

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

2026

Miro Sahlsten

Betoniaseman kokoonpano



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikka

2026 | 46 sivua

Miro Sahlsten

Betoniaseman kokoonpano

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin betoniaseman kokoonpanoa osana betoniteollisuuden tuotantolaitoksen rakentamista ja käyttöönottoa. Työn tavoitteena oli muodostaa käytännönläheinen ja teknisesti jäsennelty kokonaiskuva betoniaseman rakenteesta, toimintaperiaatteesta ja kokoonpanoprosessin keskeisistä vaiheista. Lisäksi tavoitteena oli tunnistaa ne tekijät, jotka vaikuttavat kokoonpanon laatuun, työturvallisuuteen, huollettavuuteen ja tuotannon käynnistämisen luotettavuuteen.

Työn teoriaosuudessa tarkasteltiin kokoonpanoa, kokoonpanon kehittämistä, materiaalihuoltoa, laatua ja toimintamallia. Lisäksi käsiteltiin Lean Robotics -ajattelun keskeisiä periaatteita prosessien kehittämisen näkökulmasta. Käytännön osuudessa analysoitiin betoniaseman kokoonpanopiirustuksia, materiaaliluetteloja, laitoksen osakokonaisuuksia, mekaanisia asennuksia sekä käyttöönoton aikana havaittuja ongelmia. Tarkastelun avulla jäsennettiin materiaalivirtaa, rakenteiden sijoittelua, huoltopääsyjä, tilavarauksia, turvallisuusratkaisuja ja kokoonpanon kannalta keskeisiä standardivaatimuksia.

Työn tulokset osoittivat, että betoniaseman onnistunut kokoonpano perustuu koko laitoksen toiminnalliseen yhteensopivuuteen, ei pelkästään yksittäisten laitteiden asentamiseen. Tulosten perusteella voidaan todeta, että kokoonpanon laatua ja käyttöönoton varmuutta voidaan parantaa ennakoivalla suunnittelutarkastelulla, standardoiduilla toimintamalleilla, huollettavuuden huomioimisella ja järjestelmällisillä käyttöönottotesteillä.

Asiasanat:

Kokoonpano, käyttöönotto, materiaalivirta, laatu, huollettavuus

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2026 | 46 pages

Miro Sahlsten

Assembly of a Concrete Batching Plant

This thesis examined the assembly of a concrete batching plant as part of the construction and commissioning of a production facility in the concrete industry. The aim of the study was to form a practical and technically structured overall view of the plant's structure, operating principle, and the key stages of the assembly process. In addition, the objective was to identify the factors that affect assembly quality, occupational safety, maintainability, and the reliability of production start-up.

The theoretical part of the thesis focused on assembly, assembly development, material logistics, quality, and operating models. In addition, the key principles of Lean Robotics were discussed from the perspective of process development. The practical part analysed the assembly drawings of the concrete batching plant, the material list, the plant subassemblies, mechanical installations, and the problems observed during commissioning. The analysis helped to clarify the material flow, the layout of structures, maintenance access, space reservations, safety solutions, and the key standard requirements related to assembly.

The results showed that the successful assembly of a concrete batching plant is based on the functional compatibility of the entire plant, rather than merely on the installation of individual pieces of equipment. Based on the results, it can be concluded that the quality of assembly and the reliability of commissioning can be improved through proactive design reviews, standardized operating models, consideration of maintainability, and systematic commissioning tests.

Keywords:

Assembly, commissioning, material flow, quality, maintainability

Sisältö

1 Johdanto	6
2 Työn tavoitteet	7
3. Betoniasema	8
4 Kokoonpanon teoria	9
4.1 Kokoonpano	9
4.2 Kokoonpanon kehittäminen	10
4.3 Materiaalihuolto	11
4.4 Laatu	13
4.5 Toimintamalli	14
5 Lean Robotics kokoonpanon kehittämisessä	17
5.1 Lean-ajattelun keskeiset periaatteet	18
5.2 Robotiikan käyttöönoton vaiheistus	19
6. Betoniaseman kokoonpanonprosessin suunnittelu	20
6.1 Standardiluokat	28
7. Betoniaseman toteutus	34
7.1 Johtopäätökset betoniaseman toteutuksessa	40
8. Pohdinta	45
Lähteet	46

Kuvat

Kuva 1. Kokonaislayout ylhäältä.

Kuva 2. Betoniaseman syöttö- ja annostelujärjestelmä leikkauksessa B-B.

Kuva 3. Prosessitornin pystysuuntainen rakenne leikkauksessa A-A.

Kuva 4. Sekoituspään yläkuva.

Kuva 5. Sekoitusmoduulin yläleikkaus D-D.

Kuva 6. Alasyöttö- ja koneistotilan leikkaus E-E.

Kuva 7. Syöttösuppilon poikkileikkaus.

Kuva 8. Osaluettelo.

Kuva 9. Kiviainessiilon purku- ja syöttöalue.

Kuva 10. Kiviaineskuljetin.

Kuva 11 Hiekkahissi.

Kuva 12 Betoniaseman mylly.

Kuva 13. Sementtisiilot.

Taulukot

Taulukko 1. Lineaaristen mittojen toleranssit.

Taulukko 2. Kulmamittojen toleranssit.

1 Johdanto

Betoniasemien kokoonpano on keskeinen osa betoniteollisuuden tuotantoketjua, ja sen onnistuminen vaikuttaa koko tuotantolaitoksen toimivuuteen, tehokkuuteen ja turvallisuuteen. Betoniasema muodostuu monimutkaisesta kokonaisuudesta, johon kuuluu muun muassa runkorakenteita, kuljetin- ja annosteluajärjestelmiä, varastointisiiloja, sekoituslaitteistoja sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmiä. Näiden osakokonaisuuksien tarkka oikein toteutettu kokoonpano varmistaa sen, että betonin laatu täyttää tiukentuvat vaatimukset ja että tuotantoprosessit etenevät suunnitellusti ilman tarpeettomia käyttökatoja. Kokoonpanon onnistuminen heijastuu lisäksi laitoksen koko elinkaareen, huoltokustannuksiin ja tuotannon kokonaisvarmuuteen, minkä vuoksi sen merkitys korostuu erityisesti nykyaikaisessa, teknologiapainoisessa betoniteollisuudessa.

Aihe on ajankohtainen erityisesti siksi, että betoniasemien tekninen vaativuus kasvaa jatkuvasti automaation kehittyessä, ympäristövaatimusten tiukentuessa ja tuotannon tehokkuuden noustessa. Nykyaikaisissa betoniasemissa erityisesti automaatiojärjestelmien, sensoriteknikan ja digitaalisten ohjausratkaisujen rooli on merkittävä, mikä lisää kokoonpanon vaatimuksia ja edellyttää huolellista suunnittelua sekä selkeitä dokumentoituja toimintamalleja. Betoniteollisuuden kiristynyt kilpailu puolestaan korostaa tuotantolaitosten toimintavarmuutta ja laadukasta käyttöönottoa. Tekijä on toiminut pitkään betoniteollisuusalaalla, joten työ sisältää työssä kartotettua osaamista, jolloin lähdemerkintöjä ei ole merkattuna.

2. Työn tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on muodostaa kattava ja käytännönläheinen kokonaiskuva betoniaseman kokoonpanosta sekä siihen liittyvistä kriittisistä teknisistä ja toiminnallisista tekijöistä. Työssä tarkastellaan betoniaseman rakennetta ja sen toimintaperiaatteita sekä analysoidaan kokoonpanoprosessin keskeisiä työvaiheita ja niiden aikana ilmeneviä haasteita. Erityisesti huomiota kiinnitetään ratkaisujen ja toimintamalleihin, joiden avulla kokoonpano laatua, turvallisuutta ja tehokkuutta voidaan parantaa.

Opinnäytetyö toteutetaan betonialalla toimivan yrityksen toimeksiannosta. Yritys on kotimainen betonialan toimija, jonka toiminta kattaa valmisbetonin, betonituotteiden ja betonielementtien valmistuksen. Lisäksi yrityksen toimintaan kuuluu tuotantolaitosten kehittämistä, investointiprojektien suunnittelua sekä tuotantoteknologian pitkäjänteistä kehittämistä. Toimeksiantajalla on Suomessa laaja tuotantolaitosverkosto, jonka avulla se pystyy palvelemaan erilaisia rakennus-, infrastruktuuri- ja teollisuushankkeita eri puolilla maata. Yrityksen tuotantolaitokset on suunniteltu vastaamaan nykyaikaisen betoniteollisuuden vaatimuksia. Niiden toiminnassa korostuvat korkea automaatioaste, tehokas materiaalinkäsittely sekä laatu- ja turvallisuusvaatimusten noudattaminen. Toimeksiantajayritys kehittää jatkuvasti tuotantotekniikkaansa, ympäristöystävällisiä ratkaisuja sekä työmaiden ja tuotantolaitosten turvallisuutta.

Opinnäytetyön toisena tavoitteena on tuottaa toimeksiantajalle materiaalia, joka tukee betoniasemien rakentamiseen ja käyttöönottoon liittyvien prosessien kehittämistä entistä johdonmukaisemmiksi ja laadukkaammiksi. Työn tuloksia voidaan hyödyntää uusissa kokoonpanoprojekteissa sekä tulevien investointien suunnittelussa. Lisäksi ne tarjoavat konkreettista tukea kokoonpanohenkilöstön perehdyttämiseen ja osaamisen kehittämiseen.

3 Betoniasema

Betoniasema on tuotantolaitteisto, jossa betonin valmistuksessa käytettävät osa-aineet varastoidaan, annostellaan ja sekoitetaan valmiiksi betonimassaksi. Aseman toiminta perustuu tarkasti määriteltyihin betoniresepteihin, joiden mukaan sementti, kiviainekset, vesi ja mahdolliset lisäaineet yhdistetään oikeassa suhteessa. Tavoitteena on valmistaa tasalaatuista betonimassaa, jonka ominaisuudet vastaavat käyttökohteen vaatimuksia. (Betoniteollisuus 2023)

Betoniaseman tuotantoprosessi alkaa raaka-aineiden vastaanotosta ja varastoinnista. Kiviainekset, sementti, vesi ja lisäaineet säilytetään asemalla omissa varastoissaan tai säiliöissään, joista ne annostellaan valmistettavan betonilaadun mukaisesti. Sideaineet toimitetaan suljettuihin sideainesiiloihin, kiviainekset suljettaviin kiviainessiiloihin ja lisäaineet suljettuihin säiliöihin. Tämän jälkeen osa-aineet punnitaan ja siirretään betonisekoittimeen. Prosessin onnistuminen edellyttää, että jokainen osa-aine annostellaan oikeassa määrässä ja oikeassa vaiheessa. (Betoniteollisuus 2023)

Betoniaseman toimintaan kuuluu olennaisena osana myös laadunvarmistus. Valmisbetonitehtaan tuotantoprosessi on automatisoitu, tarkasti kontrolloitu ja jäljitettävissä. Jokaisesta toimitetusta betonikuormasta jää tehtaalle tieto käytetyistä raaka-aineista, niiden määristä sekä tietyistä betoniominaisuuksista. Tämä on tärkeää, koska betonin laatu ei saa vaihdella sattumanvaraisesti. Tasainen laatu syntyy siitä, että raaka-aineet tunnetaan, annostelu toimii oikein ja jokainen valmistettu kuorma voidaan tarvittaessa tarkastaa jälkikäteen. Betoniaseman toiminta on siten materiaalien käsittelyn lisäksi myös tiedonhallintaa ja laadun seurantaa. (Betoniteollisuus 2023)

4 Kokoonpanon teoria

4.1 Kokoonpano

Kokoonpano on tuotannon vaihe, jossa valmistetut osat, standardikomponentit ja tarvikkeet liitetään toisiinsa siten, että niistä muodostuu osakokoonpano tai valmis tuote. Kokoonpano ei tarkoita pelkkää osien kiinnittämistä, vaan siihen kuuluu myös materiaalien käsittelyä, siirtämistä, sovittamista, tarkastamista ja välivarastointia. Asiakkaan näkökulmasta eniten arvoa syntyy yleensä itse liittämisestä ja siitä, että tuotteesta tulee toimiva kokonaisuus. Sen sijaan odottaminen, etsiminen, turha siirtely ja ylimääräinen käsittely eivät lisää tuotteen arvoa, vaikka niitä käytännössä esiintyy lähes jokaisessa kokoonpanoprosessissa. Tämän vuoksi kokoonpanoa on hyödyllistä tarkastella kokonaisena prosessina, jossa erotetaan arvoa tuottava työ ja arvoa tuottamaton työ toisistaan. (Kauppinen 1997, s. 111)

Kokoonpanon merkitys on tuotannossa suuri, koska juuri tässä vaiheessa näkyvät monien aiempien työvaiheiden onnistuminen tai puutteet. Kokoonpano yhdistää käytännössä suunnittelun, osavalmistuksen, logistiikan ja laadun samaan työvaiheeseen. Jos esimerkiksi osat eivät sovi yhteen, ohjeet ovat puutteellisia tai materiaalit tulevat väärään aikaan, ongelmat näkyvät yleensä ensimmäisenä kokoonpanossa. Monissa yrityksissä kokoonpano on edelleen suurelta osin manuaalista työtä, minkä vuoksi sen osuus tuotteen kokonaiskustannuksista, läpimenoajasta ja laadusta on huomattava. Samalla kokoonpanolla on suora vaikutus siihen, millaisena asiakas lopulta kokee tuotteen toimivuuden ja laadun. (Kauppinen 1997, s. 111)

Sujuva kokoonpano edellyttää, että työpisteellä on oikeat materiaalit, oikeat työvälineet ja selkeä tieto siitä, mitä tehdään ja missä järjestyksessä. Käytännössä tämä tarkoittaa selkeitä työohjeita, yhdenmukaisia työtapoja, toimivaa materiaalivirtaa ja sellaista työympäristöä, jossa työntekijän ei tarvitse käyttää aikaa turhaan etsimiseen tai odottamiseen. Kun työ on järjestetty loogisesti, työn sujuvuus paranee, virheiden määrä vähenee ja työn tulos pysyy tasaisempana. Tämän vuoksi kokoonpanoa ei pidä nähdä vain yhtenä

tuotannon työvaiheena, vaan koko tuotantojärjestelmän toimivuutta kuvaavana osana. (Kauppinen 1997, s. 111)

4.2 Kokoonpanon kehittäminen

Kokoonpanon kehittämisen päätavoitteena on tehdä työstä sujuvampaa, nopeampaa, turvallisempaa ja tasalaatuisempaa. Kehittämällä pyritään yleensä lyhentämään läpimenoaika, parantamaan tuottavuutta, vähentämään hukkaa ja helpottamaan työn tekemistä. Käytännössä kehittäminen alkaa nykytilan ymmärtämisestä. Ensin on selvitettävä, miten työ tällä hetkellä etenee, missä vaiheissa syntyy odottamista, turhaa liikkumista tai virheitä ja mitkä työvaiheet todella lisäävät tuotteen arvoa. Vasta tämän jälkeen voidaan päättää, mitä muutoksia kannattaa tehdä. Kokoonpanon kehittäminen ei siis ole pelkkää uusien ideoiden keksimistä, vaan järjestelmällistä nykytilan havainnointia, mittaamista ja analysointia. (Kauppinen 1997, s. 111)

Yksi tärkeimmistä kehityskohteista on tuotteen kokoonpantavuus. Mitä yksinkertaisempi tuotteen rakenne on, sitä helpompi se on yleensä myös koota. Jos osien määrä on suuri, liitoksia on paljon tai rakenteessa on paljon vaikeasti käsiteltäviä kohtia, kokoonpano hidastuu ja virheiden mahdollisuus kasvaa. Kokoonpantavuuden parantaminen lähtee liikkeelle erityisesti osien ja liitosten määrän vähentämisestä. Samalla kannattaa suosia standardiosia, selkeitä rakenteita ja sellaisia ratkaisuja, jotka tekevät asennusjärjestyksestä yksinkertaisen. Kun tuote on suunniteltu kokoonpanoa ajatellen, työ nopeutuu, laatu paranee ja vaihtelu työn tuloksessa vähenee. (Kauppinen 1997, s. 121)

Toinen keskeinen kehittämisen kohde on työn standardointi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että työstä tehdään mahdollisimman yhdenmukaista ja toistettavaa. Työohjeet ovat tässä tärkeä väline. Hyvä työohje on selkeä, looginen, helposti ymmärrettävä ja todellista työnkulkua vastaava. Sen tulee näyttää työn kannalta olennaiset vaiheet ilman turhaa tietoa. Kun työohjeet ovat kunnossa, työn laatu ei riipu yhtä paljon yksittäisen työntekijän omista tavoista tai muistista. Samalla uusien työntekijöiden perehdytys helpottuu, virheet

vähenevät ja työn tekeminen nopeutuu. Standardoidut ohjeet tukevat myös turvallisuutta ja helpottavat työn kehittämistä, koska niiden avulla voidaan verrata toteutunutta työtä sovittuun toimintatapaan. (Kauppinen 1997, s. 121)

Kokoonpanon kehittäminen liittyy myös työpisteeseen, työmenetelmiin ja ergonomiaan. Työpisteen järjestys, osien sijainti, työkalujen saatavuus ja työntekijän liikkumisen tarve vaikuttavat suoraan työn tehokkuuteen. Pienilläkin muutoksilla voidaan saada aikaan merkittäviä parannuksia, jos niiden avulla poistetaan turhia liikkeitä, raskaita nostoja tai hankalia työasentoja.

Työmenetelmän muutoksella voidaan saavuttaa jopa 20 prosentin tuottavuuden kehittämistavoite, ja ergonomisia parannuksia kokoonpanotyöhön. Tämä osoittaa, että kokoonpanon kehittäminen ei aina vaadi suuria investointeja, vaan hyötyä voidaan saada myös työmenetelmien, työjärjestyksen ja työpisteen paremmalla suunnittelulla. (Malmberg, K. & Kauppinen, V. 1987, s. 10)

Kokoonpanon kehittäminen ei ole kertaluonteinen projekti, vaan jatkuva prosessi. Kun yksi ongelma saadaan poistettua, seuraavat kehityskohteet tulevat usein paremmin näkyviin. Tämän vuoksi kehittämisen tueksi tarvitaan seurantaa, mittaamista ja yhteisiä käytäntöjä. Prosessin kehittäminen on tehokkainta silloin, kun työntekijät osallistuvat siihen itse, koska juuri he näkevät arjen ongelmat, turhat työvaiheet ja käytännössä toimivat ratkaisut.

Kehittämisessä on siis tärkeää yhdistää työntekijöiden käytännön kokemus ja johdon järjestelmällinen ohjaus. (Malmberg, K. & Kauppinen, V. 1987, s. 10)

4.3 Materiaalihuolto

Materiaalihuollon tehtävänä on varmistaa, että tuotannolla on käytettävissään oikeat materiaalit oikeaan aikaan, oikeassa paikassa, oikeassa määrässä, oikeassa laadussa ja mahdollisimman tarkoituksenmukaisin kustannuksin.

Materiaalinohjaus kuuluu tuotannonohjauksen keskeisiin osa-alueisiin, ja sillä on suora vaikutus sekä työn sujumuuteen että varastoihin sitoutuvaan pääomaan. Hyvin hoidettu materiaalihuolto ei tarkoita pelkästään sitä, että osia

on varastossa, vaan sitä, että ne ovat saatavilla juuri silloin kun niitä tarvitaan, ilman turhaa odottamista tai ylimääräisiä siirtoja. (Logistiikan Maailma 2025a)

Kokoonpanon näkökulmasta materiaalihuolto näkyy hyvin konkreettisesti työpisteellä. Materiaalit on tuotava kokoonpanopaikalle, aseteltava käyttöä varten selkeästi, täydennettävä oikeaan aikaan ja siirrettävä pois, kun niitä ei enää tarvita. Materiaalihuollon lähtökohtana tulee olla oikeiden materiaalien saaminen oikeaan aikaan kokoonpanijoille. Tämä on tärkeää siksi, että kokoonpanija pystyy keskittymään itse työhön eikä joudu käyttämään aikaa osien etsimiseen, hakemiseen tai puutteiden selvittämiseen. Käytännössä hyvä materiaalihuolto lyhentää odotusaikaa, rauhoittaa työskentelyä ja vähentää tuotannon häiriöitä. (Kauppinen 1997, s. 124)

Huono materiaalihuolto näkyy yleensä nopeasti kokoonpanon arjessa. Osia puuttuu, laatikot ovat väärässä paikassa, hyllypaikat ovat epäselvät tai työpisteelle tuodaan liikaa materiaalia varmuuden vuoksi. Tällöin työpiste ruuhkautuu, tavaraa siirrellään turhaan ja työntekijän aikaa kuluu muuhun kuin itse kokoonpanoon. Jos materiaalivirta ei toimi, tuotannossa alkaa helposti syntyä sekä odottamista että ylimääräistä keskeneräistä tuotantoa. Tämän vuoksi materiaalihuoltoa on tarkasteltava aina osana koko virtausta eikä vain yksittäisenä varastointikysymyksenä. (Logistiikan Maailma 2025a; Logistiikan Maailma 2025c)

Monissa tuotantoympäristöissä materiaalihuoltoa voidaan helpottaa visuaalisen ohjauksen avulla. Tällöin hyllypaikat, laatikot, täydennysrajat ja materiaalien paikat on merkitty niin selkeästi, että täydennystarve näkyy heti. Esimerkiksi tyhjä hyllypaikka, hälytysraja tai kaksilaatikkojärjestelmä voi toimia signaalina siitä, että materiaalia on tuotava lisää. Visuaalisen ohjauksen etuna on sen yksinkertaisuus. Se tukee imuohjausta, helpottaa puutteiden havaitsemista ja rajoittaa samalla ylimääräisiä varastoja ja keskeneräistä tuotantoa. Menetelmä sopii erityisen hyvin sellaisiin nimikkeisiin, joiden kulutus on melko tasaista ja joiden täydennys onnistuu nopeasti.

Kun nimikkeitä on paljon ja kysyntä vaihtelee, materiaalihuollon tueksi tarvitaan usein myös toiminnanohjausjärjestelmää. Yhteinen tietokanta parantaa tiedon läpinäkyvyyttä, mutta samalla se vaatii, että materiaalitiedot, saldot ja kirjaukset pidetään ajan tasalla. Jos järjestelmän tiedot eivät vastaa todellista tilannetta, materiaalinohjaus alkaa antaa virheellisiä täydennyksiä ja tuotannosuunnittelu vaikeutuu. Siksi toimiva materiaalihuolto perustuu sekä selkeään käytännön järjestykseen työpisteellä että ajantasaiseen tietoon järjestelmässä. Vastanäiden kahden yhdistelmä tekee materiaalivirrasta ennustettavan ja hallittavan.

4.4 Laatu

Laatu on kokoonpanossa keskeinen tekijä, koska juuri kokoonpanovaiheessa tuotteen toimivuus ja vaatimustenmukaisuus tulevat lopullisesti näkyviin. Laatu ei tarkoita vain sitä, että valmis tuote näyttää oikealta, vaan sitä, että tuote täyttää sille asetetut vaatimukset ja vastaa asiakkaan tarpeisiin. SFS:n mukaan ISO 9001 on tunnettu väline laadunhallintajärjestelmän rakentamiseen ja kehittämiseen. Sen avulla organisaatio voi luoda järjestelmällisen tavan hallita laatua, käyttää resursseja tarkoituksenmukaisesti, vahvistaa asiakastyytyväisyyttä ja sitoa laadun osaksi päivittäistä johtamista. Samalla laadunhallinnassa korostuvat johdon sitoutuminen, prosessimainen toimintatapa ja riskilähtöinen ajattelu. (ISO 9001:2018)

Kokoonpanossa laatu ei synny pelkässä lopputarkastuksessa, vaan se rakennetaan työn aikana vaihe vaiheelta. Tämä tarkoittaa sitä, että työntekijällä täytyy olla selkeä käsitys siitä, mitä laatua työssä tavoitellaan ja mitkä asiat vaikuttavat lopputulokseen eniten. Hyvät työohjeet ovat tässä ratkaisevia, koska niiden avulla voidaan näyttää työn oikea järjestys, laatukriittiset vaiheet ja ne kohdat, joihin työntekijän on kiinnitettävä erityistä huomiota. Kun työ tehdään yhdenmukaisesti ja laatuvaatimukset ovat kaikille samat, virheiden määrä vähenee ja työn lopputulos pysyy tasaisempana. Samalla myös turvallisuus ja työn sujuvuus paranevat. (Malmberg, K. & Kauppinen, V. 1987, s. 23)

Perehdytys on tärkeä osa laatua. Jos uusi työntekijä oppii työn eri tavalla jokaiselta perehdyttäjältä, kokoonpanon laatu alkaa helposti vaihdella. Työohjeen avulla voidaan yhdenmukaistaa perehdytystä ja vähentää sitä, että perehdyttäjän omat mielipiteet vaikuttavat työn suoritustapaan. Tällä on suuri merkitys erityisesti kokoonpanossa, jossa pienetkin erot työjärjestyksessä, kiristyksissä, tarkastuksissa tai osien käsittelyssä voivat näkyä valmiin tuotteen laadussa. Kun perehdytys perustuu selkeään ohjeeseen, työntekijä oppii nopeammin oikean tavan tehdä työn, ja laadun vaihtelu pienenee. (Malmberg, K. & Kauppinen, V. 1987, s. 23)

Laatupoikkeamien käsittely on olennainen osa laadun kehittämistä. Pelkkä poikkeamien kirjaaminen ei riitä, vaan niiden syyt on selvitettävä ja niistä on opittava. Työterveyslaitoksen mukaan poikkeamien tutkiminen ja niistä oppiminen on keskeinen työkalu turvallisuuden johtamisessa ja kehittämisessä, ja samoja periaatteita voidaan soveltaa myös laatupoikkeamiin. Poikkeamien taustalla on usein useita samanaikaisia tekijöitä, kuten puutteellinen ohjeistus, kiire, väärät työvälineet, materiaaliongelmia tai työolosuhteisiin liittyvät puutteet. Kun poikkeamia tutkitaan järjestelmällisesti, voidaan estää saman virheen toistuminen ja samalla parantaa työn sujuvuutta, laatua ja turvallisuutta yhtä aikaa. (Malmberg, K. & Kauppinen, V. 1987, s. 23)

4.5 Toimintamalli

Toimintamallilla tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, miten kokoonpanon työ käytännössä suunnitellaan, ohjataan, toteutetaan ja kehitetään. Toimiva toimintamalli ei perustu yksittäisiin irrallisiin parannuksiin, vaan selkeään kokonaisuuteen, jossa tavoitteet, vastuut, työvaiheet, materiaalivirta ja mittarit tukevat toisiaan. Prosessien kehittäminen alkaa nykyisten prosessien kuvaamisesta, analysoinnista ja tavoitetilan määrittelystä. Tämä ajatus sopii hyvin myös kokoonpanoon. Jos nykytilaa ei tunneta, kehittäminen perustuu helposti oletuksiin eikä todellisiin ongelmiin. Siksi toimintamallin ensimmäinen

vaihe on aina nykytilan kartoittaminen. (Malmberg, K. & Kauppinen, V. 1987, s. 24)

Käytännössä kokoonpanon toimintamalli kannattaa rakentaa niin, että ensin määritellään tavoitteet. Yrityksen täytyy tietää, tavoitellaanko ennen kaikkea lyhyempää läpimenoaikaa, parempaa laatua, pienempiä varastoja, tasaisempaa työkuormaa vai näitä kaikkia yhtä aikaa. Tämän jälkeen kuvataan kokoonpanoprosessin vaiheet, vastuuhenkilöt ja tiedonkulku. Samalla sovitaan, miten työ tehdään, millaisia työohjeita käytetään ja miten uusi työntekijä perehdytetään. Kun toimintamalli on kirjattu selkeästi, siitä tulee yhteinen tapa toimia eikä vain hiljaista tietoa kokeneiden työntekijöiden varassa. (Malmberg, K. & Kauppinen, V. 1987, s. 24)

Toimintamallin seuraava osa on ohjaus. Kokoonpanon ohjaus tarkoittaa käytännössä sitä, että työjonot, materiaalit ja kapasiteetti pysyvät tasapainossa. Tuotannosuunnittelun tehtävänä on sovittaa materiaalien ja kapasiteetin tarpeet asiakastarpeeseen niin, että tuotanto pystyy toimimaan tehokkaasti ja laadukkaasti. Toiminnanohjausjärjestelmä tukee tätä antamalla yhteisen tiedon tilauksista, materiaaleista ja tuotannon tilanteesta. Toisaalta kaikkea ei kannata ratkaista pelkällä järjestelmällä. Varsinkin työpistetasolla visuaalinen ohjaus, selkeät hyllypaikat, täydennysrajat ja yksinkertaiset signaalit tekevät toiminnasta nopeampaa ja näkyvämpää kuin pelkkä tietojärjestelmä.

Hyvä toimintamalli tarvitsee myös mittarit ja säännöllisen seurannan. Ilman mittaamista ei tiedetä, onko toiminta parantunut vai heikentynyt. Kokoonpanossa hyödyllisiä mittareita voivat olla esimerkiksi läpimenoaika, vaiheajat, toimitusvarmuus, poikkeamien määrä, uudelleentyön osuus, materiaali puutteet ja työn tuottavuus. Prosessien kehittäminen vaatii jatkuvaa seurantaa, mittaamista ja poikkeamiin reagoivaa ohjausjärjestelmää. Sama ajatus näkyy myös laadunhallinnassa, jossa jatkuva parantaminen on keskeinen periaate. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että poikkeamat käsitellään, syyt selvitetään ja toimintatapaa muutetaan tarvittaessa. Näin toimintamalli pysyy elävänä eikä jää vain dokumentiksi. (Malmberg, K. & Kauppinen, V. 1987, s. 25)

Toimiva kokoonpanon toimintamalli voidaan tiivistää seuraavasti. Ensin kuvataan nykytila ja määritellään tavoitteet. Sen jälkeen vakioidaan työvaiheet, työohjeet ja materiaalin täydennys. Tämän jälkeen varmistetaan tiedon kulku joko toiminnanohjausjärjestelmän, visuaalisen ohjauksen tai molempien avulla. Lopuksi toimintaa mitataan säännöllisesti ja havaittuihin poikkeamiin reagoidaan nopeasti. Tällainen toimintamalli tukee samaan aikaan tuottavuutta, laatua, toimitusvarmuutta ja työn hallittavuutta. Lisäksi se tekee kokoonpanosta vähemmän henkilöriippuvaista, mikä on tärkeää erityisesti silloin, kun tuotanto kasvaa tai henkilöstö vaihtuu.

5. Lean Robotics kokoonpanon kehittämisessä

Robotiikan käyttöönottoa tuotantoympäristössä voidaan tarkastella osana laajempaa tuotannon kehittämisen viitekehystä. Lean Robotics -lähestymistavassa yhdistetään lean-ajattelun ja teollinen robotiikka siten, että automaatio perustuu analysoituun tuotannolliseen tarpeeseen eikä pelkästään teknologiseen mahdollisuuteen. (Bouchard 2017)

Ennen teknisten ratkaisujen valintaa tuotantoprosessi analysoidaan, vakioidaan ja optimoidaan. Robotiikka nähdään keinona parantaa jo kehitetyn prosessin suorituskykyä, ei ratkaisuna rakenteellisiin tuotanto-ongelmiin. Tällainen lähestymistapa tukee investointien hallittavuutta ja vähentää käyttöönottoon liittyviä riskejä.

Lean-ajattelun perustuu arvon määrittelylle, hukkan poistamiselle ja jatkuvalla parantamiselle (Womack & Jones 1996). Näitä periaatteita sovelletaan robotiikan suunnitteluun ja käyttöönottoon systemaattisesti. Kokonaisuutena viitekehys muodostaa rakenteellisen mallin, jonka avulla automaatio voidaan integroida osaksi tuotantostrategiaa.

Lean Robotics -ajattelun käsittely betoniaseman suunnittelussa on perusteltua, koska betoniaseman toteutus ei ole pelkästään rakenteiden ja prosessilaitteiden mitoitus, vaan samalla myös kokoonpanon, asennuksen ja käyttöönoton suunnittelua. Betoniasema muodostuu useista toisiinsa liittyvistä pääkokoonpanoista, kuten perustuksesta, kiviainesnostimesta, hihnasyöttimistä, hihnavaa'asta, sekoitinmoduulista, punnitusmoduulista, ruuvikuljettimista, väliastioista, tyhjennysputkista, portaista, turvarakenteista ja sähköisistä varusteista. Kun tällainen kokonaisuus rakennetaan vaiheittain toimivaksi tuotantolaitokseksi, suunnitteluratkaisut vaikuttavat suoraan siihen, kuinka tehokkaasti, turvallisesti ja virheettömästi kokoonpano voidaan toteuttaa.

Lean Robotics -lähestymistapa sopii tähän yhteyteen erityisesti siksi, että sen keskeinen ajatus on poistaa kokoonpanosta hukkaa ja tehdä työstä hallittavampaa. Betoniaseman kaltaisessa suurikokoisessa kokonaisuudessa hukkaa voi syntyä monella tavalla: osia joudutaan siirtämään useita kertoja,

asennusjärjestys voi olla epäselvä, liityntäpinnat eivät välttämättä kohtaa ilman sovitustyötä, työmaalla voidaan joutua odottamaan nostoja tai puuttuvia osia, ja huoltokohteisiin pääsy voi jäädä ahtaaksi. Kun suunnittelussa huomioidaan Lean Robotics -ajattelu, tavoitteena on, että nämä ongelmat ehkäistään jo ennen valmistusta siten, että rakenne, työjärjestys ja osakokoonpanot tukevat sujuvaa toteutusta.

5.1 Lean-ajattelun keskeiset periaatteet

Lean-ajattelun tavoitteena on maksimoida asiakkaalle tuotettu arvo ja minimoida arvoa tuottamaton toiminta. Tuotantoprosessia tarkastellaan kokonaisuutena, jossa jokainen työvaihe arvioidaan sen tuottaman lisäarvon perusteella (Womack & Jones 1996). Näkökulma on keskeinen myös robotiikan käyttöönotossa.

Hukan systemaattinen tunnistaminen muodostaa lean-kehittämisen perustan. Perinteiset hukkaluokat sisältävät ylituotannon, odottamisen, kuljetuksen, yliprosessoinnin, varastoinnin, turhan liikkeen sekä virheet. Lisäksi henkilöstön osaaminen alihyödyntäminen on tunnistettu merkittäväksi tehottomuuden lähteeksi (Liker 2004). Mikäli näitä tekijöitä ei poisteta ennen automaation lisäämistä, riskinä on, että tehottomuus siirtyy sellaisenaan automatisoituun ympäristöön.

Arvovirran analysointi mahdollistaa materiaalin ja informaation kulun kokonaisvaltaisen tarkastelun. Menetelmän avulla voidaan tunnistaa prosessin pullonkaulat ja epätasapainot sekä kohdistaa kehittämistoimenpiteet oikein (Womack & Jones 1996). Robotiikan kannalta tämä tarkoittaa sitä, että automaatio suunnataan työvaiheisiin, jossa sen vaikutus tuottavuuteen, laatuun tai ergonomiaan on merkittävä.

Prosessin vakiointi on edellytys onnistuneelle robotiikan käyttöönotolle. Selkeästi määritellyt työmenetelmät mahdollistavat ennustettavan tuotannon ja helpottavat robottijärjestelmän ohjelmointia sekä ylläpitoa (Liker 2004). Lean-

ajattelun mukainen standardointi luo siten teknisen toteutuksen kannalta vakaan toimintaympäristön.

5.2 Robotiikan käyttöönoton vaiheistus

Robotiikan integrointi tuotantoon toteutetaan Lean Robotics -mallissa kolmivaiheisena prosessina: Discover, Design ja Deploy (Bouchard 2017). Vaiheistus tukee järjestelmällistä etenemistä ja mahdollistaa päätöksenteon perustamisen analysoituun tietoon.

Discover-vaiheessa kartoitetaan tuotantoprosessin nykytila. Työvaiheiden kestot, materiaalivirrat, resurssien käyttö ja mahdolliset häiriötekijät analysoidaan kokonaisvaltaisesti. Tarkastelun tavoitteena on tunnistaa kehityskohteet ja arvioida, missä automaatiolla voidaan saavuttaa merkittävää lisäarvoa. Päätöksenteko perustuu mitattavaan dataan eikä oletuksiin. (Bouchard 2017)

Design-vaiheessa määritellään tekninen ratkaisu. Robottityypin valinta, tarvittavat oheislaitteet, turvallisuusratkaisut ja layout-integraatio suunnitellaan osaksi tuotantojärjestelmää. Samalla arvioidaan investoinnin taloudellinen kannattavuus ja vaikutus tuotantokapasiteettiin. Huolellinen suunnitteluvaihe vähentää muutostarpeita käyttöönoton aikana. (Bouchard 2017)

Deploy-vaiheessa ratkaisu otetaan käyttöön. Asennus, ohjelmointi, testaus ja henkilöstön koulutus muodostavat toteutuksen keskeiset osa-alueet. Käyttöönoton jälkeen järjestelmän suorituskykyä seurataan määriteltyjen mittareiden avulla. Mikäli tavoitteita ei saavuteta, prosessi tarkastellaan uudelleen ja tehdään tarvittavat korjaavat toimenpiteet. (Bouchard 2017)

Vaiheistettu lähestymistapa mahdollistaa robotiikan hallitun integroinnin osaksi tuotantoa. Kun analyysi, suunnittelut ja toteutus muodostavat selkeän kokonaisuuden, investoinnin riskit pienenevät ja tuotannollinen hyöty voidaan varmistaa systemaattisesti. (Bouchard 2017)

6. Betoniaseman kokoonpanonprosessin suunnittelu

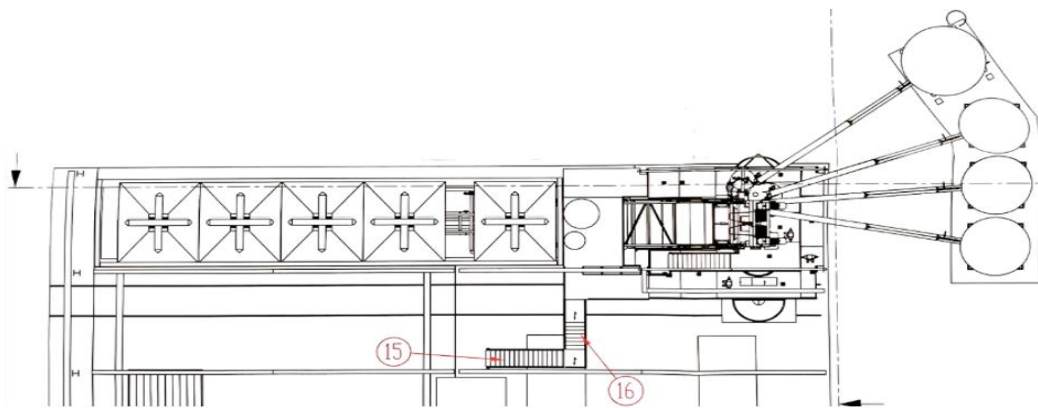
Betoniaseman suunnittelussa kokoonpanon huomioiminen on tärkeää ennen kaikkea siksi, että kyseessä ei ole yksittäinen kone vaan suuri, useista osajärjestelmistä koostuva laitospokonaisuus. Kun suunnittelija ottaa kokoonpanon huomioon jo työpiirustusvaiheessa, voidaan ehkäistä ongelmia, jotka muutoin näkyisivät vasta tuotannossa tai työmaalla. Näitä ongelmia ovat esimerkiksi epäselvät liitospinnat, huonosti saavutettavat asennuskohdat, väärin ajoittuvat nostot, pitkät sovitustyöt sekä sellaiset rakenneratkaisut, jotka vaikeuttavat huoltoa myöhemmin käytön aikana.

Toinen keskeinen syy on kustannusten ja aikataulun hallinta. Hyvin suunniteltu kokoonpano mahdollistaa osakokoonpanojen valmistuksen rinnakkain, vähentää työmaalla tehtävää käsityötä ja lyhentää asennuksen kokonaiskestoa. Samalla mittatarkkuus paranee, koska jokaisen moduulin liityntä on ratkaistu jo etukäteen. Tämä vähentää virheiden riskiä ja nopeuttaa käyttöönottoa, mikä on erityisen tärkeää näin suuren ja raskaan teollisen laitoksen kohdalla.

Kolmas syy liittyy turvallisuuteen ja huollettavuuteen. Betoniasemassa on useita korkeuseroja, liikkuvia mekaanisia osia, kuluvia pintoja ja teknisiä tiloja, jotka on voitava tarkastaa ja huoltaa myös käytön aikana. Kun portaat, tasot, suojaukset, kulkureitit ja tekniset tilat suunnitellaan osaksi kokoonpanoa, koko laitoksesta tulee turvallisempi käyttää ja ylläpitää. Näin kokoonpanosuunnittelu ei palvele vain ensimmäistä asennusta, vaan koko laitoksen elinkaarta.

Suunnittelutehtävänä oli betoniaseman kokonaislayoutin määrittäminen. Tässä vaiheessa ratkaistiin, miten syöttö- ja varastoalue, prosessitornin ympärille sijoittuvat työpisteet sekä silloalueen materiaalin syöttö liittyvät toisiinsa yhden laitoksen sisällä. Layout-vaiheessa suunniteltiin samalla käytännössä koko aseman perussuunta: mistä materiaalit vastaanotetaan, missä annostelu tapahtuu, mihin sekoituspää sijoittuu ja millä reitillä sideaineet johdetaan ruuvikuljettimilla prosessiin. Tämä vaihe oli kokoonpanon kannalta ratkaiseva, koska juuri yleisjärjestely määrää myöhempien osakokoonpanojen sijainnin, nostosuunnat ja vapaat tilat.

Kokonaislayoutissa määritettiin myös työpisteiden keskinäinen työnjako. Syöttöalue muodostaa materiaalin vastaanoton ja annostelun työpisteen, prosessitorniin sijoittuvat punnitus ja sekoitus, ja silloalueelta tulevat ruuvikuljettimet muodostavat oman syöttölinjansa sekoituspään suuntaan. Kun nämä työpisteet ratkaistaan samassa kokoonpanokuvassa, koko asema voidaan jakaa loogisiin valmistus- ja asennusmoduuleihin ilman, että kokonaisuuden toiminnallinen jatkuvuus kärsii. Tämä koko betoniaseman perusrakenne on esitetty kuvassa 1.

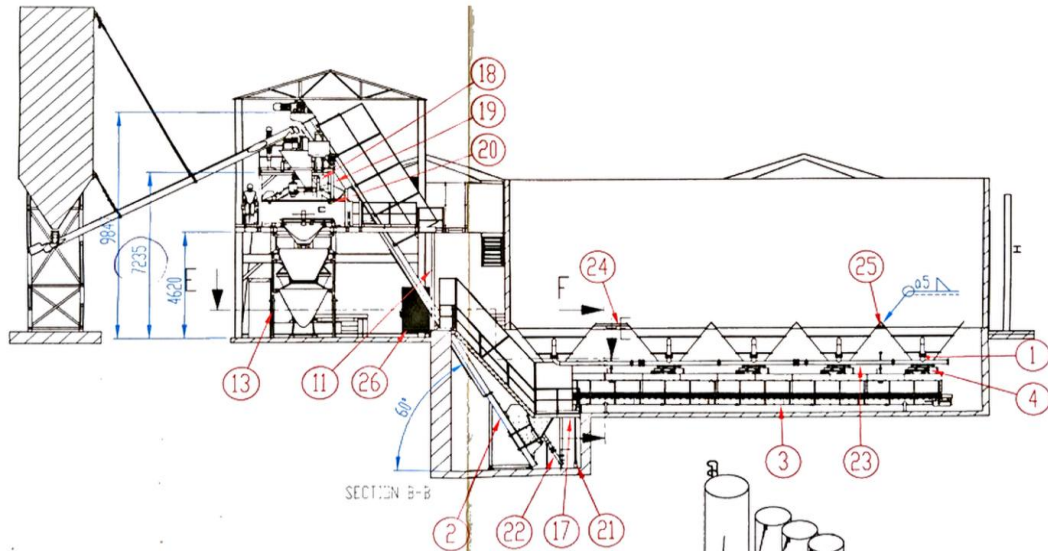


Kuva 1. Kokonaislayout ylhäältä. (Sahlsten 2025)

Pelkkä kokonaislayout ei vielä riitä kuvaamaan betoniaseman toimivuutta, vaan materiaalivirran rakenne on täytynyt tarkastella tarkemmin leikkauskuvissa. Syöttö- ja annostelujärjestelmän suunnittelussa ratkaistiin, miten kiviaines vastaanotetaan varasto-osasta, annostellaan hihnasyöttimillä, johdetaan hihnavaa'alle ja siirretään edelleen kiviainesnostimelle. Tämän osuuden suunnittelu oli tärkeää, koska juuri tässä vaiheessa määrittyvät materiaalin ensimmäiset liittynät, kuormitusten jakautuminen sekä se, miten koko syöttölinja voidaan asentaa perustusten ja tukirakenteiden varaan.

Syöttöjärjestelmän suunnittelussa huomioitiin myös materiaalin nousu prosessitornia kohti. Viistosti nouseva nostin, sen kulma ja yhteys ylempiin prosessivaiheisiin vaikuttavat suoraan sekä rakennetekniikkaan että asennusjärjestykseen. Kun annostelu, punnitus ja siirto on ratkaistu yhtenä kokonaisuutena, materiaalin kulku pysyy hallittuna eikä eri osakokoonpanojen

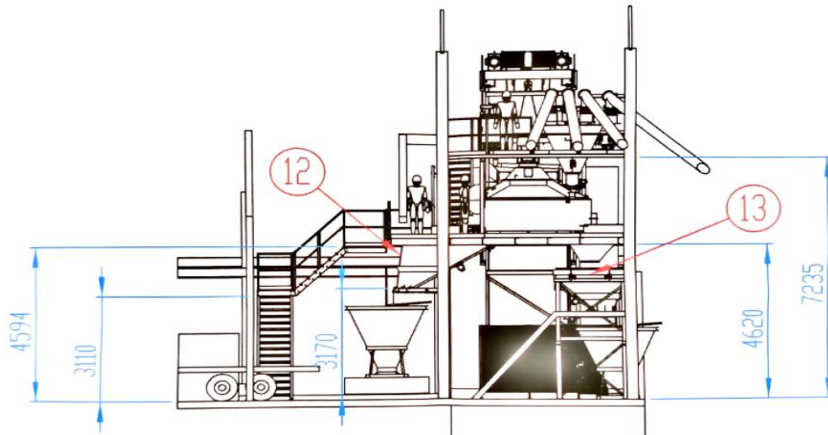
välille synny toiminnallisia katkoja. Tämä syöttö- ja annostelulinjan kokoonpano on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Betoniaseman syöttö- ja annostelujärjestelmä leikkauksessa B-B. (Sahlsten 2025)

Betoniaseman prosessitorni muodostaa laitoksen rakenteellisen rungon, johon materiaalin nosto, välivarastointi, punnitus ja purku liittyvät. Sen vuoksi suunnittelussa oli ratkaistava tarkasti tornin tasokorkeudet, kantavat rungot, huoltotasot ja vapaat tilat. Pystysuuntainen rakenne on kokoonpanon näkökulmasta vaativa, koska eri korkeuksille sijoittuvat moduulit on voitava asentaa turvallisesti ja oikeassa järjestyksessä. Jos tasokorkeudet, liitynnät tai vapaat tilat ovat epäselviä, koko prosessiosan asennus hidastuu ja myöhempi huolto vaikeutuu.

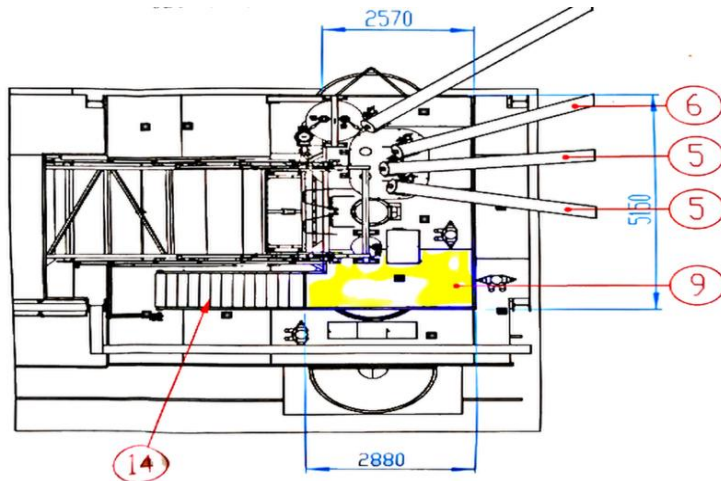
Tässä suunnitteluvaiheessa määritettiin myös, miten väliastiat ja muut prosessikomponentit sijoittuvat rungon sisään. Korkeusasemien täsmällinen esittäminen mahdollistaa sen, että osakokoonpanojen valmistus voidaan tehdä mittatarkasti jo ennen lopullista asennusta. Samalla voidaan arvioida, missä järjestyksessä huoltotasot, portaat ja muut käyttöä tukevat rakenteet kannattaa liittää kokonaisuuteen. Tämä prosessitornin pystyrakenne on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Prosessitornin pystysuuntainen rakenne leikkauksessa A-A. (Sahlsten 2025)

Betoniaseman toiminnallinen keskus sijoittuu sekoituspäähän, johon kiviainekset, sideaineet ja punnitusjärjestelmä liittyvät samalle alueelle. Tämän vuoksi suunnittelussa oli kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, miten ruuvikuljettimet saapuvat siiloalueelta prosessipäähän, missä kulmassa ne liittyvät sekoitusmoduuliin ja kuinka lähelle punnitusmoduuli on mahdollista sijoittaa ilman, että huoltotila käy liian ahtaaksi. Tämä alue on koko aseman kannalta kriittinen, koska useat materiaalivirrat kohtaavat siinä hyvin rajatussa tilassa.

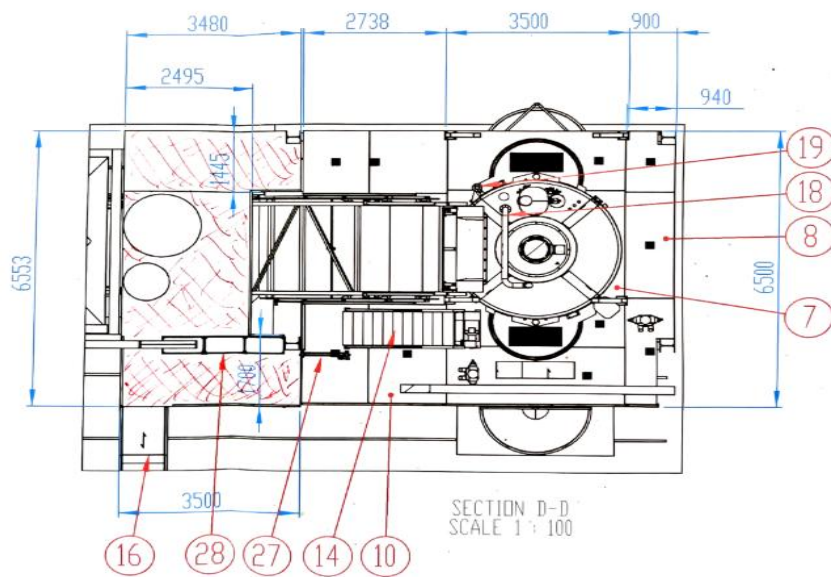
Liityntöjen suunnittelussa pyrittiin ratkaisuun, jossa ruuvikuljettimien sijainti on selkeä, liitospinnat ovat helposti asennettavia ja keskusmoduulin ympärille jää riittävästi käyttö- ja huoltotilaa. Samalla voitiin varmistaa, että sideaineen syöttö tapahtuu hallitusti eikä sekoituspään ympärille synny tarpeettoman monimutkaisia välirakenteita. Tämä sekoituspään yläpuolinen liityntäalue on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Sekoituspään yläkuva. (Sahlsten 2025)

Betoniaseman suunnittelussa ei riitä, että laitteet mahtuvat samaan runkoon, vaan niiden ympärille on jätettävä riittävästi tilaa asennukselle, käytölle ja huollolle. Prosessiytimen suunnittelussa tarkasteltiin siksi myös niitä sivualueita, joihin sijoittuvat kulkureitit, tekniset tilat, turvarakenteet ja mahdolliset sähköiset liittynät. Tällainen tarkastelu on välttämätön, koska käyttöä palvelevat rakenteet eivät saa muodostua jälkeinpäin lisätyiksi kompromisseiksi, vaan niiden on oltava osa varsinaista kokoonpanosuunnittelua.

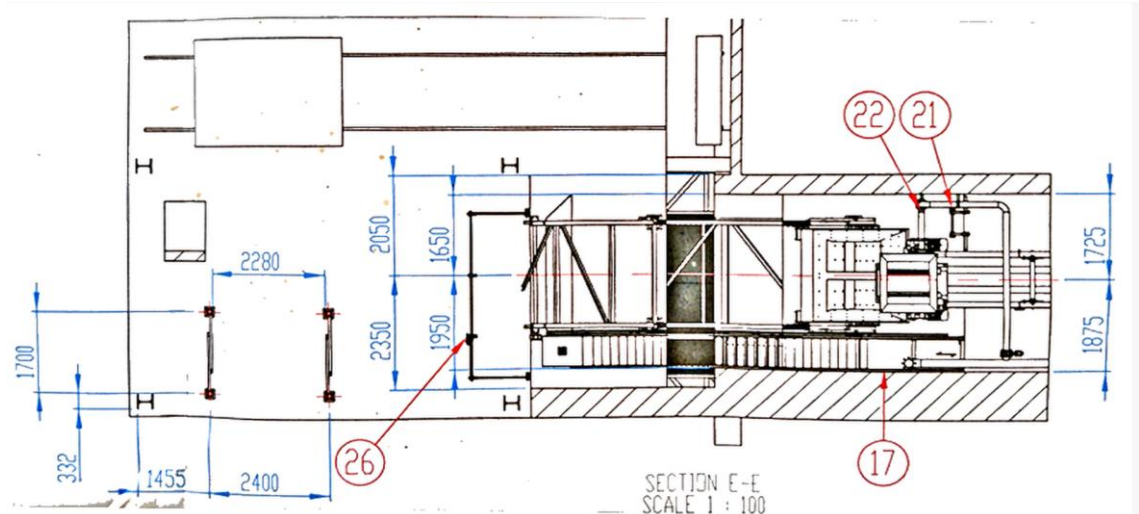
Kun huolto- ja käyttötilat ratkaistaan jo piirustuksissa, voidaan varmistaa, että sekoitinmoduuli, runkorakenne ja niitä ympäröivät apurakenteet toimivat yhdessä. Tämä vähentää myöhempää muutostarvetta ja parantaa koko aseman käyttöturvallisuutta. Samalla voidaan erottaa prosessialue ja tekninen tila toisistaan tavalla, joka helpottaa valvontaa ja kunnossapitoa. Tämä prosessiytimen tilallinen jäsentely on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Sekoitusmoduulin yläleikkaus D-D. (Sahlsten 2025)

Betoniaseman kokoonpanossa merkittävä osa tekniikasta sijoittuu myös rungon sisäisiin tai osittain koteloituihin tiloihin, joissa materiaalin siirto, voimansiirto ja suojarakenteet kohtaavat. Tämän vuoksi suunnittelussa oli tarpeen tarkastella erikseen myös alatasojen koneistotiloja. Näissä kohdissa asennettavuus korostuu erityisesti siksi, että työtila on rajallinen ja useat osat on saatava paikoilleen oikeassa järjestyksessä ilman, että jo asennettuja rakenteita joudutaan purkamaan.

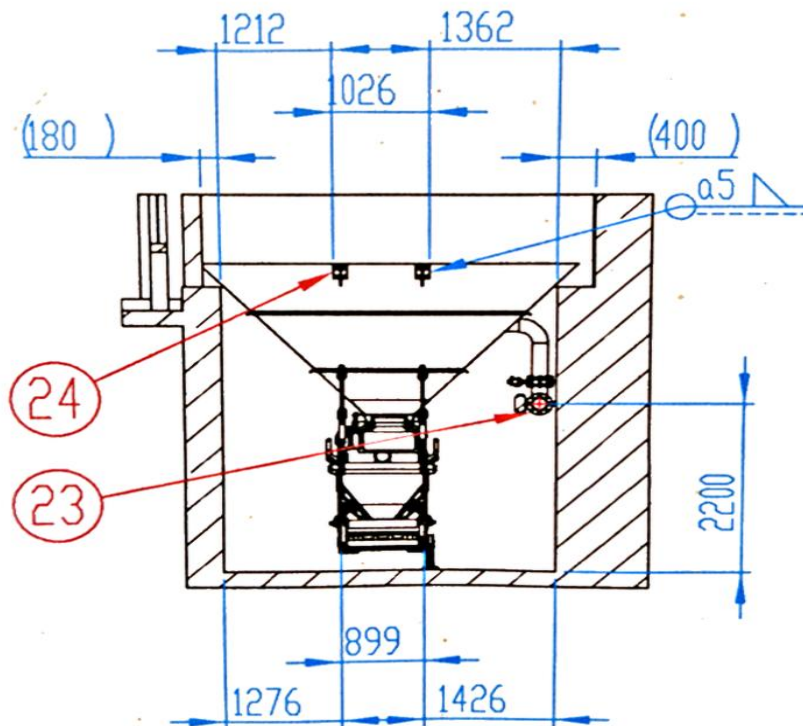
Suunnittelun tavoitteena oli varmistaa, että rungon sisäinen koneisto, portaat, tikkaat, suojaverkot ja kiinnityspisteet muodostavat selkeän kokonaisuuden. Kun alasyöttö- ja koneistotila ratkaistaan leikkauskuvassa tarkasti, voidaan arvioida sekä materiaalin siirron että huoltotoimien vaatimat tilavaraukset jo ennen valmistusta. Tämä rungon sisäinen koneistoalue on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Alasyöttö- ja koneistotilan leikkaus E-E. (Sahlsten 2025)

Kokoonpanoprosessin suunnittelu ei pääty päämoduuleihin, vaan se ulottuu myös yksittäisiin syöttö- ja purkuyksityiskohtiin. Syöttösuppilon ja sen alapuolisen annostelu- tai putkiyksikön kohdalla piti ratkaista tarkasti sekä geometria että kiinnitystapa. Tällaiset yksityiskohdat vaikuttavat suoraan siihen, miten materiaali käyttäytyy, kuinka helposti osa voidaan valmistaa ja miten luotettavasti se voidaan asentaa osaksi laajempaa järjestelmää.

Yksityiskohtakuvien arvo korostuu erityisesti silloin, kun pääkokoonpanot liittyvät toisiinsa useiden pienten rajapintojen kautta. Jos suppilon muodot, putkiyhteydet tai tukirakenteet jäävät liian yleiselle tasolle, työmaalla joudutaan tekemään lisää mittaamista ja sovitusta. Tässä työssä yksityiskohdat on ratkaistu jo suunnitteluvaiheessa niin, että valmistus ja asennus voidaan tehdä hallitusti. Tämä syöttösuppilon detalji on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Syöttösuppilon poikkileikkaus. (Sahlsten 2025)

Työpiirustusten rinnalla osaluettelo toimii koko kokoonpanoprosessin ohjaavana dokumenttina. Sen avulla voidaan tunnistaa, mistä pää- ja osakokoonpanoista betoniasema rakentuu, mitkä osat valmistetaan itse ja mitkä hankitaan valmiina sekä kuinka suuri määrä vastaavia komponentteja kokonaisuuteen kuuluu. Osaluettelon perusteella betoniasema jäsentyy selkeisiin ryhmiin, kuten perustus- ja runko-osaan, kiviaineslinjaan, punnitus- ja sekoitusmoduuleihin, ruuvikuljettimiin, väliastioihin sekä käyttöä ja turvallisuutta palveleviin rakenteisiin.

Kokoonpanon suunnittelussa osaluettelo on tärkeä siksi, että se tekee näkyväksi asennusjärjestyksen taustalla olevan tuotannollisen logiikan. Kun tiedetään, mitä moduuleja kokonaisuuteen kuuluu ja kuinka ne liittyvät toisiinsa, voidaan kokoonpano vaiheistaa tarkoituksenmukaisesti perustuksista ja rungosta kohti tarkkuutta vaativia prosessiosia ja lopulta käyttöä palvelevia varusteita. Tämä nimikkeistöön perustuva moduulijako on esitetty kuvassa 8.

28	20 - Buy		Sähkökaappi		MC01	800x2000x400 x 3pcs	1
27	20 - Buy		Turvaovi			HI-SL-ST2U-2200-800	1
26	10 - Make	10018513	Verkkosuoja				1
25	10 - Make	10018769	Levy				2
24	10 - Make	10018645	Palkki				2
23	10 - Make	10018619	Turboputki	Kokoonpano			1
22	10 - Make	10017966	Turboputki				1
21	10 - Make	10018506	Tikas	Yläosa			1
20	10 - Make	10018448	Tyhjennysputki				1
19	10 - Make	10018446	Tyhjennysputki				1
18	10 - Make	10018444	Tyhjennysputki				1
17	10 - Make	10018450	Porras	Kokoonpano			1
16	10 - Make	10018696	Porras	Kokoonpano			1
15	10 - Make	10018574	Porras	Kokoonpano			1
14	10 - Make	10018201	Porras	Kokoonpano			1
13	10 - Make	10018324	Väliastia	Kokoonpano			1
12	10 - Make	10018269	Väliastia	Kokoonpano			1
11	10 - Make	10018333	Tuki				1
10	10 - Make	10018741	Runko	Kokoonpano			1
9	10 - Make	10018093	Punnitusmoduuli	Kokoonpano			1
8	10 - Make	10018192	Runko				1
7	10 - Make	10018083	Sekoitinmoduuli	Kokoonpano			1
6	10 - Make	10018148	Ruuvikuljetin	Varustelu			1
5	10 - Make	10018011	Ruuvikuljetin	Varustelu			2
4	10 - Make	10002993	Hihnasyötin	Kokoonpano			5
3	10 - Make	10017923	Hihnavaaka	Kokoonpano			1
2	10 - Make	10017956	Kiviainesnostin	Kokoonpano			1
1	10 - Make	10017771	Perustus				1

Kuva 8. Osaluettelo. (Sahlsten 2025)

6.1 Standardiluokat

Jotta betoniasema täyttää turvallisuus- ja laatuvaatimukset, niissä käytetään standardeja SFS-EN ISO 13920 Class C ja SFS-EN ISO 9013. SFS-EN ISO 13920:n taustalla oleva nykyinen standardi on ISO 13920:2023, joka korvasi vuoden 1996 version. Standardin aiheena ovat hitsattujen rakenteiden yleistoleranssit: joka käsittelee pituus- ja kulmamittoja sekä muotoa ja sijaintia. Standardin perusajatus on, että hitsattujen rakenteiden toleransseja voidaan hallita yleisluokkien avulla sen sijaan, että jokaiselle mitalle annettaisiin aina erillinen toleranssi. Luokan valinnan lähtökohtana on rakenteen toiminnallinen vaatimus, ei pelkkä valmistustapa. Standardi korostaa myös, että piirustuksessa ilmoitettu toleranssi on aina määräävä, ja että valmistusasiakirja jää sisällöltään puutteelliseksi, jos siinä esitetään mittoja tai muoto- ja sijaintivaatimuksia ilman yksilöllisiä toleransseja eikä siinä viitata yleistoleranssiin. (ISO 13920:2023)

Kun puhutaan nimenomaan merkinnästä Class C, kyse ei standardissa ole koko geometrian kattavasta yhdestä laatutasosta, vaan ennen kaikkea taulukoiden 1 ja 2 mukaisista pituus- ja kulmamittojen yleistoleransseista. Tämä on tärkeä

täsmennys. Sama standardi antaa kyllä myös muotoon ja sijaintiin liittyviä yleisiä toleransseja, mutta ne on esitetty erillisillä kirjainluokilla E, F, G ja H. Siksi pelkkä merkintä ISO 13920-C tarkoittaa käytännössä lineaaristen ja kulmamittojen luokkaa C. Jos samalla halutaan määrittää esimerkiksi suoruuden, tasomaisuuden tai yhdensuuntaisuuden yleinen toleranssiluokka, piirustukseen annetaan yhdistelmämerkintä, esimerkiksi ISO 13920-CG. Standardi sanoo tämän suoraan piirustusmerkintöjä käsittelevässä kohdassa. (ISO 13920:2023)

Luokan C käytännön merkitys on siinä, että se sijoittuu taulukkoarvojen perusteella keskivaiheille. Se on väljempi kuin A- ja B-luokat, mutta tiukempi kuin D-luokka. Tämä tekee siitä käyttökelpoisen silloin, kun hitsatulta rakenteelta vaaditaan selvästi hallittua mittatarkkuutta, mutta valmistuksen ei ole tarkoitus perustua kaikkein tiukimpiin työpajatoleransseihin. Taulukko 1 osoittaa, että sallitut lineaariset poikkeamat kasvavat portaittain nimellismittan kasvaessa. Mitä suurempi hitsattu rakenne tai mitta, sitä suurempi sallittu poikkeama voi olla yleistoleranssin puitteissa. (ISO 13920:2023)

Tolerance class	Range of nominal sizes										
	<i>l</i> mm										
	2 < <i>l</i> ≤ 30	30 < <i>l</i> ≤ 120	120 < <i>l</i> ≤ 400	400 < <i>l</i> ≤ 1 000	1 000 < <i>l</i> ≤ 2 000	2 000 < <i>l</i> ≤ 4 000	4 000 < <i>l</i> ≤ 8 000	8 000 < <i>l</i> ≤ 12 000	12 000 < <i>l</i> ≤ 16 000	16 000 < <i>l</i> ≤ 20 000	<i>l</i> > 20 000
Tolerances											
<i>t</i> mm											
A	±1	±1	±1	±2	±3	±4	±5	±6	±7	±8	±9
B		±2	±2	±3	±4	±6	±8	±10	±12	±14	±16
C		±3	±4	±6	±8	±11	±14	±18	±21	±24	±27
D		±4	±7	±9	±12	±16	±21	±27	±32	±36	±40

Taulukko 1. Lineaaristen mittojen toleranssit. (ISO 13920:2023)

Kulmamittojen osalta luokka C on erityisen hyvin jäsenneily. Standardi sitoo sallitun kulmapoikkeaman lyhyempään kylkeen, koska juuri sen pituus vaikuttaa siihen, miten suuri kulmavirhe on käytännössä merkityksellinen. Luokan C

sallitut poikkeamat ovat standardin taulukon 2 mukaan $\pm 1^\circ$, kun lyhyempi kylki on enintään 400 mm, $\pm 45'$, kun lyhyempi kylki on yli 400 mm mutta enintään 1 000 mm, ja $\pm 30'$, kun lyhyempi kylki on yli 1 000 mm. Samat poikkeamat on esitetty myös millimetreinä metriä kohti. Tämä on käytännössä hyödyllinen tapa hallita esimerkiksi kehikkojen, tukirakenteiden, koteloiden ja muiden hitsattujen kokoonpanojen kulmatarkkuutta ilman, että jokainen kulma täytyy toleroida erikseen. (ISO 13920:2023)

Tolerance class	Range of nominal sizes		
	l mm (length of shorter leg)		
	$l \leq 400$	$400 < l \leq 1\ 000$	$l > 1\ 000$
	Tolerances		
	$\Delta\alpha$ (degrees and minutes)		
A	$\pm 20'$	$\pm 15'$	$\pm 10'$
B	$\pm 45'$	$\pm 30'$	$\pm 20'$
C	$\pm 1^\circ$	$\pm 45'$	$\pm 30'$
D	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 1^\circ 15'$	$\pm 1^\circ$
	Calculated and rounded tolerances, t , in mm/m ^a		
A	± 6	$\pm 4,5$	± 3
B	± 13	± 9	± 6
C	± 18	± 13	± 9
D	± 26	± 22	± 18

^a The value indicated in mm/m corresponds to the tangent value of the general tolerance. It is to be multiplied by the length, in m, of the shorter leg.

Taulukko 2. Kulmamittojen toleranssit. (ISO 13920:2023)

Luokka C ei silti korvaa kaikkia toiminnallisia geometriavaatimuksia. Standardi rajaa muoto- ja sijaintipuolella yleistoleranssit suoruteen, tasomaisuuteen ja yhdensuuntaisuuteen, mutta toteaa samalla, ettei esimerkiksi koaksiaalisuutta tai symmetriaa ole annettu yleisinä luokkina. Jos tällaiset vaatimukset ovat rakenteen toiminnan kannalta olennaisia, ne on annettava piirustuksessa erikseen ISO 1101:n mukaisesti. Tästä seuraa käytännössä, että luokka C on erittäin käyttökelpoinen yleismerkintä, mutta suunnittelijan on silti tunnistettava ne kohdat, joissa yleistoleranssi ei enää riitä ja joissa toiminnallinen vaatimus täytyy kirjoittaa auki erillisenä geometriavaatimuksena. (ISO 13920:2023)

Tarkastuksen kannalta standardi on myös selkeä. Se liittyy luokan käyttöön konkreettisen mittaus- ja todentamislogiikan. Mittaamiseen soveltuvat esimerkiksi teräsmittanauhut, suorakulmat, työntömitat ja kellomittarit, ja mittaustuloksiin voivat vaikuttaa poikkeavat lämpötila- ja olosuhdetekijät, kuten suurten rakenteiden mittaaminen voimakkaassa auringonpaisteessa. Suoruuden, tasomaisuuden ja yhdensuuntaisuuden mittausperiaate perustuu siihen, että todellisen pinnan tai reunan ja vertailusuoran tai -tason välinen suurin vaihtelu jää valitun toleranssin sisälle. Siksi luokan C käyttö ei ole pelkkä piirustusmerkintä, vaan osa koko valmistuksen, mittauksen ja hyväksynnän ketjua. (ISO 13920:2023)

SFS-EN ISO 9013:n taustalla oleva perusstandardi on ISO 9013:2017, joka ISO:n tietojen mukaan on edelleen voimassa ja jolle on julkaistu myös muutos 1:2024. Standardin varsinainen tehtävä on määrittää termisesti leikattujen pintojen luokitus geometrisen tuotemäärittelyn ja laatutoleranssien näkökulmasta. Se koskee materiaaleja, jotka soveltuvat polttoleikkaukseen, plasmaleikkaukseen ja laserleikkaukseen. Soveltamisalue on määritelty myös aineenpaksuuksien mukaan: polttoleikkauksessa 3–300 mm, plasmaleikkauksessa 0,5–150 mm ja laserleikkauksessa 0,5–32 mm. Standardi ei tule automaattisesti voimaan kaikessa termisessä leikkauksessa, vaan sitä sovelletaan silloin, kun siihen viitataan piirustuksessa tai muussa asiakirjassa, esimerkiksi toimitusehdoissa. Samalla standardi rajaa ulkopuolelle kappaleen yleiset tasomaisuusvirheet, joihin on viitattava materiaalistandardien kautta. (ISO 9013:2017)

Tämän standardin vahvuus on sen täsmällinen tekninen kieli. ISO 9013 rakentaa termiselle leikkaukselle yhteisen sanaston, jotta suunnittelu, valmistus ja tarkastus puhuisivat samasta asiasta. Standardi erottaa toisistaan itse leikkaustoiminnon ja valmiin leikkauksen, ja kuvallisten määritelmien avulla se jäsentää prosessin käsitteet, kuten leikkauspään, suuttimen, suuttimen etäisyyden, säteen tai liekin, leikkuuraon, leikkauksen alun ja lopun sekä leikkaussuunnan. Valmiin kappaleen puolella standardi määrittelee myös esimerkiksi yläreunan, leikkuupinnan, alareunan, kappaleen paksuuden,

leikkauspaksuuden, juuripinnan syvyyden, polttimen asettelukulman ja syntyneen leikkauskulman. Tämä terminologinen täsmällisyys ei ole muodollinen yksityiskohta, vaan perusedellytys sille, että laatuvaatimukset voidaan myöhemmin mitata samalla tavalla eri toimijoiden välillä. (ISO 9013:2017)

Laadun arviointi standardissa ei perustu pelkkään silmämääräiseen vaikutelmaan, vaan mitattaviin ominaisuuksiin. ISO 9013 määrittelee esimerkiksi leikkuuraon leveyden, dragin eli raahausviivan etenemissuuntaisen siirtymän, kohtisuoruus- tai kulmapoikkeaman u , profiilielementin korkeuden Z_t , profiilin keskikorkeuden Rz_5 , yläreunan sulamisen r , alaosaan jäävän jäysteen tai kuonan sekä gougingin eli epäsäännölliset uurteet tai syöpymät leikkuupinnassa. Standardin kannalta ratkaisevaa on, että nämä eivät ole vain kuvailevia termejä, vaan laadun mittaamisen kohteita. Esimerkiksi u -toleranssi kuvaa sitä aluetta, jonka sisään leikkuupinnan profiilin on mahdollista asetettuun kulmaan nähden. Standardi huomauttaa nimenomaisesti, että tähän sisältyvät myös leikkuupinnan tasopoikkeamat tarkasteltavalla alueella. (ISO 9013:2017)

Tässä näkyy myös standardin GPS-luonne. Normatiivisissa viittauksissa ISO 9013 nojaa pinnanlaadun ja sen mittaamisen perusstandardeihin, kuten ISO 1302, ISO 3274, ISO 4288 ja ISO 8015. Käytännössä tämä tarkoittaa, että termisesti leikatun pinnan laatu ei ole standardissa irrallinen "leikkaamon sisäinen" arvio, vaan osa samaa geometrisen tuotemäärittelyn kokonaisuutta, jota käytetään teknisessä dokumentoinnissa laajemminkin. Tilaaja voi siis viitata standardiin piirustuksessa, valmistaja voi leikata sen mukaisesti ja tarkastaja voi arvioida tuloksen samoilla periaatteilla. Näin standardi yhdistää suunnittelun, mittauksen ja hyväksynnän yhdeksi tekniseksi kokonaisuudeksi. (ISO 9013:2017)

On myös olennaista huomata, että standardi ei rajoitu vain leikkauspinnan "ulkonäköön", vaan se kytkee laadun suoraan tuotemäärittelyyn. Koska standardi tulee sovellettavaksi viittauksella piirustuksessa tai toimitusasiakirjassa, se toimii samalla sopimuksellisena laatuvaatimuksena.

Tämä tekee siitä erityisen tärkeän tilanteissa, joissa termisesti leikattu osa siirtyy seuraaviin valmistusvaiheisiin, kuten hitsaukseen, kokoonpanoon tai myöhempään koneistukseen. Standardin tehtävä on tällöin varmistaa, että leikattu pinta ei ole vain "riittävän hyvä" yleisellä tasolla, vaan että sen geometria ja pinnanlaatu täyttävät ennalta määritellyn, mitattavan vaatimuksen. (ISO 9013:2017)

7. Betoniaseman toteutus

Purku- ja syöttöalue on mekaanisten asennusten kannalta yksi kuormittuneimmista kohdista, koska juuri siellä materiaalin paino, jatkuva virtaus ja käyttöelinten liike kohtaavat. Tässä osassa asennuksen laatu näkyy erityisesti rungon jäykkyydessä, syöttöelimen tuennassa sekä siinä, miten lähelle käyttöyksikköä muut komponentit voidaan tuoda ilman, että huolto vaikeutuu tai kuluminen kasvaa hallitsemattomasti. Kuvassa 9 on esitetty kiviainessiilon alaosan purku- ja syöttöalue, jossa materiaalivirta siirtyy suppilosta annostelu- ja kuljetusjärjestelmään.



Kuva 9. Kiviainessiilon purku- ja syöttöalue. (Sahlsten 2026)

Purkualueen toteutuksessa ensimmäinen huomio kiinnittyy siihen, että kuormittuva syöttöpiste on rakennettu massiivisen teräsrakenteen varaan.

Suppilon alapuolinen liityntä, käyttöyksikön ympärille sijoitetut kannakkeet sekä syöttöelimen laakerointi muodostavat jäykän kokonaisuuden, jossa voimavälitys ja materiaalin purku tapahtuvat samassa rakenteessa ilman irrallisen oloisia lisäosia. Tämä on tärkeää, koska juuri purkupäässä syntyvät sekä materiaalin aiheuttama kuormitus että jatkuvasta käytöstä seuraava kuluminen.

Asennuksessa näkyy myös se, että käytettävyyteen on kiinnitetty huomiota. Putkitukset, kaapeloinnit ja pienemmät ohjauskomponentit on sijoitettu niin, etteivät ne jää purkuvirran tai liikkuvien osien välittömään vaikutusalueeseen. Kuluneet ja tummuneet pinnat kertovat todellisesta tuotantokäytöstä, mutta tästä huolimatta kokonaisuus vaikuttaa siistiltä, hallitulta ja mekaanisesti luotettavalta.

Pitkä kuljetinlinja osoittaa hyvin, miten mekaaninen asennus on samalla myös linjaus- ja tukityötä. Mitä pidemmästä kuljettimesta on kyse, sitä tärkeämmäksi nousee rungon suoruus, tukipisteiden tasaisuus ja kotelointien yhteensopivuus muun rakenteen kanssa. Tässä kohdassa asennusratkaisun onnistuminen vaikuttaa suoraan koko materiaalivirran jatkuvuuteen ja siihen, kuinka vähän kuljetin vaatii myöhemmin säätöä käytön aikana. Kuva 10 havainnollistaa pitkän kiviaineskuljettimen asennuksen osana betoniaseman sisäistä materiaalilinjaa.



Kuva 10. Kiviaineskuljetin. (Sahlsten 2026)

Pitkä kuljetinlinja on kohdistettu huolellisesti koko pituudeltaan. Teräsrunгон, kotelointien, tukijalkojen ja sivurakenteiden jaksotus muodostaa tasaisen rytmin, mikä kertoo siitä, että asennuksessa on pyritty hallittuun linjaukseen eikä vain osien paikoilleen kiinnittämiseen. Tällainen pitkä yhtenäinen linja vaatii käytännössä sen, että perustusten, runkorakenteiden ja kuljetinmoduulien korkeus- ja sivusuunnat on sovitettu toisiinsa tarkasti jo ennen lopullista kiristystä.

Kokonaisuuden ympärillä näkyvät suojuukset, kaapelireitit ja yläpuoliset rakenteet osoittavat, että kuljetinta ei ole asennettu irrallisena koneena vaan osaksi muuta tuotantolinjaa. Huollettavuus on huomioitu, koska kuljettimen sivuille jää selkeä tarkastusalue ja suojausratkaisut rajaavat mekaaniset osat hallitusti. Tämä antaa vahvan vaikutelman siitä, että linja on rakennettu pitkäaikaista käyttöä varten.

Hiekkahissin alaosa on kohta, jossa mekaanisilta ratkaisuilta vaaditaan samaan aikaan kulutuskestävyyttä, rakenteellista jäykkyyttä ja selkeää huollettavuutta. Materiaali kohdistaa alaosaan sekä iskuja että jatkuvaa hankausta, minkä vuoksi juuri tämän kohdan toteutus kertoo paljon koko laitoksen asennuslaatuudesta. Samalla käyttölaitteen, suojausten ja tukirakenteiden on mahdollista samaan tilaan hallitusti. Kuvassa 11 on esitetty hiekkahissin

alaosa, jossa syöttötila, käyttölaite ja kulumista kestävä rakenneosat liittyvät toisiinsa.



Kuva 11. Hiekkahissi. (Sahlsten 2026)

Hiekkahissin alaosassa korostuvat kulutukselle alttiit kohdat, minkä vuoksi materiaalivalinnoilla ja muodoilla on suuri merkitys. Syöttösuppilon sisäpintojen kulutuslevyt, jyrkät seinämät ja vahvistetut reunat viittaavat siihen, että rakenne on suunniteltu kestämään jatkuvaa materiaalivirtaa ilman nopeaa kulumista tai muodonmuutosta. Tämä on mekaanisen asennuksen kannalta hyvä ratkaisu, koska juuri alaosa altistuu voimakkaimmin iskuille, hankaukselle ja materiaalin kasautumiselle.

Käyttömoottorin ja vaihteen sijoitus lähelle syöttöpäätä tekee kokonaisuudesta helposti hahmotettavan myös huoltotilanteessa. Voimansiirto, suojaverkko, tukipalkit ja ympäröivät putkilinjat on sovitettu samaan koneikkotilaan siten, että jokaisella osalla on selkeä paikka. Tästä syntyy vaikutelma tiivistä mutta järjestelmällisestä asennuksesta, jossa turvallisuus ja huollettavuus on huomioitu yhtä aikaa rakenteellisen jäykkyyden kanssa.

Myllyn asennusta voidaan pitää betoniaseman mekaanisena solmukohtana, koska sen ympärille liittyy poikkeuksellisen paljon muita järjestelmiä. Varsinaisen laitteen lisäksi samaan tilaan tulevat käyttöyksiköt, venttiilistöt, letkut, kaapeloinnit, huoltotasot ja kantavat teräsrakenteet. Siksi juuri myllyn kohdalla asennuksen laatua arvioidaan kokonaisuuden hallinnan, liityntöjen selkeyden ja kunnossapidon kannalta. Kuva 12 esittää betoniaseman myllyn ja siihen liittyvät mekaaniset, hydrauliset sekä sähköiset liitynnät yhtenä kokonaisuutena.



Kuva 12. Betoniaseman mylly. (Sahlsten 2026)

Mylly on laitoksen mekaaninen keskipiste, minkä vuoksi sen asennuksen on oltava sekä tukeva että huollettava. Jäykkä alusta, rungon ympärille sijoitetut huoltotasot ja laitteeseen liittyvät kaapelointi- ja letkukokonaisuudet muodostavat laajan teknisen kokonaisuuden, jossa paljon eri järjestelmiä on yhdistetty samaan yksikköön. Asennuksesta välittyy selvästi se, että tilaratkaisut on tehty laitteen ympärille eikä toisin päin.

Rakenteessa näkyvät huolto- ja tarkastusluukut, venttiiliryhmät sekä laitteeseen johdetut putki- ja kaapelireitit kertovat huolellisesta viimeistelystä. Samalla kokonaisuus näyttää riittävän avoimelta kunnossapitoa ajatellen, koska keskeiset

liityntäkohdat ovat saavutettavissa ilman, että koko rakennetta täytyy purkaa. Tällainen ratkaisu on betoniaseman käytettävyyden kannalta olennainen, sillä myllyn ympäristöön kohdistuu sekä mekaanista kuormitusta että säännöllistä huoltotarvetta.

Sementtisiilojen pystytys poikkeaa muista tarkastelluista kohteista sikäli, että kyseessä on samalla sekä mekaaninen asennus että suuri nostotekninen työvaihe. Tällöin huomio siirtyy yksittäisistä liitynnöistä koko rungon vakavuuteen, elementtien mittatarkkaan yhteensopivuuteen ja siihen, miten suuri kokonaisuus saadaan asennettua turvallisesti vaihe vaiheelta. Siilojen asennus kertoo paljon myös siitä, kuinka pitkälle projekti on jäsennelty etukäteen moduuleiksi. Kuva 13 havainnollistaa sementtisiilojen pystyasennuksen, jossa siilot, teräsrunko ja nostotyö muodostavat yhden asennusvaiheen.



Kuva 13. Sementtisiilot. (Sahlsten 2026)

Sementtisiilojen pystyasennus edustaa betoniaseman suurimittakaavaisinta mekaanista asennustyötä. Korkeat sylinterimäiset siilot, niitä kantava teräsrunko ja nostokalusto muodostavat kokonaisuuden, jossa mittatarkkuus, väliaikainen vakavuus ja turvallinen nosto ovat ratkaisevia onnistumisen kannalta.

Ristikkäisillä jäykisteillä tuettu runko antaa kevyestä ulkonäöstä huolimatta vaikutelman vakaasta ja tarkoituksenmukaisesta kantavasta rakenteesta.

Asennusvaiheessa korostuu myös modulaarisuuden hyöty. Kun siilot ja niitä palvelevat tasot on suunniteltu selkeiksi elementeiksi, voidaan pystytys tehdä hallitusti vaihe vaiheelta. Lopputuloksen kannalta olennaista on, että siilojen liitynnät, välitasot ja putkiyhteydet saadaan samalle rungolle ilman, että mittapoikkeamat kasvavat elementistä toiseen. Tässä kokonaisuudessa pystytys näyttää huolellisesti valmistellulta ja visuaalisesti ryhdikkäältä.

Tarkastelluissa asennuskohteissa toistuu sama periaate: hyvän mekaanisen toteutuksen tunnistaa siitä, että rakenne kantaa kuorman, liitynnät ovat loogisia ja huoltoa varten on jätetty tarkoituksenmukainen tila. Vaikka kohteet eroavat mittakaavaltaan ja tehtävältään, kaikissa korostuvat samaan aikaan tukevuus, linjaus, suojaus ja käytännön kunnossapidon huomioiminen.

7.1 Johtopäätökset betoniaseman toteutuksessa

Betoniaseman toteutusta voidaan pitää kokonaisuutena onnistuneena. Kokoonpanopiirustusten perusteella laitos on suunniteltu selkeästi jäsenellyksi kokonaisuudeksi, jossa syöttöjärjestelmä, kiviainesnostin, punnitusmoduuli, sekoitinmoduuli, ruuvikuljettimet sekä käyttö- ja huoltorakenteet muodostavat loogisen ja vaiheittain toteutettavan kokonaisuuden. Tämä osoittaa, että suunnittelussa on huomioitu laitoksen toiminnan lisäksi myös valmistettavuus ja kokoonpantavuus.

Eriyisen hyvin toteutuksessa onnistui kokoonpanon huomioiminen jo suunnitteluvaiheessa. Pääkokoonpanot, liitynnät, kulkureitit ja suojausrakenteet on ratkaistu osana samaa kokonaisuutta, mikä helpottaa asennustyön etenemistä ja vähentää työmaalla tehtävien muutosten tarvetta. Betoniaseman kaltaisessa laajassa laitospokokonaisuudessa tämä on tärkeää, koska onnistunut kokoonpanosuunnittelu vaikuttaa suoraan toteutuksen laatuun, aikatauluun ja turvallisuuteen.

Uuden betoniaseman käyttöönoton ja ensimmäisten käyttöjaksojen aikana havaittiin useita puutteita, jotka liittyvät laitoksen rakenteelliseen kestävyYTEEN, käytettävyyteen, huollettavuuteen, työturvallisuuteen sekä tuotannon sujuvuuteen. Ongelmat eivät ole pelkästään yksittäisiä teknisiä virheitä, vaan ne osoittavat, että laitoksen suunnittelussa, sijoittelussa ja käyttöönoton valmistelussa on ollut puutteita. Osa havaituista ongelmista heikentää suoraan tuotannon luotettavuutta, osa taas lisää kunnossapidon tarvetta, turvallisuusriskejä ja ympäristöhaittoja.

Ensimmäinen vakava havainto liittyi varavesisäiliöihin. Kun uutta betoniasemaa alettiin käyttää normaalissa tuotannossa, varavesisäiliöt eivät kestäneet käyttökuormitusta, vaan ne halkesivat. Halkeamien seurauksena järjestelmästä alkoi vuotaa vettä ympäristöön, mikä osoittaa, että säiliöiden rakenne, materiaalivalinta, tuenta tai asennustapa ei ollut riittävä todellisiin käyttöolosuhteisiin nähden. Tällainen vika on vakava, koska se voi aiheuttaa tuotannon keskeytyksiä, lisätä vedenhukkaa, kastella ympäröiviä rakenteita sekä synnyttää liukastumis- ja vaurioriskejä. Säiliöiden rikkoutuminen voi myös heikentää prosessin hallittavuutta, jos veden saanti tai annostelu ei enää toimi suunnitellulla tavalla.

Ratkaisuna tähän ongelmaan varavesisäiliöiden rakenteet tulee arvioida uudelleen. Säiliöiden mitoitus on tarkistettava todellisten kuormien, painevaihteluiden ja käyttösykliä perusteella. Käytännössä tämä voi tarkoittaa säiliöiden korvaamista vahvemmilla säiliöillä, materiaalipaksuuden kasvattamista, vahvikerakenteiden lisäämistä sekä kiinnitysten ja tukirakenteiden uudelleensuunnittelua. Lisäksi säiliöiden liitoksiin kannattaa asentaa joustavat kompensointiosat, jotta värinä, lämpöliikkeet tai putkiston aiheuttama rasitus eivät kohdistu suoraan säiliörakenteeseen. Ennen lopullista käyttöönottoa säiliöille tulee tehdä koepaineistus ja vuototesti, jotta vastaavat vauriot havaitaan jo ennakkoon.

Toinen merkittävä puute liittyy betoniaseman myllyn puhdistettavuuteen. Myllyn ympärillä olevat tilat on toteutettu niin ahtaiksi, ettei myllyä voida pestä kunnolla. Esimerkiksi luukun peseminen ei käytännössä onnistu, koska tilaa

työskentelylle ei ole riittävästi. Tämä on selkeä huollettavuusongelma, jolla on pitkällä aikavälillä suuri vaikutus laitoksen toimintaan. Jos myllyä ei saada puhdistettua kunnolla, betonijäämät alkavat kerääntyä pintoihin, mikä vaikeuttaa seuraavia tuotantoeriä, lisää kovettuneen aineksen muodostumista, kasvattaa puhdistusaikoja ja voi pahimmillaan heikentää valmistettavan betonin laatua. Lisäksi ahtaissa tiloissa tehtävä pesu lisää työturvallisuusriskejä ja altistaa työntekijät hankalille työasennoille.

Tämän ongelman ratkaiseminen edellyttää myllyn ympäristön tilajärjestelyjen muuttamista. Huolto- ja pesutilaa on lisättävä niin, että luokkujen, tarkastuskohtien ja myllyn sisäpintojen puhdistus voidaan tehdä turvallisesti ja tehokkaasti. Rakenteita, kaiteita, suojia tai muita esteitä tulee siirtää tai muuttaa siten, että huoltokohteisiin syntyy riittävä pääsy. Mikäli laajempi rakenteellinen muutos on vaikea toteuttaa, vaihtoehtona voidaan asentaa kiinteä pesujärjestelmä, esimerkiksi pesusuuttimia tai pyöriviä pesupäitä, joiden avulla myllyn sisäpinnat voidaan pestä ilman, että työntekijän tarvitsee päästä ahtaaseen tilaan. Samalla on suositeltavaa rakentaa kunnollinen huoltotaso, turvalliset kulkutiet ja riittävä valaistus, jotta pesu- ja huoltotoimet voidaan tehdä säännöllisesti ja hallitusti.

Kolmas havaittu ongelma liittyy siirtokuljettimeen ja betonin tyhjennysputkeen. Siirtokuljettimessa ei ole hidastusrajoja, mikä viittaa siihen, että kuljettimen liikkeet ja pysäytykset tapahtuvat liian äkillisesti. Tällainen toiminta lisää mekaanista rasitusta, kuluttaa rakenteita, voi aiheuttaa materiaalin roiskumista tai epätasaista syöttöä ja vaikeuttaa laitoksen hallittua käyttöä. Samanaikaisesti betonin tyhjennysputki ei sijaitse oikeassa kohdassa suhteessa myllyyn, mikä hankaloittaa betonin ottamista myllyltä. Tyhjennys ei tällöin tapahdu sujuvasti, vaan materiaalivirta voi osua väärään paikkaan, valua epäsiististi tai aiheuttaa ylimääräistä käsityötä.

Ratkaisuna siirtokuljettimen ohjaukseen tulee lisätä hallitut kiihdytys- ja hidastusasetukset. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi taajuusmuuttajalla tai muulla ohjausratkaisulla, jolla kuljettimen käynnistyksiä ja pysäytyksiä voidaan pehmentää. Samalla kuljettimen liikerajoitukset, rajakytkimet ja turvatoiminnot

on tarkistettava ja säädettävä vastaamaan laitoksen todellista käyttöä.

Tyhjennysputken osalta ratkaisu on sen sijainnin korjaaminen siten, että betonin purku tapahtuu suoraan haluttuun kohtaan ilman ylimääräisiä roiskeita, hävikkiä tai käyttövaikeuksia. Tarvittaessa voidaan käyttää säädettävää purkukourua, ohjainrakennetta tai muuta mekaanista ratkaisua, jolla materiaalivirta saadaan hallituksi kaikissa käyttötilanteissa.

Neljäs ongelma koskee kuidun lisäysputkea, joka ottaa kiinni hiekkahissiin.

Tämä kertoo siitä, että putkiston ja muiden rakenteiden välinen tilavaraus ei ole ollut riittävä suunnitteluvaiheessa tai asennuksessa ei ole huomioitu laitteiden todellisia liike- ja käyttötiloja. Tällainen kosketus tai törmäys aiheuttaa kulumista, värinää, mahdollisia rakenteellisia vaurioita ja pahimmillaan putken rikkoutumisen tai materiaalinsyötön häiriintymisen. Samalla se lisää kunnossapitotarvetta ja heikentää koko prosessin toimintavarmuutta.

Tähän ongelmaan sopiva ratkaisu on kuidun lisäysputken reitityksen muuttaminen. Putki tulee sijoittaa uudelleen siten, että sen ja hiekkahissin väliin jää selkeä turvaetäisyys kaikissa käyttötilanteissa. Tarvittaessa myös kannakkeet, kiinnitykset ja tukirakenteet on uusittava, jotta putki pysyy vakaasti oikeassa asennossa eikä pääse värähtelemään tai siirtymään käytön aikana. Jos putkessa tarvitaan joustavuutta, siihen voidaan lisätä joustava liitoskohta, joka vähentää rakenteisiin kohdistuvaa rasitusta. Ennen lopullista hyväksyntää koko alueen layout kannattaa tarkistaa käytännön koeajolla tai mallintamalla, jotta kaikki mahdolliset törmäyskohdat saadaan poistettua.

Viides ja erittäin merkittävä puute on pölynpoistojärjestelmän täydellinen puuttuminen. Betoniasemalla käsitellään useita pölyäviä materiaaleja, kuten sementtiä, hienoaainesta ja mahdollisesti kuituja tai muita lisäaineita. Ilman pölynpoistojärjestelmää pöly pääsee leviämään työympäristöön, laitteiden pinnoille ja mahdollisesti myös rakennuksen ulkopuolelle. Tämä heikentää työympäristön siisteyttä, lisää työntekijöiden altistumista pölylle, kasvattaa siivous- ja huoltotarvetta sekä voi aiheuttaa ongelmia laitteiden toiminnalle, jos pöly pääsee kertymään liikkuviin osiin, sähkökomponentteihin tai mittalaitteisiin.

Ratkaisuna betoniasemalle tulee suunnitella ja asentaa asianmukainen pölynpoistojärjestelmä. Pölynpoisto on johdettava niihin pisteisiin, joissa pölyä syntyy eniten, kuten siirtokohtiin, annosteluihin, myllyn läheisyyteen sekä mahdollisiin täyttö- ja purkupaikkoihin. Järjestelmään tulee kuulua riittävän tehokas imuysikkö, suodatus sekä tarvittaessa automaattinen suodattimien puhdistus. Lisäksi pölynpoiston toimintaa on seurattava huollon näkökulmasta, jotta suodattimet eivät tukkeudu eikä järjestelmän teho heikkene käytössä. Pölynhallinta ei ole pelkästään siisteyskysymys, vaan olennainen osa turvallista ja ammattimaista laitostoimintaa.

Kuudes havaittu ongelma on suojaöljyn linjaston puuttuminen kokonaan. Jos suojaöljyä tarvitaan prosessissa esimerkiksi pintojen suojaamiseen, tarttumisen estoon tai tiettyjen osien toimintakunnon ylläpitämiseen, linjaston puuttuminen vaikeuttaa käyttöä merkittävästi. Tällöin suojaöljyn annostelu jää helposti käsityön varaan, mikä tekee käytöstä epätasaista, hidasta ja altista virheille. Samalla voi syntyä tilanteita, joissa suojaöljyä ei levity riittävästi tai sitä käytetään liikaa, mikä heikentää prosessin laatua, lisää ainekulutusta ja voi aiheuttaa likaantumista.

Ratkaisuksi tulee rakentaa tarkoituksenmukainen suojaöljyn syöttö- ja jakelulinjasto. Linjaston avulla suojaöljy voidaan viedä hallitusti niihin kohteisiin, joissa sitä tarvitaan. Järjestelmään voidaan liittää säiliö, pumppu, suodatus, annosteluventtiilit ja mahdolliset suuttimet, joilla öljyn määrä pysyy tasaisena ja hallittuna. Tavoitteena on poistaa manuaalinen, epävarma ja aikaa vievä käsittely sekä varmistaa, että suojaöljyn käyttö tukee tuotannon jatkuvuutta eikä häiritse sitä. Samalla järjestelmälle tulee laatia huolto-ohjeet ja tarkastusrutiinit, jotta linjasto pysyy toimintakunnossa.

8. Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa selkeä ja käytännönläheinen kokonaiskuva betoniaseman kokoonpanosta sekä tarkastella niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat kokoonpanon laatuun, huollettavuuteen, työturvallisuuteen ja käyttöönoton sujuvuuteen. Työssä perehdyttiin betoniaseman rakenteeseen, toimintaperiaatteeseen, kokoonpanoprosessin vaiheisiin sekä siihen, miten eri osakokonaisuudet muodostavat toimivan tuotantojärjestelmän. Tavoitteeseen päästiin hyvin, sillä työn tuloksena syntyi jäsennelty kokonaisuus betoniaseman kokoonpanosta ja siihen liittyvistä keskeisistä huomioista.

Työn aikana kävi selvästi ilmi, että onnistunut kokoonpano ei perustu vain yksittäisten osien asentamiseen, vaan koko laitoksen toiminnalliseen yhteensopivuuteen. Kokoonpanossa korostuvat erityisesti huolellinen suunnittelu, selkeä dokumentaatio, osien yhteensopivuus, toimiva materiaalivirta sekä käytännön huollettavuuden huomioiminen. Näiden tekijöiden merkitys on suuri myös käyttöönoton onnistumisen kannalta, sillä hyvin suunniteltu ja toteutettu kokonaisuus parantaa laitoksen käyttövarmuutta ja tukee sujuvaa tuotannon käynnistämistä.

Opinnäytetyö onnistui siinä, että se kokosi yhteen betoniaseman kokoonpanoon liittyvän tiedon ymmärrettävään ja käytännön työn kannalta hyödylliseen muotoon. Työ tarjoaa hyvän perustan vastaavien projektien suunnitteluun ja kehittämiseen sekä auttaa hahmottamaan, mitä asioita kokoonpanossa on tärkeää huomioida jo varhaisessa vaiheessa. Yhteenvetona voidaan todeta, että työ saavutti sille asetetut tavoitteet hyvin ja tuotti hyödyllisen kokonaiskuvan betoniaseman kokoonpanosta osana toimivaa ja hallittua tuotantoympäristöä.

Lähteet

Betoniteollisuus ry 2023. Betonitieto.fi – Betoniteollisuus ja betonin valmistus.

<https://www.betonitieto.fi/> Viitattu 10.1.2026.

Bouchard, S. 2017. *Lean Robotics: A Guide to Making Robots Work in Your Factory*. Birmingham: Lean Robotics.

Lapinleimu, I., Kauppinen, V., & Torvinen, S. (1997). Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo; Helsinki; Juva: WSOY.

Liker, J. K. 2004. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill.

Logistiikan Maailma 2025a. *Materiaalinojhaus*.

<https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/materiaalinojhaus/> Viitattu 14.2.2026.

Logistiikan Maailma 2025c.

<https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/> Viitattu 14.2.2026.

Malmberg, K., & Kauppinen, V. (1987). Manuaalisen kokoonpanon tehostaminen. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus: Suomen metalliteollisuuden keskusliitto.

Malmberg, K. (1987). Kokoonpanon työkalut ja välineet. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.

Womack, J. P. & Jones, D. T. 1996. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: Simon & Schuster.

<https://sfs.fi/standardeista/tutustu-standardeihin/suosittu-standardit/iso-9001-laadunhallinta/> Viitattu 28.2.2026.

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/86032/6a10638b107840019760287ed21b44f1/ISO-13920-2023.pdf> Viitattu 28.2.2026.

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/60321/01316bd44f604ec8b38bcb3ff33d5557/ISO-9013-2017.pdf> Viitattu 28.2.2026.