainen käyttöliittymä ei aikaisemmin palvellut tarkoitustaan ja järjestelmään tallentuneen historiatiedotkin sen vahvistavat. Ennen tämän työkalun käyttöä kenttälaitteista oli hälytyksellä tai varoituksella lähes 30 %, eikä kunnossapidolla ollut työkaluja tai tarvittavia resursseja etsiä huonoja laitteita isosta laitekannasta. Kunnonvalvontadatan lajittelun ja luokittelun myötä viat saatiin käsittelyyn, ja kenttälaitteiden parametroinnilla ja diagnostiikkaa korjaamalla hälytyksellä ja varoituksella olevien laitteiden määrä pudotettiin alle viiteen prosenttiin. Tämä on tavoitetaso, jonka alapuolella hälytyksellä ja varoituksella olevien laitteiden määrä on hallittavissa kunnossapidon resursseilla. Tämän lisäksi säätöventtiileitä kulluttava turha liike on pudonnut työn tuloksena keskimäärin viidesosaan, joka tarkoittaa karkeasti viisinkertaista elinikää venttiilin komponenteille. Diagnostiikan visuaalinen analysointi myös ohjaa suunnitelmallista elinkaaren hallintaa, kun ennakoivat venttiilin vaihdot voidaan painottaa kovalla kulutuksella oleviin kriittisiin kohteisiin.

Diagnostiikan visuaalinen analysointi on nostanut esiin useita venttiileitä, jotka ovat huonolla toiminnallaan häirinneet prosessia, ja siten aiheuttaneet laatupoikkeamia prosessiin ja lopputuotteeseen. Venttiilin uudelleenmitoituksella ja huollolla nämä kohteet on korjattu. Metsä Fibren sellutehtailla käytössä oleva venttiilitoimittajan tarjoama varastointi ja vaihtolaittepalvelu on havaittu hyvin soveltuvaksi aktiivisen diagnostiikan valvonnan kanssa, koska vaihtolaite on nopeampi ja resurssitehokkaampi ratkaisu kuin venttiilin huoltaminen takaisin samaan kohteeseen. Näin kynnyksien alkavienkin vikojen korjaamiseen on matala.

Säätöventtiileiden analyysityökalu valmistui suunnitellussa aikataulussa ja lähes alkuperäisen suunnitelman mukaisesti. Työkalua varten suunniteltu datamalli osoitti joustavuutensa, muutokset laitekannassa skaalautuivat automaattisesti myös käyttöliittymään. Kunnonvalvonnan diagnostiikkatietojen siirrossa pilvipalveluun ja käyttöliittymän näkymiin ei havaittu

puutteita koekäyttöjakson aikana. Loppukäyttäjien ensikokemukset työkalun käytettävyydestä olivat rohkaisevia.

Opinnäytetyölle asetettuihin tutkimuskysymyksiin saatiin vastaukset, ja jälkikäteen analysoituna tutkimuskysymysten asettelussa onnistuttiin myös hyvin. Tutkimuskysymysten asettelulla oli positiivinen vaikutus opinnäytetyön rajaamisessa koko prosessin aikana. Tämä opinnäytetyö on laaja-alainen ja siksi aiheen rajaaminen tarkasti oli tärkeää.

Opinnäytetyö toteuttaa suunnittelutieteellisen tutkimusmenetelmän määritelmän, toisin sanoen tässä työssä tieteellistä tutkimustietoa sovellettiin käytäntöön. Suunnittelutieteellisen tutkimuksen mukaisesti tässä työssä kehitettiin alusta loppuun palvelu, joka vastaa toimintaympäristön tarpeisiin hyvin. Kehitystyö myös perustui tietopohjaan eli tieteellisiin teorioihin ja metodeihin sekä aikaisempaan asiantuntemukseen ja osaamiseen. Kehitystyön perustana toimi myös intohimo insinööriyöhön, joka ei sinänsä kuulu suunnittelutieteellisen tutkimusmenetelmän määritelmään, mutta oli kantavana voimana opinnäytetyöprosessissa.

Edistyneidenkin työkalujen kanssa on tärkeää huomioida, että ne yksin eivät estä vaurioita tai paranna prosessien laatua. Analyysityökalut vaativat asianmukaista ja jatkuvaa käyttöä sekä analyysin pohjalta tehtyjä toimenpiteitä, jotta niiden potentiaali saadaan ulosmitattua parantuneena tuotantotehokkuutena. Toisaalta on myös hyväksyttävä, että prosessit ja laitteet saattavat tuottaa äkillisiä yllätyksiä, joita edistyneetkään analyysityökalut eivät saa kiinni.

7 Pohdinta

7.1 Haasteet

Kehitysprojektin aikana Metsä Fibren sellutehtaiden SAP-järjestelmä oli muutosten keskellä. Takana oli kunnossapidon sisäistyksen takia toteutettu SAP-järjestelmän siirto kunnossapito-yhtiön järjestelmästä samaan ympäristöön tuotanto-organisaation kanssa. Tämä siirtymä ei onnistunut kunnossapidon näkökulmasta moitteettomasti, sillä kaikki kunnossapidolle tärkeä data ei siirtynyt järjestelmästä toiseen. Siirtymättä jäivät muun muassa valtaosa kunnossapidon ja tuotannon häiriö- ja toimenpideilmoitusten seurattavuuden kannalta hyödyllisistä tekstikentistä. Koska lähdejärjestelmässä oleva tieto ei ollut täydellistä, säätöventtiileiden diagnostiikan analysointijärjestelmään suunnitellut venttiileiden toimintopaikkakohtaiset häiriö- ja toimenpideilmoitukset jätettiin toteuttamatta tässä vaiheessa.

Lisäksi Metsä Fibreä koskee koko Metsä Group laajuinen tuotannon- ja kunnossapitojärjestelmän päivitysprojekti nimeltään ERP+, jossa SAP-järjestelmä päivitetään SAP S/4HANA versioon, ja yhdenmukaistetaan kaikkien Metsä Groupin toimintojen kesken samalle alustalle. Kaikilla Metsä Groupin toiminnoilla on ollut omiin toimintamalleihinsa räätälöidyt toisistaan riippumattomat SAP-järjestelmät. Tästä syystä nykyisen SAP-järjestelmän ja Azuren välille ei kannattanut rakentaa uusia integraatioita, koska niiden elinikä olisi jäänyt lyhyeksi. Toisaalta ERP+ projekti on suunnitellut SAP S/4HANA-järjestelmän alusta asti pilvinatiiviksi, joten jatkossa data ja analytiikkaratkaisuiden rakentaminen SAP datan päälle tulee olemaan nykyistä yksinkertaisempaa.

Lisäksi laitetietojen hallinnassa kunnossapitojärjestelmässä oli eroja tehtaiden välillä yhteisestä toimintamallista huolimatta. Äänekoskella ja Kemissä käytettiin tapaa, jossa varaosanimikkeet kytkettiin toimintopaikan alaisuuteen. Joutsenossa ja Raumalla käytettiin toimintopaikoille kytkettyjä laitekortteja. Molemmilla tavoilla on omat hyvät puolensa, mutta datankäsittelyn puolesta kirjavat käytännöt aiheuttavat haasteita. Metsä Groupin sellutehtailta oli aikaisemmissa datahankkeissa tuotu Azure ympäristöön laitekorttipohjaiset toimintopaikkakohtaiset laitetiedot, mutta ei varaosanimikepohjaisia laitetietoja. Siksi säätöventtiileiden diagnostiikan analysointijärjestelmän kehitysvaiheessa tyydyttiin käyttämään Äänekosken ja Kemin biotuotetehtaiden osalta Exceliin exportointia SAP-järjestelmästä. Pidemmän päälle tämä ei ole kestävä ratkaisu. Ylläpidon helpottamiseksi laitetietojen tuonti automatisoitiin mahdollisimman pitkälle Power BI:n tietomallissa. ERP+ projektin myötä laiterakenteen hallinta muuttuu erilaiseksi, mutta tehtaiden kesken yhdenmukaiseksi, joka mahdollistaa järkevän datamallin muodostamisen kunnossapitojärjestelmän ja analyysityökalun välille.

Poikkeamantunnistuksessa koneoppivan mallin avulla ei saatu riittävän hyvää korrelaatioita ihmisen tekemän analyysin kanssa, joten ominaisuus jätettiin toistaiseksi pois analyysityökalusta. Käytettävissä oleva aika käytettiin pääasiassa sopivan luokittelumallin ja sen parametroiden löytämiseksi, mutta aikasarjamuotoinen diagnostiikkatieto osoittautui hankalasti luokiteltavaksi koneoppimismallien avulla. Koneoppimismallien tutkimuksen loppuvaiheissa testattu Multivariate Anomaly Detector antoi parhaan korrelaation ihmisen tekemää analyysistä vastaan, mutta sen testaus jäi tässä aikataulussa pintapuoliseksi.

Työkalun datan mallintaminen Azure SQL tietokantaan oli tämän työn työläin ja haastavin osuus. Lähtötietojärjestelmänä olleen kunnonvalvontajärjestelmän tiedot olivat erittäin monimuotoisesti ja hajautetusti tallennettuna. Tiedon tallentamisessa oli myös käytetty useita epäloogisia käytänteitä, jotka oli rakennettava uudelleen loogiseksi kokonaisuudeksi halutun visualisoitavuuden saavuttamiseksi.

Kunnonvalvontajärjestelmässä käytettiin kenttälaitteiden tunnuksena tehdaskohtaisesti uniikkeja positiotunnuksia. Työkalun määrittelyvaiheessa suunniteltu laajennettavuus muillekin Metsä Fibren sellutehtaille ohjasi kunnonvalvonta datan mallinnuksen kriteeriksi käyttämään tehdaskohtaisten positiotunnusten sijaan SAP-järjestelmässä käytettyjä toimintopaikkatunnuksia, koska ne ovat uniikkeja myös tehtaiden välillä. Näin varmistettiin, että laitteiden positiotunnukset pysyvät uniikkeina myös tehtaiden välillä.

7.2 Jatkokehitys

Seuraavaksi analyysityökalun laitekantaa laajennetaan muille Metsä Fibren sellutehtaille. Laitekannan laajentaminen on yksinkertaista, sillä laajennustarve on huomioitu jo datan mallinnusvaiheessa. Yksinkertaisimmillaan laajentaminen tehdään luomalla oma ETL-prosessi kunkin tehtaan kenttälaitteiden kunnonvalvontaan. Samalla laajenee myös käytettävien kenttälaitteiden kirjavuus, koska vanhemmilla tehtailla on vanhempia kenttälaitteita. Laitekannan laajeneminen luo tarpeen uusille analyysinäkymille, joihin räätälöidään vanhemmille kenttälaitteille sopivia visualisointeja. Laitekannan laajentamisesta saadaan myös etua poikkeamien tunnistukseen. Sellutehtaiden prosessit ovat suurelta osin samanlaisia keskenään, joten tehtaiden osastoilla olevat säätöventtiilit ovat keskenään samankaltaisia ja samoissa olosuhteissa. Näin samoissa kohteissa olevia säätöventtiileitä tehtaiden välillä vertailemalla on mahdollista löytää poikkeamia venttiilin toimintakunnossa. Suuremmasta laitemassasta on myös helpompi löytää yhtäläisyyksiä ja poikkeamia venttiiliyhdistelmien kesken erilaisissa toimintakohteissa.

Vaikka koneoppimismalleja ei sovelleta tässä vaiheessa analyysityökalussa, on ehdottomasti järkevää tutkia ja testata niiden soveltamista säätöventtiileiden diagnostiikalle

tarkemmin. Varsinkin Multivariate Anomaly Detection algoritmi vaikutti lupaavalle poikkeamantunnistukseen. Jatkossa olisi syytä testata algoritmia muuttamalla datan syöttäminen päinvastaiseksi verrattuna testattuun toimintamalliin. Käytännössä siis siten että algoritmille syötetään data useammalta samanlaiselta säätöventtiililtä avainparametreittain ja eksaktin poikkeaman aikaleiman sijaan tutkitaan eniten poikkeamien tunnistukseen vaikuttaneiden muuttujien järjestystä. Teoriassa näin toimimalla algoritmin tuloksiin antama lista olisi järjestys venttiileistä, joilla kyseisen muuttujan käytös poikkeaa eniten muista vastavista venttiileistä. Listan kärkipäässä olisi eniten poikkeavat venttiilit, jotka vaativat lisätutkimuksia ja huoltoa.

Säätöventtiileiden diagnostiikan analysointi ja visualisointi pilvipalvelussa koettiin erittäin onnistuneeksi kehitystyöksi. Tästä innostuneena Metsä Fibren Äänekosken tehtaalla tutkitaan aktiivisesti, kuinka myös muista kunnonvalvonta- ja diagnostiikkajärjestelmistä saadaan arvokasta dataa tuotua päätöksenteon tueksi.

Lähteet

Corporate Financial Institute. 2023. Cloud Services. Viitattu 9.9.2023.

Saatavissa <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/data-science/cloud-services/>

Choudhury, M., Thornhill, N. & Shah, S. 2004. Modelling Valve Stiction. Control Engineering Practice. Vol. 12 (5). 641-658. Viitattu 1.9.2023. Saatavissa DOI

<https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2004.05.005>

Daiguji, M. & Yamashita, Y. 2022. An approach for stiction compensation in industrial process control valves. Computers & Chemical Engineering. Vol. 158. Viitattu 11.10.2023.

Saatavilla DOI <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2021.107641>

Desborough, L. & Miller, R. 2001. Increasing Customer Value of Industrial Control Performance Monitoring -Honeywell's Experience. Viitattu 14.10.2023. Saatavissa

<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:14892619>

Emerson Automation Solutions. 2019. Control Valve Handbook. Viitattu 20.8.2023.

Saatavissa <https://www.emerson.com/documents/automation/control-valve-handbook-en-3661206.pdf>

Emerson Process Management. Using butterfly valves for control. Viitattu 12.9.2023.

Saatavissa <https://www.valveuser.com/325-using-butterfly-valves-for-control.htm>

Harju, T. & Marttinen, A. 2000. Säättöpiirin virityksen perusteet. Automaatioseura. Viitattu

15.8.2023. Saatavissa https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/pid_kirja_1-1.pdf

Heinonkoski, R. 2013. Kone- ja prosessiautomaation kunnossapito. Tampere: Opetushallitus.

Johannesson, P. & Perjons, E. 2014. An Introduction to Design Science. E-kirja. Springer eBooks. Primo.

Järviö, J., Piispa, T., Parantainen, T. & Åström, T. 2007. Kunnossapito. 4 toim. Helsinki: KP-Media Oy.

Kanjilal, J. 2022. An Azure Data Factory tutorial for beginners. Viitattu 23.9.2023.

Saatavissa <https://www.techtarget.com/searchcloudcomputing/tutorial/An-Azure-Data-Factory-tutorial-for-beginners>

Kippo, A. K. & Tikka, A. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki: Edita Prima Oy.

- Konkarikoski, K. 2013. Kunnonvalvonta ja kunnossapito uudet SFS-käsikirjat kunnossapitoon. Viitattu 21.9.2023. Saatavissa <https://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Kunnonvalvonta-ja-kunnossapito-uudet-SFS-kasikirjat-kunnossapitoon>
- Lumijärvi, A. 2018. Azure Data Platform – Täyden palvelun datalogistiikkakeskus pilvessä. Viitattu 23.9.2023. Saatavissa <https://digia.com/blogi/azure-data-platform-tayden-palvelun-datalogistiikkakeskus-pilvessa>
- Manninen, J. 2023a. Mikä on kunnossapitostrategia. Aneo. Blogi. Viitattu 17.8.2023. Saatavissa <https://www.aneo.fi/fi/kunnossapito/mika-on-kunnossapitostrategia>
- Manninen, J. 2023b. Mitä on korjaava kunnossapito. Aneo. Blogi. Viitattu 17.8.2023. Saatavissa <https://www.aneo.fi/fi/kunnossapito/mita-on-korjaava-kunnossapito>
- Metsä Group a. Omistajat ja Johto. Viitattu 9.9.2023. Saatavissa <https://www.metsagroup.com/fi/metsafibre/metsafibre/omistajat-ja-johto/>
- Metsä Group b. Biotuotetehdaskonsepti. Viitattu 9.9.2023. Saatavissa <https://www.metsagroup.com/fi/metsafibre/metsafibre/biotuotetehdaskonsepti/>
- Metsä Group c. Sellun tuotanto. Viitattu 9.9.2023. Saatavissa <https://www.metsagroup.com/fi/metsafibre/metsafibre/sellun-tuotanto/>
- Microsoft Tech Community. 2022. Build metadata driven pipelines in Azure Data Factory. Viitattu 23.9.2023. Saatavissa <https://techcommunity.microsoft.com/t5/fasttrack-for-azure/build-metadata-driven-pipelines-in-azure-data-factory/ba-p/3443328>
- Microsoft. 2018. Introduction to Azure SQL Data Warehouse. Viitattu 23.9.2023. Saatavissa [https://azure.microsoft.com/mediahandler/files/resourcefiles/introduction-to-azure-sql-data-warehouse/Introduction to Azure SQL Data Warehouse.pdf](https://azure.microsoft.com/mediahandler/files/resourcefiles/introduction-to-azure-sql-data-warehouse/Introduction%20to%20Azure%20SQL%20Data%20Warehouse.pdf)
- Microsoft. 2023a. Anomaly Detector API Documentation. Viitattu 23.9.2023. Saatavissa <https://learn.microsoft.com/en-GB/azure/ai-services/anomaly-detector/>
- Microsoft. 2023b. What is automated machine learning (AutoML). Viitattu 9.9.2023. Saatavissa <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/concept-automated-ml?view=azureml-api-2>
- Microsoft. 2023c. What is Power BI. Viitattu 14.10.2023. Saatavissa <https://learn.microsoft.com/en-us/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>
- Microsoft a. Azure Data Factory documentation. Viitattu 23.9.2023. Saatavissa <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/data-factory/>

Microsoft b. What is Azure. Viitattu 9.9.2023. Saatavissa <https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-azure/>

Patwardhana, R. S., Bakri, T., Al-Anazi, F. & Schroeder, T. J. 2014. Managing the Performance of Control Loops with Valve Stiction: An Industrial Perspective. Hiroshima: Adcon.

Paulonis, M. & Cox, J. W. 2003. A practical approach for largescale controller performance assessment, diagnosis, and improvement. Journal of Process Control. Vol. 12 (8). 155-168. Viitattu 10.10.2023. Saatavissa DOI [https://doi.org/10.1016/S0959-1524\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0959-1524(02)00018-5)

Peters, S. 2016. WHEN CAN BUTTERFLY VALVES BE USED AS CONTROL VALVES?. Blogi. Crane Engineering. Viitattu 12.9.2023. Saatavissa <https://blog.craneengineering.net/when-can-butterfly-valves-be-used-as-control-valves>

Pulli, M. 2018. Virtaustekniikka. 3. painos. Tampere: Tammertekniikka.

Shinskey, F. G. 1990. How good are our controllers in absolute performance and robustness. Measurement and Control. Vol. 23 (4). 114-121. Viitattu 14.10.2023 Saatavissa DOI <https://doi.org/10.1177/002029409002300402>

Ruel, M. 2000. Stiction: The hidden menace. Control Magazine. Viitattu 14.10.2023 Saatavissa https://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/instrumentation/STICTION.pdf

SKF. Kunnonvalvontajärjestelmät. Viitattu 21.9.2023. Saatavissa <https://www.skf.com/fi/products/condition-monitoring-systems>

Solita. 2023. Metsä Group Data & Analytics Training Material. Metsä Group.

Thornhill, N., Huang, B. & Zhang, H. 2003. Detection of multiple oscillations in control loops. Journal of Process Control. Vol 13 (1). 91-100. Viitattu 14.10.2023 Saatavissa DOI [https://doi.org/10.1016/S0959-1524\(02\)00007-0](https://doi.org/10.1016/S0959-1524(02)00007-0)

Valmet Flow Control. 2022a. Installation, maintenance and operation manuals, series B1C. Viitattu 1.9.2023. Saatavissa <https://www.valmet.com/globalassets/sharepoint/imported/6bc71fi.pdf>

Valmet Flow Control. 2022b. Älykäs venttiiliohjain. Asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet. Viitattu 14.9.2023. Saatavissa <https://www.valmet.com/globalassets/sharepoint/imported/7nd9071fi.pdf>

Valmet Flow Control. 2022c. Flow Control Manual. Viitattu 31.8.2023. Saatavissa https://www.valmet.com/globalassets/sharepoint/imported/flowcontrol_manual.pdf

Valmet Flow Control. 2022d. Technical bulletins, M1 series. Viitattu 14.10.2023. Saatavissa <https://www.valmet.com/globalassets/sharepoint/imported/1m120en.pdf>

Valmet Flow Control. 2022e. Technical bulletin, Neles™ V-port segment valve RA-series. Saatavissa <https://www.valmet.com/globalassets/sharepoint/imported/3r21en.pdf>

Valmet Flow Control. Neles ND9000H DTM Manual.

Valmet. 2018. Metsä Groupin biotuotetehtaan prosessien virtaukset hallitaan Neleksen optimoiduilla venttiiliratkaisuilla ja -palveluilla. Viitattu 3.9.2023. Saatavissa <https://www.valmet.com/fi/insights/artikkelit/virtauksensaato/metsa-groupin-biotuotetehtaan-prosessien-virtaukset-hallitaan-neleksen-optimoiduilla-venttiiliratkaisuilla-ja--palveluilla/>

Valmet a. Neles™ butterfly valve, series L1 and L2. Viitattu 22.9.2023. Saatavissa <https://www.valmet.com/flowcontrol/valves/butterfly-valves/neles-butterfly-valves/neles-butterfly-valve-series-l1-and-l2/>

Valmet b. New era in woodbased bioproducts. Viitattu 24.9.2023. Saatavissa <https://valveproducts.neles.com/documents/neles/Brochures/en/CB067EN.pdf>

Zhang, M. 2023. Top 10 Cloud Service Providers Globally in 2023. Viitattu 9.9.2023. Saatavissa <https://dqtlinfra.com/top-10-cloud-service-providers-2022/>