

Muutoshallintaprosessin kehittäminen ja rakentaminen keskisuudessa teollisuusyrityksessä

Konetekniikka
Diplomityö

Aapo Reilander

23.04.2026

Turku

Diplomityö

Koulutusohjelma, oppiaine: Konetekniikka, Älykkäät Järjestelmät

Tekijä: Aapo Reilander

Otsikko: Muutoshallintaprosessin kehittäminen ja rakentaminen keskisuurissa teollisuusyrityksessä

Ohjaajat: Prof. Ville Leppänen, Prof. Jussi Kantola, Mika Härkönen, Tommi Järvelä

Sivumäärä: 86 sivua

Päivämäärä: 24.04.2026

Tässä diplomityössä kehitetään valmistavan teollisuuden kohdeyritykselle systemaattinen ja läpinäkyvä muutoshallintaprosessi (Engineering Change Management, ECM), jonka tavoitteena on standardisoida yrityksen muutoshallintaprosessi. Tutkimus toteutettiin konstruktivisena tutkimuksena yhdistäen muutoshallinnan teoreettiset parhaat käytännöt empiiriseen nykytila-analyysiin, jonka pohjalta suunniteltiin aksiomaattiseen suunnitteluun perustuva tavoitetilan prosessimalli ja arvioitiin sen toteutettavuutta Sovelia PLM -järjestelmässä. Nykytila-analyysi osoitti merkittäviä puutteita, kuten ad hoc -toimintatavat, standardoimattomat työnkulut, hajanaisen tiedonhallinnan ja sähköpostiviestintään nojaavan kommunikation, jotka heikensivät jäljitettävyyttä ja lisäsivät virheriskejä sekä kustannuksia. Näihin haasteisiin vastattiin kehittämällä ECR/ECO-mekanismeihin perustuva kaksiraiteinen prosessimalli, joka erottaa rutiininomaiset ja laajemmat muutokset, mahdollistaen sekä ketteryyden että hallittavuuden, malliin sisältyy muun muassa asynkroninen moniammatillinen päätöksenteko, automatisoidut ilmoitukset ja reaaliaikainen muutoksen seuranta. Arvioinnin perusteella Sovelia PLM tarjoaa soveltuvan alustan prosessin toteutukselle sen natiivien ominaisuuksien, kuten vaikutusanalyysin, revisiohallinnan ja ERP-integraatioiden ansiosta, mahdollistaen tuotetiedon hallinnan yhtenäisenä tietolähteenä koko elinkaaren ajan.

Avainsanat: Muutoshallinta, Tuotetiedonhallinta, Aksiomaattinen suunnittelu, Sovelia PLM, Muutospyyntö, Muutosmääräys, Jäljitettävyyys

Diploma thesis

Subject: Mechanical Engineering, Smart Systems

Author: Aapo Reilander

Title: Development and Implementation of an Engineering Change Management Process in a Medium-Sized Industrial Enterprise

Supervisors: Prof. Ville Leppänen, Prof. Jussi Kantola, Mika Härkönen, Tommi Järvelä

Number of pages: 86 pages

Date: 24.04.2026

This thesis focuses on developing a systematic and transparent Engineering Change Management (ECM) process for a target company in the manufacturing industry, with the aim of standardizing the company's change management procedures. The study was conducted as constructive research, combining theoretical best practices of ECM with an empirical current-state analysis. Based on these findings, a target-state process model was designed utilizing the principles of Axiomatic Design, and its feasibility was evaluated within the Sovelia PLM system. The current-state analysis revealed significant deficiencies, such as ad hoc practices, non-standardized workflows, fragmented data management, and communication reliant on emails, all of which compromised traceability and increased both the risk of errors and operational costs. To address these challenges, a dual-track process model based on ECR/ECO mechanisms was developed. This model distinguishes between routine and comprehensive changes, enabling both agility and controllability. The model incorporates features such as asynchronous multidisciplinary decision-making, automated notifications, and real-time change tracking. Based on the evaluation, Sovelia PLM provides a highly suitable platform for implementing this process due to its native capabilities, including impact analysis, revision control, and ERP integrations, allowing for the management of product data as a single source of truth throughout the entire lifecycle.

Keywords: Engineering Change Management, Product Lifecycle Management, Axiomatic Design, Sovelia PLM, Engineering Change Request, Engineering Change Order, Traceability

Sisällysluettelo

1	Johdanto	6
1.1	Yritys ja tutkimuksen konteksti	6
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus	7
1.3	Tutkielman rakenne	10
2	Teoreettinen tausta	12
2.1	Muutoshallinnan periaatteet ja tavoitteet	12
2.2	Muutosten vaikutukset tuotteen elinkaareen ja organisaation toimintaan	16
2.3	ECR/ECO-prosessit ja muutosten hallinnan menetelmät	18
2.4	Muutoshallinnan organisointi ja roolien merkitys	21
2.5	Aiemmat tutkimukset ja prosessimallien kehityssuuntia	23
3	Tutkimusmenetelmät	27
3.1	Tutkimusstrategia ja lähestymistapa	27
3.2	Aineistonkeruumenetelmät	28
3.3	Aineiston analysointimenetelmät	29
4	Nykytilan analyysi ja haasteet	30
4.1	Yrityksen nykyinen toimintamalli ja prosessit	30
4.2	Tunnistetut ongelmakohdat ja niiden juurisyyt	34
5	Kehitetty ratkaisumalli	39
5.1	Uuden prosessin tavoitteet ja suunnittelukriteerit	39
5.2	Roolit, vastuut ja päätöksentekorakenne	56
5.3	Ehdotettu prosessimalli	59
5.4	Prosessin toiminnan edellytykset	69
6	Järjestelmätuen arviointi: Sovelian soveltuvuus	71
6.1	Sovelian tarjoamat toiminnot muutoshallinnan näkökulmasta	71
6.2	Soveltuvuus ehdotettuun prosessimalliin	73
6.3	Mahdolliset täydennykset ja integraatiotarpeet	74
7	Johtopäätökset	77

7.1	Keskeiset johtopäätökset	77
7.2	Tutkimuksen rajoitukset	79
7.3	Jatkotutkimusaiheet	80
	Lähteet	81
	Liitteet	86
	Liite 1. Asiantuntijahaastattelujen kysymykset	86

1 Johdanto

1.1 Yritys ja tutkimuksen konteksti

Vahterus Oy on suomalainen teollisuusyritys, joka on erikoistunut hitsattujen levylämmönsiirtimien (Plate & Shell Heat Exchanger, PSHE) kehittämiseen ja valmistukseen. Yritys perustettiin vuonna 1990 Kalannissa, ja siitä on kasvanut kansainvälisesti merkittävä toimija lämmönsiirtoteknologian alalla. Vahteruksen kehittämä PSHE-rakenne yhdistää levylämmönsiirtimien korkean lämmönsiirtotehokkuuden ja putkilämmönsiirtimien mekaanisen kestävyuden, mahdollistaen kompaktiin ja täysin hitsattuun muotoon toteutetun rakenteen ilman tiivisteitä. Tämä rakenne soveltuu erityisesti vaativiin teollisiin prosesseihin, kuten kemian-, energia- ja prosessiteollisuuteen, joissa turvallisuus, paineenkesto ja huoltovapaus ovat keskeisiä vaatimuksia.

Vahterus panostaa voimakkaasti tutkimus- ja kehitystoimintaan, jonka tavoitteena on parantaa lämmönsiirtimien energiatehokkuutta, materiaalien kestävyttä sekä järjestelmien elinkaarta. Yritys toimii yli 50 maassa ja tekee tiivistä yhteistyötä teollisuuden ja tutkimuslaitosten kanssa kehittääkseen uusia ratkaisuja kestäväen energiankäytön edistämiseksi. Vahteruksen tuotteet tukevat globaalia energiatehokkuuden ja hiilidioksidipäästöjen vähentämisen tavoitetta, mikä tekee siitä merkittävän toimijan sekä teknologisen innovaation että kestäväen kehityksen näkökulmasta.

Vaikka Vahterus luokitellaan suureksi yritykseksi, sen suunnittelu, tuotekehitys, valmistus ja testaus sijaitsevat yhdessä paikassa, yrityksen päätoimipaikassa Kalannissa, Suomessa. Tämä keskitetty toimintamalli mahdollistaa saumattoman yhteistyön eri osastojen välillä ja takaa tuotteiden korkean laadun sekä teknisen luotettavuuden. Kalannissa toteutettava tuotanto yhdistää nykyaikaisen automaation ja tarkkuusvalmistuksen käsityömäiseen laatuajatteluun, mikä mahdollistaa sekä räätälöidyt asiakasratkaisut että tehokkaan sarjatuotannon. Lisäksi paikallinen tuotekehitys tukee jatkuvaa innovointia ja nopeaa reagointia markkinoiden muuttuviin tarpeisiin.

Yritys on ottanut käyttöön Product Lifecycle Management (PLM) -järjestelmän, Sovelian, jonka tavoitteena on keskittää tuotetiedon hallinta ja tukea suunnitteluprosessien yhtenäistämistä. Järjestelmän käyttöönotto on vielä rajattua, sillä Soveliaa hyödynnetään tällä hetkellä vain suunnittelutoiminnassa, mutta sen käyttöä on tarkoitus laajentaa kattamaan koko suunnitteluosasto, hankintaosasto ja tuotanto. Näin järjestelmästä muodostuu keskeinen työkalu koko tuotteen elinkaaren hallintaan.

Muutoshallinnan osalta järjestelmä ei kuitenkaan ole vielä käytössä. Tällä hetkellä yrityksen muutokset toteutetaan pitkälti epämuodollisesti, yksittäisten henkilöiden toimesta ja erilaisten tiedonvaihtokanavien kautta. Tämä aiheuttaa haasteita muutosten jäljitettävyydessä, tiedonkulussa ja päätöksenteon läpinäkyvyydessä. Näiden haasteiden tunnistaminen, analysoiminen ja ratkaiseminen muodostavat tämän tutkimuksen lähtökohdan.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

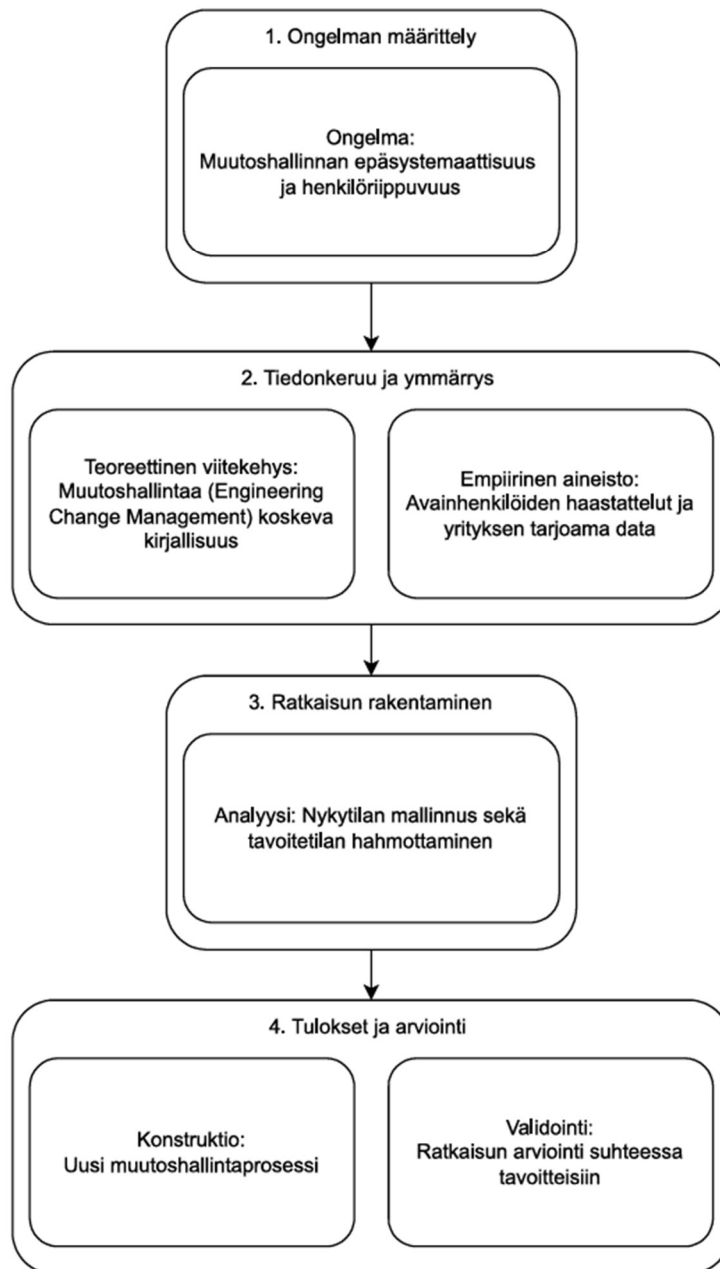
Tämän tutkimuksen päätavoitteena on selvittää millaiset prosessit, ja tiedonhallinnan periaatteet muodostavat perustan tehokkaalle ja hallitulle muutoshallinnalle suuressa, valmistavan teollisuuden yrityksessä. Tutkimus keskittyy erityisesti siihen, miten muutoshallinta voidaan organisoida siten, että muutoksiin liittyvä tieto on oikea-aikaista, jäljitettävää ja helposti hyödynnettävää koko tuotteen elinkaaren ajan. Tutkimus rajautuu suunnitteluosastoon, jossa valtaosa muutoksista syntyy ja jossa muutoshallinnan puutteilla on merkittävin vaikutus tuotetiedon laatuun sekä muutosten jatkokäsittelyyn organisaation muissa toiminnoissa.

Vaikka muutoshallinnan merkitystä ja siihen liittyviä prosessimalleja on käsitelty laajasti aiemmissa tutkimuksissa, olemassa oleva kirjallisuus tarkastelee ilmiötä usein organisaatiokohtaisissa konteksteissa, mikä edellyttää mallien soveltamista tutkimuksen kohteena olevaan organisaatioon. Tässä työssä tarkasteltava organisaatio on perinteisesti hallinnut muutoksia epämuodollisin käytännöin ilman yhtenäistä tai tarkkaan määriteltyä muutoshallintaprosessia. Tällaisessa toimintaympäristössä muutoshallintaa ei ole välttämättä mielletty omaksi, erilliseksi toiminnokseen, vaan muutokset ovat syntyneet hajautetusti ja tapauskohtaisesti organisaation eri osissa. Samanaikaisesti organisaation siirtyminen uuteen tuotteen elinkaaren hallintaa

tukevaan tietojärjestelmään luo poikkeuksellisen mahdollisuuden muutoshallinnan rakenteiden systemaattiseen kehittämiseen ja vakiinnuttamiseen.

Tutkimuksen tavoitteena ei ole vain arvioida yksittäisen ohjelmiston tai järjestelmän teknistä suorituskykyä, vaan lisäksi määrittää yleiset prosessit ja tiedonhallinnalliset periaatteet, jotka mahdollistavat onnistuneen muutoshallinnan riippumatta käytettävästä tietojärjestelmästä. Näihin periaatteisiin kuuluvat muun muassa muutosten arvioinnin ja hyväksynnän rakenteet, tiedon versionhallinta, päätöksenteon läpinäkyvyys sekä eri sidosryhmien välinen tiedonkulku. Tutkimus pyrkii näin tuottamaan viitekehysten, jota voidaan hyödyntää myös muissa vastaavan mittakaavan teollisuusorganisaatioissa.

Tutkimuksen eteneminen



Kaavio 1. Prosessikaavio tutkimuksen rakenteesta ja sen etenemisestä.

Tutkimus rajautuu ensisijaisesti suunnittelu- ja tuotekehitystoimintaan, jossa muutokset syntyvät ja josta ne tyypillisesti etenevät tuotannon ja laadunhallinnan puolelle. Vaikka muutoshallinnan vaikutukset ulottuvat koko organisaatioon, tutkimus keskittyy prosessin ydinvaiheisiin: muutospyyntöä käsittelyyn, muutoksen vaikutusten

arviointiin ja päätöksentekoon. Näitä vaiheita tarkastellaan sekä teoreettisen kirjallisuuden että empiirisen aineiston, kuten haastattelujen ja havaintojen, avulla.

Tutkimuskysymykset:

TK1: Kuinka yrityksen muutoshallintaa voidaan kehittää siten, että muutosten käsittelyprosessi tukee tehokasta tiedonkulkua, päätöksenteon läpinäkyvyyttä ja tuotetiedon luotettavuutta?

Osaongelmat:

TK2: Mitkä ovat keskeiset haasteet nykyisessä muutoshallinnan toimintamallissa?

TK3: Millaisilla ratkaisuilla näihin haasteisiin voidaan vastata?

TK4: Miten Sovelia PLM -järjestelmä soveltuu kehitetyn muutoshallintaprosessin toteuttamiseen?

1.3 Tutkielman rakenne

Tutkielman rakenne tukee tutkimuksen päätavoitetta, joka on muutoshallinnan prosessien ja tiedonhallintaperiaatteiden systemaattinen tarkastelu ja kehittäminen suurten teollisuusorganisaatioiden kontekstissa. Rakenne noudattaa tutkimuslogiikkaa, jossa eteneminen tapahtuu johdonmukaisesti teoreettisesta taustasta empiiriseen analyysiin ja siitä käytännön ratkaisuun ja johtopäätöksiin. Näin muodostuu kokonaisuus, joka mahdollistaa ilmiön ymmärtämisen sekä teorian, että käytännön tasolla.

Ensimmäinen luku toimii johdantona, joka esittelee tutkimuksen kontekstin, tavoitteet, rajaukset sekä perustelee tutkimusaiheen merkityksen. Luku auttaa hahmottamaan myös yrityksen toimintaympäristön sekä muutoshallinnan kehittämistarpeen, jotka yhdessä muodostavat tutkimuksen lähtökohdan.

Toinen luku esittelee tutkimuksen teoreettisen taustan. Luku kokoaa yhteen keskeiset käsitteet ja aikaisemmat tutkimukset, jotka liittyvät muutoshallinnan periaatteisiin, prosessimalleihin ja tiedonhallinnan menetelmiin. Lisäksi se tarkastelee ECR/ECO-prosesseja, muutoshallinnan organisointia sekä aiempien tutkimusten pohjalta

muodostuneita kehityssuuntia. Tämän luvun tavoitteena on luoda viitekehys, jonka avulla havainnot voidaan myöhemmin tulkita ja analysoida.

Kolmas luku käsittelee tutkimusmenetelmiä ja -strategiaa. Siinä kuvataan tutkimuksen lähestymistapa, aineistonkeruumenetelmät ja analyysien toteutus. Luvun tarkoituksena on perustella tutkimukselliset valinnat ja varmistaa työn luotettavuus.

Neljäs ja viides luku siirtyy empiiriseen osioon. Neljäs luku esittelee yrityksen nykyisen muutoskäytännön ja tunnistetut haasteet. Viides luku keskittyy uuden, kehitetyn muutoshallintaprosessin ja sen tiedonhallintaperiaatteiden esittelyyn, sekä sen toiminnan edellytyksiin.

Kuudes luku keskittyy arvioimaan Sovelia PLM -järjestelmän soveltuvuutta kehitetyn tavoitetilan prosessimallin operatiiviseksi alustaksi. Luvussa analysoidaan järjestelmän arkkitehtuuria ja sen tarjoamia työkaluja toteuttaa asetetut suunnitteluparametrit käytännössä.

Seitsemäs luku kokoaa yhteen tutkimuksen keskeiset johtopäätökset ja arvioi tulosten merkitystä organisaation muutoshallinnan tehostamisen näkökulmasta. Lopuksi luvussa käsitellään tutkimuksen rajoituksia sekä esitetään suuntaviivoja tulevalle jatkotutkimukselle.

2 Teoreettinen tausta

Tässä luvussa muodostetaan tutkimuksen teoreettinen viitekehys tarkastelemalla muutoshallintaa (Engineering Change Management, ECM) osana tuotteen elinkaaren hallintaa. Luvussa määritellään muutoshallinnan keskeiset periaatteet ja tavoitteet sekä analysoidaan muutosten toiminnallisia vaikutuksia organisaation toimintaan. Tämän jälkeen teoria syventyy operatiiviseen toteutukseen esittelemällä vakiintuneet ECR/ECO-prosessimallit sekä muutoshallinnan vaatimat organisaatorakenteet ja roolitukset. Luvun lopussa luodaan katsaus aiempaan tutkimukseen ja alan kehityssuuntiin. (TK3)

2.1 Muutoshallinnan periaatteet ja tavoitteet

Muutoshallinta (Change Management, CM) on keskeinen osa tuotteen elinkaaren hallintaa, ja sen päätavoitteena on varmistaa, että kaikki tuotteeseen tai sen valmistusprosessiin liittyvät muutokset käsitellään hallitusti, dokumentoidusti ja jäljitettävästi. Muutoshallinnan avulla organisaatio kykenee kontrolloimaan muutoksia niin, etteivät ne johda epäyhtenäiseen tietoon, virheellisiin versioihin tai laadun heikkenemiseen (Habib ym., 2022). Prosessi perustuu periaatteeseen, että mikään muutos ei etene toteutukseen ilman, että sen tekniset, taloudelliset ja laadulliset vaikutukset on arvioitu ja hyväksytty asianmukaisesti (Tryczak ym., 2024). Tämä korostaa muutoshallinnan roolia sekä teknisenä kontrollimekanismina että organisaation tiedonhallinnan rakenteellisena tukipilarina.

Keskisuurissa ja suurissa yrityksissä muutosprosessien toteuttaminen ilman selkeää, systemaattista menettelytapaa johtaa usein niin sanottuun ad-hoc-toimintamalliin, jossa muutostarpeet tunnistetaan ja käsitellään tapauskohtaisesti ilman yhteisesti sovittuja periaatteita tai standardoituja vaiheita. Tällaisessa toimintaympäristössä muutosaloitteet syntyvät tyypillisesti yksittäisten asiantuntijoiden, esihenkilöiden tai pienien työryhmien aloitteesta, ja päätöksenteko perustuu enemmän henkilökohtaisiin näkemyksiin ja kokemukseen kuin organisaation yhteiseen tietoon, prosessimalliin tai dokumentoituun arvioon muutoksen vaikutuksista. Muutoksen toteutus delegoidaan usein epämuodollisesti henkilölle tai tiimille, jonka substanssiosaaminen koetaan

soveltuvaksi, mutta ilman selkeää määrittelyä vastuista, aikatauluista tai resurssitarpeista. Tämän seurauksena muutoksen kulku jää pitkälti näkyvyyden ja jäljitettävyyden ulkopuolelle, mikä heikentää mahdollisuuksia arvioida ratkaisun laatua tai sen seurauksia tuotteen, prosessin tai organisaation tasolla. (Andrade ym., 2016)

Kun muutos toteutetaan epästrukturoituna prosessina, sen valmistumisesta tiedottaminen jää usein satunnaisten ja epävirallisten kanavien varaan, kuten sähköpostiviesteihin, pikaviestimiin tai kasvokkain tehtyihin huomautuksiin. Tämä toimintatapa altistaa organisaation useille systemaattisille riskeille, joita ovat esimerkiksi tiedon pirstaloituminen, virheelliset oletukset, muutosten päällekkäisyys sekä tuotetietojen sisäiset ristiriidat. Lisäksi puuttuvat rakenteet ja dokumentointikäytännöt vaikeuttavat muutosten vaikutusten arviointia tuotteen elinkaaren eri vaiheissa sekä jälkikäteen tehtävää auditointia tai virheiden juurisyyn analysointia. Ad-hoc-malli korostaa yksilöiden hiljaista tietoa ja henkilöriippuvuutta, mikä heikentää organisaation kykyä toimia ennakoivasti ja skaalautuvasti kasvavassa teknisessä ja organisatorisessa kompleksisuudessa. Ilman systemaattista muutoshallintaa yrityksen kokonaiskyvykkyys kontrolloida tuotetiedon laatua, säädöstenmukaisuutta ja prosessien yhdenmukaisuutta jää merkittävästi vajaaksi. (Yönti-Mertens, 2023)

Muutoshallinta (Change Management) määritellään jatkuvaksi prosessiksi, jonka tarkoituksena on organisaation suunnan, rakenteiden ja kyvykkyyksien uudistaminen vastaamaan sisäisten ja ulkoisten sidosryhmien muuttuvia tarpeita. (Todnem By, 2005) Muutoshallinnan periaatteet pohjautuvat neljään keskeiseen käsitteeseen: läpinäkyvyys, vastuunjako, dokumentointi ja tiedonkulku. Läpinäkyvyys tarkoittaa, että muutoksen eteneminen on kaikkien osapuolten nähtävissä ja että muutoksen perustelut sekä vaikutukset ovat ymmärrettäviä. Vastuunjako puolestaan takaa sen, että jokaisella muutoksen vaiheella on nimetty omistaja, tyypillisesti muutospyynnön aloittaja, arviointiryhmä ja hyväksyjä. Dokumentointi muodostaa muutoshallinnan selkärangan: kaikki vaiheet, päätökset ja versiot tulee kirjata siten, että muutoksen jäljitettävyyttä säilyy koko tuotteen elinkaaren ajan. (Koch ym., 2016) Tiedonkulku eri osastojen, kuten suunnittelun, tuotannon, laadun ja hankinnan, välillä varmistaa, että

muutoksen vaikutukset arvioidaan kokonaisvaltaisesti eikä yksittäisen funktion näkökulmasta. (Jagusch ym., 2024)

Muutoshallinnan tavoitteena on vähentää muutoksista aiheutuvia riskejä ja kustannuksia. Tuotteen elinkaaren aikana tehtävät muutokset voivat johtaa mittaviin seurauksiin, jos niitä ei hallita järjestelmällisesti. Esimerkiksi myöhäisessä vaiheessa tehty komponenttimuutos voi vaikuttaa varastotilanteisiin, tuotantolinjan asetuksiin ja jopa asiakkaalle toimitettuun tuotteeseen (Liao ym., 2019). Hallittu muutosprosessi auttaa tunnistamaan nämä vaikutukset ennen toteutusta ja mahdollistaa riskien ennakkoinnin. Useissa tutkimuksissa on havaittu, että muutoshallinnan kypsyyys korreloi suoraan tuotteen laadun ja toimitusvarmuuden kanssa. (Habib ym., 2022; Zhang ym., 2019) Toisin sanoen hyvin hallitut muutokset tukevat koko organisaation tehokkuutta, kun taas hallitsemattomat muutokset voivat aiheuttaa merkittäviä kustannus- ja aikatauluvaikutuksia.

Muutoshallinta on myös strateginen väline organisaation oppimisessa ja sopeutumiskyvyssä. Muutosten määrä, luonne ja käsittelykyky kertovat paljon yrityksen kypsyydestä ja toimintakulttuurista. Yritykset, jotka kykenevät hallitsemaan muutoksia tehokkaasti, pystyvät reagoimaan nopeasti markkinoiden vaatimuksiin, asiakaspalautteeseen ja teknologisiin innovaatioihin ilman, että toiminta häiriintyy. Näin muutoshallinta tukee yrityksen kilpailukykyä ja jatkuvaa kehittämistä. (Schuh ym., 2018) Tutkimuksissa on havaittu, että organisaatioissa, joissa muutoshallintaa ei ole selkeästi määritelty, muutokset jäävät henkilöriippuvaisiksi ja tieto siiloutuu, mikä estää systemaattisen kehittymisen. (Koch, 2017) Tämä korostaa muutoshallinnan merkitystä paitsi prosessina myös johtamisen välineenä.

Uusien järjestelmien ja prosessien, kuten PLM-pohjaisen muutoshallinnan, menestyksellä jalkauttaminen edellyttää kuitenkin teknisen prosessin lisäksi ihmisten johtamista. Muutosjohtamisen teoreettisessa viitekehyksessä työntekijöiden muutosvalmiuden (readiness for change) systemaattinen kehittäminen sekä yksilöllisten motivaatiotekijöiden syvä ymmärtäminen nähdään keskeisinä edellytyksinä organisaatiomuutoksen onnistumiselle. Aiempi tutkimus korostaa, että muutosjohtamisen vaikuttavuus on olennaisesti sidoksissa työntekijöiden

psykologisten reaktioiden, kuten epävarmuuden, ambivalenssin ja muutokseen liittyvän pelon, tunnistamiseen, käsittelyyn ja lieventämiseen osana johtamiskäytäntöjä .(Armenakis & Harris, 2009; R. Singh, 2023) Bordia ym. (2011) painottavat, että työntekijöiden käyttäytymistä ei kuitenkaan voida johtaa tyhjiössä, sillä organisaation aiempi muutoshallintahistoria muokkaa voimakkaasti sitä kognitiivista kehystä, jolla henkilöstö tulkitsee uusia muutosaloitteita. Jos johto on aiemmissa hankkeissa epäonnistunut ihmisten johtamisessa, esimerkiksi puutteellisen viestinnän, osallistamisen tai tuen vuoksi, työntekijöille muodostuu negatiivisia uskomuksia, jotka ilmenevät syvänä kyynisyytenä, luottamuspulana ja suoranaisena muutosvastarintana. (Bordia ym., 2011)

Lisäksi Balogunin (2006) analyysi osoittaa, että ylhäältä alaspäin johdetut strategiset muutosaloitteet tuottavat usein ennakoimattomia ja ei-toivottuja seurauksia. Tämä ilmiö selittyy organisatoristen toimijoiden eriytyneillä tulkintakehyksillä sekä epätasaisella tiedon jakautumisella, mikä johtaa eroaviin käsityksiin muutoksen perussyistä ja tavoitteista. Näin ollen muutosjohtamisen periaatteissa on välttämätöntä huomioida muutoksen tulkinnanvaraisuus sekä eri organisaatiotasojen välinen tietojen eroavaisuus. (Balogun, 2006)

Voidaan siis todeta, että muutoshallinnan perimmäinen tavoite on yhdistää tekninen täsmällisyys sekä organisatorinen selkeys ja siten säilyttää organisaation kilpailukyky. Hyvin suunniteltu muutosprosessi tukee tuotekehityksen ja valmistuksen välistä yhteistyötä, mahdollistaa päätösten jäljitettävyyden ja varmistaa, että tuotteet säilyttävät laatunsa myös jatkuvien muutosten keskellä. Muutoshallinta ei ole pelkästään hallinnollinen velvoite, vaan osa yrityksen laatujärjestelmää ja strategista johtamista. Tulevaisuuden suunta on entistä integroidumpi: digitaaliset PLM-ratkaisut, automaattinen vaikutusanalyysi ja reaaliaikainen tiedonvaihto mahdollistavat muutoshallinnan, joka on sekä nopeaa että turvallista. (Tryczak ym., 2024) Tämän vuoksi digitaalisen transformaation kontekstissa muutoshallinnan periaatteet painottuvat yhä enemmän ketteryyteen ja jatkuvaan oppimiseen. Perinteiset, staattiset muutosmallit eivät usein ole riittäviä Teollisuus 4.0:n vaatimaan nopeaan ja teknologiapainotteiseen kehitykseen, mikä vaatii uusien, monivaiheisten ja iteratiivisten mallien hyödyntämistä. (Dergletckaia, 2023)

Lopuksi monet tutkimukset tukevat havaintoja siitä, että systemaattisesti johdettujen muutosprosessien implementointi tuottaa numeerisesti mitattavia hyötyjä. Tämä havainto ohjaa prosessimallien kehitystä kohti lisääntyntä standardointia, formalisointia sekä monitoroitavuutta, mikä ilmenee tiukentuneina kontrollimekanismeina ja suorituskyvyn seurannan käytäntöinä. (Andrade ym., 2016)

2.2 Muutosten vaikutukset tuotteen elinkaareen ja organisaation toimintaan

Muutokset ovat väistämätön osa tuotteen elinkaarta. Niitä syntyy suunnittelussa, valmistuksessa, käyttöönotossa ja jopa jälkimarkkinoinnissa. Muutokset voivat johtua esimerkiksi asiakasvaatimusten päivityksistä, laatuongelmista, raaka-aineiden tai komponenttien saatavuudesta, kustannuspaineista tai uusien standardien käyttöönotosta. Tuotteen elinkaaren hallinnan näkökulmasta muutoksen merkitys ei kuitenkaan rajoitu yksittäiseen tekniseen parannukseen, vaan sillä on laaja vaikutus koko tuote- ja tuotantoketjuun. Hallitsematon muutos voi vaikuttaa tuotteen toiminnallisuuteen, dokumentaatioon, valmistettavuuteen, kustannuksiin ja asiakaskokemukseen. Siksi muutoshallinta on keskeinen osa elinkaaren hallintaa: sen tehtävänä on tunnistaa, analysoida ja hallita muutosten vaikutukset ennen kuin ne toteutuvat fyysisesti tuotteessa tai tuotannossa. (Jarratt ym., 2011)

Elinkaaren vaiheilla on merkittävä vaikutus muutosten taloudelliseen ja operatiiviseen painoarvoon. Useissa tutkimuksissa on osoitettu, että mitä myöhemmin muutos toteutetaan tuotteen elinkaaren aikana, sitä kalliimmaksi ja monimutkaisemmaksi sen hallinta tulee. (Koch ym., 2016) Varhaisessa suunnitteluvaiheessa tehty muutos voidaan usein toteuttaa pienin kustannuksin, kun taas tuotantovaiheessa tai toimituksen jälkeen sama muutos voi edellyttää suuria uudelleensuunnittelu- ja materiaalikustannuksia. Esimerkiksi Jarratt ym. (2011) sekä Brahma ja Wynn (2022) havaitsivat, että suunnittelumuutos johtaa usein yllättäviin viivästyksiin ja niiden kustannukset voivat kasvaa jopa kymmenkertaisiksi, jos se toteutetaan vasta tuotantovaiheessa. Tämä korostaa varhaisen vaiheen muutostunnistuksen ja ennakoivan suunnittelun merkitystä. (Brahma & Wynn, 2022; Jarratt ym., 2011)

Muutoksilla on vaikutuksia myös organisaation sisäiseen toimintaan ja rakenteisiin. Tuotteen muutokset eivät koskaan koske vain yhtä osastoa, vaan heijastuvat useisiin

toimintoihin samanaikaisesti. Suunnittelussa tehty päätös voi vaikuttaa hankintaan, varastointiin, kokoonpanoon, laadunvalvontaan ja jälkimarkkinointiin. (Habib ym., 2022) Tämä tekee muutoshallinnasta luonteeltaan poikkiorganisatorisen prosessin, jossa yhteistyö ja tiedon jakaminen ovat kriittisiä onnistumisen edellytyksiä. Jos tieto ei liiku eri yksiköiden välillä, organisaatio altistuu virheille, joita ovat esimerkiksi väärin piirustusten käyttö, vanhentuneiden komponenttien tilaukset tai epäyhtenäinen tuotetieto. (Tryczak ym., 2024) Toimiva muutoshallinta toimii tällöin siltana eri toimintojen välillä ja varmistaa, että muutokset ovat yhdenmukaisia ja että päätökset tehdään kattavan tiedon perusteella. Empiirinen tutkimus osoittaa, että PLM-järjestelmän käytöllä on myönteinen vaikutus myös uustuotekehitysprosesseihin. Erityisesti kompleksisen tiedon systemaattinen organisointi tehostaa tiedonhakua ja parantaa tiedon saavutettavuutta, mikä lyhentää tiedonetsintään kuluvaan aikaa. Tämän seurauksena asiantuntijaresursseja vapautuu aiempaa enemmän varsinaiseen lisäarvoa tuottavaan tekniseen suunnittelu- ja kehitystyöhön. (Cantamessa ym., 2012)

PLM:n perusajatuksena on sulkea tietosilmukat ja varmistaa, että oikea tieto on käytettävissä oikeassa kontekstissa ja oikeaan aikaan. PLM muuttaa organisaation toimintaa siirtämällä painopisteen yksittäisistä teknisistä työkaluista kokonaisvaltaiseen strategiaan, joka integroi ihmiset, prosessit ja tiedon. Tämä integraatio on välttämätöntä, sillä perinteisessä teollisessa mallissa tiedon fragmentoituminen on johtanut "tietosaarekkeisiin", joissa sidosryhmillä on toisistaan eroavia käsityksiä tuotteesta. (Ameri & Dutta, 2005) Tämä siirtymä mahdollistaa yhteistyöperusteisen suunnittelun (collaborative engineering), joka tekee tuotetiedosta yhtenäistä, jäljitettävää ja läpinäkyvää. Onnistuessaan tämä parantaa työtehoa ja innovaatiokykyä, kun reaaliaikainen tiedonpäivitys poistaa turhaa odotusaikaa ja vähentää monitulkintaisuutta tuotteen tilasta. Organisaation tasolla PLM nähdäänkin Lean-ajattelun jatkajana, jonka tavoitteena on hukan minimointi tiedonhallinnan keinoin. (S. Singh & Misra, 2019)

Organisaation kyky reagoida muutoksiin vaikuttaa sen tehokkuuteen ja kilpailukykyyn. Muutosten hallinnan puute johtaa usein siihen, että organisaatio toimii reaktiivisesti eikä proaktiivisesti. Tämä näkyy tuotantokatkoksina, kasvaneina kustannuksina ja aikatauluviiveinä (Eckert ym., 2004). Lisäksi ilman systemaattista muutosten

vaikutusanalyysiä (impact analysis) on vaikea arvioida, miten muutos vaikuttaa eri dokumentteihin, tuotteisiin ja prosesseihin. Puutteellinen vaikutusanalyysi on yksi merkittävimmistä syistä muutosprosessien epäonnistumisiin, koska se johtaa päätöksiin vajavaisen tiedon pohjalta. Tästä seuraa, että muutoshallinnan tavoitteena ei ole ainoastaan muutoksen läpivienti, vaan sen laajempien seurausten ymmärtäminen ja hallinta. (Habib ym., 2022)

Muutoksilla on myös organisatorisia ja kulttuurisia vaikutuksia. Muutoshallinta edellyttää selkeitä vastuita, mutta myös organisaation kykyä hyväksyä ja tukea jatkuvaa kehittämistä. Jos muutosten tekeminen koetaan raskaaksi tai epäselväksi, työntekijät voivat alkaa kiertää virallisia käytäntöjä ja käsitellä muutoksia epävirallisesti, mikä heikentää prosessin uskottavuutta ja jäljitettävyyttä (Koch ym., 2016). Toisaalta organisaatiot, jotka onnistuvat tekemään muutoshallinnasta osan päivittäistä toimintaa ja oppimista, pystyvät sopeutumaan paremmin ulkoisiin muutoksiin ja hyödyntämään innovaatioita tehokkaammin (Faisal, 2022). Näin ollen muutoshallinta toimii paitsi teknisenä myös kulttuurisena välineenä, joka tukee tiedon avoimuutta ja jatkuvaa parantamista.

2.3 ECR/ECO-prosessit ja muutosten hallinnan menetelmät

Engineering Change Request (ECR) ja Engineering Change Order (ECO) muodostavat muutoshallinnan perusprosessin, joka on vakiintunut teollisuudessa erityisesti tuotekehityksen ja valmistuksen rajapintaan. ECR tarkoittaa muutospyyntöä esittämistä ja arviointia, kun taas ECO kuvaa hyväksytyä muutoksen toimeenpanoa ja seuranta. (Habib ym., 2022). Tämä kaksivaiheinen rakenne tuo prosessiin selkeyttä, sillä se erottaa muutoksen harkintavaiheen ja toteutusvaiheen toisistaan. Näin vältetään ennenaikaiset päätökset ja varmistetaan, että muutoksen tekniset, taloudelliset ja toiminnalliset vaikutukset on arvioitu ennen toimeenpanoa. (Tryczak ym., 2024) Käytännössä ECR/ECO-prosessin tavoitteena on varmistaa, että kaikki muutokset dokumentoidaan, hyväksytään ja toteutetaan systemaattisesti, jolloin päätöksenteon läpinäkyvyys ja jäljitettävyyden säilyvät. Kohdeorganisaatiossa käytettävän Sovelia-järjestelmän toimintalogiikka rakentuu ECR- ja ECO-prosessimallien varaan. (TK4)

ECR-vaihe toimii päätöksenteon valmisteluna, jossa muutospyyntö dokumentoidaan ja arvioidaan monesta näkökulmasta. Tyypillisesti pyyntö voi tulla miltä tahansa organisaation tasolta: suunnittelijalta, tuotannosta, laadunvalvonnasta tai asiakkaalta, mutta sen käsittely edellyttää määrämuotoista dokumentointia. ECR-dokumentissa kuvataan muutoksen tausta, tavoite, arvioitu vaikutus, tarvittavat resurssit ja ehdotus jatkotoimenpiteistä. (Sabouni, 2023) Arviointi tehdään usein monialaisesti, esimerkiksi Change Advisory Boardin (CAB) toimesta, joka koostuu suunnittelun, tuotannon ja laadun edustajista. Tämä vaihe toimii myös riskienhallinnan välineenä: ennen kuin muutos hyväksytään, analysoidaan sen vaikutus kustannuksiin, aikatauluun, laatuun ja asiakasvaatimukseen. (Koch ym., 2016)

Kun muutospyyntö on arvioitu ja hyväksytty, siirrytään ECO-vaiheeseen, jossa muutos toteutetaan ja dokumentoidaan yksityiskohtaisesti. ECO sisältää tekniset ohjeet, päivitettyt piirustukset, materiaaliluettelot (BOM) sekä muutoksen voimaantulopäivän ja vastuuhenkilöt. ECO toimii siis toteutusvaiheen virallisena ohjeena ja jäljitettävyyden välineenä. (Jagusch ym., 2024) Muutoksen läpivienti voi edellyttää useiden osastojen yhteistyötä: suunnittelu laatii uudet tiedostot, hankinta päivittää materiaalit ja tuotanto toteuttaa muutoksen tuotantolinjalla. Tämän vaiheen onnistuminen riippuu pitkälti siitä, kuinka hyvin organisaation sisäiset tietojärjestelmät (esimerkiksi PLM, ERP ja CAD) on integroitu toisiinsa. Ilman järjestelmätason tukea muutosprosessin tiedot voivat jäädä hajanaisiksi, mikä heikentää päätösten laatua ja aiheuttaa virheitä.

Viime vuosina ECR/ECO-prosessia on kehitetty vastaamaan modernien organisaatioiden tarpeita, erityisesti niissä ympäristöissä, joissa muutosnopeus on korkea ja tuotevariaatio suuri. Perinteisiä, monivaiheisia hyväksyntämalleja on kevennetty ja automatisoitu, jotta muutoksiin voidaan reagoida nopeammin ilman, että hallittavuus kärsii. (Eckert ym., 2004) Digitalisaation myötä on yleistynyt käytäntö, jossa ECR- ja ECO-tiedot tallennetaan PLM-järjestelmään, joka yhdistää muutospyyntönsuoraan tuotetietoon, dokumentteihin ja CAD-malleihin. Tämä mahdollistaa muutosten reaaliaikaisen seurannan ja parantaa päätöksenteon perustana olevan tiedon laatua. Myös tekoäly- ja semanttisia menetelmiä on alettu hyödyntää muutosten vaikutusanalyyseissa, esimerkiksi tunnistamaan automaattisesti, mitkä tuotteen osat ja dokumentit ovat riippuvuussuhteessa toisiinsa. (Habib ym., 2022)

Menetelmäkehityksen taustalla on pyrkimys tasapainottaa prosessin muodollisuus ja ketteruus. Toisaalta prosessin on oltava riittävän strukturoitu, jotta se täyttää laadunhallinnan ja jäljitettävyyden vaatimukset, mutta toisaalta riittävän joustava, jotta se ei hidasta tuotekehitystä. (Shivankar ym., 2025) Tämä haaste korostuu erityisesti yrityksissä, joissa on matalat tuotantomäärät mutta korkea tuotevariointi (Engineer-to-Order, ETO). Näissä tapauksissa kevyet mutta selkeät ECR/ECO-prosessit, joissa on vain muutama pakollinen hyväksyntävaihe, ovat osoittautuneet toimivimmiksi. (Tryczak ym., 2024) Toisaalta monimutkaisissa teollisuusympäristöissä, kuten ilmailu- ja laivanrakennusalalla, tarvitaan tarkemmin määriteltyjä ja dokumentoituja vaiheita, joissa hyväksyntä perustuu riskianalyysiin ja laatu järjestelmän vaatimuksiin. (Jagusch ym., 2024)

ECR-lomakkeet muodostavat rakenteensa ansiosta systemaattisen ja analysoitavan tietopohjan, joka mahdollistaa sekä kvantitatiivisten että kvalitatiivisten analyysimenetelmien soveltamisen tuotekehitysprosessien tarkasteluun. Esimerkiksi Arnarssonin (2018) tutkimuksessa data-analytiikkaa ja tekstinlouhintaa hyödynnettiin Volvon laajassa kuorma-autojen tuotekehityshankkeessa, jossa analysoitiin noin 4 000 suunnittelumuutospyynnön (ECR, Engineering Change Request) muodostama historiadata. Esikäsitelty aineisto yhdisti strukturoitua numeerista dataa, kuten aikaleimoja, sekä strukturoimatonta tekstidataa, kuten insinöörien tuottamia vapaamuotoisia kuvauksia. Analyysi toteutettiin Python-ohjelmointia hyödyntäen, keskittyen avainsanojen ja toistuvien ongelmakuvioiden tunnistamiseen. Lisäksi prosessien dynamiikkaa mallinnettiin Markovin ketjuihin perustuvan Design Structure Matrix (DSM) -lähestymistavan avulla, mikä mahdollisti ECR-lomakkeiden tilasiirtymien ja tuotekehitysprosessin etenemispolkujen systemaattisen analyysin. (Arnarsson, 2018)

Kattner ym. (2018) puolestaan sovelsivat tutkimuksessaan rakenteellisen monimutkaisuuden hallinnan (structural complexity management) sekä verkostoteoreettisen analyysin (graph-based analysis) menetelmiä analysoidessaan autoteollisuudesta kerättyä aineistoa, joka koostui 1 625 muutospyynnöstä ja 26 627 yksittäisestä muutosmerkinnästä. Tutkimuksessa kehitetty metamalli integroi muutosdatan keskeiset elementit—henkilöt, organisaatioyksiköt ja muutospyynnöt—verkostograafin solmuiksi (nodes) ja niiden väliseksi suhteiksi (edges). Tämän

mallinnuksen avulla tunnistettiin sekä suorat osallistumissuhteet että epäsuorat vastaanottajariippuvuudet (recipient dependency), joita syntyy esimerkiksi tilanteissa, joissa useat toimijat käsittelevät samoja muutospyyntöjä. Menetelmällä onnistuttiin tunnistamaan muutosprosessin keskeisimmät toimijat sekä osastot. (Kattner ym., 2018)

Yhteenvetona voidaan todeta, että ECR/ECO-prosessit muodostavat muutoshallinnan operatiivisen ytimen. Niiden avulla muutokset dokumentoidaan, arvioidaan ja toteutetaan hallitusti, mikä vähentää virheitä ja parantaa päätöksenteon laatua. Prosessin onnistuminen edellyttää kuitenkin selkeitä vastuita, riittävää dokumentointia ja integroitua tietojärjestelmäympäristöä. Tulevaisuudessa ECR/ECO-prosessien kehityksen odotetaan painottuvan automaation, dataintegraation ja tekoälypohjaisten analyysien hyödyntämiseen, joiden avulla muutoshallinta voidaan kytkeä entistä tiiviimmin tuotteen koko elinkaaren hallintaan. (Habib ym., 2022; Sullivan ym., 2023)

2.4 Muutoshallinnan organisointi ja roolien merkitys

Muutoshallinnan onnistuminen ei riipu pelkästään prosessikaavioista ja työvälaineistä, vaan ennen kaikkea siitä, miten organisaatio on rakennettu tukemaan muutoksiin sopeutumista. Roolien ja vastuiden selkeä määrittely muodostaa muutoshallinnan toiminnallisen ytimen. Jokaisella muutoksen vaiheella, muutospyynnön luomisesta sen hyväksyntään ja toimeenpanoon, on oltava nimetty vastuuhenkilö tai rooli, joka varmistaa tiedonkulun ja päätösten johdonmukaisuuden. (Eckert ym., 2004) Tyypillisesti muutosten hallintaan osallistuvat esimerkiksi muutospyynnön tekijä, tekninen arviointiryhmä (Change Advisory Board, CAB), hyväksyjä, toteuttaja ja muutoksen valvonnasta vastaava koordinaattori. (Habib ym., 2022) Jos roolit jäävät epäselviksi, muutosprosessi muuttuu helposti ad hoc -luonteiseksi, mikä lisää virheiden, viivästysten ja väärinkäsitysten riskiä. (Rammo ym., 2024)

Organisoinnin näkökulmasta muutoshallinta on luonteeltaan poikkifunktionaalinen prosessi, joka ylittää yksittäisten osastojen rajat. Tämä edellyttää tehokasta koordinoitua eri toimintojen välillä: suunnittelu, hankinta, tuotanto, laatu, huolto ja myynti ovat kaikki tavalla tai toisella osa muutosten käsittelyketjua. (Jarratt ym., 2011) Esimerkiksi suunnittelussa tehty pieni materiaalimuutos voi vaikuttaa hankinnan

sopimuksiin, varastotasoihin ja toimitusaikatauluihin. Organisaation sisäinen yhteistyö ja tiedon jakaminen ovat siten kriittisiä, jotta muutosprosessin vaikutukset voidaan tunnistaa ajoissa ja hallita kokonaisuutena. Kochin (2016) mukaan organisaatiot, joissa muutosprosessit ovat eriytyneet osastokohtaisiksi, kärsivät usein viiveistä ja tiedon pirstaloitumisesta. Näin ollen tehokas muutoshallinta edellyttää poikkiorganisatorista rakennetta ja yhteistä viitekehystä, joka sitoo eri sidosryhmät yhteen. (Koch ym., 2016) Pelkkä tietojärjestelmän implementointi ei riitä muutosten onnistumiseen, vaan muutoshallinnan organisointi edellyttää henkilöstön jatkuvaa, osallistavaa ja menetelmällistä kouluttamista uusien roolien tukemiseksi. (Kakehi ym., 2009)

Roolien määrittelyn lisäksi tärkeää on selkeä vastuunjako ja päätöksenteon hierarkia. CAB-ryhmällä on keskeinen rooli päätöksenteossa: se arvioi muutosten vaikutukset ja hyväksyy tai hylkää muutospyyntöt määriteltujen kriteerien perusteella. Ryhmän kokoonpano vaihtelee yrityksen koon ja toimialan mukaan, mutta siihen kuuluu tyypillisesti eri osastojen edustajia, jotta päätökset perustuvat monipuoliseen tietoon. (Tryczak ym., 2024) Jotta tämä päätöksentekorakenne toimii, tarvitaan ajantasainen ja luotettava tietopohja. PLM- ja ERP-järjestelmät tarjoavat tässä tukea: ne mahdollistavat muutosten seurannan, dokumentoinnin ja versionhallinnan keskitetysti, jolloin päätöksenteko perustuu todelliseen dataan eikä henkilökohtaiseen muistiin tai sähköpostiviestintään. (Habib ym., 2022)

Organisointi liittyy myös muutoshallinnan kulttuuriseen ulottuvuuteen. Muutoshallinta ei ole vain prosessi, vaan myös osa organisaation oppimiskykyä ja toimintakulttuuria. Organisaatiot, jotka näkevät muutokset uhkana, pyrkivät usein minimoimaan virallisen muutosten käsittelyn määrän, jolloin epäviralliset käytännöt lisääntyvät ja tiedon laatu heikkenee. (Faisal, 2022) Vastaavasti organisaatiot, jotka suhtautuvat muutokseen osana jatkuvaa parantamista, kehittävät selkeitä käytäntöjä ja pitävät muutosprosessia osana laadunhallintaa. Ohtamisella on keskeinen rooli tässä kehityksessä: johdon sitoutuminen ja muutosprosessille osoitettu tuki luovat pohjan tehokkaalle muutoshallinnalle. Muutoshallintaa voidaan pitää myös osana organisaation resilienssiä eli kykyä mukautua muutoksiin hallitusti ja oppia niistä systemaattisesti. (Sullivan ym., 2023)

Kommunikaation laatu ja tiedon läpinäkyvyys ovat keskeisiä tekijöitä roolien toimivuuden kannalta. Jotta muutoshallinnan prosessi on tehokas, kaikilla osapuolilla on oltava pääsy samaan ajantasaiseen tietoon muutoksen tilasta ja vaikutuksista. Tämä korostaa digitaalisten työkalujen merkitystä, sillä reaaliaikainen tiedonvaihto, versionhallinta ja sähköinen hyväksyntäkierto (workflow) mahdollistavat sen, että kaikki muutoksen osapuolet voivat seurata sen etenemistä. (Jagusch ym., 2024) Lisäksi on tärkeää, että viestintä on kaksisuuntaista: muutoksen aloitteentekijän tulee saada palautetta, ja päätöksentekijöiden on ymmärrettävä muutoksen tausta ja tarkoitus. Tämä luo luottamusta ja sitoutumista prosessiin, mikä puolestaan parantaa muutoshallinnan kypsyyttä ja tehokkuutta.

Voidaan siis todeta, että muutoshallinnan organisointi muodostaa prosessin rakenteellisen ja inhimillisen perustan. Selkeä roolitus, vastuunjako ja avoin viestintä ovat välttämättömiä, jotta muutoksia voidaan hallita tehokkaasti ja riskittömästi. Samalla muutoshallinnan kulttuurinen näkökulma korostaa johtamisen ja sitoutumisen merkitystä. Muutoshallinnan prosessi toimii vain, jos sitä tukee yhteinen tahtotila ja jatkuvan parantamisen periaate. Organisaatio, joka onnistuu yhdistämään rakenteellisen selkeyden, kulttuurisen kypsyyden ja teknisen tuen, luo kestävän perustan hallitulle muutokselle ja strategiselle oppimiselle. (Eckert ym., 2004; Tryczak ym., 2024)

2.5 Aiemmat tutkimukset ja prosessimallien kehityssuuntia

Muutoshallintaa on tutkittu laajasti osana tuote-elinkaaren hallintaa (PLM), mutta kirjallisuudessa korostuu edelleen sen monitulkintaisuus ja kontekstisidonnaisuus. Aiemmat tutkimukset osoittavat, että vaikka muutoshallinnan teoreettinen perusta on vakiintunut, käytännön soveltaminen vaihtelee huomattavasti eri toimialoilla ja organisaatiotyypeissä. (Jarratt ym., 2011) Esimerkiksi Habib ym. (2022) korostavat, että muutoshallinta on PLM-järjestelmissä kriittinen osa tuotetiedon eheyden varmistamista, mutta sen käyttöä rajoittavat usein puutteellinen prosessimäärittely ja järjestelmäintegraatio. Samalla Eckert (2004) tuo esiin, että muutoshallintaa ei tulisi tarkastella vain yksittäisenä prosessina, vaan dynaamisena verkostona, jossa päätökset

ja muutokset leviävät eri järjestelmien ja toimijoiden kautta. Tämä tekee siitä sekä organisatorisesti että teknisesti monimutkaisen ilmiön.

Aiempi tutkimus on kehittänyt useita prosessimalleja, joiden avulla pyritään jäsentämään muutoshallinnan vaiheita ja vastuita. Varhaisissa malleissa, kuten Jarrattin (2011) kehittämässä Engineering Change Process Framework -mallissa, muutosprosessi jaettiin peräkkäisiin vaiheisiin: muutospyynnön esittäminen, vaikutusanalyysi, hyväksyntä, toteutus ja seuranta. Tämä malli loi perustan myöhemmille, systemaatisemmille lähestymistavoille, jotka yhdistävät prosessin dokumentointiin, versionhallintaan ja tiedonvaihtoon liittyvät näkökulmat. Myöhemmin Habib ym. (2022) esittivät PLM-pohjaisen mallin, jossa muutosprosessin vaiheet linkittyvät suoraan tuotetietokantaan, mikä mahdollistaa muutosten automaattisen jäljitettävyyden ja auditoinnin. Tällaiset mallit ovat osoittaneet, että tietojärjestelmäpohjainen muutoshallinta voi merkittävästi parantaa läpinäkyvyyttä ja tehokkuutta, sillä edellytyksellä, että prosessirakenne on selkeä ja organisaation kulttuuri tukee sitä. (Habib ym., 2022) Ketterien (agile) menetelmien roolia tuotteen elinkaaren hallinnan (Product Lifecycle Management, PLM) optimoinnissa on tutkittu positiivisin tuloksin. Vaikka ketterät menetelmät, kuten Scrum ja Kanban, kehitettiin alun perin ohjelmistokehityksen tarpeisiin, niiden soveltaminen laajempaan PLM-kontekstiin on noussut merkittäväksi keinoksi parantaa prosessien tehokkuutta, joustavuutta ja reagointikykyä. (Abdul ym., 2020) Lisäksi Srinivasan (2011) esittää, että PLM-ratkaisujen kehitys on saavuttanut tason, jossa tuotetiedon (product data) ja metatiedon (product meta-data) mallit sekä niihin liittyvät suunnittelu- ja liiketoimintaprosessit ovat saavuttaneet riittävän valmiuden standardointia varten. (Srinivasan, 2011)

Nykyaikaisessa tutkimuksessa korostuu erityisesti metatiedon rooli liiketoimintaolioina, mikä mahdollistaa tuotetiedon hyödyntämisen laajasti koko organisaatiossa, kuten toiminnanohjauksessa (ERP) ja asiakkuudenhallinnassa (CRM), pelkän suunnitteluorganisaation sijaan. (Srinivasan, 2011) Tryczak ym. (2024) huomauttavat, että monimutkaisissa insinööriympäristöissä, kuten laivanrakennuksessa tai konepajateollisuudessa, perinteiset mallit eivät riitä, koska muutokset ovat usein rinnakkaisia, keskinäisriippuvaisia ja jatkuvasti muuttuvia. Tämän vuoksi nykyaikaiset

tutkimukset painottavat modulaarisia ja skaalautuvia prosessirakenteita, joissa eri vaiheet voivat tapahtua osittain samanaikaisesti ja joissa järjestelmä tukee päätösten dynaamista päivittämistä. (Jagusch ym., 2024) Samalla automaation ja digitaalisen päätöksenteon rooli on kasvanut: tekoälypohjaisia työkaluja käytetään jo analysoimaan muutosten vaikutuksia eri tuotemalleihin ja ehdottamaan optimaalisia ratkaisuja ennen päätöksen tekemistä. (Sullivan ym., 2023)

Monet tutkijat korostavat, että tulevaisuuden muutoshallinta nojaa yhä vahvemmin datan yhtenäisyyteen ja reaaliaikaiseen yhteistyöhön. Koch (2016) osoitti teollisuustutkimuksessaan, että merkittävä osa muutosprosessin ongelmista liittyy tiedon sirpaleisuuteen ja epäviralliseen viestintään. Hänen mukaansa muutosprosessin onnistuminen riippuu vähemmän yksittäisen ohjelmiston ominaisuuksista ja enemmän siitä, kuinka hyvin organisaatio kykenee luomaan yhtenäisen, toistettavan ja auditoitavan prosessin. Myös Faisal ym. (2022) havaitsivat systemaattisessa katsauksessaan, että organisaation valmius omaksua muutoshallintakäytäntöjä, eli sen kyky yhdistää tekniset, organisatoriset ja inhimilliset näkökulmat, on tärkeämpi menestystekijä kuin käytettävä työkalu. Tämä viittaa siihen, että prosessimallien kehittämisen rinnalla tarvitaan organisaatiotason oppimista ja muutosjohtamista.

Viimeisimmät tutkimukset suuntaavat huomiota myös muutostenhallinnan kestävyteen ja skaalautuvuuteen. Habib ym. (2022) ja Tryczak ym. (2024) korostavat, että muutoshallintaa ei voida tarkastella irrallaan digitalisaatiosta ja kestäväen kehityksen periaatteista. Automatisoidut työnkulut, tietopohjaiset päätöksenteon mallit ja pilvipohjainen yhteistyöympäristö tukevat paitsi tehokkuutta myös virheiden vähentämistä ja tiedon jäljitettävyyttä koko tuotteen elinkaaren ajan. (Habib ym., 2022; Tryczak ym., 2024) Tulevaisuudessa keskeinen tutkimuslinja liittyy siihen, miten muutoshallinta voidaan integroida saumattomasti PLM-järjestelmän, valmistuksen ja toimitusketjun hallinnan välille siten, että päätöksenteko perustuu yhtenäiseen, ajantasaiseen dataan. (Sullivan ym., 2023)

PK-yrityksiä tarkastelevassa tutkimuksessa identifioidaan kehityssuunta, jossa tuotteen elinkaaren hallinnan (PLM) mallien tulee adaptoitua organisaatioiden rajallisiin resursseihin. Tämä edellyttää erityisesti järjestelmien teknisten rajoitteiden

huomioimista erilaisten tiedostomuotojen hallinnan ja yhteensopivuuden näkökulmasta, mikä vaikuttaa suoraan järjestelmien käytettävyyteen ja implementointitehokkuuteen. (David & Rowe, 2016)

Cantamessa ym. (2012), tietojärjestelmätutkimuksen viitekehykseen nojaten, osoittavat PLM-teknologioiden merkittävät organisaatiovaikutukset. Heidän analyysinsä mukaan järjestelmien käyttöönotto muokkaa työnkulkujen operatiivista logiikkaa sekä standardoi uusiokäytön rutiineja, erityisesti organisaatioon hiljattain tulleiden työntekijöiden keskuudessa. Näiden rutiinien voidaan tulkita toimivan mekanismeina, jotka mahdollistavat uusien työntekijöiden nopeampaa integroitumista organisaatioon ja osallistumista tuottavaan työhön osallistumista organisaatiossa. (Cantamessa ym., 2012)

Pulkinen ym. (2017) tutkii teollisuuden siirtymää tilausohjautuvasta projektituotannosta (Engineered-to-Order, ETO) kohti modulaarista, konfiguroitavaa tuotantoa (Configure-to-Order, CTO). Kyseinen muutos on organisatorisesti strateginen ja vaatii tuekseen edistyneitä PLM-kyvykkyyksiä. Pulkinen ym. (2017) tutkivat tätä transformaatiota yrityksissä, jotka valmistavat kustomoituja, matalan volyymin tuotteita globaalisti hajautetuissa verkostoissa. Tutkimus osoittaa, että puhdas ETO-malli johtaa usein raskaaseen, jokaisen tilauksen kohdalla alusta alkavaan suunnittelutyöhön ja monimutkaisiin muutosprosesseihin. Liiketoiminnan transformatio CTO-suuntaan edellyttää vahvaa tuotteiden modulaarisuutta sekä sellaisten PLM-kyvykkyyksien rakentamista, jotka mahdollistavat vakioitujen tuoterakenteiden ja komponenttien hallitun uusiokäytön. Muutoshallinnan näkökulmasta tämä siirtymä on kriittinen: kun tuotteet perustuvat konfiguroitaviin moduuleihin, suunnittelumuutokset voidaan kohdistaa tarkasti yksittäisiin moduuleihin ilman, että kokonaisen asiakasprojektin rakenne vaarantuu. ETO-yritysten kilpailukyvyyn säilyttäminen vaatiikin teknologian lisäksi syvällistä muutosta siinä, miten tuotetieto integroidaan osaksi organisaation laajempaa toimitusketjua. Tutkimus osoittaa, ettei pelkästään hyvän muutoshallinnan rakentaminen välttämättä riitä vaan yrityksen on joskus muutettava liiketoimintansa mallia vähentääkseen ja hallitakseen muutoksia tehokkaasti. (Pulkinen ym., 2017)

3 Tutkimusmenetelmät

Tässä luvussa kuvataan tutkimuksen metodologiset valinnat. Aluksi esitellään tutkimusstrategia ja sen soveltuvuus tutkimusongelman ratkaisuun. Tämän jälkeen kuvataan aineistonkeruumenetelmät, jotka koostuvat asiantuntijahaastattelusta ja järjestelmätestauksesta.

3.1 Tutkimusstrategia ja lähestymistapa

Tutkimus toteutetaan konstruktiivisena tapaustutkimuksena suomalaisessa valmistavan teollisuuden yrityksessä, jossa muutoshallintaa ei ole aiemmin toteutettu systemaattisesti ja digitaalisen tuotetiedonhallinnan prosessit ovat vielä vakiintumattomia. Työssä kehitetyksi konstruktioksi muodostuu uusi muutoshallintaprosessi ja sen mallinnus. Tutkimus etene konstruktiiviselle tutkimukselle ominaisissa vaiheissa alkaen ratkaistavan ongelman määrittelystä. Tämän jälkeen aiheesta kerätään tietoa yhdistämällä teoreettista tutkimustietoa avainhenkilöhaastatteluilla saatuun empiiriseen aineistoon. Näiden pohjalta rakennetaan toimintaa virtaviivaistava ratkaisumalli, joka ratkaisee havaitut ongelmat. Ratkaisun soveltuvuutta arvioidaan lopuksi suhteessa yrityksen tavoitteisiin.

Yrityksessä käytössä olevaa Sovelia PLM -järjestelmä tarkastellaan tutkimuksessa vertailu- ja soveltuvuusanalyysin näkökulmasta. Järjestelmä toimii tutkimuksessa kontekstina, jonka avulla arvioidaan, miten esitetyt prosessimallit ja tiedonhallinnan periaatteet voitaisiin toteuttaa käytännössä. Tarkoituksena on selvittää, missä määrin Sovelia tarjoaa rakenteelliset ja toiminnalliset edellytykset muutoshallinnan käyttöönottoon, ja toisaalta, millaisia kehitystoimenpiteitä sen hyödyntäminen edellyttäisi. Tutkimus yhdistää teoreettisen tarkastelun ja käytännön sovellettavuuden arvioinnin, tuottaen kokonaiskuvan muutoshallinnan prosessien ja tiedonhallinnan parhaista käytännöistä suuressa organisaatiossa.

Tätä teoreettista viitekehystä hyödynnetään tutkimuksessa kahdella tavalla:

1. **Vaatimusten luominen:** Teorian ja vertailutiedon pohjalta määritellään kriteerit sille, mitä ominaisuuksia toimivalta muutoshallintajärjestelmältä vaaditaan suuressa, valmistavan teollisuuden yrityksessä.
2. **Ratkaisun rakentaminen (Konstruointi):** Teoreettisia malleja sovelletaan suoraan käytäntöön, kun PLM-järjestelmään luodaan uusi muutoshallintaprosessi. Järjestelmän työnkulut (workflow), hyväksyntäketjut ja tietorakenteet konfiguroidaan noudattamaan teoriassa tunnistettuja hyviä käytäntöjä.

3.2 Aineistonkeruumenetelmät

Tämän tutkimuksen tiedonkeruumenetelmänä käytetään laadullisia asiantuntijahaastatteluja. Tiedonkeruun tavoitteena on saavuttaa syvä ymmärrys kohdeyrityksen muutoshallinnan nykytilasta sekä prosessin kipupisteistä. Tutkimusta varten valitaan harkinnanvaraisella otannalla kaksi organisaation avainhenkilöä: suunnitteluosaston esihenkilö sekä saman osaston työkalutiimin johtaja. Näillä asiantuntijoilla on toimenkuvansa ja asiantuntemuksensa puolesta syvä ja ajantasaisin kokemus yrityksen nykyisestä muutosprosessista.

Haastattelut toteutetaan puolistrukturoituina haastatteluina, joiden rakenne jaetaan kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa asiantuntijat vastaavat etukäteen laadittuun kirjalliseen kysymysrunkoon, jolla kartoitetaan prosessin muodolliset askeleet, vastuujat ja faktatiedot. Toinen vaihe koostuu vapaamuotoisemmasta haastatteluosiosta, jossa kirjallisten vastausten pohjalta käydään syventävää keskustelua. Tämä avoin osuus antaa asiantuntijoille tilaa tuoda esiin nykyisen muutosprosessin todelliset pullonkaulat ja omat kehitysehdotuksensa ilman kysymysten asettamia rajoitteita.

Laadullisen haastatteluaineiston lisäksi tutkimuksessa kerätään toissijaista, määrällistä dataa yrityksen tietojärjestelmistä. Tämä aineisto koostuu tuotannon aikaisten revisioiden lukumääristä ja niiden jakautumisesta eri liiketoiminta-alueiden kesken.

3.3 Aineiston analysointimenetelmät

Tutkimuksessa kerätty empiirinen aineisto analysoidaan laadullisen sisällönanalyysin menetelmin. Analyysiprosessi käynnistyy aineistoon perehtymisellä, minkä jälkeen asiantuntijoiden vastauksista tunnistetaan ja eristetään tutkimusongelman kannalta relevantit havainnot. Näihin lukeutuvat muun muassa nykyisen muutoshallintaprosessin epäviralliset käytännöt sekä manuaalisten työvaiheiden suuri osuus. Analyysin edetessä yksittäiset havainnot pelkistetään ja ryhmitellään teemoihin. Haastatteluista saatavaa empiiristä tietoa hyödynnetään muutoshallinnan nykytilaa kuvaavan uimaratakaavion mallintamisessa.

4 Nykytilan analyysi ja haasteet

Tässä luvussa tarkastellaan kohdeyrityksen muutoshallinnan nykytilaa ennen uuden PLM-järjestelmän ja siihen liittyvän systemaattisen prosessin käyttöönottoa. Analyysi perustuu yrityksen asiantuntijoiden haastatteluihin sekä havaintoihin nykyisistä toimintatavoista. Tavoitteena on tunnistaa nykymallin kipupisteet, jotta kehitettävä prosessi pystyy vastaamaan tunnistettuihin haasteisiin. (TK2)

Kaikki tämän luvun tiedot on kerätty haastattelemalla työkalutiimin ja suunnitteluosaston esihenkilöitä ja koostettu kaksivaiheisesta aineistosta, joka sisältää etukäteen laaditun kirjallisen kysymysrunгон (Liite 1) sekä vapaan haastatteluosuuden.

4.1 Yrityksen nykyinen toimintamalli ja prosessit

Tutkimuskohteena oleva yritys ei ole poikkeus edellä kuvatusta ilmiöstä, vaan sen nykyinen toimintamalli heijastaa tyypillistä ad-hoc-periaatteisiin perustuvaa muutoshallintaa, jossa päätöksenteko ja vastuut eivät noudata yhtenäistä prosessia. Organisaatiossa muutokset käynnistyvät usein yksittäisten henkilöiden aloitteesta, ja niiden toteutus sekä tiedottaminen etenevät epämuodollisesti ilman standardoituja käytäntöjä tai systemaattista dokumentointia. Tämä käytäntö vastaa muissa tutkimuksissa kuvattua tilannetta, jossa rakenteiden puute johtaa vaihteleviin lopputuloksiin, tiedon hajanaisuuteen sekä vaikeuksiin varmistaa tuotetietojen ja toimintaprosessien yhdenmukaisuus.

Kohdeyrityksen nykyinen muutoshallinta ei perustu formaaliin, dokumentoituun prosessikaavioon, vaan se on luonteeltaan reaktiivista ja nojaa vakiintuneisiin, epävirallisiin käytäntöihin. Muutostarpeet eli niin sanotut "lähtötriggerit" (initiation triggers) nousevat tyypillisesti esiin kahdessa pääkanavassa: palaverissa, joissa käsitellään ajankohtaisia haasteita, tai sähköpostiviestinnän kautta.

Sähköposti toimii nykymallissa keskeisenä operatiivisena työkaluna, jonka kautta annetaan uusia suunnitteluohjeita tai ratkaistaan yksittäisiä ongelmia. Päätöksenteko muutoksen käynnistämisestä tapahtuu usein ad hoc -periaatteella palaverin sisällä tai sähköpostiketjuun osallistuvien henkilöiden kesken.

Kun päätös muutoksen toteuttamisesta on tehty, se siirtyy toteutukseen yksilötason tehtävienhallinnan kautta. Muutostehtävät kirjataan usein henkilökohtaisille tai rajatun ryhmän nähtävillä oleville tehtävälistoille (task lists). Nykyisessä toimintamallissa ei ole keskitettyä järjestelmää, joka kokoaisi kaikki avoimet muutokset yhteen näkymään, vaan tieto muutoksen statuksesta on hajautunut eri henkilöiden hallinnoimiin kanaviin.

Kohdeyrityksessä tehdyt muutokset voidaan jakaa kahteen pääkategoriaan:

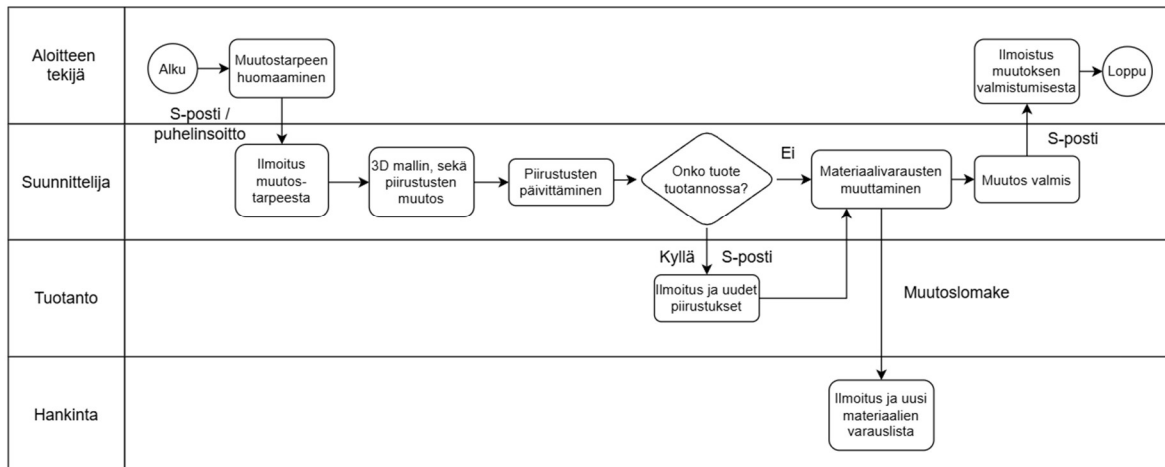
tuotekohtaisiin muutoksiin sekä yleisiin, prosessi- tai komponenttitason muutoksiin.

Tuotekohtaiset muutokset liittyvät yksittäisiin tuotteisiin ja ovat pääsääntöisesti suunnittelijan vastuulla. Sen sijaan yleiset muutokset koskevat laajempia prosesseja tai vakio-osia, joita käytetään useissa tuotteissa. Muutostyypistä riippumatta, keskeinen haaste on yhteinen: muutoshallinnan hajanaisuus. Yrityksessä ei ole käytössä keskitettyä järjestelmää tai standardoitua prosessia, joka ohjaisi muutosten käsittelyä järjestelmällisesti eri toimintayksiköissä, vaan suunnittelijat joutuvat tarkistamaan ja päivittämään tiedon manuaalisesti.

Kaavio 2 havainnollistaa yksittäiseen tuotteeseen kohdistuvan muutosprosessin kulkua uimaratakaaviona. Prosessi käynnistyy aloitteentekijän havaitsemasta muutostarpeesta, minkä jälkeen vastuu siirtyy tuotteen suunnittelijalle. Suunnittelijan tehtävänä on päivittää tuotetiedot, kuten 3D-mallit ja piirustukset. Prosessin päätöspiste on tuotantostatuksen tarkistaminen: mikäli tuote on jo tuotannossa, prosessiin sisällytetään tuotannon informointi ja uusien piirustusten toimittaminen. Mikäli tuote ei ole tuotannossa, tämä vaihe ohitetaan. Lopuksi suunnittelija päivittää materiaalivaraukset, josta tieto välittyy hankintaosastolle. Prosessi päättyy muutoksen valmistumisen kirjaamiseen ja aloitteentekijän informointiin.

Muutosprosessin nykytilanne

Muutos yhteen tuotteeseen



Kaavio 2. Yksittäiseen tuotteeseen kohdistuvan muutosprosessin kulku nykytilassa.

Tuotekohtainen muutosprosessi käynnistyy tyypillisesti, kun toinen suunnittelija, tuotanto, asiakas tai hankintaosasto havaitsee, ettei tuote täytä valmistus- tai toiminnallisia vaatimuksia. Tämä palaute toimitetaan usein suoraan alkuperäiselle suunnittelijalle sähköpostitse. Tämän jälkeen suunnittelija arvioi palautteen sisällön, analysoi ongelman ja avaa tuotteen 3D-mallin. Tarvittavat muutokset toteutetaan malliin, jonka jälkeen päivitetään uusi revisio, varmistetaan piirustusten ja materiaalivarausten vastaavuus sekä ajantasaisuus uuden mallin kanssa.

Kun muutos on teknisesti valmis, suunnittelija tarkistaa, onko kyseinen tuote jo tuotannossa. Jos tuote on tuotannossa, suunnittelija vastaa muutoksesta tiedottamisesta tuotannolle sekä uusien piirustusten toimittamisesta. Samalla materiaalivarausten muutokset toimitetaan manuaalisesti hankintaosastolle. Näin ollen suunnittelija joutuu koordinoimaan muutoksen kolmessa erillisessä järjestelmässä ilman keskitettyä muutoshallintaa. Merkittävä haavoittuvuus syntyy siinä, ettei muutoksista synny systemaattista dokumentaatiota, vaan ainoa selite muutokselle on usein suunnittelijalla sähköpostissa.

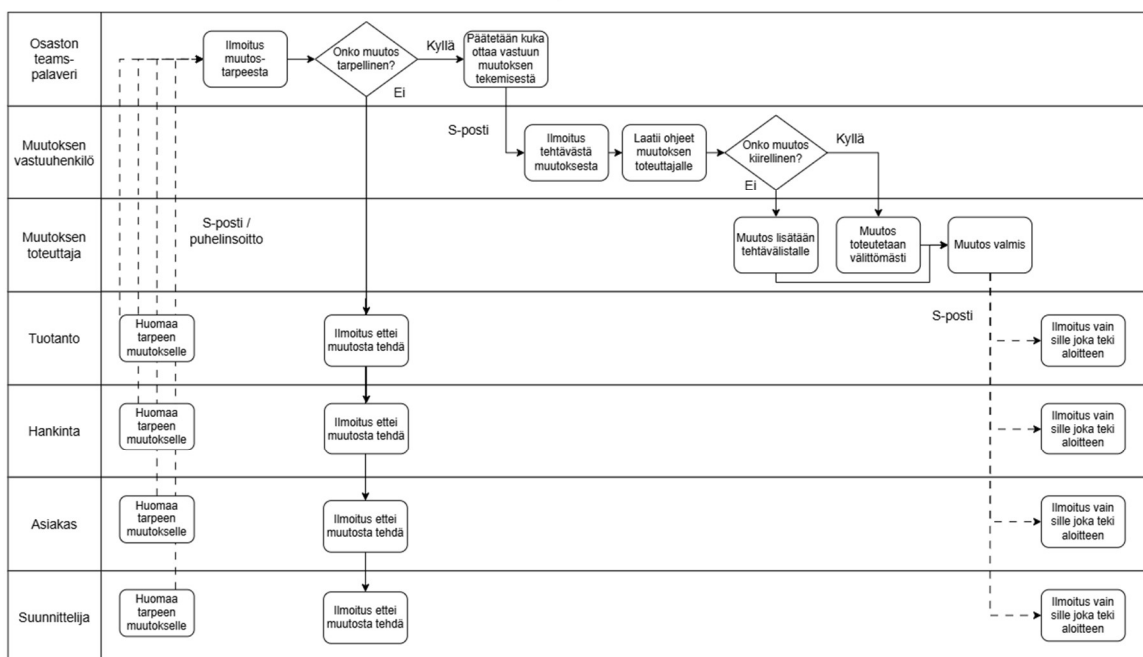
Tuotekohtaiset muutokset muodostavat käytännössä jatkuvan ja päivittäisen ilmiön. Vaikka yksittäinen muutos voi olla laajuudeltaan pieni, niiden kumulatiivinen määrä

kasvattaa muutoshallinnan kuormaa merkittävästi. Päivittäinen muutosvirta edellyttäisi ajantasaista ja helposti saavutettavaa tietoa siitä, mitä on muutettu, millä perusteella muutos on tehty sekä mihin muihin nimikkeisiin tai dokumentteihin muutos vaikuttaa. Kun tätä tietoa ei kerry keskitetysti, muutosten hallinta perustuu käytännössä yksittäisten toimijoiden henkilökohtaiseen tilannekuvaan ja viestihistoriaan.

Kaaviossa 3 kuvataan yleisen muutoshallintaprosessin nykytila uimaratakaaviona. Prosessi käynnistyy aloitteentekijän havainnosta, joka vie osaston viikoittaiseen Teams-palaveriin käsiteltäväksi. Palaverissa tehdään päätös muutoksen tarpeellisuudesta ja nimetään vastuuhenkilö. Vastuuhenkilö laatii ohjeet ja delegoi toteutuksen eteenpäin. Toteutusvaiheessa prosessi jakautuu kiireellisyyden perusteella kahteen haaraan: kiireelliset muutokset toteutetaan välittömästi, kun taas ei-kiireelliset siirtyvät odottamaan tehtävälistalle. Prosessin merkittävä piirre on tiedonkulun rajautuminen lopussa, tieto valmistuneesta muutoksesta palautuu ainoastaan alkuperäiselle aloitteentekijälle, mikä jättää muut sidosryhmät ilman automaattista ilmoitusta.

Muutosprosessin nykytilanne

Laaja muutos



Kaavio 3. Laaja tai moneen tuotteeseen kohdistuvan muutosprosessin kulku nykytilassa.

Muistinvaraisuuden korostuminen näkyy erityisesti harvemmin toteutettavissa, mutta vaikutuksiltaan laajoissa muutoksissa. Kun suuremman kokoluokan muutokset tapahtuvat epäsäännöllisesti, niiden prosessointi ei vakiinnu rutiiniksi, vaan onnistuminen nojaa suunnittelijan kokemukseen ja muistikuvaan aiemmista ratkaisuista. Tällöin suunnittelijan on käytännössä muistettava, mitä nimikkeitä organisaatiossa käytetään, mitkä on poistettu käytöstä ja mitä korvaavia nimikkeitä tulisi käyttää. Mikäli tämä tieto ei ole eksplisiittisesti dokumentoitu ja helposti todennettavissa, syntyy riski vanhentuneiden nimikkeiden uudelleenkäytöstä.

4.2 Tunnistetut ongelmakohdat ja niiden juurisyyt

Kun tuotteeseen kohdistuu rakenteellinen muutos, suunnitteluprosessissa on varmistettava tietojen yhdenmukaisuus läpi koko tuotedatarakenteen. Nykyisessä toimintamallissa muutos ei päivity automaattisesti kaikkiin dokumentteihin, vaan se vaatii suunnittelijalta erillisiä toimenpiteitä kolmessa kohteessa ja useissa järjestelmissä. Ensivaiheessa muutos toteutetaan 3D-malliin, joka toimii tuotteen geometrisena päätietolähteenä. Tämän jälkeen muutokset on vietävä manuaalisesti

teknisiin piirustuksiin, jotta mitat ja osaluettelot vastaavat päivitettyä mallia. Kolmantena vaiheena on päivitettävä nimike- ja materiaalivaraukset toiminnanohjausjärjestelmään, jotta hankinta ja tuotanto perustuvat oikeisiin materiaalitarpeisiin. Tämä kolmivaiheinen päivitysvaatimus lisää työmäärää ja kasvattaa inhimillisten virheiden riskiä, mikäli jokin osa-alue jää huomioimatta.

Tämä hajautunut toimintamalli ja sen vaatima moninkertainen kirjaustyö juontavat juurensa organisaation tietojärjestelmäarkkitehtuurin rakenteellisiin haasteisiin. Nykyiset suunnittelu-, dokumentaatio- ja tuotannonohjausjärjestelmät toimivat pitkälti erillisinä ohjelmina, joiden väliset integraatiot ja rajapinnat ovat suppeita. Koska data ei virtaa automaattisesti järjestelmien välillä, suunnittelija toimii käytännössä "ihmisrajapintana", joka siirtää ja muokkaa tietoa manuaalisesti sovelluksesta toiseen.

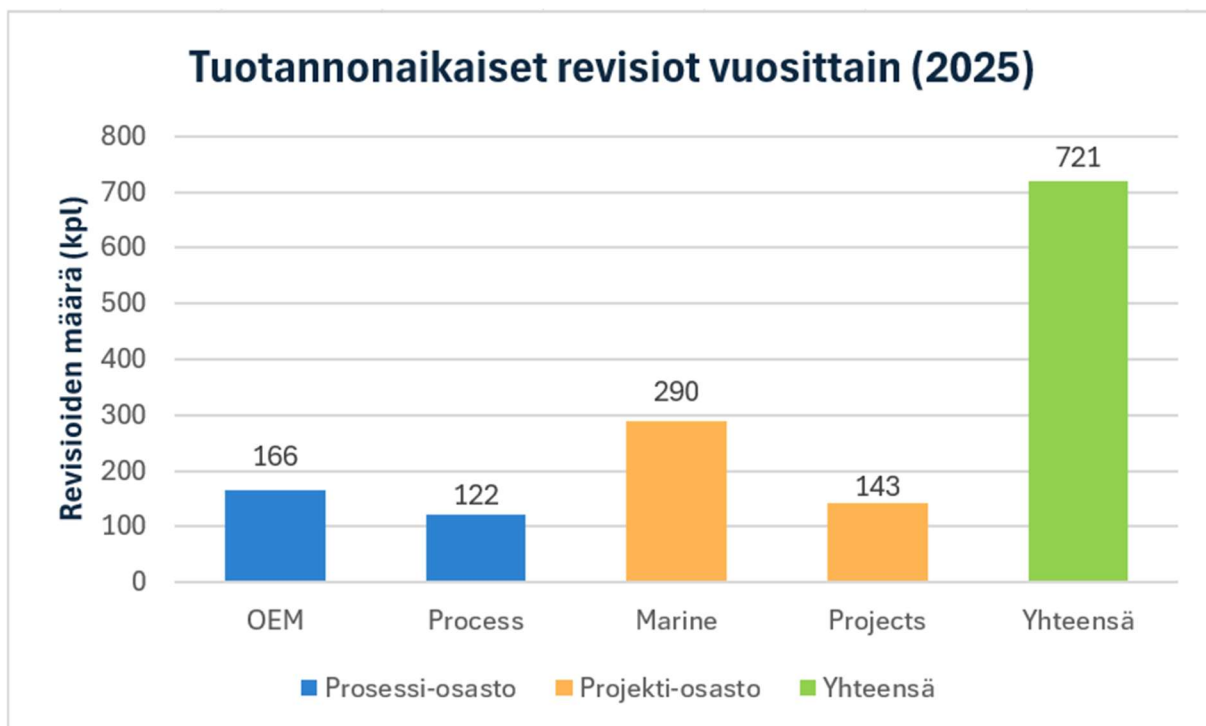
Järjestelmäympäristön hajanaisuus on seurausta organisaation nopeasta kasvusta ja sen aikana tehdyistä strategisista valinnoista. Kasvuvaiheessa toiminnan painopiste on ollut ketteryydessä ja nopeassa reagoinnissa akuutteihin tarpeisiin. Kun uusi tarve on ilmennyt, siihen on vastattu hankkimalla kyseiseen tarkoitukseen optimoitu erillisjärjestelmä. Tämä on ollut resurssitehokas ja nopea tapa skaalata toimintaa verrattuna siihen, että olisi yritetty rakentaa alusta alkaen yksi kaikenkattava järjestelmäkokonaisuus. Tulevaisuuden tarpeiden ennustaminen nopeasti muuttuvassa ympäristössä olisi ollut epävarmaa, joten raskaiden integraatiohankkeiden sijaan on suosittu kevyempiä, tarveperusteisia ratkaisuja.

Keskeisin ongelman aiheuttaja on hajanaisista järjestelmistä johtuva muistinvarainen toiminta. Koska muutoksiin liittyvät päätökset, perustelut ja rajaukset eivät tallennu yhtenäiseen tietorakenteeseen, suunnittelijan tehtäväksi jää ylläpitää "hiljaista" tietoa siitä, mitkä nimikkeet ovat käytössä, mitkä ovat korvautuneet ja mitkä tulisi välttää. Tällainen toimintatapa on erityisen altis inhimillisille virheille, sillä se edellyttää samanaikaista muistamista useista rinnakkaisista säännöistä ja poikkeuksista ilman järjestelmän tarjoamaa tukea.

Hajanaisesta järjestelmäympäristöstä seuraa myös se, että nimike- ja revisiokäytäntöjen yhdenmukaisuus heikkenee. Kun muutosten vaikutuksia ei arvioida yhden tietyn tiedonlähteen kautta, muutosten leviäminen tuotannon, hankinnan ja

suunnittelun välillä jää yksittäisten viestien ja manuaalisten tarkistusten varaan. Tällaisessa asetelmassa tieto nimikkeiden tilasta ei ole ainoastaan puutteellisesti dokumentoitua, vaan myös ajallisesti epästabiliia. Sama nimike voi näyttäytyä eri järjestelmissä eri tavoin riippuen siitä, missä vaiheessa manuaaliset päivitykset tehdään. Kuten alla olevasta kaaviosta nähdään, keskimääräinen revisiofrekvenssi on kaksi muutosta kalenteripäivää kohden, mikä asettaa korkeita vaatimuksia dokumentaation hallinnalle ja muutosten reaaliaikaiselle seurannalle.

Kaavio 4 havainnollistaa muutoshallinnan volyyymia ja kuormittavuutta organisaatiossa vuoden 2025 aikana. Pylväsdiagrammi esittää tuotannaikaisten revisioiden kokonaismäärän sekä niiden jakautumisen eri osastoille. Kaaviosta ilmenee, että muutostarpeet jakautuvat epätasaisesti: Projektiosaston (Marine ja Projects) Marine-yksikkö erottuu selvästi suurimpana yksittäisenä muutoslähteenä 290 revisiolla, kun taas Prosessiosaston yksiköiden (OEM ja Process) muutoshistoria on tasaisempaa. Korkea kokonaismäärä indikoi, että nykyprosessin läpi kulkee päivittäin useita muutoksia, mikä korostaa tehokkaan hallintamallin kriittisyyttä.



Kaavio 4. Tuotannaikaisten revisioiden määrä osastoittain, Prosessi-osasto (sininen), Projekti-osasto (oranssi) ja kaikki yhteensä (vihreä).

Revisioiden määrän kasvaessa myös niiden yhteenlasketut taloudelliset vaikutukset muodostuvat kohdeyrityksessä erittäin merkittäviksi, ja niiden voidaan arvioida nousevan kokonaisuudessaan jopa miljoonaluokkaan. Vaikka yksittäinen revisio näyttäytyy usein pienikustanteisena ja rajattuna toimenpiteenä, se käynnistää todellisuudessa laajan ketjun työvaiheita, kuten mallien ja piirustusten päivityksen, manuaalisen tiedonsiirron sekä sidosryhmien operatiiviset toimenpiteet. Samalla se aiheuttaa välillisiä kuluja esimerkiksi tuotannon keskeytysten, varastoon jäävien vanhentuneiden osien ja toimitusviiveiden muodossa. Kun nämä päivittäiset tuotekohtaiset sekä harvemmin toteutettavat laajemmat muutokset tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena, kumulatiiviset kustannukset kertaantuvat nopeasti. Tätä kustannusnousua ei selitä pelkästään muutosten tekninen toteutus, vaan ennen kaikkea nykyisen muutoshallinnan hajanaisuus: mitä enemmän prosessi nojaa manuaalisiin siirtoihin ja muistinvaraisuuteen, sitä useammin revisioihin kytkeytyy päällekkäistä työtä, puutteellista tiedonkulkua ja kalliita korjauskierroksia, jotka kasvattavat kokonaiskustannusta mittavasti suhteessa alkuperäisen muutoksen laajuuteen.

Taulukossa 1 ongelmat on jaettu kolmeen pääkategoriaan: järjestelmät, prosessit ja tieto. Tämän luokittelun tavoitteena on selvittää ongelmien määrä sekä todentaa, mitkä ratkaisut koskevat tiettyjä ongelmia. Järjestelmätason ongelmat (JÄR) viittaavat järjestelmäinfrastruktuurin ja työkalujen puutteisiin, jotka estävät tehokkaan toiminnan. Prosessitason ongelmat (PRO) kuvaavat dynaamisia, toiminnallisia pullonkauloja ja vastuunjakoja, jotka voivat olla viallisia toimivista työkaluista huolimatta. Tietotason ongelmat (TIE) keskittyvät informaatioarkkitehtuuriin, datan luotettavuuteen ja jäljitettävyyteen. Erittelemällä ongelmat näin voidaan kullekin osaongelmalle määrittää helposti binäärinen "ratkaistu/ei ratkaistu" -tila.

Taulukko 1. Kohdeyrityksen muutoshallinnan nykytilan analyysissä tunnistetut haasteet kategorisoituna seurattaviksi osaongelmiksi.

Tunniste	Ongelma	Selite
JÄR-01	Keskitetyn hallintajärjestelmän puute	Yritykseltä puuttuu "absoluuttinen totuus"-järjestelmä muutoshallintaan. Muutokset eivät tallennu tietokantaan, vaan leviävät sähköposteihin ja erillisiin tiedostoihin.
JÄR-02	Järjestelmien siiloutuminen (Integraation puute)	Suunnittelun, tuotannon ja hankinnan järjestelmät eivät keskustele keskenään. Tämä pakottaa tiedon siirtämisen manuaalisesti järjestelmästä toiseen.
PRO-01	Standardoimaton muutosprosessi	Ei ole määriteltyä, vakioitua työnkulkua, joka ohjaisi muutoksen etenemistä. Toiminta on reaktiivista ja vaihtelee tapauskohtaisesti.
PRO-02	Manuaalinen ja epävarma tiedonkulku	Prosessi nojaa sähköpostiviestintään ja ihmisten muistiin. Tämä luo suuren riskin tiedon katoamiselle tai vääristymiselle matkalla.
PRO-03	Korkea henkilöriippuvuus	Muutoshallinta on yksittäisen suunnittelijan henkilökohtaisen tilannekuvan varassa. Jos henkilö poistuu, tieto muutoksen tilasta tai tarpeesta katoaa.
TIE-01	Muutossynn puuttuminen	Järjestelmään ei jää tietoa siitä, miksi muutos tehtiin. Perustelut jäävät sähköposteihin, eikä niihin voida palata myöhemmin.
TIE-02	Systemaattisen dokumentaation puute	Muutoksista ei synny virallista jälkeä tai dokumenttia. Historia on hajanainen, eikä se muodosta luotettavaa aikajanaa tuotteen elinkaaresta.
TIE-03	Vaikutusanalyysin (Impact Analysis) mahdottomuus	Tietoa ei ole jäsennelty niin, että nähtäisiin helposti, mihin kaikkiin muihin nimikkeisiin, kokoonpanoihin tai dokumentteihin tehty muutos heijastuu.
TIE-04	Tilannetiedon (Status) näkymättömyys	Organisaatiolla ei ole reaaliaikaista näkymää siihen, onko muutos suunnittelussa, hyväksytty, toteutuksessa vai valmis.

5 Kehitetty ratkaisumalli

Tässä luvussa tarkastellaan kohdeyrityksen nykyisen muutoshallinnan keskeisiä haasteita (TK2) ja luodaan prosessimalli, joka tukisi järjestelmällisempää ja läpinäkyvämpää muutosten käsittelyä. Luvun sisältö perustuu ammattilaishaastattelun analyysiin, jonka pohjalta on tunnistettu kaksi pääongelmaa nykyisessä muutosprosessissa. Tämän analyysin perusteella muodostetaan tavoitetilaa kuvaava malli, jossa määritellään roolit, vastuut ja prosessin kulku. (TK3)

Lisäksi luvussa tarkastellaan Engineering Change Request (ECR) ja Engineering Change Order (ECO) -toimintojen keskeistä roolia teknisessä muutostenhallinnassa sekä muutoslautakunnan tehtävää päätöksenteon ja ohjeistuksen keskittäjänä. Lopuksi arvioidaan, millaisia organisatorisia ja teknisiä vaatimuksia uuden prosessimallin käyttöönotto edellyttää kohdeyrityksessä.

5.1 Uuden prosessin tavoitteet ja suunnittelukriteerit

Tämän luvun tarkoituksena on syntetisoida nykytila-analyysissä havaitut muutoshallinnan juurisyyt tavoitetilan prosessin (To-Be) konkreettisiksi suunnittelukriteereiksi. Uuden prosessimallin ja sitä tukevan järjestelmäarkkitehtuurin kehitystyötä on ohjannut periaate, jonka mukaan ratkaisun on oltava käyttäjälähtöisesti mahdollisimman yksinkertainen ja ketterä, mutta samalla rakenteellisesti riittävän kattava hallitsemaan myös monimutkaiset tuoterakennemuutokset. Tavoitetilan malli on rakennettu ratkaisemaan kolmeen pääkategoriaan: järjestelmäarkkitehtuurin (JÄR), prosessien vakiointiin (PRO), sekä tiedonhallintaan (TIE) liittyviä ongelmia.

Tutkimusongelman systemaattiseksi ratkaisemiseksi tässä työssä kehitettävä konstruktio rakennetaan aksiomaattisen suunnittelun menetelmää soveltaen. Menetelmä perustuu neljään toisistaan riippuvaiseen suunnitteluavaruuteen: asiakasvaruuteen (Customer Domain), toiminnalliseen avaruuteen (Functional Domain), fyysiseen avaruuteen (Physical Domain) sekä prosessiavaruuteen (Process Domain). Näiden avaruuksien oikeaoppinen luominen ja analysoiminen mahdollistavat järjestelmän merkityksellisyyden ja komponenttien välisten riippuvuuksien hallinnan. (N. Suh, 2001) Suunnitteluprosessi etenee näiden avaruuksien välillä systemaattisesti

siten, että vasemmanpuoleinen avaruus määrittää aina tavoitteet "mitä halutaan saavuttaa" ja oikeanpuoleinen avaruus tarjoaa näille tavoitteille käytännön ratkaisut "miten tavoitteet saavutetaan". (N. P. Suh, 1998)

Aksiomaattisen suunnittelun tieteellinen perusta nojaa kahteen ohjaavaan perusaksiomaan:

1. Riippumattomuusaksioma (The Independence Axiom): Ensimmäinen aksioma vaatii, että järjestelmän toiminnallisten vaatimusten (FR, Functional Requirements) riippumattomuus on aina säilytettävä. Kun järjestelmälle on asetettu useita toiminnallisia vaatimuksia, suunnitteluratkaisu (DP, Design Parameter) on valittava siten, että kutakin vaatimusta voidaan hallita ja muuttaa ilman, että se vaikuttaa muihin vaatimuksiin. Tämä eliminoi suunnitteluratkaisujen ei-toivotun kytkeytymisen. (N. P. Suh, 1998)

2. Informaatioaksioma (The Information Axiom): Toinen aksioma ohjaa minimoimaan suunnitteluratkaisun informaatioisisällön. Mikäli useampi erilainen ratkaisuvaihtoehto täyttää riippumattomuusaksioman asettamat ehdot, paras ratkaisu on se, jonka informaatioisisältö on pienin. Koska informaatioisisältö määritellään teorian puitteissa todennäköisyytenä, informaation minimointi tarkoittaa käytännössä sen ratkaisun valitsemista, jolla on korkein todennäköisyys saavuttaa asetetut toiminnalliset tavoitteet. (N. P. Suh, 1998)

Riippumattomuusaksioman toteutumista eli toiminnallisten vaatimusten (FR) ja suunnitteluparametrien (DP) välistä suhdetta havainnollistetaan ja analysoidaan tyypillisesti riippuvuusmatriisin (Design Matrix) avulla. Riippuvuusmatriisi tekee näkyväksi tuotteen rakenteellisen monimutkaisuuden osoittamalla matemaattisesti, mitkä parametrit vaikuttavat mihinkin vaatimuksiin. Aksiomaattisessa suunnittelussa nämä matriisit jaetaan kytkentöjensä (coupling) perusteella kolmeen päätyyppiin:

1. Kytkemätön (uncoupled) eli lineaarinen matriisi: Tämä on suunnittelun ihannetilanne, jossa matriisi on täysin diagonaalinen. Jokaista toiminnallista vaatimusta vastaa tasan yksi suunnitteluparametri, jolloin yksittäisen

ominaisuuden muuttaminen ei aiheuta minkäänlaisia kerrannaisvaikutuksia muihin järjestelmän osiin.

2. Osittain kytketty (decoupled) eli kolmiomainen matriisi: Tämä on teollisuudessa yleinen ja hyväksyttävä tilanne, jossa yksi parametri voi vaikuttaa useampaan vaatimukseen, mutta riippuvuudet muodostavat matriisiin loogisen kolmiomaisen rakenteen. Riippumattomuusaksiooma voidaan yhä täyttää, mikäli suunnittelu ja mahdolliset muutokset toteutetaan tarkassa, matriisin osoittamassa järjestyksessä.
3. Kytketty (coupled) eli kietoutunut matriisi: Tämä on muutoshallinnan kannalta ongelmallinen tilanne, jossa parametrit vaikuttavat ristiin lukuisiin toiminnallisiin vaatimuksiin vailla selkeää järjestystä. Kytketyssä rakenteessa riippumattomuusaksiooma ei toteudu, jolloin yksittäinen suunnittelumuutos aiheuttaa todennäköisesti hallitsemattomia heijastusvaikutuksia (change propagation) koko järjestelmään, johtuen kalliisiin ja aikaa vieviin yritys-erehdyskierteisiin. (Kulak ym., 2010)

Tässä tutkimuksessa suunnitteluprosessi etenee siis vaiheittain, asiantuntijahaastatteluissa tunnistetut juurisyyt muunnetaan ensin tavoitetilan asiakastarpeiksi (CN) siten, että havaitut ongelmat linkitetään asiakasvaatimuksiin selkeästi. Tämän vaiheen tarkoituksena on tarkasti määrittää, mitä ominaisuuksia tavoitetilan ratkaisulta edellytetään havaittujen rakenteellisten haasteiden eliminoimiseksi. Asiakastarpeista johdetaan ratkaisun toiminnalliset vaatimukset (FR). Lopuksi näiden vaatimusten pohjalta kehitetään ja valitaan optimaaliset tekniset suunnitteluparametrit (DP).

Muutoshallintaprosessin osalta merkittävimmät riskitekijät liittyivät toiminnan standardoimattomuuteen ja reaktiivisuuteen (PRO-01) sekä organisaation korkeaan henkilöriippuvuuteen (PRO-03). Näiden prosessuaalisten epäkohtien korjaamiseksi muotoiltiin asiakastarve CN 1, joka edellyttää yritykselle vakioitua ja yksilöistä riippumatonta menetelmää muutosten käsittelyyn. Lisäksi nykyisen mallin nojautuminen epäviralliseen sähköpostiviestintään (PRO-02) synnyttää merkittävän riskin tiedon katoamiselle tai vääristymiselle. Tämän havainnon pohjalta määritettiin

asiakastarve CN 2, joka kieltää sidosryhmien välisen tiedonvälityksen riippuvuuden manuaalisista sähköposteista ja vaatii viestinnän luotettavuuden varmistamista.

Nykytilan arvioinnissa havaittiin, että organisaatiolta puuttuu keskitetty tuotetiedon hallintajärjestelmä (JÄR-01), minkä seurauksena muutosdata pirstaloituu sähköpostiviestintään. Lisäksi tietojärjestelmien siiloutuminen pakottaa suunnittelu-, tuotanto- ja hankintaosastot manuaaliseen tiedonsiirtoon (JÄR-02). Nämä arkkitehtuuritason rakenteelliset puutteet johdettiin asiakastarpeiksi CN 3 ja CN 4. Asiakastarve CN 3 edellyttää tiedon keskittämistä yhteen "absoluuttisen totuuden" tietokantaan, mikä neutraloi suoraan JÄR-01-ongelman. Vastaavasti CN 4 vaatii osastojen välisen datansiirron saumatonta automatisointia, mikä eliminoi JÄR-02:n mukaisen manuaalisen työvaiheen tarpeen.

Kolmas ongelmakokonaisuus koskee tuotetiedon eheyttä ja elinkaaren jäljitettävyyttä. Koska nykyjärjestelmä ei tallenna rakenteellista tietoa muutosten juurisyistä (TIE-01) eikä generoi systemaattista dokumentaatiota (TIE-02), ratkaisulle asetettiin asiakastarve CN 5: ”muutosten historialle ja perusteluille on muodostuttava luotettava ja auditoitava jälki”. Empiiriset havainnot osoittivat myös, ettei organisaatiolla ole menetelmiä kokonaisvaltaisen vaikutusanalyysin (Impact Analysis) toteuttamiseen (TIE-03) tai prosessin tilannetiedon reaaliaikaiseen seurantaan (TIE-04). Näistä tietoon liittyvistä puutteista johdettiin asiakastarve CN 6, joka asettaa tavoitteeksi muutoksen etenemisen ja sen kerrannaisvaikutusten reaaliaikaisen näkyvyyden kaikille asianosaisille.

Taulukossa 2 esitetään sovelletun systemaattisen muunnosprosessin tulokset, joissa määritetyt asiakastarpeet on linkitetty nykytila-analyysissa tunnistettuihin rakenteellisiin ongelmiin. Taulukosta voidaan havaita, että prosessin ansiosta jokainen määritetty asiakastarve on mahdollista jäljittää yksiselitteisesti vähintään yhteen nykytila-analyysissa dokumentoituun rakenteelliseen ongelmaan. Tämä muodostaa selkeän validointiketjun, joka varmistaa, että suunnitteluvaiheessa määritettävät toiminnalliset vaatimukset (FR) sekä niitä toteuttavat tekniset suunnitteluparametrit (DP) kohdentuvat systemaattisesti organisaation todellisten haasteiden ratkaisemiseen.

Taulukko 2: Kategorisoitujen ongelmien ja niistä johdettujen asiakastarpeiden välinen yhteys.

Ongelmat	Asiakastarpeen tunniste	Asiakastarpeet (CN)
PRO-01 PRO-03	CN 1	Yritys tarvitsee vakioidun ja henkilöistä riippumattoman tavan käsitellä muutoksia
PRO-02	CN 2	Tieto ei saa kadota tai vääristyä sidosryhmien välillä, eikä se saa olla riippuvainen manuaalisista sähköposteista
JÄR-01	CN 3	Kaiken tiedon on löydyttävä yhdestä paikasta, "absoluuttisesta totuudesta"
JÄR-02	CN 4	Datan siirto suunnittelun, tuotannon ja hankinnan välillä on oltava saumatonta ja automatisoitua
TIE-01 TIE-02	CN 5	Muutosten historialle ja perusteluille on luotava luotettava ja auditoitava jälki
TIE-03 TIE-04	CN 6	Käyttäjien on nähtävä muutoksen vaikutukset ja eteneminen reaaliajassa

Asiakastarpeiden (CN) operationalisoinnin jälkeen seuraava vaihe aksiomaattisessa suunnittelussa on tavoitetilan toiminnallisten vaatimusten (FR, Functional Requirements) määrittäminen. Toiminnalliset vaatimukset kuvaavat sitä, mitä kehitettävän järjestelmän ja prosessin on kyettävä tekemään, jotta tunnistetut asiakastarpeet tulevat täytetyiksi.

Jotta luotavan konstruktion onnistumista ja suorituskykyä voidaan myöhemmin validoida objektiivisesti, toiminnallisille vaatimuksille on määritetty aksiomaattisen suunnittelun teorian mukaiset rajoitteet (Constraints). Rajoitteet asettavat suunnittelulle numeerisia, loogisia tai ajallisia reunaehtoja, joiden puitteissa tulevien teknisten suunnitteluparametrien (DP) on ehdottomasti toimittava.

Taulukossa 3 on esitetty synteysi uuden muutoshallintamallin keskeisistä toiminnallisista vaatimuksista (FR) sekä niihin kytketyistä rajoitteista (Constraints).

Taulukko 3: Funktionaaliset vaatimukset sekä niiden rajoitteet.

Tunniste	Toiminnalliset vaatimukset (FR)	Rajoitteet (Constraints)
FR1	Järjestelmän on ohjattava muutospyyntö ennalta määritellyn työnkulun (workflow) mukaisesti vaiheesta toiseen.	100 % tuotantoa koskevista muutospyynnöistä (ECR) on tehtävä virallisen järjestelmätyönkulun kautta.
FR2	Prosessin on pakotettava moniammatilliseen päätöksentekoon yksittäisen asiantuntijan päätöksen sijaan	Muutoslautakunnan hyväksyntäkierron vaatii kuittauksen kaikilta , max. aika 7 työpäivää.
FR3	Järjestelmän on välitettävä tieto muutoksista ja tehdyistä päätöksistä automaattisesti oikeille tahoille oikeaan aikaan.	100 % prosessin tilamuutoksiin liittyvistä ilmoituksista generoituu/lähetetään automaattisesti
FR4	Järjestelmän on kyettävä hallitsemaan muutosprosessin kaikkia vaiheita ja niihin liittyvää dokumentaatiota yhdessä keskitetyssä tietokannassa.	
FR5	Järjestelmän on siirrettävä päivitetty tuotetieto (esim. nimikkeet ja rakenteet) eteenpäin ilman manuaalista uudelleenkirjoitusta.	
FR6	Järjestelmän on tallennettava jäsennellysti tieto siitä, miksi muutos tehtiin.	100 % ECR-lomakkeista tulee sisältää muutoksen syy.
FR7	Järjestelmän on ylläpidettävä automaattista ja pysyvää versiohistoriaa (revisiot) muutetusta tuotteesta.	
FR8	Järjestelmän on kyettävä näyttämään, mihin muihin tuotteisiin muuttuva nimike vaikuttaa.	Järjestelmän on kyettävä näyttämään 100 % tuotteista joihin muutos vaikuttaa
FR9	Muutoksen tarkka etenemisvaihe on oltava avoimesti kaikkien organisaation sidosryhmien nähtävillä.	Tilannetiedon päivittyminen järjestelmän käyttöliittymään tapahtuu reaaliaikaisesti (viive 0min) .

Kun tavoitetilan prosessille oli määritetty pakolliset toiminnalliset vaatimukset (FR), aksiomaattisen suunnittelun prosessi eteni ratkaisujen kartoittamiseen. Tässä vaiheessa kullekin vaatimukselle ideoitiin ja tunnistettiin mahdollisimman laaja joukko teknisiä suunnitteluparametreja (DP) eli käytännön ratkaisuja. Koska monimutkaiset tietojärjestelmäarkkitehtuurit mahdollistavat samojen vaatimusten täyttämisen useilla eri tavoilla, tavoitteena oli ensin listata kaikki potentiaaliset ratkaisumekanismit ilman ennako-oletuksia. Näistä tunnistetuista vaihtoehdoista valitaan perustellusti organisaation resursseihin ja asetettuihin rajoitteisiin parhaiten soveltuvat ratkaisut.

Kohdeyrityksen tavoitteisiin vastaaminen on mahdollista useilla eri lähestymistavoilla, siksi kullekin vaatimukselle tunnistettiin usein enemmän kuin yksi potentiaalinen ratkaisumekanismi (DP). Nämä ratkaisut voivat perustua esimerkiksi tekniseen automaatioon, käyttöliittymän ominaisuuksiin tai hallinnollisiin menettelyihin. Taulukko 4 esittää kartoitetun ratkaisuavaruuden, sitoen yhteen tavoitetilan toiminnalliset vaatimukset (FR) ja niitä toteuttavat käytännön mekanismit (DP). Näistä vaihtoehdoista johdetaan lopullinen PLM-järjestelmän ja prosessin tavoitetila.

Taulukko 4: Taulukko esittää tunnistetut potentiaaliset suunnitteluparametrit (DP) eli käytännön ratkaisuvaihtoehdot, jotka muodostavat kehitettävän prosessin ratkaisuvaryyden.

FR	Selite	Tunniste	DP
FR1	Ennalta määritelty työnkulku	DP1/1	Kaksiraiteinen työnkulku ("Fast lane" vs. CAB-reitti), josta pyynnön luoja valitsee oikean polun prosessin alussa.
		DP1/2	Sääntöpohjainen reititysmoottori (Rules engine), joka päättää reitin automaattisesti (esim. jos kustannusarvio kentässä on >1000€, pakota CAB-reitille).
FR2	Moniammatillinen päätöksenteko	DP2/1	CAB-lautakunta päättää sopivimman ratkaisun isoihin muutoksiin tietyssä aikana pidettävässä palaverissa.
		DP2/2	Rinnakkainen hyväksyntämatriisi: järjestelmä vaatii digitaalisen kuittauksen erikseen jokaiselta lautakuntaan kuulavalta ennen työnkulun etenemistä.
FR3	Automaattinen muutos tiedonvälitys	DP3/1	Työnkulun tilasiirtymiin sidotut automaattiset sähköpostiherätteet.
		DP3/2	Käyttäjän kirjautumisen yhteydessä aktivoituva in-app-ilmoituskeskus, joka korostaa uudet päätökset punaiseksi.
		DP3/3	Muutoksen syntyessä tuotannossa syttyy merkkivalo niillä pisteillä, joihin muutos kohdistuu
FR4	Kaikki alueet kattava järjestelmä	DP4/1	PLM-järjestelmän muutoshallintamoduuli, joka toimii "absoluuttisena totuutena" korvaten sähköpostit ja yksittäisten ihmisten tiedot.
		DP4/2	Muutoksiansiön automaattinen luonti, johon kootaan automaattisesti kaikki muutokseen liittyvät liitetiedostot myöhempää tarkastelua varten.
FR5	Automaattinen tuotetiedon päivittäminen	DP5/1	Ohjelmallinen rajapintaintegraatio suunnittelujärjestelmän (PLM) ja toiminnanohjauksen (ERP) välillä.

FR6	Jäsennelytieto miksi muutos tehtiin	DP6/1	Pakollinen pudotusvalikko "Muutoksen juurisyy" -kentässä, jota ilman ECR-lomaketta ei voi lähettää
		DP6/2	Minimimerkkimäärällä varustettu pakollinen vapaatekstikenttä (esim. min. 50 merkkiä) tarkemmille taustaperusteluille.
		DP6/3	Liitetiedostovaatimus tietyissä syykategorioissa. (Esim. Reklamaatio)
FR7	Revisioiden ylläpitäminen	DP7/1	Automaattinen aakkos- tai numeropohjainen revision nosto, kun tiedosto lukitaan ulos (Check-out) järjestelmästä muutoksen alkaessa.
		DP7/2	Lukuoikeuksien lukitus: Kun uusi revisio julkaistaan, järjestelmä lukitsee vanhan revision muokkaukselta ja siirtää sen "Vanhentunut/Obsolete"-tilaan.
		DP7/3	Automaattinen vesileiman (Watermark) generointi vanhan revision PDF-piirustuksiin.
FR8	Automaattinen vaikutusanalyysi	DP8/1	Sisäänrakennettu tietokantakyselyominaisuus "Missä käytetty" (Where-used), joka listaa sekunneissa kaikki ylätasen kokoonpanot, jotka sisältävät muuttuvan osan.
		DP8/2	Visuaalinen tuoterakennepuu tai lista, josta suunnittelija voi katsoa mihin osiin muutos vaikuttaa.
FR9	Muutoksen etenemisvaihe helposti nähtäville	DP9	Muutoshistoria-välilehti, johon kirjautuu sekunnin ja käyttäjänimen tarkkuudella jokainen tilamuutos ja kommentti.

Työnkulun ohjauksen ja päätöksenteon vaihtoehdot (FR1 ja FR2)

Ennalta määritellyn reitityksen (FR1) toteuttamiseksi tunnistettiin kaksi erilaista lähestymistapaa. Ensimmäinen vaihtoehto on prosessilähtöinen DP1/1, joka perustuu kaksiraiteiseen työnkulkuun ("Fast lane" vs. CAB-reitti), josta käyttäjä valitsee oikean polun. Toinen, astetta automatisoidumpi ratkaisu on tekninen DP1/2 (sääntöpohjainen reititysmoottori), joka kykenee päättämään reitin itsenäisesti annettujen tietojen, kuten kustannus- tai kestoarvion avulla.

Moniammatillisen päätöksenteon varmistamiseksi (FR2) ideoitiin vastaavasti kaksi tasoa, hallinnollinen DP2/1, joka tarkoittaa perinteisen muutoslautakunnan (CAB) säännöllistä palaverikäytäntöä, sekä tekninen DP2/2, joka on PLM-järjestelmään rakennettava rinnakkainen hyväksyntämatriisi. Jälkimmäinen toimii lukkomekanismina, joka vaatii digitaalisen allekirjoituksen jokaiselta vaaditulta sidosryhmältä asynkronisesti ennen prosessin etenemistä.

Tiedonvälityksen ja arkkitehtuurin vaihtoehdot (FR3, FR4 ja FR5)

Automaattisen tiedonvälityksen (FR3) ratkaisuavaruudessa pohdittiin kolmea vaihtoehtoista herätmekanismia, joista kaksi perustuu digitaaliseen ohjelmistoarkkitehtuuriin ja yksi fyysiseen laitteistointegraatioon. Suunnitteluparametri DP3/1 edustaa työnkulun tilasiirtymiin ohjelmoitua sähköpostiautomaatiota. Parametri DP3/2 puolestaan hyödyntää järjestelmän käyttöliittymään integroitua sovelluksensisäistä (in-app) ilmoituskeskusta. Näiden ohjelmistoratkaisujen ohella kartoitettiin fyysisen käyttöympäristön indikaattorimekanismi (DP3/3), joka perustuu tuotannon työpisteille sijoitettaviin signaalivaloihin.

Kaiken kattavan keskitetyn järjestelmän (FR4) muodostamiseksi tunnistettiin kaksi automaattista hieman eroavaa teknistä ratkaisua. Perustana toimii PLM-järjestelmän muutoshallintamoduuli, mutta sen datan eheys ja säilytys voidaan toteuttaa joko arkkitehtuurilla, joka linkittää muuttuvat CAD-dokumentit suoraan lomakkeisiin (DP4/1), tai rakentamalla automaattinen muutuskansion generointi (DP4/2), joka niputtaa tiedostot myöhempää tarkastelua varten. Datansiirron automatisointiin (FR5)

ainoaksi kestäväksi vaihtoehdoksi tunnistettiin ohjelmallinen API-rajapintaintegraatio PLM- ja ERP-järjestelmien välillä (DP5/1).

Tiedon laadun ja revisiohistorian vaihtoehdot (FR6 ja FR7)

Muutoksen juurisyyn pakotettuun keräämiseen (FR6) ideoitiin kolme eritasoista virheenestomekanismia, joista lopullinen malli voidaan koostaa. Pakollinen pudotusvalikko (DP6/1) standardoisi datan kategorisointia varten, mutta voi johtaa väärinkäyttöön, jos lomake tehdään laiskasti. Kun taas minimimerkkimäärällä varustettu vapaatekstikenttä (DP6/2) estäisi informaatioarvoltaan olemattomat, yhden sanan selitykset. Lisäksi erittäin kriittisiin syihin, kuten asiakasreklamaatioihin, pohdittiin teknistä ehtoa, joka vaatisi erillisen dokumentin liittämistä (DP6/3) ennen lähettämistä.

Revisiohistorian aukottomuuden turvaamiseksi (FR7) tunnistettiin kolme erilaista turvamekanismia. DP7/1 nostaisi revision automaattisesti järjestelmän tiedoston uloskirjauksen (Check-out) yhteydessä, mikäli siihen tuotteeseen on tehty muutospyyntö. Riskejä voidaan lisäksi minimoida luku-oikeus-lukoilla (DP7/2), jotka asettavat vanhat revisiot pysyvästi "vanhentunut"-tilaan, sekä visuaalisella varmistuksella, jossa järjestelmä generoi vanhentuneisiin PDF-piirustuksiin automaattisen vesileiman (DP7/3).

Vaikutusanalyysin ja läpinäkyvyyden vaihtoehdot (FR8 ja FR9)

Jotta käyttäjät kykenevät tekemään vaikutusanalyysin (FR8), järjestelmävaihtoehtoja ideoitiin kaksi. DP8/1 tarjoaisi teknisen, tietokantapohjaisen "Missä käytetty" (Where-used) -kyselyn, joka listaa kaikki vaikuttavat ylätason kokoonpanot tekstimuodossa. Tämän vaihtoehtona pohdittiin visuaalista tuoterakennepuuta (DP8/2), joka esittäisi graafisesti muutettavan tuotteen suhteet muihin tuotteisiin, josta muutoksen vastuuhenkilön tulee manuaalisesti selvittää mihin muihin tuotteisiin muutos kohdistuu. Etenemisvaiheen läpinäkyvyys (FR9) on ratkaistavissa joko ylätason visuaalisella prosessipalkilla (DP9/1) tai tarkemman mikrotason auditoitavuuden tarjoavalla muutoshistoria-välilehdellä, joka tallentaa tilamuutokset sekunnin tarkkuudella (DP9/2).

Taulukossa 5 esitetään ratkaisuavaruudesta valitut suunnitteluparametrit (DP) sekä niiden vastaavuus asetettuihin toiminnallisiin vaatimuksiin (FR). Lisäksi taulukkoon on koottu perustelut kunkin teknisen ratkaisun valinnalle.

Taulukko 5: Taulukko koostaa ratkaisuavaruudesta valitut lopulliset suunnitteluparametrit (DP) ja niiden valintaperusteet kehitettävään tavoitetilän prosessimalliin.

FR	Tunniste	DP	Peruste
FR1	DP1/1	Kaksiraiteinen työnkulku ("Fast lane" vs. CAB-reitti), josta pyynnön luoja valitsee oikean polun prosessin alussa.	Arkkitehtuuriltaan suoraviivainen toteuttaa; ohjeistettavuus ja käytettävyys loppukäyttäjille ovat optimaaliset.
FR2	DP2/2	Rinnakkainen hyväksyntämatriisi: järjestelmä vaatii digitaalisen kuittauksen erikseen jokaiselta lautakuntaan kuulavalta ennen työnkulun etenemistä.	Ajankäytön optimointi poistamalla tarve synkronisille palavereille; parantaa päätöksenteon auditoitavuutta ja läpinäkyvyyttä.
FR3	DP3/1	Työnkulun tilasiirtymiin sidotut automaattiset sähköpostihäätteet.	Kohdeorganisaatiolle entuudestaan tuttu viestintäkanava; teknisesti matalan kynnyksen implementaatio, joka takaa korkean huomioarvon.
FR4	DP4/1	PLM-järjestelmän muutoshallintamoduuli, joka toimii "absoluuttisena totuutena" korvaten sähköpostit ja yksittäisten ihmisten tiedot.	Ominaisuus on tuettu natiivisti valitussa PLM-järjestelmässä, mikä tekee ratkaisusta kustannus- ja resurssitehokkaan.
FR5	DP5/1	Ohjelmallinen rajapintaintegraatio suunnittelujärjestelmän (PLM) ja toiminnanohjauksen (ERP) välillä.	Tehokkain tapa eliminoida manuaalisen tiedonsyötön virheet ja henkilöriippuvuus; molemmat järjestelmät tukevat standardoituja rajapintoja.
FR6	DP6/1	Pakollinen pudotusvalikko "Muutoksen juurisyys" -kentässä, jota ilman ECR-lomaketta ei voi lähettää	Vakioi syötettävän datan laadun, mikä mahdollistaa muutosten systemaattisen kategorisoinnin ja analyysin.
FR7	DP7/2	Lukuoikeuksien lukitus: Kun uusi revisio julkaistaan, järjestelmä lukitsee vanhan revision muokkaukselta ja siirtää sen "Vanhentunut"-tilaan.	Järjestelmän natiivi ominaisuus, joka varmistaa luotettavan versionhallinnan ja eliminoi vanhentuneen datan tahattoman käytön riskin.
FR8	DP8/1	Sisäänrakennettu tietokantakyselyominaisuus "Missä käytetty" (Where-used), joka listaa sekunneissa kaikki ylätasen kokoonpanot, jotka sisältävät muuttuvan osan.	Järjestelmän relaatiotietokanta mahdollistaa nimikkeiden välisen dynaamisen linkityksen, jolloin analyysi on käyttäjälle välitön.
FR9	DP9	Muutoshistoria-välilehti, johon kirjautuu sekunnin ja käyttäjänimen tarkkuudella jokainen tilamuutos ja kommentti.	Tuottaa käyttäjäkohtaisen, dynaamisen ja reaaliaikaisen tilannenäkymän ilman erillisiä raportointityökaluja.

Toiminnallisten vaatimusten FR4, FR5, FR7 ja FR8 ratkaisuksi valikoituivat järjestelmän vakio-ominaisuudet, sillä valittu Sovelia PLM -järjestelmä tukee näitä toiminnallisuuksia natiivisti. Tämä natiiveja ominaisuuksia suosiva lähestymistapa eliminoi raskaan ohjelmistokonfiguroinnin tarpeen, mikä tehostaa merkittävästi implementointivaiheen ajankäyttöä ja resurssien hallintaa.

Vaatus vakioidusta työnkulusta (FR1) ratkaistiin konfiguroimalla PLM-järjestelmään kaksiraiteinen prosessimalli, joka erottelee pienet ja laajat muutokset toisistaan. Koska muutostyyppien välinen luokittelu on luonteeltaan suoraviivaista, teknisen ja resursseja sitovan automaattisen reititysmoottorin kehittämistä ei pidetty tarkoituksenmukaisena. Sen sijaan prosessin ohjaus perustuu selkeään ohjeistukseen, jonka avulla aloitteentekijä voi arvioida muutoksen laajuuden.

Moniammatillisen päätöksenteon varmistamiseksi (FR2) ratkaisuksi valittiin asynkroninen päätöksentekomatriisi, mikä parantaa prosessia ennen kaikkea ajankäytön optimoinnilla. Eri osastojen asiantuntijoiden ja esihenkilöiden aikataulujen yhteensovittaminen yhteisiin palavereihin havaittiin haastavaksi ja muuta työtä häiritseväksi. Digitaalinen hyväksyntämatriisi vapauttaa päätöksentekijät aikasidonnaisuudesta ja parantaa samalla päätösten perusteluiden auditoitavuutta ja jäljitettävyyttä.

Manuaalisen työn minimoimiseen liittyvä vaatimus (FR3) ratkaistiin työnkulun tilasiirtymiin sidotuilla automaattisilla herätteillä, mikä eliminoi manuaalisen viestinnän tarpeen täysin. Ratkaisuvaihtoehtoja arvioitiin digitaalisten ja fyysisten ilmoitusmekanismien välillä. Fyysisten indikaattoreiden, kuten tuotannon merkkivalojen, toteuttaminen olisi edellyttänyt merkittäviä fyysisiä muutoksia tuotantotiloihin sekä erittäin tarkkaa osien ja prosessien seurantajärjestelmää. Tämän vuoksi valinta kohdistui digitaaliseen ohjelmistomekanismiin eli automaattiseen sähköpostiin, joka on kohdeyritykselle jo entuudestaan tuttu, madaltaen näin uuden toimintatavan omaksumiskynnystä.

Muutoksen juurisyyn dokumentoinnin (FR6) ratkaisuvaihtoehtojen valinnassa korostettiin käytettävyyttä ja datan laatua, sillä syytieto on muutoshallinnan kriittisimpiä elementtejä. Liitetiedostovaatimus todettiin epäoptimaaliseksi ratkaisuksi: se joko

pakottaisi käyttäjät raskaaseen ja kömpelöön dokumentointiin pienissäkin toimenpiteissä, tai vaihtoehtoisesti jättäisi kevennetyt prosessit täysin vaille syyninformaatiota. Siksi ratkaisussa keskityttiin kirjallisen syötteen ohjaamiseen. Vaikka minimimerkkimäärällä varustettu vapaatekstikenttä pakottaisi käyttäjän avaamaan ongelmaa, tällaisen strukturoimattoman datan luokittelu ja trendien havaitseminen vaatisi monimutkaisia data-analyysityökaluja. Kategorisointia pidettiin tärkeämpänä ominaisuutena ja tämän vuoksi valituksi ratkaisuksi muodostui pakollinen pudotusvalikko. Valmiiksi määritellyt syykategoriat vakioivat syötteen ja mahdollistavat datan suoraviivaisen analysoinnin. Valikon konfiguroinnissa tunnistettiin kuitenkin tasapainottelun tarve: liian laaja vaihtoehtojoukko aiheuttaa käyttäjälle kognitiivista kuormitusta, mikä johtaa usein virheellisiin tai "Muu"-kategorian valintoihin, kun taas liian karkea jaottelu ei tuota riittävän tarkkaa informaatiota järjestelmän kehittämiseksi.

Muutoksen etenemisvaiheen näkyvyyden (FR9) ratkaisu oli järjestelmäarkkitehtuurin näkökulmasta suoraviivainen. Tilannetiedon esittäminen toteutetaan integroimalla erillinen muutoshallinnan näkymä suoraan samaan PLM-järjestelmään, jossa varsinainen operatiivinen työ suoritetaan. Tämä keskitetty lähestymistapa varmistaa, että kaikki muutokseen liittyvä tieto on saumattomasti saatavilla yhdestä paikasta.

Taulukossa 6 esitetty riippuvuusmatriisi kuvaa toiminnallisten vaatimusten (FR) ja suunnitteluparametrien (DP) välisiä relaatiota aksiomaattisen suunnittelun viitekehyksessä. Analyysin perusteella matriisi ei ole diagonaalinen eikä kolmiomainen, vaan sisältää useita ristiinkytkentöjä, mikä viittaa kytkeytyneeseen (coupled) suunnitteluratkaisuun. Tämä tarkoittaa, että yksittäisten suunnitteluparametrien muuttaminen vaikuttaa useampaan kuin yhteen toiminnalliseen vaatimukseen, eikä vaatimuksia voida täyttää toisistaan riippumattomasti.

Taulukko 6. Riippuvuusmatriisi toiminnallisten vaatimusten (FR) ja suunnitteluparametrien (DP) välillä.

	DP1/1	DP2/2	DP3/1	DP4/1	DP5/1	DP6/1	DP7/2	DP8/1	DP9
FR1									
FR2									
FR3									
FR4									
FR5									
FR6									
FR7									
FR8									
FR9									

KytKentä on erityisen korostunutta keskitetyssä järjestelmäarkkitehtuurissa (DP4), joka toimii useiden vaatimusten perustana, mukaan lukien tiedonhallinta, revisioiden hallinta ja vaikutusanalyysi. Vastaavasti integraatoratkaisu (DP5) yhdistää tiedonsiirtoon, automaatioon ja läpinäkyvyyteen liittyviä vaatimuksia. Näiden suunnitteluparametrien laaja vaikutusalue on looginen seuraus järjestelmän kokonaisvaltaisesta luonteesta, mutta se rikkoo riippumattomuusaksioomaa, jonka mukaan FR:t tulisi voida toteuttaa toisistaan riippumattomasti.

Analyysissä havaitaan lisäksi, että muutoksen etenemisen läpinäkyvyyttä kuvaava vaatimus FR9 on se, johon kohdistuu ylivoimaisesti suurin määrä ristiinkytkentöjä. Tämä

indikoi, että kyseinen vaatimus on voimakkaasti riippuvainen muista järjestelmän osista. Aksiomaattisen suunnittelun teorian näkökulmasta tällainen voimakas kytkeytyminen paljastaa suunnitteluvirheen vaatimusten määrittelyssä, FR9 ei ole luonteeltaan itsenäinen toiminnallinen vaatimus, vaan pikemminkin järjestelmän emergentti ominaisuus. Toisin sanoen läpinäkyvyys syntyy automaattisesti sivutuotteena, kun keskitetty tietokanta (DP4/1), työnkulkujen reititys (DP1/1), hyväksyntämatriisit (DP2/2) sekä automaattinen muutostiedonvälitys (DP3/1) toimivat oikein.

Nam P. Suhin (1998) mukaan toiminnallisten vaatimusten (FR) tulee olla riippumattomia, mutta järjestelmärajotteiden (System Constraints) ei tarvitse olla. Koska FR9 kuvaa pikemminkin puitteita, joissa järjestelmän on toimittava, se on aksiomaattisen suunnittelun periaatteiden mukaisesti perusteltua uudelleenluokitella järjestelmärajotteeksi. Kun tämä koko järjestelmän lävistävä rajoite poistetaan varsinaisesta riippuvuusmatriisista ja loput parametrit järjestellään uudelleen niiden suoritusjärjestyksen mukaan, saavutetaan optimoitu tilanne, joka esitetään taulukossa 7.

Taulukko 7. Optimoitu ja järjestetty riippuvuusmatriisi.

	DP1/1	DP6/1	DP2/2	DP4/1	DP5/1	DP3/1	DP7/2	DP8/1
FR1								
FR6								
FR2								
FR4								
FR5								
FR3								
FR7								
FR8								

Kuten optimoidusta riippuvuusmatriisista (taulukko 7) voidaan havaita, FR9:n poistamisen ja parametrien uudelleenjärjestelyn jälkeen matriisista muodostuu pitkälti diagonaalinen, mutta myös osittain kolmiomainen (decoupled matrix). Aksiomaattisen suunnittelun teoriassa kolmiomainen matriisi edustaa hyväksyttävää ja toimivaa suunnitteluratkaisua, edellyttäen että suunnitteluparametrit toteutetaan matriisin määrittämässä järjestyksessä (path dependency).

Jäljelle jäävät kytkennät ovat järjestelmäarkkitehtuurin kannalta loogisia, esimerkiksi revisioiden hallinta (FR7) ja vaikutusanalyysi (FR8) edellyttävät luonnollisesti sitä, että keskitetty PLM-tietokanta (DP4/1) on ensin määritetty, sekä luotettava. Vastaavasti automaattinen tiedonvälitys (FR3) voi laueta ERP-integraation (DP5/1) antamasta syötteestä. Kokonaisuutena tarkasteltuna optimoitu ratkaisu edustaa realistista, osittain kytkettyä (decoupled) järjestelmäsuunnittelua, joka täyttää aksiomaattisen

suunnittelun riippumattomuusaksioiden asettamat vaatimukset ja mahdollistaa stabiilin muutoshallintaprosessin rakentamisen kohdeorganisaatioon.

5.2 Roolit, vastuut ja päätöksentekorakenne

Tavoitetilan mallissa (To-Be) vastuu muutoksista siirretään yksittäisten asiantuntijoiden muistinvaraisesta toiminnasta järjestelmän ohjaamille prosesseille ja nimetyille rooleille, mikä varmistaa päätöksenteon läpinäkyvyyden ja ehkäisee tiedonkulun katkoksia sidosryhmien välillä. Uuden toimintamallin päätöksentekorakenne rakentuu seuraavien avainroolien varaan:

Muutosaloitteen tekijä: Aloitteentekijä on prosessin käynnistäjä, joka voi olla kuka tahansa muutoksen tarpeen havaitseva organisaation työntekijä osastosta riippumatta.

- Vastuut: Aloitteentekijän ensisijainen vastuu on muutospyyntö (ECR) avaaminen järjestelmään ja kaikkien vaadittujen lähtötietojen kirjaaminen pakotettujen tietokenttien avulla. Lisäksi aloitteentekijä tekee ennalta määritettyjen sääntöjen pohjalta luokittelun siitä, voidaanko muutos ohjata suoraan kevennetylle "Fast lane" -reitille vai vaatiiko se lautakunnan käsittelyä.

Muutoslautakunta (Change Advisory Board, CAB): Muutoslautakunta muodostetaan kokoamalla yhteen eri osastojen ja toimintojen esihenkilöitä, jolloin kokoonpanoon saadaan monialaista asiantuntemusta sekä laaja-alainen näkemys organisaation toiminnasta. Kyseinen roolitus on organisaatiossa uusi, sillä aikaisemmin muutospäätöksiä on tehty tapauskohtaisesti ilman ennalta määriteltyä päätöksentekorakennetta. Tällöin päätöksenteko on usein perustunut paikalla olleiden henkilöiden harkintaan, mikä on voinut johtaa epäyhtenäisiin ja epästandardoituihin toimintatapoihin.

Rakenteellisen muutoslautakunnan käyttöönotto mahdollistaa muutospyyntöjen systemaattisemman arvioinnin sekä vastualueiden selkeämmän määrittelyn. Monialainen kokoonpano tukee päätöksenteon laatua, sillä eri toimintojen näkökulmat voidaan huomioida jo arviointivaiheessa. Samalla lautakunta voi päätöksenteon yhteydessä laatia tarkennetut ohjeistukset muutoksen toteuttamiselle, mikä edistää muutosten johdonmukaista ja hallittua toimeenpanoa.

Esihenkilöiden osallistuminen lautakuntaan on keskeistä myös resurssien tehokkaan kohdentamisen kannalta. He tuntevat omien tiimiensä osaamisen, työkuorman ja erityisvahvuudet, minkä ansiosta he pystyvät arvioimaan, kenelle muutostehtävä on tarkoituksenmukaisinta osoittaa. Tämä tukee sekä muutosten sujuvaa toteuttamista että organisaation resurssien optimaalista käyttöä.

- Vastuut: Lautakunta toimii prosessin päätöksentekijänä isoissa muutoksissa. Sen vastuulla on arvioida muutospyyntöjen tarpeellisuus, kustannusvaikutukset ja kiireellisyys. Uuden toimintamallin keskeinen etu on asynkroninen päätöksenteko: lautakunnan jäsenten ei tarvitse kokoontua tai käsitellä asiaa samanaikaisesti. Järjestelmän työnkulkulogiikka varmistaa automaattisesti, että jokainen vaadittu osasto on kirjannut näkemyksensä ja antanut oman digitaalisen hyväksyntänsä. Vasta kun kaikkien osastojen näkökulmat on huomioitu, lautakunta hyväksyy muutoksen, jolloin muutospyyntö (ECR) muuttuu teknisesti viralliseksi muutosmääräykseksi (ECO) ja työlle nimetään vastuuhenkilö. Tämä ajasta riippumaton, moniammatillinen rakenne poistaa palaverien aiheuttamat pullonkaulat ja varmistaa, ettei päätöksiä tehdä siiloissa.

Muutoksen vastuuhenkilö: Vastuuhenkilö on tekninen asiantuntija, yleensä suunnitteluosastolta, joka kantaa kokonaisvastuun yksittäisen muutosmääräyksen (ECO) läpiviennistä. Rooliin kuuluu päätösvalta työn resursoinnista eli vastuuhenkilö päättää, ketkä työntekijät toteuttavat muutoksen, ja hän voi päättää suorittaa operatiivisen työn myös kokonaan tai osittain itse. Kevennetyssä "Fast lane" -mallissa vastuuhenkilö on lähes poikkeuksetta myös muutoksen toteuttaja, sillä näissä usein yksittäisiä tuotteita koskevissa muutoksissa muutospyyntö ohjataan suoraa tuotteesta vastuussa olevalle suunnittelijalle.

- Vastuut: Vastuuhenkilö vastaa siitä, että muutos toteutetaan vaatimusten mukaisesti ja asetetussa aikataulussa. Mikäli muutos on laaja, hän delegoi operatiivisen työn eteenpäin, jolloin vastuuhenkilön kriittisin tehtävä on toimia laadunvarmistajana, joka tarkastaa ja validoi muiden toteuttaman työn. Olipa tekninen toteuttaja kuka tahansa, vastuuhenkilö on aina se taho, joka antaa järjestelmässä lopullisen hyväksynnän muutoksen valmistumisesta. Tämä

kuittaus laukaisee automaattiset ilmoitukset sidosryhmille ja sulkee muutosmääräyksen (ECO) virallisesti.

Muutoksen toteuttaja: Muutoksen toteuttaja on operatiivisen tason rooli, jota hoitaa tyypillisesti suorittavan portaan tekninen asiantuntija tai suunnittelija. Koska kyseessä on organisaatorakenteesta riippumaton prosessirooli, toteuttajana voi toimia joko muutoksen vastuuhenkilö itse tai erillinen työntekijä, jolle vastuuhenkilö on delegoinut muutoksen käytännön suorittamisen.

- Vastuut: Toteuttaja tekee varsinaisen teknisen työn, kuten 3D-mallien päivitykset, piirustusten korjaukset ja tuoterakenteiden muutokset. Mikäli toteuttaja on eri henkilö kuin muutoksen vastuuhenkilö, hänen vastuullaan on oman työosuutensa kuittaminen valmiiksi järjestelmään. Tämä toimenpide siirtää muutosmääräyksen (ECO) takaisin vastuuhenkilön tarkastettavaksi työn lopullista todentamista varten.

Sidosryhmät (Tuotanto ja Hankinta): Vaikka tuotanto ja hankinta ovat passiivisempia järjestelmän käyttäjiä varsinaisen suunnittelutyön aikana, niiden rooli uuden prosessin tiedonkäsittelyssä on tärkeä.

- Vastuut: Näiden sidosryhmien rooli on reagoida järjestelmän tuottamiin automaattisiin herätteisiin. Tuotannon vastuulla on esimerkiksi keskeyttää kyseisen tuotteen valmistus välittömästi, kun järjestelmä antaa automaattisen pysäytysilmoituksen uuden muutospyynnön (ECR) auetessa. Kun muutosmääräys (ECO) on hyväksytty, sidosryhmien vastuulla on antaa järjestelmään niin sanottu käyttöönottohuippu (Implementation note). Tämä tarkoittaa, että tuotanto ja hankinta vahvistavat fyysisesti poistaneensa vanhentuneet dokumentit ja materiaalit, ja ottaneensa uuden revision käyttöön. Vasta tämän kuittauksen jälkeen muutosprosessi katsotaan koko organisaation tasolla päättyneeksi.

5.3 Ehdotettu prosessimalli

Useiden tutkimusten mukaan Engineering Change Request (ECR) ja Engineering Change Order (ECO) muodostavat muutoshallintaprosessin keskeiset vaiheet, jotka ovat vakiintuneet osaksi teollisuusyritysten muutostenhallinnan parhaita käytäntöjä. Nämä vaiheet tarjoavat rakenteellisen perustan muutosten systemaattiselle käsittelylle ja dokumentoinnille. Myös kohdeyrityksessä käytössä oleva PLM-järjestelmä tukee ECR- ja ECO-prosessien käyttöä, ja kyseiset toiminnallisuudet on mahdollista konfiguroida joustavasti vastaamaan organisaation erityistarpeita. (TK1)

Näihin teollisuusstandardeihin sekä tutkimuksen aiemmassa vaiheessa määritettyihin toiminnallisiin vaatimuksiin (FR) ja suunnitteluparametreihin (DP) tukeutuen, tutkimuksessa kehitettiin kohdeyritykselle lopullinen tavoitetilan muutoshallintaprosessi. Kehitetyn ratkaisumallin keskeisenä suunnitteluperiaatteena on ollut prosessin ketteryyden ja järjestelmätason pakottavuuden tasapainottaminen. Jotta uuden PLM-järjestelmän käyttöönotto ei kankeuta organisaation päivittäistä rutiinityötä, malli on rakennettu joustavaksi, mutta samalla riittävän kattavaksi hallitsemaan laajat tuoterakennemuutokset.

Järjestelmä on muokattu vastaamaan kaikkia muutostarpeita, jolloin muiden ohjelmistojen käyttö eliminoidaan ja ongelma JÄR-01 katoaa. Käytännössä jokainen prosessi alkaa ECR-vaiheella, jossa muutos dokumentoidaan ja sen vaikutukset arvioidaan alustavasti. Kun muutoksen syyt on dokumentoitu järjestelmään muutospyynnön alusta lähtien, yksittäisten asiantuntijoiden tietoon nojautuminen eliminoidaan kokonaan ja ongelma PRO-03 katoaa. Tästä eteenpäin ehdotettu prosessimalli jakautuu neljään keskeiseen rakenteelliseen ja tekniseen osa-alueeseen:

1. Kaksiraiteinen työnkulku

Tavoitetilan prosessin ydin on muutospyyntöjen (ECR) jakaminen kahteen erilliseen työnkulkuun: kevennettyyn "Fast lane" -reittiin sekä raskaampaan CAB-käsittelyyn (DP1/1).

- Tuotekohtaiset ja pienet muutokset ("Fast lane"):** Lomake on yksinkertainen ja nopea täyttää (Kuva 1). Lisäksi lomakkeeseen täyttyy automaattisesti tuotteen metatiedot, kuten sarjanumero, suunnittelija ja päivämäärät, jos lomake luodaan tietyn tuotteen tuotenäkymästä. Muutokset, joilla ei ole laajaa kerrannaisvaikutusta tuotantoon, toimitusketjuun tai asiakkaisiin, ohittavat raskaan muutoslautakunnan käsittelyn kokonaan. Tällöin suunnittelija voi käsitellä aloitteen suoraan. Kun vastuuhenkilö hyväksyy pyynnön, järjestelmä muuntaa ECR:n automaattisesti toteuttavaksi muutosmääräykseksi (ECO). Tämä eliminoi rutiiniryöpylän prosessuaaliset pullonkaulat ja pitää kynnyksen järjestelmän käyttöön matalana.

Halutaan testata lomakkeen luomista. ☆

ECR-0047 Submitted Revision 1 of 1
 aapo.reilander edited 1 hour

⋮


No child products

Details
Files
Revisions
Statuses
Comments 2
Structure 1
☰

Serial number(s)	12345
Change title	TestiLomake
Description	Halutaan testata lomakkeen luomista.
Change category	Aineisto puuttuu
Show Less ^	
Status date	04/22/2026
Created	04/22/2026
Author	Aapo Reilander
Designer	Aapo Reilander


Kuva 1. Sovelia PLM-järjestelmässä luotu "Fast lane"-lomake.

- Laajempivaikutteiset ja vakiotuotteita koskevat muutokset:** Lomake perustuu rakenteellisesti pienten muutosten lomakkeeseen, mutta sitä on laajennettu lisäämällä kentät vastuuhenkilön määrittelylle sekä muutoksen priorisoinnille. Useita sidosryhmiä koskettavat muutokset ohjautuvat pakotetusti moniammatillisen muutoslautakunnan (CAB) käsiteltäväksi. Lautakunta tekee päätöksen asynkronisesti muutoksen toteutuksesta, nimeää vastuuhenkilöt sekä määrittelee toteutustavan ja priorisoinnin. Rinnakkaisen päätösmekanismin (DP2/2) jälkeen järjestelmä generoi virallisen muutosmääräyksen (ECO). Tämä rakenne vastaa suoraan vaatimukseen moniammatillisesta päätöksenteosta ja poistaa riskialttiin henkilöriippuvuuden.



Kaikkia olemassa olevia lomakkeita pitää muuttaa. ☆
 ECR-0054 Submitted Revision 1 of 1
 aapo.reilander edited 36 seconds

No child products

Details Files Revisions Statuses Comments 0 Structure 1

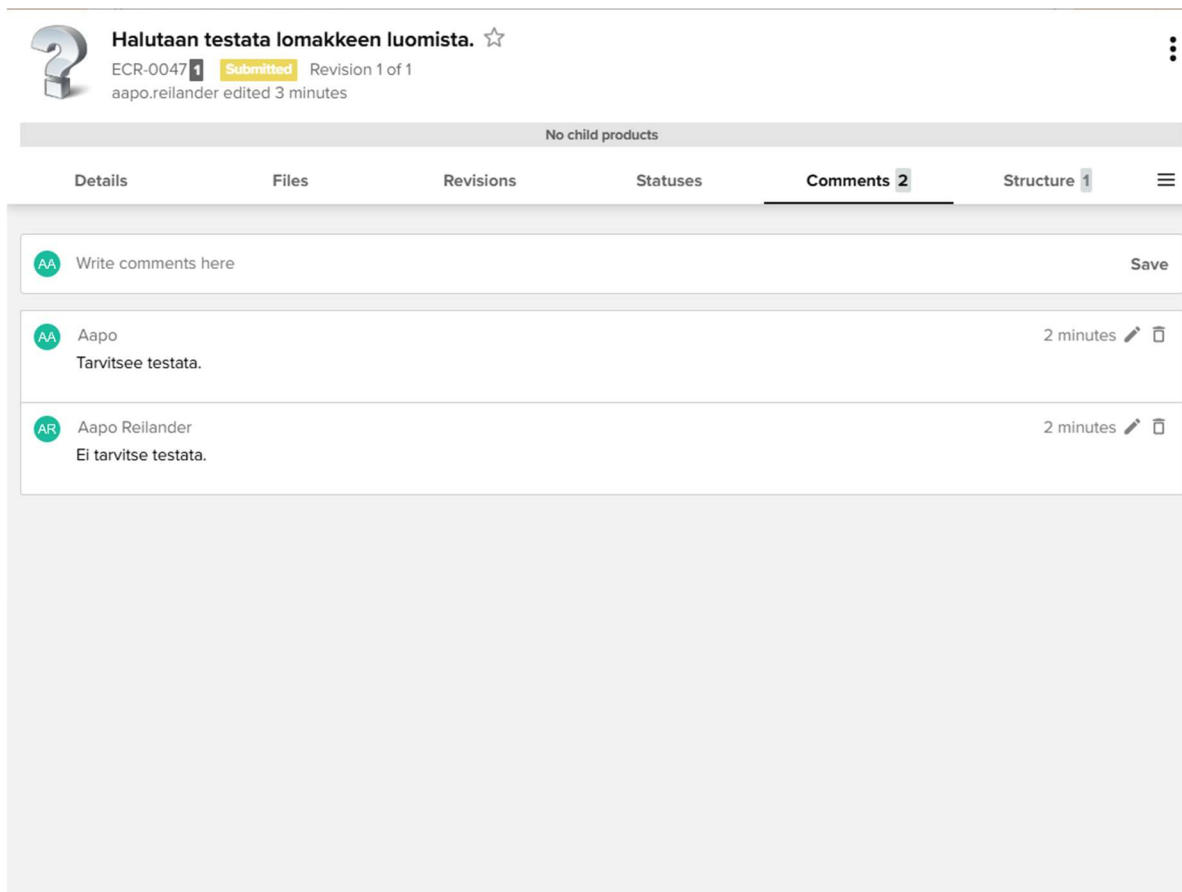
Serial number(s)	LOM1234
Change title	Kaikkien lomakkeiden muuttaminen
Description	Kaikkia olemassa olevia lomakkeita pitää muuttaa.
Change category	Aineisto virheellinen
Priority	3 (Keskitaso)
Responsible	 Aapo Reilander

Show Less ^

Status date	04/23/2026
Created	04/23/2026
Author	 Aapo Reilander
Designer	

Kuva 2. Sovelia PLM-järjestelmässä luotu ”Normal”-lomake.

Lisäksi ECR- ja ECO-lomakkeisiin on integroitu asiakirjakohtainen viestintämekanismi. Mahdollisissa prosessin poikkeamatilanteissa osastojen välinen kommunikaatio voidaan hoitaa suoraan kyseisen lomakkeen kommenttikentässä, mikä pitää tiedonvaihdon kohdennettuna, keskitettynä ja myöhemmin jäljitettävänä.



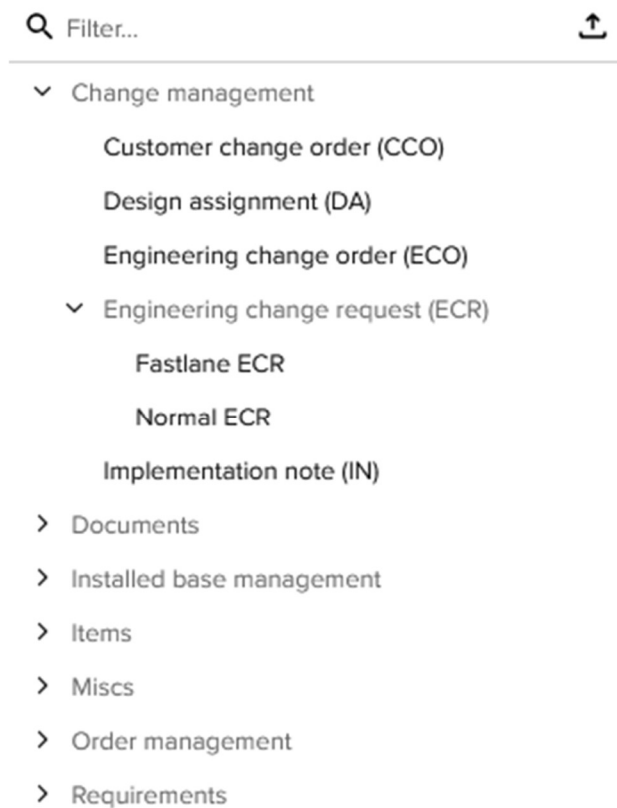
Kuva 3. Lomakekohtainen kommenttikenttä, joka toimii viestintäalustana eriosastojen välillä.

Esitetty kaksiraiteinen prosessimalli ratkaisee systemaattisesti nykytilan ongelmat PRO-01 ja PRO-02. Lisäksi pakollinen kenttä muutoksen syyllä sekä automaattiset muutosmääräykset varmistavat, että ongelmat TIE-01 ja TIE-02 eliminoidaan.

2. Laajuuden arviointirakenne

Prosessin alkuvaiheen reititysvastuu on allokoitu muutospyynnön tekijälle. Jotta reititys tapahtuu luotettavasti ilman monimutkaisia hallinnollisia sääntöjä, järjestelmän käyttöä ohjataan yksinkertaisella säännöllä: "Onko muutos laajuudeltaan sellainen, että sen pystyisi toteuttamaan sen yhden työpäivän aikana?" Tämä arviointisääntö

estää lautakunnan ruuhkautumisen vähäpätöisillä aloitteilla. Muutospyyntö tekijän on helppo valita lomakkeen tarvittava laajuus sitä luodessa (Kuva 4).



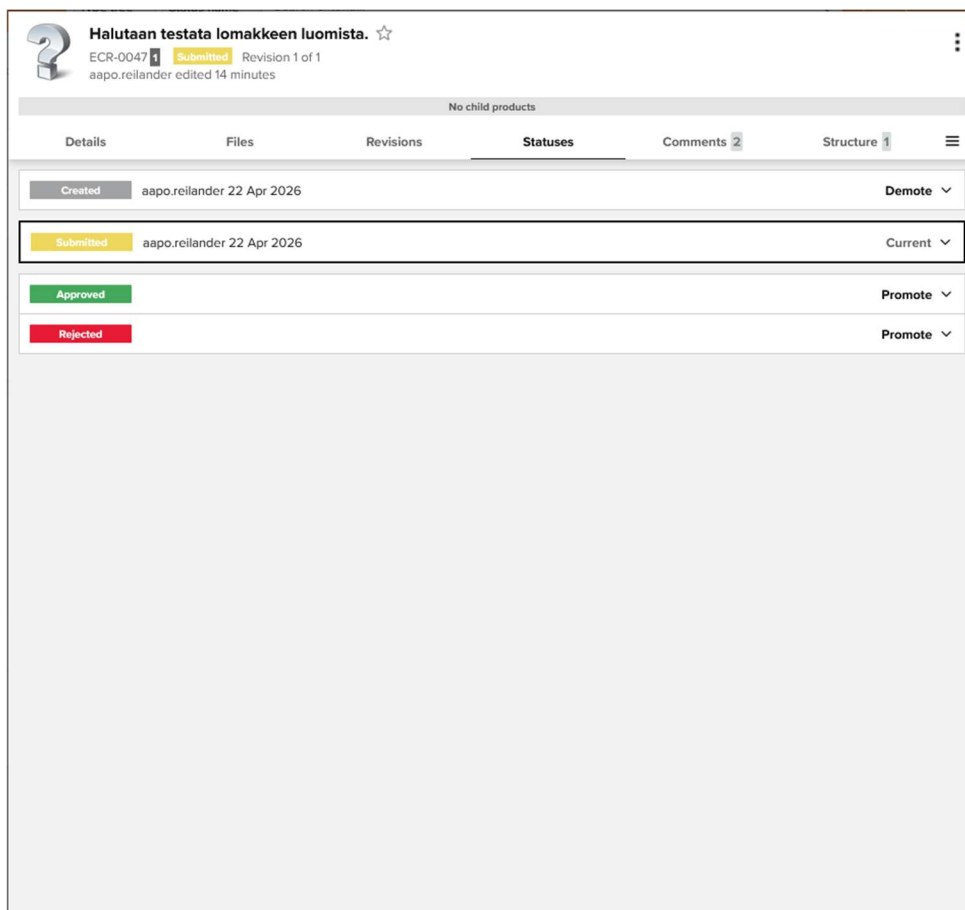
Kuva 4. Sovelian luontivalikko, jossa muutoshallinnan alla muutospyyntö (Engineering change request) ja sen alla vaihtoehdot pienelle muutospyyntö (Fastlane ECR) ja laajalle muutospyyntö (Normal ECR).

Väärinarviointien varalle työnkulkuun on kuitenkin rakennettu järjestelmätason turvamekanismi. Mikäli suunnittelija vastaanottaa "Fast lane" -reittiä pitkin muutospyyntö ja havaitsee sen todellisten vaikutusten olevan arvioitua laajemmat, hänellä on mahdollisuus uudelleen reitittää pyyntö käyttöliittymästä suoraan CAB-käsittelyyn. Tämä turvaa sen, etteivät laajat rakennemuutokset pääse ohittamaan moniammatillista käsittelyä inhimillisen arviointivirheen vuoksi.

3. Automatisointi

PLM-järjestelmä mahdollistaa laaja-alaisen prosessiautomaation, erityisesti viestinnän ja työnkulkujen hallinnan osalta. Informaatiokatkosten ja viestinnän viiveiden minimoimiseksi järjestelmän tilasiirtymiin on integroitu automaattiset sähköpostiherätteet. Näistä kriittisin on muutospyyntö (ECR) luomisesta välittömästi

laukeava tuotannon pysäytysmekanismi. Kun muutospyyntö rekisteröidään, järjestelmä generoi automaattisen keskeytyskäskyn koskien kaikkia niitä valmistettavia tuoterakenteita, joihin kyseinen muutos heijastuu. Vaikka mekanismi voi potentiaalisesti aiheuttaa yksittäisiä aiheettomia tuotantokatkoksia, kyseinen suunnitteluratkaisu on tietoinen riskienhallinnallinen valinta: virheellisten tai vanhentuneiden osien sarjavalmistuksesta aiheutuvat kumulatiiviset laatukustannukset ylittävät merkittävästi aiheettomista pysäytyksistä koituvat lyhytaikaiset operatiiviset haitat. Tämän luotettavan pysäytyslogiikan teknisenä edellytyksenä toimii PLM-järjestelmän relaatiotietokanta, joka ylläpitää dynaamisia linkityksiä komponenttien ja ylätasen kokoonpanojen välillä. Tämän tietorakenteen ansiosta järjestelmä kykenee suorittamaan kattavan vaikutusanalyysin (Where-used) reaaliaikaisesti, ratkaisten ongelman TIE-03.



Kuva 5. Kuvassa lomakekohtainen työnkulunhallinta.

Muutoslautakunnan rinnakkainen hyväksyntä perustuu työnkulun tilasiirtymien ehdollisuuteen sekä näihin siirtymiin kytkettyihin arvioitaviin kenttiin. Kuvassa 6 esitetään esimerkkitilanne, jossa laajan muutoslomakkeen prioriteettia tarkennetaan hyväksyntävaiheessa. Lähtötilanteessa (Kuva 2) prioriteetti on asetettu tasolle 3, mutta hyväksynnän yhteydessä se korotetaan tasolle 1. Samalla kommenttikenttään kirjataan arvio muutoksen tarpeellisuudesta sekä perustelu sille, että muutos on alkuperäistä arviota kiireellisempi.

Move ECR-0054.1 to Approved ?

Approved.info

Fields to review	
Priority	1 (Korkea) ×
Responsible	AR Aapo Reilander ×

↺ ↻ Normal ▼ **B** *I* ↔ ↻

Kaikkia lomakkeita pitää muuttaa mutta niin pian kuin mahdollista

Kuva 6. Muutoslautakunnan näkymä hyväksyttäessä laajaa muutosta koskevaa muutospyyntöä.

Työnkulun päättyessä järjestelmä hoitaa vastaavasti valmistuneiden muutosten tiedottamisen automaattisesti suunnittelulle, tuotannolle ja hankinnalle muutoskohtaisesti, eliminoiden manuaalisen sähköpostiviestinnän tarpeen. Automaattiset viestit oikeille henkilöille poistavat ongelma-analyysissä tunnistetut ongelmat PRO-02 ja JÄR-02.

Lisäksi automaation avulla voidaan tehostaa ja yhdenmukaistaa myös sellaisia prosessin osa-alueita, jotka eivät nousseet esiin varsinaisessa ongelma-analyysissä. Esimerkiksi muutospyyntöjen systemaattinen linkittäminen tuotteisiin mahdollistaa metatiedon automaattisen periytyksen, jolloin kaikki muutokseen liittyvät keskeiset tiedot tallentuvat rakenteellisesti osaksi tuotteen tietomallia. Tämä vähentää manuaalisen kirjaamisen tarvetta, parantaa tiedon luotettavuutta ja varmistaa, että

muutoshistoria sekä siihen liittyvät tiedot ovat jäljitettävissä suoraan tuotekohtaisesta datasta.

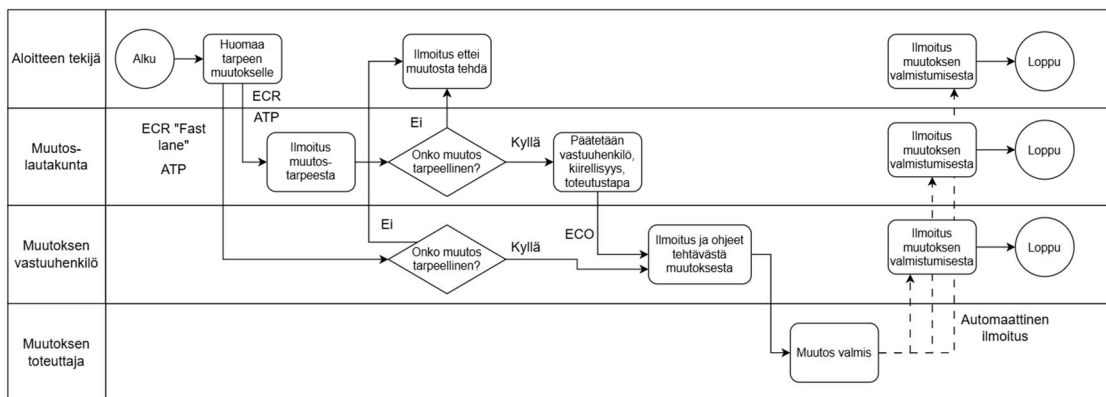
4. Käyttöliittymä ja informaatiovyöryn hallinta

Muutosdatan reaaliaikainen näkyvyys ja järjestelmän informaatioarkkitehtuuri on suunniteltu minimoimaan käyttäjien kognitiivinen kuormitus. Järjestelmän muutoshallinta välilehdelle on kerätty laajat muutokset, sekä niiden edistyminen läpinäkyvyyden ja seurattavuuden parantamiseksi. Tässä näkymässä informaatio on kuitenkin dynaaminen ja roolipohjainen. Työntekijöille, jotka eivät kuulu muutoslautakuntaan, suurten muutosten etenemisvaihe visualisoidaan kevennettynä tilannetietona. CAB-lautakunnan jäsenille järjestelmä puolestaan tarjoaa tarkemman seurantanäkymän, joka erittelee asynkronisten hyväksyntäkiertojen tarkan tilan ja mahdollistaa muiden jäsenten päätöksenteon edistymisen seurannan (DP9/2). Tällainen tiedon jäsentely ratkaisee ongelman TIE-04.

Lisäksi yksittäisiin tuotteisiin kohdistuvat kevennetyn työnkulun ("Fast lane") muutokset suodatetaan dynaamisesti. Ne esitetään ainoastaan kyseisen tuotteen lokaalissa tietonäkymässä sekä toimenpiteestä vastaavan suunnittelijan henkilökohtaisessa aloitusnäkyssä (DP9/2). Tämä käyttöliittymäarkkitehtuuri takaa, että relevantti tilannetieto on aina viiveettä asianosaisten saatavilla, mutta se estää tehokkaasti turhan informaation näyttämisen niille toimijoille, joiden operatiiviseen työhön kyseinen muutos ei vaikuta.

Kaavio 5 havainnollistaa kehitetyn muutoshallintaprosessin tavoitetilan (To-Be) uimaratakaavion muodossa. Prosessin toimijat on tiivistetty vain neljään keskeiseen rooliin: aloitteentekijä, muutoslautakunta (CAB), muutoksen vastuuhenkilö sekä operatiivinen toteuttaja. Nykytilaa kuvaavaan prosessikaavioon verrattuna roolitasojen määrää on merkittävästi pienempi, sillä optimoitu arkkitehtuuri on pyynnön esittäjän organisaatioasemasta riippumaton. Järjestelmä käsittelee muutospyyntöt standardoidusti riippumatta siitä, miltä osastolta pyyntö saapuu.

Muutosprosessi tavoitella



Kaavio 5. Kaaviossa on kuvattu ehdotetun muutosprosessin työnkulku uimaratakaaviona.

Kaavio osoittaa, kuinka järjestelmätason automaatio on korvannut valtaosan aiemmasta manuaalisesta tiedonsiirrosta. Sisäänrakennettu tiedonkulun logiikka varmistaa viiveettömän tiedonvälityksen kaikille asianosaisille sidosryhmille. Esimerkiksi muutospyynnön luominen laukaisee järjestelmässä automaattisen tuotannon pysäytysmekanismiin (ATP), mikäli muutos kohdistuu tuotantovaiheessa oleviin nimikkeisiin.

Kehitetty kaksiraiteinen työnkulkumalli ilmenee kaaviosta selkeästi. Kevennetty "Fast lane" -reitti ohittaa moniportaisen lautakuntakäsittelyn ja ohjautuu suoraan muutoksen vastuuhenkilölle, joka päättää itse onko muutos tarpeellinen: tarpeelliset muutospyynnöt muuttuvat muutosmääräyksiksi automaattisesti, kun pyyntö hyväksytään. Tätä suoraviivaistettua menettelyä sovelletaan yksittäisiin tuotemuutoksiin sekä työmäärältään vähäisiin, nopeasti toteutettaviin rutiinitoimenpiteisiin. Vastaavasti laajat, kustannusvaikutuksiltaan merkittävät ja resursseja sitovat muutokset reititetään raskaamman muutoslautakuntakäsittelyn läpi. Kaksiraiteisuus varmistaa, että kaikki organisaatiossa tapahtuvat muutokset pystytään käsittelemään samalla järjestelmällä.

Prosessin toteutusvaiheessa muutoksen vastuuhenkilö määrittelee resurssit, hän voi joko delegoida muutoksen operatiivisen osuuden toteuttajalle tai suorittaa muutoksen itse. Kun tekninen toteutus on valmis ja se kuitataan järjestelmään, ohjelmisto generoi

automaattisesti valmistumisilmoitukset niille sidosryhmille, joiden toimintaan muutos vaikuttaa. Tämä päättää työnkulun hallitusti ja minimoi manuaalisen viestinnän tarpeen prosessin päätösvaiheessa.

Jotta muutoshallinta muodostaa aukottoman ja suljetun ohjauskierron (closed-loop change management), pelkkä suunnitteluorganisaation antama muutosmääräyksen (ECO) hyväksyntä ei ole riittävä varmistamaan muutoksen onnistunutta toteutumista operatiivisessa ympäristössä. Tämän vuoksi tavoitetilan prosessimalliin on sisällytetty jalkauttamisen varmentava käyttöönottokuitaus (implementation note). Kun tekninen toteutus on saatettu päätökseen ja muutosmääräys (ECO) julkaistu, järjestelmä generoi automaattisesti toimenpidepyynnöt keskeisille operatiivisille sidosryhmille, kuten tuotannolle ja hankinnalle. Näiden toimijoiden tulee kirjata järjestelmään kuitaus siitä, että muutos on toimeenpantu käytännössä: esimerkiksi vanhat nimikkeet on poistettu käytöstä tai eristetty varastossa, työohjeet on päivitetty ja uuden revision mukainen tuotanto on käynnistetty. Tämä rakenteellinen takaisinkytkentämekanismi varmistaa tuotetiedon ja fyysisen tuotantoympäristön välisen yhdenmukaisuuden säilymisen sekä vahvistaa muutosten jäljitettävyyttä ja prosessin kokonaisvaltaista hallintaa.

Kehitetyn muutoshallintaprosessin toimivuutta arvioitiin vapaamuotoisissa haastatteluissa. Haastatteluihin osallistui neljä organisaation suunnittelijaa, joilla on kokemusta nykyisestä muutoshallinnan haasteista sekä Sovelia PLM-järjestelmän käytöstä. Haastatteluiden tavoitteena oli validoida ratkaisun käytettävyys, loogisuus ja sen kyky vastata alussa asetettuihin asiakas- ja toiminnallisuusvaatimuksiin.

Yleinen vastaanotto kehitetylle mallille oli poikkeuksetta positiivinen, ja kaikki haastatellut asiantuntijat pitivät uutta prosessia selkeänä ja merkittävänä parannuksena nykytilaan. Keskeisimpänä etuna korostui tiedonhallinnan keskittäminen yhteen järjestelmään (FR4 / DP4/1). Haastateltavat painottivat, että siirtyminen sähköpostiviestinnästä ja hajanaisista muistioista rakenteelliseen PLM-ympäristöön ratkaisee suoraan suurimman nykytilan kipupisteen eli tiedon pirstaloitumisen ja katoamisen. Kaksiraiteinen työnkulkumalli (DP1/1) sai niin ikään vahvaa kannatusta. Suunnittelijat pitivät tärkeänä, että prosessi joustaa muutoksen laajuuden mukaan: "Fast lane" -reitin kevennetty menettely teki heidän mielestään rutiininomaisten

muutospyyntöjen laatimisesta ja käsittelystä nopeaa, samalla kun raskaampi muutoslautakuntaprosessi turvaa suurten muutosten laadun.

Vaikka tekninen ratkaisu nähtiin erinomaisena ja sen kykyyn tehostaa toimintaa uskottiin vahvasti, asiantuntijat tunnistivat merkittäviä haasteita mallin jalkauttamisessa. Kaikki neljä haastateltavaa nostivat esiin huolen organisaatiokulttuurin ja totuttujen toimintatapojen hitaasta muuttumisesta. Vaikka järjestelmän loogisuus todettiin hyväksi, asiantuntijat painottivat, että siirtymä vaatii aikaa, systemaattista koulutusta ja erityisesti johdon vahvaa tukea, jotta vanhoista varjoprosesseista, kuten sähköpostitse sovitusta "pikkumuutoksista", päästään irti koko organisaation tasolla. Onnistunut implementaatio edellyttää teknisen käyttöönoton ohella johdonmukaista sitouttamista ja kurinalaisuutta.

5.4 Prosessin toiminnan edellytykset

Muutoshallintaprosessin onnistunut uudistaminen ja jalkauttaminen vaativat organisaatiolta muutakin kuin uuden prosessikaavion käyttöönottoa. Jotta ehdotettu toimintamalli voi toimia tehokkaasti ja poistaa nykytilassa tunnistetut ongelmat, yrityksessä on täytyttävä tietyt organisatoriset ja tekniset vaatimukset.

Muutoshallintaprosessin integrointiin odotetaan liittyvän ongelmia, jotka johtuvat alan kulttuurista ja työntekijöistä, sillä kyseessä on yleisesti hyväksytyn ajattelutavan muutos. Tällainen muutos synnyttää vastarintaa tietyissä sidosryhmissä, sillä kyseisen prosessin uskotaan lisäävän byrokratiaa ja hidastavan reagointia ongelmiin. Vaikka jatkuva muutos on nykyajan organisaation tärkein piirre, organisaatiokulttuuri saattaa hidastaa tai jopa estää muutosten suunnitelmallisen toteuttamisen. (Andrade ym., 2016) Tällainen sosiaalinen resistanssi tulee ottaa huomioon, sillä se heikentää organisaation suorituskykyä merkittävästi ja siksi käyttöönoton suurin haaste on luoda organisaatioympäristö, joka suosii innovaatioita.

Keskeisin organisatorinen edellytys on johdon sitoutuminen uuteen toimintatapaan ja niin sanottujen varjoprosessien kitkeminen. Nykytila-analyysissa havaittu epävirallinen viestintä sähköpostitse ja suullisesti on korvattava systemaattisella kirjaamisella. Tämä vaatii organisaatiokulttuurin muutosta, jossa hyväksytään se, että "nopea sähköposti"

on pitkällä aikavälillä epäluotettava ja riskialtis. Lisäksi prosessin roolitusten on oltava yksiselitteisiä: muutoksen vastuu, toteutus ja päätösvalta on eriytettävä selkeästi toisistaan, jotta prosessi pysyy suoraviivaisena.

Teknisestä näkökulmasta kriittisin edellytys on yhtenäinen ja läpinäkyvä tietojärjestelmä, joka tukee prosessin läpivientiä. Sähköpostipohjainen toimintamalli ei mahdollista muutosten statuksen seurantaan, versiohistoriaa tai jäljitettävyyttä. Uusi prosessi edellyttää järjestelmätukea, joka pakottaa käyttäjän syöttämään tarvittavat lähtötiedot ennen prosessin käynnistymistä ja joka automatisoi tiedonkulun eri sidosryhmien välillä. Lisäksi automaattisten ratkaisujen luotettava toiminta edellyttää virheetöntä tuotetiedonhallintaa, jotta virheellisten tietojen kertautuminen prosessissa voidaan välttää.

Uuden toimintamallin onnistumisen kannalta on kriittistä, että rakennettava järjestelmä pystyy käsittelemään kaikki mahdolliset muutostilanteet, aina pienistä dokumenttipäivityksistä laajoihin tuoterakente- ja vakio-osamuutoksiin. Järjestelmän arkkitehtuurin tulee olla modulaarinen: sen on tarjottava kevyempi prosessipolku rutiinimuutoksille ja raskaampi hyväksyntäketju kriittisille muutoksille. Suunnittelun ohjenuorana on oltava periaate "niin yksinkertainen kuin mahdollista, mutta niin kattava kuin on tarpeen". Vain tekemällä virallisesta järjestelmästä riittävän ketterän ja helppokäyttöisen voidaan varmistaa, että kaikki muutokset ajetaan sen läpi, eikä tarvetta järjestelmän ohi tehtäville "nopeille sähköposteille" enää synny.

6 Järjestelmätuen arviointi: Sovelian soveltuvuus

6.1 Sovelian tarjoamat toiminnot muutoshallinnan näkökulmasta

Tässä luvussa tarkastellaan Symetrin kehittämän Sovelia PLM -järjestelmän tarjoamia vakio-ominaisuuksia ja konfigurointimahdollisuuksia erityisesti teollisen muutoshallinnan näkökulmasta. Sovelian arkkitehtuuri perustuu teollisuuden parhaisiin käytäntöihin ja valmiisiin tietomalleihin, joiden tavoitteena on toimia tuotetiedon "absoluuttisena totuutena" koko tuotteen elinkaaren ajan. Järjestelmän tarjoamat muutoshallinnan työkalut voidaan jakaa viiteen pääkategoriaan. (TK4)

1. Valmiit tietomallit ja konfiguroitavuus

Sovelian arkkitehtuuri rakentuu pitkään teollisuuskokemukseen pohjautuviin ydinmoduuleihin ja valmiisiin tietomalleihin. Nämä mallit on suunniteltu tukemaan valmistavan teollisuuden parhaita käytäntöjä, mutta ne ovat samalla joustavasti sovitettavissa yrityksen omiin tarpeisiin. Järjestelmä tarjoaa sisäänrakennetun hallintakäyttöliittymän, jonka avulla tietomalleja, prosesseja ja järjestelmäparametreja voidaan mukauttaa ilman vaativaa ohjelmointiosaamista.

2. Muutosprosessien vakiointityökalut ECR ja ECO

Sovelia jakaa muutoshallinnan prosessin muodollisiin vaiheisiin, joista keskeisimpiä ovat muutospyyntö (ECR) ja muutosmääräys (ECO).

- **Muutospyyntö (ECR):** Ominaisuus tarjoaa hallitun tavan dokumentoida tuotteeseen tai tuoterakenteeseen kohdistuvat muutostarpeet. Järjestelmän selainpohjaisen käyttöliittymän ansiosta kuka tahansa organisaatiossa voi tehdä muutospyynnön.
- **Muutosmääräys (ECO):** Kun pyyntö on arvioitu ja hyväksytty, prosessi siirtyy muutosmääräysvaiheeseen. ECO ohjaa varsinaisen muutoksen toteuttamista tuotteeseen. Järjestelmä mahdollistaa myös toteutusmerkintöjen kirjaamisen, jolloin muutoksen vaikutukset, kuten kustannukset ja voimaantuloajankohdat tuotannossa, tallentuvat järjestelmään.

3. Työnkulkujen automaatio ja hyväksyntämenettelyt

Sovelia PLM mahdollistaa muutoshallinnan työnkulkujen rakenteellisen automatisoinnin. Järjestelmään voidaan määrittää roolipohjaisia hyväksyntäketjuja, jotka varmistavat, että muutokset ohjautuvat oikeiden asiantuntijoiden tarkastettaviksi ennen niiden toimeenpanoa. Työnkulun ennalta määritellyt tilasiirtymät voivat laukaista automaattisia toimintoja, kuten sähköposti-ilmoitusten ja tilaraporttien lähettämisen asianosaisille tai julkaisudokumenttien automaattisen generoinnin, mikä vähentää manuaalisen hallinnon tarvetta.

4. Revisiohallinta ja jäljitettävyys

Muutoshallinnan eheyden varmistamiseksi Sovelia tarjoaa tiukan versionhallinnan, joka pitää kirjaa suunnittelun iteraatioista ja tehdyistä muokkauksista. Järjestelmä ylläpitää automaattisesti kattavaa revisiohistoriaa, jonka avulla organisaatio voi tarvittaessa palata aiempiin versioihin tai auditoinnin yhteydessä tarkastaa, kenen toimesta tietty muutos on tehty. Ominaisuus kytkee muutosmääräyksen (ECO) suoraan kyseisen nimikkeen uuteen revisioon, mikä osaltaan estää vanhentuneen tiedon tahattoman käytön. Lisäksi järjestelmän käyttöoikeuksien hallinta mahdollistaa datan suojaamisen luvattomilta muutoksilta.

5. Integraatiot ja tiedonsiirto

Jotta muutosdata siirtyy saumattomasti suunnittelupöydältä tuotantoon, Sovelia on suunniteltu integroituvaksi yrityksen muihin perusjärjestelmiin. Ohjelmisto integroituu yleisimpiin CAD-suunnitteluohjelmistoihin, kuten Autodesk Inventor, SolidWorks ja Creo, omien lisäosiansa kautta, jolloin 3D-mallit ja tuoterakenteet siirtyvät PLM-järjestelmään sujuvasti. Sovelia voidaan myös yhdistää ohjelmistorajapintojen avulla useisiin toiminnanohjausjärjestelmiin, kuten SAP, Microsoft Dynamics, Infor, Monitor. Tämä integraatio mahdollistaa muun muassa suunnittelun osaluetteloiden muuntamisen tuotannon osaluetteloiksi ja siirtämisen suoraan ERP-järjestelmään. Automatisoitu tiedonsiirto PLM- ja ERP-järjestelmien välillä eliminoi manuaalisen uudelleenkirjoituksen tarpeen ja minimoi inhimillisten virheiden riskin tuotantoon vietävissä muutoksissa.

6.2 Soveltuvuus ehdotettuun prosessimalliin

Aiemmin esitellyn ominaisuuslistauksen perusteella Sovelia PLM -järjestelmä tarjoaa kattavan valikoiman sisäänrakennettuja työkaluja ja tietorakenteita tehokkaan muutoshallinnan toteuttamiseksi. Järjestelmän arkkitehtuuri on erittäin joustavasti konfiguroitavissa, mutta raskaiden ja monimutkaisten sisäisten työkalujen muokkausten välttämiseksi se tukee myös ohjelmallisia rajapintaintegraatioita. Tämä arkkitehtuurivalinta vähentää järjestelmän ylikonfiguroinnin tarvetta ja mahdollistaa erikoistuneiden ulkoisten työkalujen saumattoman hyödyntämisen osana prosessia. Avoimet rajapinnat mahdollistavat automaattisen kaksisuuntaisen tiedonsiirron toiminnanohjausjärjestelmän (ERP) kanssa (DP5/1), mikä eliminoi tarpeen datan manuaaliselle uudelleensyöttämiselle.

Kaksiraiteinen työnkulkumalli (DP1/1) on teknisesti toteutettavissa konfiguroimalla järjestelmään kaksi erillistä ECR-lomaketyyppiä, joista aloitteentekijä valitsee muutoksen laajuutta vastaavan vaihtoehdon. Molempiin lomakkeisiin on mahdollista määrittää pakolliset syöttökentät, mikä estää prosessin käynnistämisen puutteellisilla tiedoilla ja varmistaa, että muutoksen juurisyy kirjataan poikkeuksetta jokaiseen muutospyyntöön (DP6/1). Laajempi ECR-lomake on suunniteltu keräämään yksityiskohtaisempaa lähtödataa monimutkaisten rakenteellisten ongelmien käsittelyä varten. Tiedonsyötön manuaalisen työn minimoimiseksi lomakkeet esitäytetään automaattisesti järjestelmän metatiedoilla, kuten tuotteesta vastuussa ollut henkilö. Tämä ominaisuus tukee toimintamallia, jossa jokainen muutosprosessi keskitetään alkamaan yksinomaan Sovelian muutoshallintamoduulin kautta.

Asynkroninen rinnakkainen hyväksyntämatriisi (DP2/2) on implementoitavissa muodostamalla muutoslautakunnalle (CAB) roolipohjainen käyttäjäryhmä ja kytkemällä se järjestelmän ehdollisiin tilasiirtymiin. Näihin tilasiirtymiin ohjelmoidut sääntömoottorit mahdollistavat automaattisten toimintojen, kuten sähköpostiherätteiden (DP3/1), laukaisemisen välittömästi lomakkeen luonnin tai prosessivaiheen muuttumisen yhteydessä. Hyväksyntämatriisin logiikka on yksinkertainen: ECR-muutospyynnön tila ei etene työnkulkumoottorissa ennen kuin kaikki muutoslautakunnan jäsenet ovat antaneet digitaalisen kuittauksensa.

Auditoitavuuden parantamiseksi kuittaukseen voidaan liittää pakollinen kommenttikenttä. Lisäksi järjestelmän käyttöliittymä ja ilmoituskeskus on konfiguroitavissa siten, että CAB-lautakunnan jäsenet erottavat selkeästi korkean prioriteetin laajat muutokset, ja ilmoitukset on luokiteltu yleisiin ja lautakuntatehtäviin.

Suunnitteluparametrit DP4/1, DP5/1, DP7/2 ja DP8/1 ovat ratkaistavissa suoraan Sovelian sisäänrakennetuilla tiedonhallintamekanismeilla. Järjestelmän relaatiotietokanta on kehitetty hallinnoimaan dynaamista tuotedataa ja ylläpitämään tiukkaa revisiohistoriaa. Järjestelmä hakee oletusarvoisesti tarkasteltavaksi aina viimeisimmän hyväksytyt tuoteversion, jättäen vanhat revisiot saavutettaviksi, mutta ”Read only”-tilaan ja vanhentuneeseen tilaan (DP7/2). Tämän arkkitehtuurin myötä PLM-järjestelmä kykenee toimimaan tuotetiedon absoluuttisena totuutena (DP4/1). Koska järjestelmä rakentuu nimenomaan relaatiotietokantaan, myös sisäänrakennettu vaikutusanalyysin työkalu, Where-used-kyselyominaisuus (DP8/1), toimii välittömästi. Dynaamisten linkitysten ansiosta järjestelmä kykenee listaamaan sekunneissa kaikki ne ylätasen kokoonpanot, jotka sisältävät muuttuvan osan.

Muutoksen etenemisvaiheen läpinäkyvyyttä koskeva suunnitteluparametri (DP9) ratkaistaan järjestelmän dynaamisen käyttöliittymäkonfiguroinnin avulla. Vaikka tiedon saavutettavuuden ja käyttökokemuksen ennakkomittaus on haastavaa, Sovelian joustava informaatioarkkitehtuuri mahdollistaa näkymien personoinnin käyttäjä- ja roolikohtaisesti. Suodattamalla epäolennainen data pois yksittäisten käyttäjien näkymistä estetään tehokkaasti kognitiivisen informaatioähkyn syntyminen, turvaten samalla kohdennetun tiedon esteetön saavutettavuus.

Yhteenvetona voidaan todeta, että Sovelia PLM:n arkkitehtuuri on erittäin modulaarinen ja konfiguroitava. Se integroituu saumattomasti tutkimuksessa kehitettyyn ratkaisumalliin tarjoten validit ohjelmistotason mekanismit kaikkien asetettujen suunnitteluparametrien (DP) toteuttamiselle.

6.3 Mahdolliset täydennykset ja integraatiotarpeet

Toteutettu muutoshallintamalli palvelee ensisijaisesti suunnitteluosastoa mutta kaikkien organisaatioiden osastojen välisen muutoshallinnan takaamiseksi PLM-

järjestelmän on integroiduttava saumattomasti organisaation muuhun tietojärjestelmäarkkitehtuuriin. Tässä luvussa esitellään keskeisimmät täydennys- ja integraatiokohteet, jotka parantaisivat kehitetyn muutoshallintamallin entistä vahvemmaksi kokonaisuudeksi.

Olemassa olevaa toiminnanohjausjärjestelmän integraatiota voidaan syventää kattamaan dynaaminen kustannus- ja varastovaikutusten arviointi. Laajennettu integraatio mahdollistaisi reaaliaikaisten hintatietojen hakemisen ERP-järjestelmästä, jolloin muutoksen aiheuttamat suorat kustannukset voitaisiin laskea automaattisesti jo muutospyynnön alkuvaiheessa. Tämä helpottaisi muutoslautakunnan päätöksentekoa tarjoamalla tarkan tilannekuvan muutoksen taloudellisesta merkityksestä. Lisäksi materiaalien elinkaari voitaisiin synkronoida saumattomasti siten, että PLM-järjestelmässä hyväksytty muutosmääräys päivittäisi välittömästi nimikkeiden tilan ERP-järjestelmässä.

Datan hyödynnettävyyden näkökulmasta järjestelmää voidaan täydentää tekoälyyn (AI) perustuvilla data-analyysityökaluilla. Koska vapaamuotoisen tekstidatan analysointi on työlästä, algoritmit voisivat esimerkiksi analysoida käyttäjien jättämiä vapaamuotoisia kommentteja. Tekoälyavusteinen analyysi kykenisi myös tunnistamaan suuria datamassoja louhimalla toistuvia laatupoikkeamia ja trendejä, joihin organisaation tulisi reagoida laajemmilla rakenteellisilla muutoksilla.

Muutoshallinnan laajentaminen organisaation sisäisten rajojen ylitse edellyttää integraatioita toimittajaportaaleihin ja laadunhallintajärjestelmiin (QMS). Ulkoinen toimittajaintegraatio mahdollistaisi sen, että kriittiset osavalmistajat voisivat kuitata muutosmääräykset suoraan PLM-järjestelmässä. Tämä eliminoisi manuaalisen sähköpostiviestinnän riskit ja takaisi, että koko alihankintaketju käyttää aina luotettavaa, viimeisintä revisiota, eikä vanhentunutta dataa.

Vaikka tässä tutkimuksessa kehitetty muutoshallintamalli on optimoitu palvelemaan organisaation nykyistä tavoitetilaa, PLM-järjestelmän laajamittainen käyttöönotto tuotanto-organisaatiossa tulee väistämättä synnyttämään tarpeita uusille täydennyksille. Kun järjestelmän käyttö jalkautuu suunnitteluosastolta varsinaiseen

tuotantoon, operatiivisilta loppukäyttäjiltä saadaan arvokasta ensikäden tietoa siitä, millä lisäyksillä järjestelmä tukee tuotannon tarpeita.

7 Johtopäätökset

7.1 Keskeiset johtopäätökset

Tämän konstruktivisen tutkimuksen tavoitteena oli kehittää valmistavan teollisuuden kohdeyritykselle systemaattinen, läpinäkyvä ja tuotetiedon eheyttä tukeva muutoshallintaprosessi (Engineering Change Management, ECM). Tutkimuksessa yhdistettiin muutoshallinnan teoreettiset parhaat käytännöt empiiriseen nykytila-analyysiin. Näiden pohjalta rakennettiin aksiomaattisen suunnittelun (Axiomatic Design) periaatteita soveltamalla tavoitetilan prosessimalli ja arvioitiin sen toteutettavuutta organisaation uudessa Sovelia PLM -järjestelmässä.

Nykytilan analyysi (TK2) osoitti, että yrityksen aiempi muutoshallinta nojasi vahvasti ad-hoc-tyyppiseen, epämuodolliseen toimintamalliin. Prosessin keskeisimmät haasteet liittyivät standardoimattomiin työnkulkuihin, tiedon hajanaisuuteen ja sähköpostiviestinnän aiheuttamaan katkonaisuuteen ja siiloitumiseen. Tämä johti korkeaan henkilöriippuvuuteen ja puutteelliseen tuotetiedon jäljitettävyyteen. Järjestelmien siiloituminen pakotti suunnittelu-, tuotanto- ja hankintaosastot manuaaliseen tiedonsiirtoon, mikä kasvatti inhimillisten virheiden riskiä ja revisioista aiheutuvia kumulatiivisia kustannuksia.

Näiden haasteiden ratkaisemiseksi (TK1 ja TK3) tutkimuksessa kehitettiin uusi tavoitetilan prosessimalli, jonka ytimeksi muodostui ECR/ECO-mekanismiin pohjautuva kaksiraiteinen työnkulku. Prosessin jakaminen rutiininomaisiin muutoksiin ("Fast lane") ja laajempiin, moniammatillista arviointia vaativiin muutoksiin tasapainottaa onnistuneesti prosessin ketteryden ja järjestelmätason pakottavuuden. Muutoslautakunnan (CAB) asynkroninen päätöksentekomalli, työnkulun tilasiirtymiin kytketyt automaattiset tiedoksiannot (mukaan lukien tuotannon pysäytysmekanismi) sekä pakotettu juurisyiden kategorisointi eliminoivat tehokkaasti nykytilassa havaitut prosesseihin ja tiedonhallintaan liittyvät pullonkaulat. Ratkaisu siirtää muutoshallinnan vastuun yksittäisten asiantuntijoiden muistinvaraisuudesta rakenteelliselle, järjestelmän ohjaamalle tasolle.

Tutkimuksen alussa (Taulukko 1) tunnistettiin yhdeksän keskeistä muutoshallinnan haastetta, jotka jaettiin järjestelmä-, prosessi- ja tietotason ongelmiin. Kuten taulukosta 8 voidaan havaita, kehitetty tavoitetilan prosessimalli ja sen implementointi Sovelia PLM -järjestelmään tarjoavat todennetun ratkaisun jokaiseen näistä alkuperäisistä kipupisteistä.

Taulukko 8. Nykytila-analyysissä tunnistettujen ongelmien tila tavoitetilan prosessimallin käyttöönoton jälkeen.

Tunniste	Ongelma	Tila
JÄR-01	Keskitetyn hallintajärjestelmän puute	Ratkaistu
JÄR-02	Järjestelmien siiloutuminen (Integraation puute)	Ratkaistu
PRO-01	Standardoimaton muutosprosessi	Ratkaistu
PRO-02	Manuaalinen ja epävarma tiedonkulku	Ratkaistu
PRO-03	Korkea henkilöriippuvuus	Ratkaistu
TIE-01	Muutossyyn puuttuminen	Ratkaistu
TIE-02	Systemaattisen dokumentaation puute	Ratkaistu
TIE-03	Vaikutusanalyysin (Impact Analysis) mahdottomuus	Ratkaistu
TIE-04	Tilannetiedon (Status) näkymättömyys	Ratkaistu

Järjestelmätuen arviointi (TK4) osoitti, että organisaatiossa käyttöönotettava Sovelia PLM -järjestelmä soveltuu erinomaisesti kehitetyn muutoshallintaprosessin operatiiviseksi alustaksi. Sovelian natiivit ominaisuudet, kuten relaatiotietokantaan perustuva vaikutusanalyysi (Where-used), tarkka revisiohistoria sekä ohjelmalliset

rajapintaintegraatiot ERP-järjestelmän suuntaan, ratkaisevat suuren osan tutkimuksessa asetetuista teknisistä suunnitteluparametreista (DP) suoraan ilman raskasta järjestelmäkustomointia. Sovelia kykenee toimimaan organisaation tuotetiedon "absoluuttisena totuutena", mikä on edellytys datan eheyden säilymiselle läpi koko tuotteen elinkaaren.

7.2 Tutkimuksen rajoitukset

Tämän tutkimuksen keskeisimmät rajoitukset liittyvät valittuun tutkimusstrategiaan, aineiston rajaukseen sekä aikataulullisiin reunaehtoihin. Koska tutkimus toteutettiin konstruktivisena tapaustutkimuksena kohdeyrityksen spesifiin toimintaympäristöön, sen prosesseihin ja tiettyyn PLM-järjestelmään (Sovelia), ratkaisumallin teknisten yksityiskohtien suora yleistettävyyys muihin organisaatioihin tai ohjelmistoarkkitehtuureihin on rajallinen. Aksiomaattisen suunnittelun viitekehys ja prosessin taustalla vaikuttava ECR/ECO-logiikka ovat kuitenkin luonteeltaan universaaleja ja sovellettavissa laajemmin valmistavassa teollisuudessa.

Toinen merkittävä rajoitus koskee kehitetyn konstruktion empiiristä validointia. Diplomityön aikarajoitteiden vuoksi uuden prosessimallin arviointi perustuu asiantuntijalausuntoihin, nykytiladatan analysointiin ja ohjelmiston tunnettujen ominaisuuksien arviointiin. Ratkaisun pitkäaikainen, kvantitatiivinen seuranta siitä, kuinka paljon uusi prosessi tosiasiallisesti vähentää virhekustannuksia, lyhentää läpimenoaikoja ja tehostaa tuotantoa operatiivisessa käytössä, jäi tämän tutkimuksen rajauksen ulkopuolelle.

Lisäksi tutkimuksen tiedonkeruu painottui voimakkaasti suunnittelu- ja työkalutiimin asiantuntijoiden näkemyksiin, sillä muutoshallinnan haasteet kulminoituvat tällä hetkellä suunnitteluosastolle. Vaikka tuotanto ja hankinta huomioitiin prosessin kriittisinä sidosryhminä, kyseisten osastojen operatiivisen tason työntekijöiden laajemmat haastattelut olisivat voineet tuoda esiin lisävaatimuksia esimerkiksi järjestelmän mobiilikäytettävyyteen tai käyttöliittymien visualisointiin liittyen.

7.3 Jatkotutkimusaiheet

Tämän tutkimuksen tulokset ja havaitut rajoitukset avaavat liiketoiminnallisesti arvokkaita suuntia jatkotutkimukselle. Ensimmäinen ja itsestään selvän jatkotutkimusaihe on uuden muutoshallintaprosessin pitkäaikaistutkimus sen jälkeen, kun järjestelmä on ollut tuotantokäytössä esimerkiksi vuoden ajan. Tällöin voitaisiin kvantitatiivisesti todentaa mallin taloudelliset vaikutukset ja arvioida, kuinka organisaatiokulttuuri ja muutosvalmius ovat kehittyneet ad-hoc-toiminnasta kohti systemaattista PLM-ohjattua prosessia.

Tekoälyn (AI) ja koneoppimisen soveltaminen muutoshallinnan datan analysoinnissa tarjoaa merkittävän tieteellisen tutkimusmahdollisuuden. Tulevaisuudessa voitaisiin tutkia, miten luonnollisen kielen käsittelyä (NLP) hyödyntävät algoritmit voisivat louhia ECR-lomakkeiden vapaamuotoisia tekstikenttiä ja tunnistaa itsenäisesti piileviä laatuongelmia tai trendejä tuoterakenteissa. Lisäksi koneoppimismallien avulla voitaisiin tuottaa historiadataan perustuva automaattinen kustannusarvio heti uutta muutospyyntöä (ECR) luotaessa. Kokonaisuutena nämä älykkäät ominaisuudet tukisivat organisaatiota siirtymään reaktiivisesta ongelmanratkaisusta proaktiiviseen, dataohjattuun tuotekehitykseen.

Lähteet

- Abdul, R., Kumar, A., Mohana, M., Dandu, K., Goel, P., Jain, A., & Shrivastav, E. (2020). The Role of Agile Methodologies in Product Lifecycle Management (PLM) Optimization. *International Journal of Computer Science Engineering*, *11*, 363–390.
- Ameri, F., & Dutta, D. (2005). Product Lifecycle Management: Closing the Knowledge Loops. *Computer-Aided Design & Applications*, *2*(5), 577–590. (19496727).
<https://doi.org/10.1080/16864360.2005.10738322>
- Andrade, P. R. M. de, Albuquerque, A. B., Teófilo, W. D., & Silva, F. A. da. (2016). Change management: Implementation and benefits of the change control in the information technology environment. *International Journal of Advanced Information Technology*, *6*(1), 23–33. <https://doi.org/10.5121/ijait.2016.6102>
- Armenakis, Achilles A., & Harris, Stanley G. (2009). Reflections: Our Journey in Organizational Change Research and Practice. *Journal of Change Management*, *9*(2), 127–142. (38595056).
<https://doi.org/10.1080/14697010902879079>
- Arnarsson, Í. (2018). *Applying Design Analytics to Understand Engineering Change Request Information*.
- Balogun, J. (2006). Managing Change: Steering a Course between Intended Strategies and Unanticipated Outcomes. *Long Range Planning*, *39*(1), 29–49.
<https://doi.org/10.1016/j.lrp.2005.02.010>
- Bordia, P., Restubog, S. L. D., Jimmieson, N. L., & Irmer, B. E. (2011). Haunted by the Past: Effects of Poor Change Management History on Employee Attitudes and Turnover. *Group & Organization Management*, *36*(2), 191–222. (59347215).
<https://doi.org/10.1177/1059601110392990>
- Brahma, A., & Wynn, D. (2022). Concepts of change propagation analysis in engineering design. *Research in Engineering Design*, *34*. <https://doi.org/10.1007/s00163-022-00395-y>

- Cantamessa, M., Montagna, F., & Neirotti, P. (2012). Understanding the organizational impact of PLM systems: Evidence from an aerospace company. *International Journal of Operations & Production Management*, 32(2), 191–215. <https://doi.org/10.1108/01443571211208623>
- David, M., & Rowe, F. (2016). What does PLMS (product lifecycle management systems) manage: Data or documents? Complementarity and contingency for SMEs. *Computers in Industry*, 75, 140–150. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.05.005>
- Dergletckaia, V. (2023). CHANGE MANAGEMENT IN A CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION. 2023.
- Eckert, C., Clarkson, P. J., & Zanker, W. (2004). Change and customisation in complex engineering domains. *Research in Engineering Design*, 15(1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s00163-003-0031-7>
- Faisal, M. J. (2022). *Change Management: Tackling Resistance in Company X* [fi=AMK-opinnäytetyö|sv=YH-examensarbete|en=Bachelor's thesis]. <http://www.theseus.fi/handle/10024/747271>
- Habib, H., Menhas, R., & McDermott, O. (2022). Managing Engineering Change within the Paradigm of Product Lifecycle Management. *Processes*, 10(9), 1770. <https://doi.org/10.3390/pr10091770>
- Jagusch, K., Jericho, D., Sender, J., & Flügge, W. (2024). Process model for optimized engineering change management in the realization of large-scale projects. *Procedia CIRP, 57th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2024 (CMS 2024)*, 130, 1517–1522. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.10.276>
- Jarratt, T. A. W., Eckert, C. M., Caldwell, N. H. M., & Clarkson, P. J. (2011). Engineering change: An overview and perspective on the literature. *Research in Engineering Design*, 22(2), 103–124. <https://doi.org/10.1007/s00163-010-0097-y>
- Takehi, M., Yamada, T., & Watanabe, I. (2009). PLM education in production design and engineering by e-Learning. *International Journal of Production Economics*, 122(1), 479–484. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.06.028>

- Kattner, N., Mehlstaebli, J., Becerril, L., & Lindemann, U. (2018). Data Analysis in Engineering Change Management – Improving Collaboration by Assessing Organizational Dependencies Based on Past Engineering Change Information. *2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 617–621.
<https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607469>
- Koch, J., Gritsch, A., & Reinhart, G. (2016). Process design for the management of changes in manufacturing: Toward a Manufacturing Change Management process. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, *14*, 10–19.
<https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2016.04.010>
- Kulak, O., Cebi, S., & Kahraman, C. (2010). Applications of axiomatic design principles: A literature review. *Expert Systems with Applications*, *37*(9), 6705–6717.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.03.061>
- Pulkkinen, A., Leino, S.-P., & Papinniemi, J. (2017, toukokuuta 30). *Transforming ETO Businesses with Enhanced PLM Capabilities*. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/319888858_Transforming_ETO_Businesses_with_Enhanced_PLM_Capabilities
- Rammo, J.-P., Mujcinovic, S., & Zaeh, M. F. (2024). *Manufacturing Change Management—A Case Study-Based Analysis Of Change Processes In Industrial Practice*. 325–334.
<https://doi.org/10.15488/17724>
- Sabouni, C. E. (2023). *IMPROVING ENGINEERING CHANGE PROCESSES IN A LOCAL FORESTRY MACHINE MANUFACTURER*.
- Schuh, G., Prote, J.-P., Luckert, M., Basse, F., Thomson, V., & Mazurek, W. (2018). Adaptive Design of Engineering Change Management in Highly Iterative Product Development. *Procedia CIRP, 28th CIRP Design Conference 2018, 23-25 May 2018, Nantes, France*, *70*, 72–77.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.016>
- Shivankar, S., Kakandikar, G., & Nandedkar, V. madhaorao. (2025). Implementing engineering change management through product life cycle management in automotive field.
ResearchGate. <https://doi.org/10.1504/IJPLM.2015.070579>

- Singh, R. (2023). THE PSYCHOLOGY OF CHANGE MANAGEMENT. *ResearchGate*.
https://www.researchgate.net/publication/373049637_THE_PSYCHOLOGY_OF_CHANGE_MANAGEMENT_STUDY_THE_PSYCHOLOGICAL_FACTORS_INFLUENCING_EMPLOYEE_REACTIONS_TO_ORGANIZATIONAL_CHANGE_INITIATIVES_IDENTIFY_EFFECTIVE_CHANGE_MANAGEMENT_STRATEGIES_THAT_CONSIDER_IN
- Singh, S., & Misra, S. C. (2019). Identification of barriers to PLM institutionalization in large manufacturing organizations: A case study. *Business Process Management Journal*, 25(6), 1335–1356. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-12-2017-0367>
- Srinivasan, V. (2011). An integration framework for product lifecycle management. *Computer-Aided Design, Emerging Industry Needs for Frameworks and Technologies for Exchanging and Sharing Product Lifecycle Knowledge*, 43(5), 464–478.
<https://doi.org/10.1016/j.cad.2008.12.001>
- Suh, N. (2001). Axiomatic Design—Advances and Applications. *Functional Specs, Inc*.
<https://www.axiomaticdesign.com/technology/axiomatic-design-advances-and-applications/>
- Suh, N. P. (1998). Axiomatic Design Theory for Systems. *Research in Engineering Design*, 10(4), 189–209. <https://doi.org/10.1007/s001639870001>
- Sullivan, B. P., Nava, E. A., Rossi, M., & Terzi, S. (2023). A systematic literature review of changeability in engineering systems along the life cycle. *Journal of Engineering Design*, 34(12), 1046–1098. (174540296). <https://doi.org/10.1080/09544828.2023.2273248>
- Todnem By, R. (2005). Organisational change management: A critical review. *Journal of Change Management*, 5(4), 369–380. (19302075). <https://doi.org/10.1080/14697010500359250>
- Tryczak, J., Lis, A., Ziemiański, P., & Czyżewicz, J. (2024). Towards a Universal Model of Engineering Change Management. *Journal of the Knowledge Economy*, 15(3), 12422–12438.
<https://doi.org/10.1007/s13132-023-01576-3>
- Yönti-Mertens, E. (2023). *Muutosjohtaminen yrityksen sisäisissä kehitysprojekteissa*.
- Zhang, Y., Shi, L., Ren, S., & Zhang, D. (2019). A model-driven dynamic synchronization mechanism of lifecycle business activity for complicated and customized products. *Procedia CIRP*, 11th

CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems, 83, 748–752.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.234>

Liitteet

Liite 1. Asiantuntijahaastattelujen kysymykset

Miten muutoshallinta on tällä hetkellä toteutettu?

Kun nykyisessä prosessissa suunnittelija muuttaa osaa X, kenen vastuulla on tarkastaa, missä kaikkialla osaa X käytetään ja mihin kaikkeen se vaikuttaa?

Kuka päättää muutoksen tarpeellisuuden, toteutuksen ja tekijän nykyisessä mallissa?

Minkä asian tai asioiden muutosta kyseisellä muutoshallintajärjestelmällä hallitaan?

Mikä on nykyisen muutoshallintaprosessin heikoin kohta?

Missä tehdään eniten virheitä ja missä kohdassa virheen tekeminen on resurssillisesti kalleinta?

Erotellaanko pienet ja suuret muutokset?

Laitetaanko muutoshallintaprosessin läpi vain isot muutokset vai onko tarvetta esim. ”Fast lane” prosessille, joka olisi nopeampi tie tehdä pieniä muutoksia, kuten esimerkiksi piirustusten muuttaminen?

Miten päätetään PLM muutoshallintalautakunta?