

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

2023

Markus Kankare

# Kalsinaattorin polttoaineen syöttölaitteiden uudistaminen

– Syöttölaitteiden lay-out suunnittelu



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikka

2023 | 78 sivua

Markus Kankare

## Kalsinaattorin polttoaineen syöttölaitteiden uudistaminen

- Syöttölaitteiden lay-out suunnittelu

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä selvitys Finnsementti Oy:n Lappeenrannan tehtaan sementtiuunin kalsinaattoriin syöttävien SRF laitteiden uudistamisesta ja tuoda suunnittelun kautta esille uusia vaihtoehtoja. Kalsinaattorin syöttölaitteilla tullaan mahdollisesti syöttämään myös erilaisia muita kierrätyspolttoaineita. Nykyisten laitteiden elinkaari on loppusuoralla. Uudistamisella pyritään vähentämään laitteiston huoltokatkoja, jolloin laitteiston käyttötunnit lisääntyisivät. Huoltokatkosten aikana SRF:ää ei voida syöttää, vaan tällöin se joudutaan korvaamaan jauhetulla kivihiehellä.

Teoriaosuudessa käsiteltiin sementtiteollisuuden yleisimmät kuljettimet ja käsittelylaitteet, joista osa soveltuu SRF:lle. Lisäksi käsiteltiin kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet poltto- ja kuljetusprosessissa.

Uudistamisen suunnittelussa otettiin huomioon tarvittavat teräsrakennemuutokset, huoltoystävällisyys, laitteiden sopivuus ympäristöön, toimintavarmuus sekä hankinnasta aiheutuvat kustannukset.

Asiasanat:

SRF, kierrätyspolttoaine, kalsinaattori, sementtiteollisuus, kuljetintekniikka

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2022 | 78 pages

Markus Kankare

## Replacement of calciner fuel feeder equipment

- Lay-out design of feeder equipment

The purpose of this thesis was to investigate the replacement of SRF equipment that feeds into a cement kiln's calciner at Finnsementti Oy's Lappeenranta plant and to present new alternatives with the help of design. The calciner's feeder equipment may potentially be used to feed other, different recycled fuels. The current equipment is coming to the end of its life cycle. The replacement aims to reduce service breaks for maintenance on the equipment, which will increase the number of hours that the equipment is in operation. During breaks for maintenance, SRF cannot be fed into the calciner, and it must be replaced with pulverized coal.

The theory section also examines a mainly used conveyors and processing equipment in cement industry that are suitable for SRFs. Additionally, the theory section examines the characteristics of recycled fuels in burning and conveying process.

The replacement must consider any necessary changes to the structure of the plant, ease of maintenance, the suitability of the equipment for the environment, operational reliability and the cost related to the investment.

Keywords:

SRF, recycled fuel, calciner, cement industry, conveyor technology

# Sisältö

<b>Käytetyt lyhenteet tai sanasto</b>	<b>9</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>10</b>
<b>2 Finnsementti Oy</b>	<b>11</b>
<b>3 Sementtiteollisuuden prosessi</b>	<b>12</b>
3.1 Sementtiklinkkerin polttoprosessi	14
3.1.1 Esilämmitys	16
3.1.2 Kalsinaattori	17
3.1.3 Pyörivä uuni	17
3.1.4 Jäähdytys	17
<b>4 Kierrätyspolttoaineet</b>	<b>18</b>
4.1 Miksi kierrätyspolttoaineita käytetään	19
4.2 Kierrätyspolttoaineiden mahdolliset ongelmat	20
4.3 Lappeenrannan sementtitehtaan kierrätyspolttoaineet	22
<b>5 Yleisimpien kuljettimien ja annostelulaitteiden soveltuvuus SRF:lle</b>	<b>23</b>
5.1 Kolakuljetin	24
5.2 Ruuvikuljetin	25
5.2.1 Tupla- ja multiruuvikuljetin	26
5.3 Tärykuljetin	27
5.4 Köysiratakuljetin	27
5.5 Hihnakuuljetin	28
5.5.1 Tuplahihnakuuljetin	29
5.5.2 Putkihihnakuuljetin	30
5.6 Elevaattori	31
5.7 Tankopurkain	32
5.8 Läpipuhaltava sulkusyötin	33
5.9 Panielähetin	34
5.10 Ilmaränni	35

5.11 Volumetrinen- ja gravimetrinen annostelu	35
<b>6 SRF:n kuljetus ja käsittely sementtitehtaalla</b>	<b>36</b>
6.1 HCT-rekkojen purkaminen ja kuljetus varastosäiliöihin	36
6.2 Varastosäiliöiden toiminta	38
6.3 SRF:n purkaminen varastosäiliöistä ja kuljetus kalsinaattorin syöttölaitteisiin	39
6.4 SRF-laitoksen puutteet	40
6.4.1 BMH:n ratkaisu SRF:n käsittelyyn	41
6.4.2 Kundan sementtitehtaan käsittelyn ratkaisu	42
<b>7 Esisuunnittelu syöttölaitteiston vaihtoon</b>	<b>44</b>
7.1 Nykyinen syöttölaitteisto	46
7.1.1 Ripakuljetin ja säiliö	48
7.1.2 Hihnavaaka ja ripekuljetin	49
7.1.3 Sulkusyötin	50
7.1.4 Pudotusputki sulkusyöttimen jälkeen	51
7.1.5 Häätä sulkupellit	52
7.1.6 Pudotusputki kalsinaattoriin ja painetykit	52
7.1.7 Mahdolliset parannukset nykyiseen syöttölaitteistoon	54
7.2 Vaihtoehto 1	56
7.2.1 Punnitseva syötin	56
7.2.2 Inducer	57
7.2.3 Vaihtoehto 1 yhteenveto	58
7.3 Vaihtoehto 2	60
7.3.1 Säiliö ja hihnakuljettimet	60
7.4 Vaihtoehto 3	63
7.4.1 Punnitseva syötin	63
7.4.2 Läpipuhaltava sulkusyötin, puhallin ja kuljetusputki kalsinaattoriin	64
7.4.3 Vaihtoehto 3 yhteenveto	65
7.5 Vaihtoehto 4	67
7.5.1 Hihnavaaka	67
7.5.2 Vaihtoehto 4 yhteenveto	68

<b>8 Yhteenveto</b>	<b>70</b>
<b>Lähteet</b>	<b>71</b>

## **Liitteet**

Liite 1. Sementtiuunin keskusvalvomon monitorikuva	
Liite 2. SRF-laitoksen valvomon monitorikuva	
Liite 3. Kolakuljettimen kokoonpanokuva	
Liite 4. Ruuvikuljettimen kokoonpanokuva	
Liite 5. Hihnakuljettimen kokoonpanokuva	
Liite 6. Elevaattorin kokoonpanokuva	

## **Kuvat**

Kuva 1. Sementtiprosessin peruskaavio (Pihkala 2011, 217)	13
Kuva 2. Lappeenrannan sementtiklinkkerin polttoprosessin kaavio (Liite 1)	14
Kuva 3. Lappeenrannan sementtitehtaan ilmakehu	16
Kuva 4. Finnsementin sementtitehtaiden kierrätyspolttoaineiden käyttöosuus polttoaineiden kokonaisenergiamäärästä (Finnsementti 2021, 12)	19
Kuva 5. Käsitelty SRF	22
Kuva 6. Tärykuljetin havaintokuva (Tärylaite Oy)	27
Kuva 7. Köysiratakuljettimen kuoppa (LOW-TECH MAGAZINE 2011)	27
Kuva 8. Nouseva hihnakuljetin (Koivisto 2017, 157)	28
Kuva 9. Tuplahihnakuljettimen 3D-malli	29
Kuva 10. Tuplahihnakuljettimen pystysuora nousu (VHV)	29
Kuva 11. Putkihihnakuljetin havaintokuva (Bridgestone Pipe Conveyor Belt)	30
Kuva 12. Elevaattorin syöttöpään havaintokuva (Koivisto 2017, 113)	31
Kuva 13. Tankopurkain 3D-malli (Moving Floor Handling system)	32
Kuva 14. Läpipuhaltava sulkusyötin 3D-malli	33
Kuva 15. Painelähtetimen 3D-malli	34
Kuva 16. Ilmarännä ja puhallin	35

Kuva 17. SRF-laitoksen HCT-rekkojen purkulava	36
Kuva 18. Leveä kolakuljetin	37
Kuva 19. Nouseva kolakuljetin	37
Kuva 20. Vaakasuora kolakuljetin ja varastosäiliöt	38
Kuva 21. Riisuttu 3D-malli laitteista varastosäiliöiden jälkeen.	39
Kuva 22. BMH Technology ratkaisu SRF:n käsittelylle (Kuusinen 2021, 10)	41
Kuva 23. Kundan sementtitehtaan RDF:n käsittelyn kaavio	42
Kuva 24. Kundan sementtitehtaan RDF:n käsittelylaitos Virossa	42
Kuva 25. Kaavio karkeasta SRF:n käsittelystä	43
Kuva 26. Syöttölaitteiston käytössä olevat tilat	44
Kuva 27. 3D-malli käytettävissä olevista tiloista	45
Kuva 28. Nykyisen syöttölaitteiston prosessi (Liite 2)	46
Kuva 29. Nykyinen syöttölaitteisto raakamyllyn suunnalta	47
Kuva 30. Nykyinen syöttölaitteisto avolouhoksen suunnalta	47
Kuva 31. Nykyinen syöttölaitteisto ylhäältä	48
Kuva 32. Ripakuljettimen säiliön ongelmia	48
Kuva 33. Säiliön ja kuljettimen optimaalinen tapa	49
Kuva 34. Sulkusyötin	50
Kuva 35. 3D-malli pudotusputkesta	51
Kuva 36. Ideaalitapaus pudotusputkelle	51
Kuva 37. 3D-malli hätä sulkupelleistä	52
Kuva 38. Painetykit	53
Kuva 39. 3D-malli pudotusputkesta ja painetykeistä	53
Kuva 40. Nykyisen syöttölaitteiston mahdollisesti parannettavat osat	54
Kuva 41. Vaihtoehto 1	56
Kuva 42. Punnitseva syötin 3D-malli	57
Kuva 43. Inducerin havaintokuva	57
Kuva 44. Vaihtoehto 1 raakamyllyn suunnalta	58
Kuva 45. Vaihtoehto 1 avolouhoksen suunnalta	59
Kuva 46. Vaihtoehto 1 ylhäältä	59
Kuva 47. Vaihtoehto 2	60
Kuva 48. Vaihtoehto 2 raakamyllyn suunnalta	61

Kuva 49. Vaihtoehto 2 avolouhoksen suunnalta	62
Kuva 50. Vaihtoehto 2 ylhäältä	62
Kuva 51. Vaihtoehto 3	63
Kuva 52. Punnitseva syötin 3D-malli	64
Kuva 53. Läpipuhaltavan sulkusyöttimen päämittakuva	64
Kuva 54. Vaihtoehto 3 raakamyllyn suunnalta	66
Kuva 55. Vaihtoehto 3 avolouhoksen suunnalta	66
Kuva 56. Vaihtoehto 3 ylhäältä	67
Kuva 57. Vaihtoehto 4	67
Kuva 58. Vaihtoehto 4 raakamyllyn suunnalta	68
Kuva 59. Vaihtoehto 4 avolouhoksen suunnalta	69
Kuva 60. Vaihtoehto 4 ylhäältä	69

## **Taulukot**

Taulukko 1. Sementtiklinkkerin polttoprosessin nimitykset kuva 2:n mukaan	15
Taulukko 2. Nykyisen syöttölaitteiston käyttöaika vuodessa (Suhonen 2023)	46



## Käytetyt lyhenteet tai sanasto

h	tunti
HCT	High Capacity Transport
KPA	Tuotteistettu kierrätysöljy
m	metri
m <sup>3</sup>	kuutiometri
m <sup>3</sup> /h	Tilavuusvirran yksikkö
mm	millimetri
m/s	Nopeuden yksikkö
RDF	Refuse Derived Fuel
rpm	Kierrosta minuutissa
s	sekunti
SRF	Solid recovered fuel
t	tonni
t/h	Massavirran yksikkö

# 1 Johdanto

Lappeenrannan sementtitehtaalla tullaan uudistamaan SRF:n syöttölaitteet pääpolttimeen ja kalsinaattoriin. Tässä opinnäytetyössä käsitellään kalsinaattorin syöttölaitteistojen uusimista.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä yhteen esisuunnittelusta saatu tieto ja vaihtoehdot. Nykyinen syöttölaitteisto on elinkaarensa lopussa. Laitteisto tarvitsee uudistaa toimintavarmuuden parantamiseksi. Kaikki opinnäytetyössä käsitellyt vaihtoehdot ovat erilaisia, riippuen valituista laitteista ja kuinka paljon nykyisiä laitteita vaihdetaan tai säilytetään. Suunnitelluissa ratkaisuissa huomioitiin nykyisin käytettävissä olevat tilat ja pyrittiin käyttämään jo olemassa olevia tukirakenteita sekä hoitotasoja mahdollisimman paljon. Tarkoituksena oli pitää kustannukset kohtuullisina. Kaikissa vaihtoehdoissa pohdittiin ratkaisujen hyviä ja huonoja puolia.

Kalsinaattorin syöttölaitteistojen uudistamisella pyritään vähentämään huoltokatkoja, jotta käyttötunnit lisääntyisivät. Huoltokatkosten aikana SRF:ää ei voida syöttää kalsinaattoriin. Huoltokatkosten aikana syötetään jauhettua kivihiiltä. Erityisesti odottamattomat huoltokatkot heikentävät kierrätyspolttoaineiden käytettävyyttä.

Opinnäytetyössä kerrotaan sementtitehtaan prosessista pääosat ja sementtiklinkkerin polttoprosessi tarkemmin. SRF:n poltto kalsinaattorissa on osa kokonaisprosessia. Sillä on huomattava vaikutus uunin polttoprosessin kokonaistaloudellisuuteen.

## 2 Finnsementti Oy

Finnsementti Oy on Suomen ainoa sementin valmistaja kahdella sementtitehtaallaan, jotka sijaitsevat Paraisilla ja Lappeenrannassa. Paraisilla sementtiä aloitettiin valmistamaan 1914 ja Lappeenrannassa 1938. Finnsementti on kuulunut irlantilaiseen CRH-konserniin vuodesta 1999. (Finnsementti 2014b)

Finnsementin uusin sementtikuuni valmistui vuonna 2007 Lappeenrantaan. Uudella kuunilla korvattiin kaksi vanhempaa energiatehottomampaa kuunia. (Finnsementti 2014)

Pääsääntöisesti Finnsementti valmistaa sementtiä, mutta myös betonin lisä- ja seosaineita sekä kiviouheita. Näitä valmistetaan Paraisilla lisäainetehtaalla ja kiviouheasemalla. Raahessa sijaitsee kuonajauhetehtas, jossa jauhetaan Raahen terästehtaan teollisuuden sivuvirroista saatavaa masuunikuonaa. (Finnsementti 2014a)

### 3 Sementtiteollisuuden prosessi

Sementin valmistusprosessi jaetaan seuraaviin vaiheisiin:

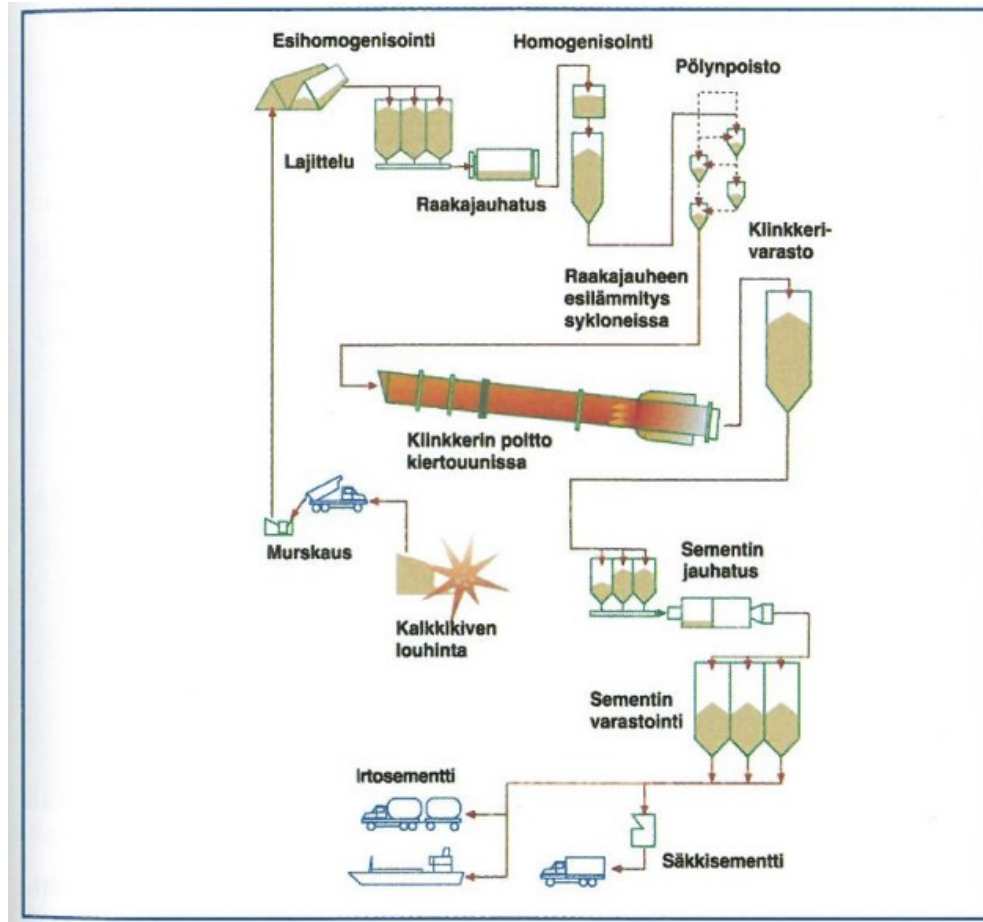
1. raaka-aineiden murskaus ja jauhatus
2. uunijauheen homogenisointi
3. klinkkerin poltto
4. sementin jauhatus

Sementin valmistuksen perusaine on kalkkikivi, jota louhitaan kaivoksesta tai avolouhoksesta. Tämän jälkeen kalkkikivi murskataan pienempään raekokoon. Murskattu kalkkikivi ja muut tarvittavat raaka-aineet lisätään raakamylyyn. Raakajauhatuksessa syntyy uunijauhe. Raaka-aineet määritellään kemiallisen koostumuksen perusteella. (Finnsementti 2021, 8)

Raakajauhatuksen jälkeen uunijauhe välivarastoidaan ja homogenisoidaan raakajauhesiilossa. Uunijauhe siirretään raakajauhesiilosta polttoprosessiin, jossa se lämmitetään aina 1450°C:seen asti. Tämän jälkeen polttoprosessissa syntynyt sementtiklinkkeri jäähdytetään, jotta se stabiloituu. Stabiloitunut sementtiklinkkeri on tässä vaiheessa eri kokoisina pyöreinä palloina. Sementtiklinkkeri varastoidaan klinkkerivarastoon. (Finnsementti 2021, 8–10)

Sementtiklinkkeri ja muut tarvittavat raaka-aineet syötetään sementin jauhatukseen. Jauhatuksessa hienonnetaan raaka-aineet jauheeksi kuulamylyissä. (Finnsementti 2021, 10)

Lopullinen tuote varastoidaan siiloihin, josta irtosementtiä haetaan säiliöautoilla ja Paraisilla myös laivoilla. Lisäksi pieni osa säkitetään säkkisementiksi, jota myydään rautakaupoissa. (Finnsementti 2021, 10)



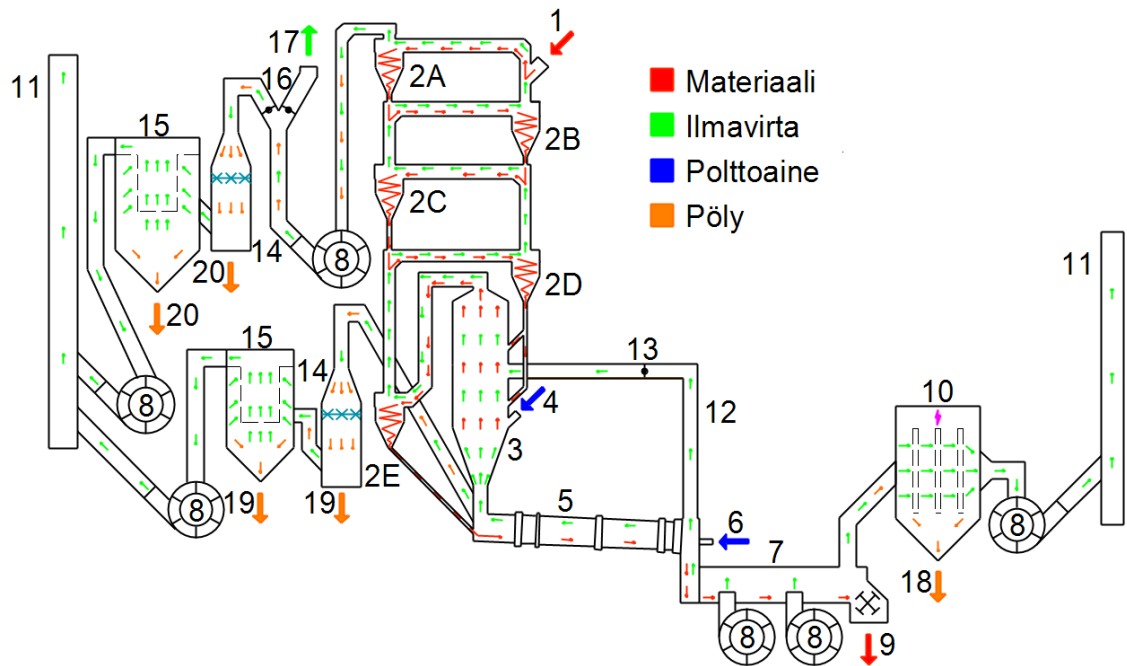
Kuva 1. Sementtiprosessin peruskaavio (Pihkala 2011, 217)

### 3.1 Sementtiklinkkerin polttoprosessi

Nykyaikaisessa klinkkerin polttoprosessissa on neljä osaa: esilämmitys, kalsinaattori, pyörivä uuni ja klinkkerin jäähdyttäjä. (VDZ 2016, 6)

Prosessin edetessä uunjauheen lämpötila nousee, jotta saavutetaan loppulämpötilaksi noin 1450 °C. Polttoprosessi ei ole aina tasainen. Korkeiden lämpötilojen takia lähes kaikki osat ovat muurattuja sisäpuolelta tulenkestävillä tiilillä tai massalla. (Suhonen 2023)

Kuvassa 2 esitetään Lappeenrannan sementtiklinkkerin polttoprosessi kaaviomuodossa. Taulukko 1 käsittelee kaavion nimitykset.



Kuva 2. Lappeenrannan sementtiklinkkerin polttoprosessin kaavio (Liite 1)

Taulukko 1. Sementtiklinkkerin polttoprosessin nimitykset kuva 2:n mukaan

	Nimitys	Selostus
1	Uunijauheen syöttö	Raakajauhatuksen valmis tuote
2	Sykloni	Syklonit merkitty A-E
3	Kalsinaattori	Uunijauheen lämpötilan nostaja
4	Kalsinaattorin polttoaineen syöttö	SRF tai tarvittaessa kivihiilijauhe
5	Pyörivä uuni	55 m pitkä ja 3,6 m halkaisija
6	Pääpolttimen polttoaineen syöttö	Petrokoksi ja muut kierrätyspolttoaineet
7	Sementtiklinkkerin jäähdyttäjä	Stabiloi klinkkerin
8	Puhallin	Puhaltaa ilmaa
9	Valmis sementtiklinkkeri	Siirretään klinkkerivarastoon
10	Sähkösuodatin	Erottelee pölyn jäähdytysilmasta
11	Savupiippu	Savukaasut
12	Tertiäriputki	Kalsinaattorin lisälämpöä ja happea
13	Tertiäriputken säätöläppä	Säädetään prosessin mukaan
14	Jäähdytystorni	Savukaasut jäähdytetään vedellä
15	Tekstiilisuodatin	Puhdistaa prosessin kaasuvirran
16	Jakohaara kuumalle kaasulle	Käännetään prosessin mukaan
17	Kaasuvirta raaka- ja hiilimyllyille	Syöttää raaka- tai hiilimyllyä
18	Klinkkeripöly	Sähkösuodattimen erottama pöly
19	Bypass-pöly	Alkaliin, rikin ja kloorin poisto prosessissa
20	Uunipöly	Käytetään raakamyllyssä

Kuvassa 3 esitetään Lappeenrannan sementtitehtaan klinkkeripolttoprosessi ilmakuvana. Kuvassa vasemmalla on SRF-laitos, jonne varastoidaan SRF.



Kuva 3. Lappeenrannan sementtitehtaan ilmakekuva

### 3.1.1 Esilämmitys

Uunijauheen esilämmitys tapahtuu syklonitornissa, joka esitetään kuvassa 2 kohdissa 1 ja 2.

Syklonitorni käsittää useita sykloneja ja niiden väliset yhdysputket. Normaalin syklonitornin korkeus on 50–100 metriä. Uunista tuleva kuuma savukaasu siirtyy ensin kalsinaattoriin ja sieltä alimpaan sykloniin. Tämän jälkeen savukaasu siirtyy kaikkien syklonien läpi ylös ja samalla luovuttaa lämpöä uunijauheeseen. Samalla savukaasut jäähtyvät ennen poistumista syklonijärjestelmästä. Uunijauhe kulkee ylhäältä alas syklonien ja kalsinaattorin läpi saavuttaen alimmassa syklonissa 850 °C lämpötilan, josta esilämmitetty jauhe ohjataan kalsinaattoriin kalsinoitavaksi. (VDZ 2016, 6)

Syklonitornin ylimmän syklonin jälkeinen puhallin imee kuumaa kaasua. Tämän jälkeen osa kuumasta kaasusta käytetään raaka- tai hiilimylyssä. Tietty osa kaasusta käsitellään letkusuodattimessa ja erottunut pöly palautetaan uunijauheeseen. Tämä esitetään kuvassa 2.



### 3.1.2 Kalsinaattori

Kalsinaattori on iso pystysuora putki pyörivän uunin yläpuolella. Osa kuumista kaasuista tulee pyörivästä uunista ja loppuosa tertiäriputken kautta, jotka ovat kuvassa 2 kohdat 3,5 ja 12. Kalsinaattorin pääpolttoaineena toimii SRF ja tukipolttaineena toimii jauhettu kivihilli.

Kalsinaattorissa tapahtuu uunijauheen kalsinointi. Uunijauheen kalsiumkarbonaatti hajoaa ja siitä erottuu hiilidioksidi. Uunijauhe syötetään kalsinaattoriin toiseksi alimmaisesta syklonista, joka on kuvassa 2 kohta 2D ja 3.

Tämän jälkeen uunijauhe nousee kalsinaattorista alimpaan sykloniin, josta se menee pyörivään uuniin. Jotka esitetty kuvassa 2 kohta 2E ja 5. (VDZ 2016, 6)

### 3.1.3 Pyörivä uuni

Alimmasta syklonista tullut kalsinoitu uunijauhe kulkee pyörivää uunia pitkin kohti jäähdyttäjää ja samalla sulaen. Uuni on muutaman asteen alaspäin viettävä ja pyörii muutamia kierroksia minuutissa. Uunin loppupäässä uunijauhe on sintraantunut klinkkeriksi. Pääpoltin sijaitsee uunin loppupäässä ja se lämmittää klinkkerin aina 1450 °C:seen. (VDZ 2016, 6)

Pyörivä uuni ja pääpoltin ovat kuvassa 2 kohdissa 5 ja 6.

### 3.1.4 Jäähdytys

Klinkkerin jäähdytykseen käytetään ilmaa, jota puhalletaan puhaltimilla jäähdyttäjän sisälle. Tavoitteena on jäähdyttää klinkkeri mahdollisimman nopeasti. Samalla jäähdytysilma lämpenee ja se käytetään osittain sekundääri-ilmana pyörivässä uunissa ja tertiäriputken kautta kalsinaattorissa. Klinkkerin lämpötila jäähdyttäjän jälkeen on alle 100 °C. Uunista tulevat isommat paakut murskataan jäähdyttäjän kiinteällä vasaramurskaimella heti jäähdyttäjän jälkeen. Jäähdyttäjä on kuvassa 2 kohdassa 7. (VDZ 2016, 7)

## 4 Kierrätyspolttoaineet

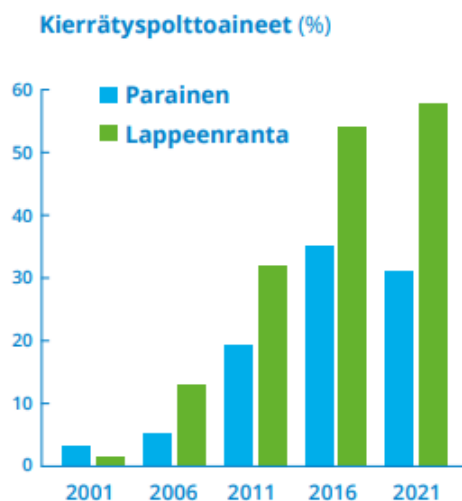
Kierrätyspolttoaineiden käyttämisen tarkoituksena on vähentää maasta kaivettujen fossiilisten polttoaineiden valmistusta ja tarvetta. Fossiilisten polttoaineiden käyttö onkin vähentynyt merkittävästi viime vuosikymmeninä. (Finnsementti 2021, 12)

Kierrätyspolttoaineet voivat olla kiinteässä, nestemäisessä tai kaasumaisessa muodossa. Yleisesti sementtiteollisuudessa tällä hetkellä käytössä olevia tai tavoiteltavia polttoainevaihtoehtoja ovat:

- vanhat käytetyt auton renkaat
- pistaasipähkinöiden kuoret
- puujätteet
- jäteperäinen polttoaine
- tekstiilit
- riisin kuoret
- eläinten luujauho
- viemäriete
- kaatopaikkakaasu
- voiteluaineet, liuottimet ja muut teollisuuskemialliset jätteet

(Pneumat 2021)

Kuvassa 4 esitetään kierrätyspolttoaineiden käyttöä, joka on kasvanut huomattavasti. Lappeenrannan uusi uuni otettiin käyttöön vuonna 2007, mikä on vaikuttanut merkittävästi.



Kuva 4. Finnsementin sementtitehtaiden kierrätyspolttoaineiden käyttöosuus polttoaineiden kokonaisenergiamäärästä (Finnsementti 2021, 12)

#### 4.1 Miksi kierrätyspolttoaineita käytetään

Kierrätyspolttoaineiden polttaminen on ympäristön kannalta parempi ratkaisu kuin kuljettaminen ja jättäminen kaatopaikalle. Orgaaniset aineet mätänevät ajan myötä kaatopaikalla, jolloin hiilidioksidi vapautuu ilmakehään. Polttamalla hiilidioksidi vapautuu yhtä lailla ilmakehään, mutta se hyödynnetään energiaksi. (Gcp 2020)

Sementtiuunin fossiiliset polttoaineet maksavat tyypillisesti noin 25 % sementtiklinkkerin tuotantohinnasta. Kierrätyspolttoaineet maksavat selvästi vähemmän kuin fossiiliset polttoaineet. Mahdollisesti kierrätyspolttoaineista joudutaan maksamaan vain porttimaksu, eli kustannus voi olla tehtaalle negatiivinen. (Gcp 2020)

Energiasäästön kestävyysvaikutus voi tapahtua lyhyellä tai pitkällä aikavälillä. Vuoden 2022 energiakriisi on lisännyt vaihtoehtoisten polttoaineiden kysyntää, joka johtuu kivihiilen, öljyn ja maakaasun hintojen noususta. Vaihtoehtoiset polttoaineet ovat vähentäneet sementtiklinkkerin tuotantokustannuksia. (Crosswrap 2022)

#### 4.2 Kierrätyspolttoaineiden mahdolliset ongelmat

Kierrätyspolttoaineiden käytöllä pystytään vähentämään tehtaan energiakustannuksia. Kierrätyspolttoaineeseen siirtyminen ja käyttöönotto vaatii asiantuntemusta ja huolellista suunnittelua. Uuteen polttoaineeseen siirtyminen saattaa vaatia tuotantolinjojen laitepäivityksiä ja muita investointeja:

- Polttoaineen jauhatus-, ilmastointi-, varastointi- ja syöttöjärjestelmät
- Sekoituskammiot
- Esilämmittimet ja kalsinointijärjestelmät
- Kloorin bypass-järjestelmät
- Pyörivän uunin polttimet
- Rakennusten poistojärjestelmät
- Turvallisuusjärjestelmät

(Pneumat 2021)

Kierrätyspolttoaineiden käyttö edellyttää laitteita, joiden huoltokustannukset lisäävät kunnossapidon kustannuksia. Kierrätyspolttoaineiden laitteet ja niiden ohjaus vaativat käyttöhenkilökunnalta enemmän prosessin seuranta. Lisäinvestointien vuoksi kierrätyspolttoaineiden käyttöä harkittaessa on otettava huomioon, että kyseessä on aina taloudellinen optimointi edullisen polttoaineen ja lisääntyvien ylläpitokustannusten välillä. (VTT 2007, 6)

Pyörivässä uunissa käytetään tyypillisesti monikanavaista pääpoltinta tai muuta laitteistoa, joka mahdollistaa erilaisten kierrätyspolttoaineiden käytön, vaikka niillä on erilaisia fysikaalisia ominaisuuksia. Kierrätyspolttoaineilla voi olla alhaisemmat lämpöarvot, suurempi partikkelikoko tai korkeampi vesipitoisuus, jotka vaikuttavat palamisprosessiin. Vaikutukset voivat olla pidempi liekin pituus tai alhaisempi liekin lämpötila. Ne voivat vaikuttaa negatiivisesti klinkkerireaktioihin tai lyhentää tulenkestävien muurausten tai muiden osien käyttöikä. (Pneumat 2021)

Kun kierrätyspolttoaineita poltetaan pyörivässä uunissa, hiili ja orgaaniset aineet pääosin poltetaan pois. Jäljelle jääneet epäorgaaniset aineet liittyvät usein sementtiklinkkeriin. (Pneumat 2021)

### 4.3 Lappeenrannan sementtitehtaan kierrätyspolttoaineet

Lappeenrannan sementtitehtaalla on neljä vakituisesti käytössä olevaa kierrätyspolttoainetta: SRF, KPA, muovirouhe ja reunanauhat.

SRF on erilliskerättyä polttokelpoista jätettä, joka käsitellään jäteasemilla ennen toimitusta. Käsittelyssä SRF seulotaan, silputaan ja siitä poistetaan metallit. SRF sisältää erilaisia jätteitä:

- teollisuusjätettä
- kaupallista jätettä
- jätepaperia

SRF ei kuitenkaan sisällä biojätettä (Kuusinen 2021, 8)



Kuva 5. Käsitelty SRF

KPA pumpataan nesteenä pääpolttimeen ja virtaus hajotetaan lanssin päässä paineilmalla. KPA sisältää jäteöljyjä, pilssivesiä ja muita öljypohjaisia jätteitä.

Muovirouhe on alumiinikaapeleiden kuorista murskattua silppua. Se puhalletaan pienenä rouheena pääpolttimeen.

Reunanauhat syötetään murskattuina pääpolttimeen.

## **5 Yleisimpien kuljettimien ja annostelulaitteiden soveltuvuus SRF:lle**

SRF:n ja muiden kierrätyspolttoaineiden käsittelyyn soveltuvat kuljettimet ja niiden mahdollinen parantaminen ovat jatkuva keskustelunaihe tehtailla. Kuljetusominaisuuksiin vaikuttavat materiaalin kosteus, lämpötila ja ulkoiset ominaisuudet sekä laitteistojen sijoituspaikat. SRF:llä ei ole vierintäkulmaa ja se voi muodostaa erityisesti kosteana pystysuoria seinämiä.

SRF:n kuljettamisen voi jakaa kahteen eri kategoriaan: mekaaninen kuljetus ja kuljettaminen puhaltamalla. Puhaltaminen on ainoa tapa, kun kuljetetaan SRF:ää pääpolttimeen. Kalsinaattoriin voidaan SRF kuljettaa molemmilla tavoilla.

Sementtiteollisuuden yleisimmät mekaaniset kuljettimet ovat: kola-, ruuvi-, täry-, köysirata-, hihnakuljetin, elevaattori ja tankopurkain.

Sementtiteollisuuden puhaltavia kuljettimia ovat: läpipuhaltava sulkusyötin, painelähetin ja ilmaränni.

SRF:n annostelu voidaan tehdä volumetrisesti tai gravimetrisesti.

## 5.1 Kolakuljetin

Kolakuljettimia käytetään pääsääntöisesti jauhe- ja raemaisten aineiden siirtoon, mutta ne soveltuvat myös SRF:n kuljettamiseen. Mikäli materiaali on kovin tahmeaa ja kiinni tarttuvaa, niin kolakuljetin ei sovellu. (Koivisto 2017, 9)

Kolakuljettimen kokoonpanopiirustus on liitteessä 3.

Kolakuljetin on suljettu metallikotelo, jonka sisällä on ketjuun tai ketjuihin kiinnitetyt kolat, jotka siirtävät materiaalia eteenpäin. Koska kolakuljetin on suljettu metallikotelo, se on ympäristön kannalta siisti ratkaisu. Kolakuljetin voi kuljettaa materiaalia jopa 45 asteen kulmassa. Tällöin kuitenkin yleensä kuljetin on varustettava välipohjalla ja erikoiskolilla. Kolakuljetin ei voi tehdä kulkusuuntaan nähden sivusiirtoa vaan tällöin tarvitaan toinen tai useampi kuljetin. Erityisesti SRF:llä kuljettimen purkausaukko pitää olla riittävän pitkä ja leveä. (Koivisto 2017, 9)

Kolakuljettimen ketjun nopeus on 0,1–0,3 m/s. Hidas nopeus vaatii suuremman kolakuljettimen leveyden, mutta kuljettimen kulumisen vähenee. Kulumisen takia kuljettimen pohja on kulutuksen kestäväää terästä tai muuta materiaalia. Kolakuljetin on äänekäs, koska monessa kohdassa metalli hiertää metallia vasten. (Koivisto 2017, 25)

Kolakuljettimen käytännöllinen maksimipituus on noin 40 metriä. Jos kuljetin on pidempi, niin ketjun ja kolien painon takia moottoriin tarvittava vääntömomentti kasvaa liian suureksi. Kolakuljettimen taittopää on usein ongelmallinen, koska materiaali pakkaantuu taittopäähän. Tällöin ketju voi nousta taittopyörän hampaan päälle ja kuljetin jumiutuu. Tämän takia kuljettimen takapään suunnitteluun on kiinnitettävä huomiota ja pyrittävä tekemään se vaakasuoraksi. Myös kuljettimen takana on oltava riittävästi tyhjää tilaa, että ketjua voidaan purkaa kuljettimesta. (Koivisto 2017, 9)



## 5.2 Ruuvikuljetin

Ruuvikuljettimia käytetään jauhe- ja raemaisten aineiden siirtoon, mutta ne soveltuvat myös SRF:n kuljetukseen. Mikäli SRF sisältää esimerkiksi isokokoisia tekstiilikappaleita, ne haittaavat kuljetusprosessia, koska jäävät kiinni kuljettimeen. (Koivisto 2017, 64)

Ruuvikuljettimen kokoonpanopiirustus on liitteessä 4.

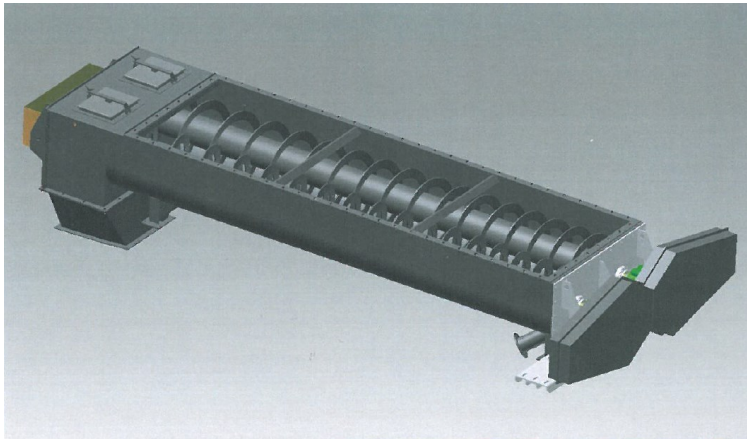
Ruuvikuljetin on ulkomuodoltaan putki- tai kourumallinen. Kourumallisen ruuvikuljettimen kunnossapito on helpompaa, koska kourun kansi voidaan avata koko ruuvin pituudelta. Materiaalia vie eteenpäin kuljettimen sisällä oleva ruvikierukka, jonka halkaisija on pienempi kuin runkoputken sisähalkaisija. Ruuvikuljettimen maksimikulma on noin 40 astetta. Ruuvikuljetin ei voi tehdä kulkusuuntaan nähden sivusiirtoa, tällöin tarvitaan toinen tai useampi kuljetin. (Koivisto 2017, 64)

Yleensä ruuvikuljettimen ruvikierukan pyörimisnopeus on noin 20–25 rpm. Jos ruvikuljettimessa on vain päätylaakerit, sen pituus on maksimissaan 10 metriä. Lisäämällä välilaakereita, pituus voi olla useita kymmeniä metrejä. Välilaakerit haittaavat materiaalin kulkua ruuvin sisällä, mikä voi olla ongelma SRF:lle. (Koivisto 2017, 64)

Ruuvikuljetin voi jumiutua, jos sopivan kokoinen kappale kiilautuu ruvikierukan ja rungon väliin. Tämän takia ruvikuljetin varustetaan aina mahdollisuudella pyörittää ruvikierukkaa takaisin päin.

### 5.2.1 Tupla- ja multiruuvikuljetin

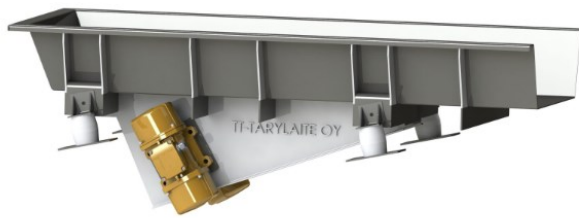
Mikäli samaan koururunkoon lisätään yksi tai useampi ruuvikierukka vierekkäin, niin ruuvin kuljetusvarmuus paranee. Tätä tekniikkaa käytetään myös annostelussa ja sekoituksessa. SRF soveltuu paremmin tuplaruuville kuin yksittäiselle ruuvikuljettimelle.



Kuva 6. Tuplaruuvikuljettimen havaintokuva (Koivisto 2017, 66)

### 5.3 Tärykuljetin

Tärykuljetin on kourun, putken tai spiraalin muotoinen profiili, johon on sovelluksen mukaan yhdistetty tärymoottori, lineaari- tai magneettitoimilaite. Tärykuljetin soveltuu jauhe- tai raemaisille aineille, mutta ei sovellu SRF:lle. (Tärylaite Oy)



Kuva 6. Tärykuljetin havaintokuva (Tärylaite Oy)

### 5.4 Köysiratakuljetin

Köysiratakuljetin siirtää tietyn materiaalmäärän kerrallaan paikasta toiseen. Kuljettimessa on kiertävään vaijeriin kiinnitetyt kuopat, jotka täytetään alkupäässä ja tyhjennetään loppupäässä. Soveltuu usean kilometrin siirtomatkoille. Soveltuu myös SRF:n käsittelyyn, koska riippuva kuoppa voidaan tyhjentää hyvin. (LOW-TECH MAGAZINE 2011)



Kuva 7. Köysiratakuljettimen kuoppa (LOW-TECH MAGAZINE 2011)

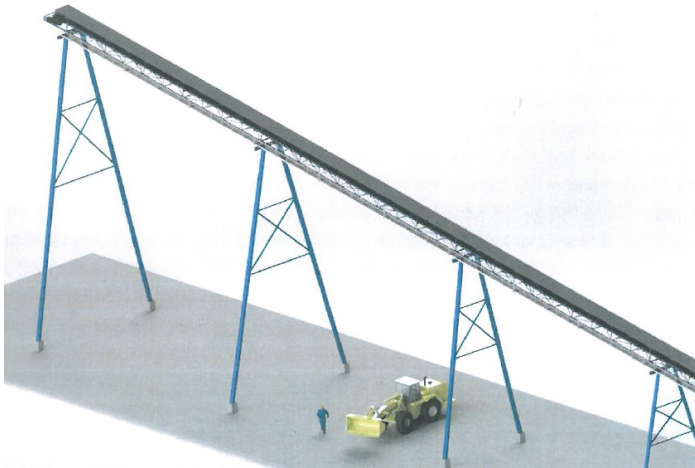
## 5.5 Hihnakuuljetin

Hihnakuuljetin on yleisin kuljetintyyppi teollisuudessa. Se soveltuu jauhe- ja raemaisten aineiden siirtoon. Hihnakuuljettimessa kumihihna kulkee rullien päällä, jolloin vastustava kitka on pieni ja tarvittava siirtotehokin on pieni verrattuna kolakuuljettimeen. Hihnakuuljetin on lähes äänetön. (Koivisto 2017, 156)

Hihnakuuljettimen kokoonpanopiirustus on liitteessä 5.

Hihnakuuljetin soveltuu lyhyille ja pitkille siirtoetäisyyksille. Pitkät hihnakuuljettimet voivat myös kaartua. Siirtokapasiteetti riippuu hihnan leveydestä ja nopeudesta. Nopeus vaihtelee siirrettävän materiaalin mukaan 1–3 m/s. (Koivisto 2017, 156)

Nousukulma on normaalisti 10–20 astetta. Varustamalla kumihihna poikittaisilla rivoilla, nousukulma voi olla 30 astetta. (Koivisto 2017, 156)



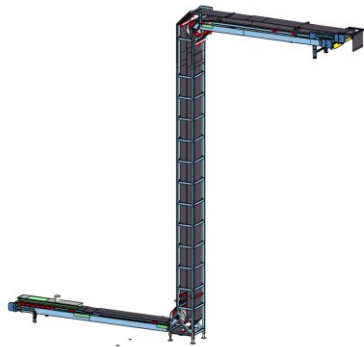
Kuva 8. Nouseva hihnakuuljetin (Koivisto 2017, 157)

SRF:lle hihnakuuljetin soveltuu erittäin hyvin. Sen tulee kuitenkin olla hyvin koteloitu, jotta tuuli ei levitä SRF:ää ympäri tehdasaluetta.

Hihnakuuljetinta on mahdoton koteloida täysin tiiviiksi verrattuna kolakuuljettimeen.

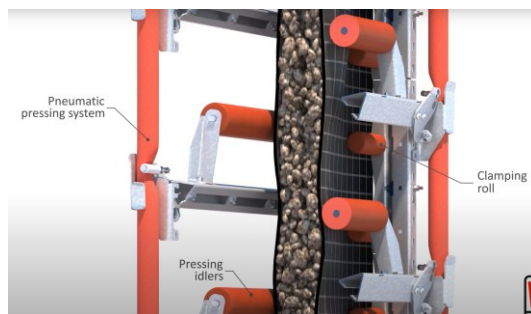
### 5.5.1 Tuplahihnakuljetin

Tuplahihnakuljettimessa materiaali kulkee pystysuorassa osuudessa kahden hihnan välissä. Tällöin pystytään nousemaan pystysuoraan tai jopa negatiiviseen kulmaan. Tuplahihnakuljetin ei voi tehdä kulkusuuntaan nähden sivusiirtoa, tällöin tarvitaan toinen tai useampi kuljetin. Yleensä siirtomatka on 10–200 metriä. (VHV)



Kuva 9. Tuplahihnakuljettimen 3D-malli

Kuvassa 10 esitetään tuplahihnakuljettimen pystysuoran nousun toiminta. Oikeanpuoleinen hihna on vetävä hihna ja vasemmanpuoleinen hihna painetaan paineilmalla materiaalia vasten. Tällöin hihnojen välissä oleva materiaali ei pääse valumaan alaspäin. (VHV)

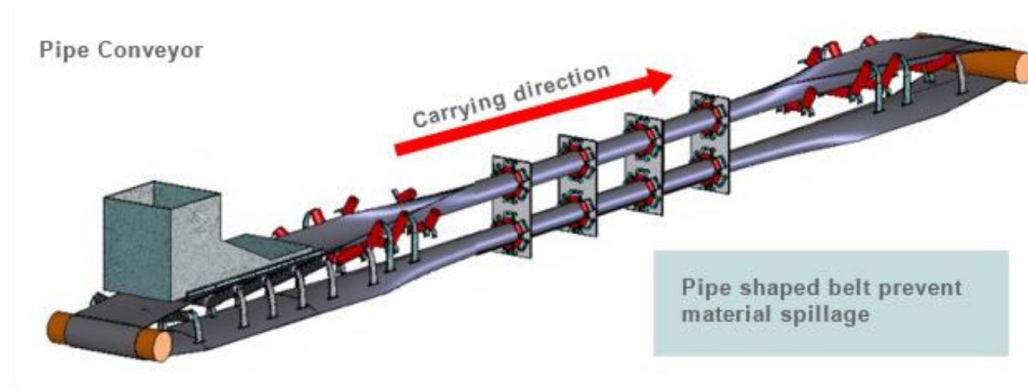


Kuva 10. Tuplahihnakuljettimen pystysuora nousu (VHV)

Tuplahihnakuljetin soveltuu SRF:ille ja rakeisille materiaaleille. Tuplahihnakuljetin vaatii tiiviin koteloinnin.

### 5.5.2 Putkihihnakuljetin

Putkihihnakuljettimessa kumihihnasta muodostetaan suljettu putki. Koon mukaan rullia on putken ympärillä 3–6 kappaletta, jotka pitävät hiinan pyöreänä. Putkihihnakuljettimen etuna on kaartuvuus ja tiiveys. Huonona puolena ovat vetopään ja taittopään pituus, sillä hiinan kääntäminen pyöreäksi ja pyöreästä vaatii usean metrin tilan. Putkihihnakuljettimen pituus pitää olla vähintään useita satoja metrejä, jotta se on kustannuksellisesti kilpailukykyinen muihin kuljettimiin verrattuna. (Bridgestone Pipe Conveyor Belt)



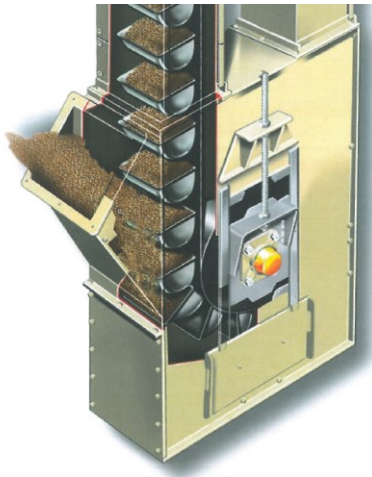
Kuva 11. Putkihihnakuljetin havaintokuva (Bridgestone Pipe Conveyor Belt)

Putkihihnakuljetin soveltuu SRF:n kuljettamiseen. Sen etuna on suljettu rakenne, joka ei roskaa ympäristöä paitsi veto- ja taittopäässä.

## 5.6 Elevaattori

Elevaattori siirtää materiaalia pystysuoraan. Kuljetuskorkeus voi olla yli sata metriä. Kuljettimessa teräskotelon sisällä on ketju tai kumihihna. Materiaali siirtyy ketjuun tai hihnaan kiinnitetyillä kuupilla. Elevaattori purkaa ylhäällä kuopat. (Koivisto 2017, 110)

Elevaattorin kokoonpanopiirustus liitteessä 6.



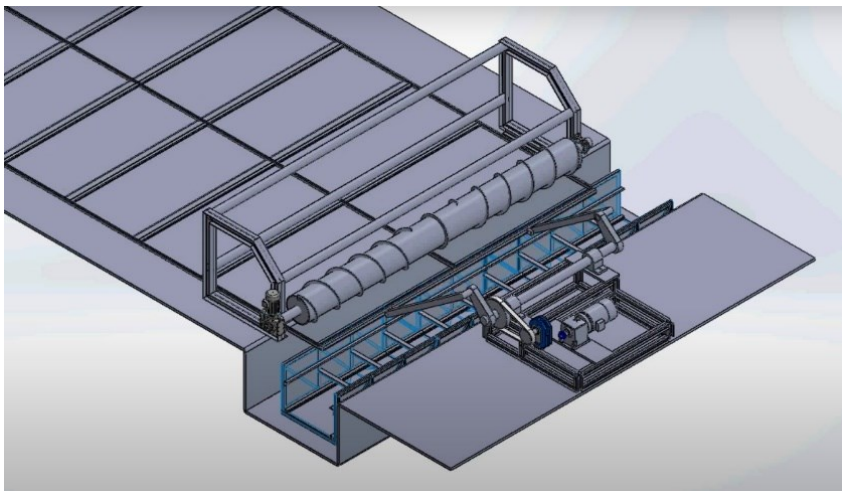
Kuva 12. Elevaattorin syöttöpään havaintokuva (Koivisto 2017, 113)

Yleensä SRF on kostea, joten se tarttuu kuoppiin kiinni. Mikäli SRF on kuivaa ja silputtua hienoksi, elevaattori sopii SRF:n kuljettamiseen riittävän alhaisella pyörimisnopeudella.

## 5.7 Tankopurkain

Tankopurkain on kasan alla vaakatasossa edes takaisin liikkuva kola. Kolan liikkuaessa takaisinpäin, kasa ei liiku yhtä paljon taaksepäin. Tällöin kasa siirtyy hitaasti kohti purkupistettä. Edestakainen liike saadaan aikaan hydraulisylintereillä tai sähköisesti kuten kuvassa 13 esitetään.

Tankopurkain soveltuu SRF:lle hyvin. Tankopurkaimia käytetään varastojen tyhjentämisessä.



Kuva 13. Tankopurkain 3D-malli (Moving Floor Handling system)

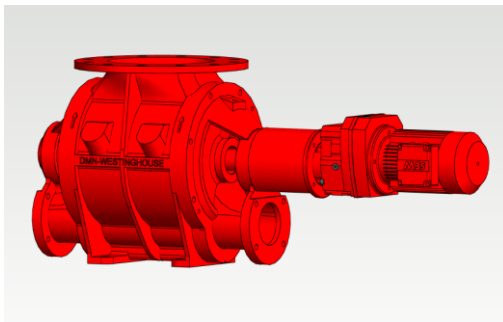


## 5.8 Läpipuhaltava sulkusyötin

Sulkusyöttimiä on kahta eri tyyppiä: läpipuhaltava- ja läpipudottava sulkusyötin. Sulkusyötin on läpipuhaltava, kun sen roottorin läpi puhalletaan ilmaa, joka vie materiaalin eteenpäin kuljetinputkeen.

Läpipudottavan sulkusyöttimen alla on ejektori, jolla materiaali siirretään kuljetinputkeen. Materiaalin ja ilman nopeus kuljetinputkessa on noin 25 m/s. Kuljetusilman tuottamiseen käytetään roottoripuhallinta. Kuvassa 14 ilman tulo- ja menoyhteet ovat sulkusyöttimen alaosassa.

Kuljetinputki voi sisältää tietyn määrän käyriä, nousuja tai laskuja.



Kuva 14. Läpipuhaltava sulkusyötin 3D-malli

Huonoja puolia ovat sähkön kulutus, putkien ja roottorin kuluminen. Putkien käyrät ovat yleensä vahvistettuja sulabasaltilla tai alumiinioksidilla.

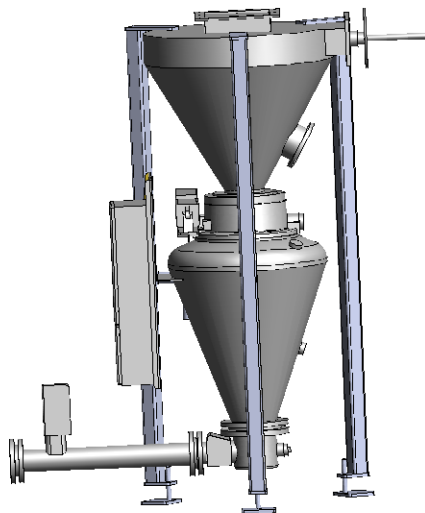
Läpipuhaltava sulkusyötin soveltuu SRF:lle ja se onkin ainoa tapa, kun syötetään pääpolttimeen. Etäisyyden pitäisi kuitenkin olla mahdollisimman lyhyt ja putken suora. Lisäksi SRF:n pitää olla silputtu hienoksi.

## 5.9 Painelähetin

Painelähetin on annoskuljetin, joka lähettää kerrallaan tietyn määrän materiaalia. Painelähettimessä on painesäiliö, joka täytetään materiaalilla. Tämän jälkeen säiliö paineistetaan paineilmalla, joka pakottaa materiaalin kuljetusputkeen ja edelleen vastaanottosiiloon.

Pääpolttimen syöttöön painelähetin ei sovellu, koska syötön pitää olla jatkuvaa, tasaista ja määrän pitää olla säädeltävissä.

Tiettyihin kuljetustilanteisiin painelähetin sopii, jos SRF on riittävän kuivaa ja hienoa.

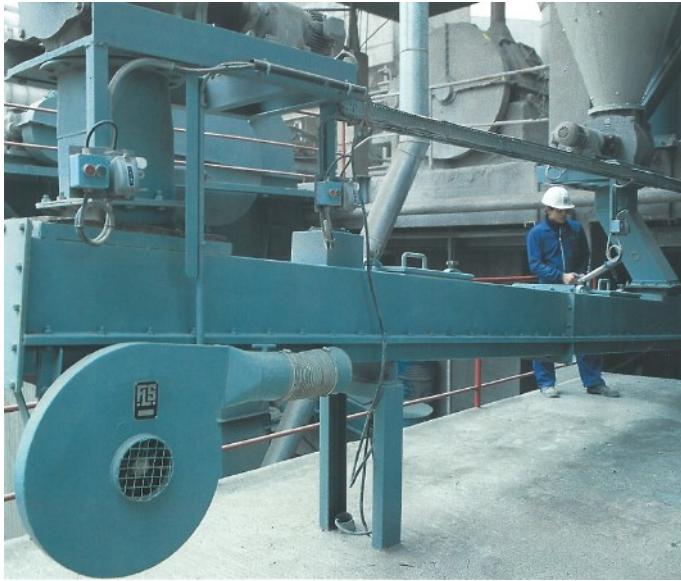


Kuva 15. Painesäiliön 3D-malli

## 5.10 Ilmaränni

Ilmaränni soveltuu jauhemaisille materiaaleille, jotka fluidisoituvat. Ilmaränni on metallilaatikko, jossa on kankainen välipohja. Sen pitää olla vähintään 5 astetta alaspäin kalteva. Välipohjan alle puhalletaan ilmaa, joka vie materiaalia eteenpäin. Ilmaränni on energiataloudellisin kuljetin lyhyille siirtomatkoille.

Ilmaränni ei sovellu SRF:lle.



Kuva 16. Ilmaränni ja puhallin

## 5.11 Volumetrinen- ja gravimetrinen annostelu

Volumetrisellä annostelulla tarkoitetaan tietyn tilavuusmäärän annostusta aikayksikössä:  $m^3/h$ .

Gravimetrisellä annostelulla tarkoitetaan tietyn massamäärän annostusta aikayksikössä: t/h

Molemmat annostelutavat soveltuvat SRF:lle, koska materiaalin tilavuuspaino vaihtelee paljon.

## 6 SRF:n kuljetus ja käsittely sementtitehtaalla

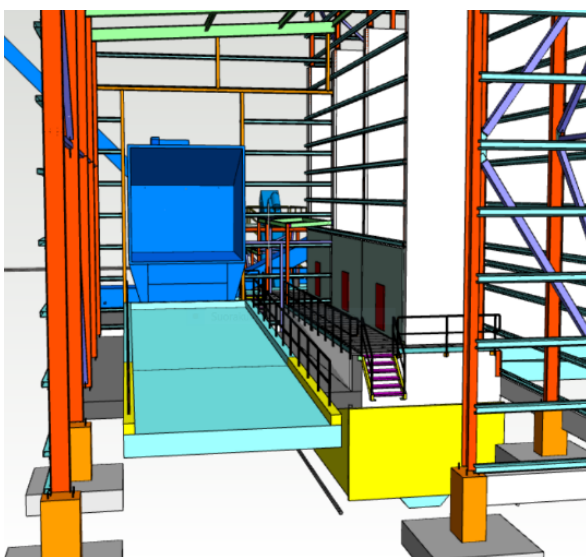
SRF tuodaan eri jäteasemilta tehtaalle rekkakuljetuksena. Rekkoja tulee keskimäärin 40–42 viikossa. Yhden rekan purkaminen kestää noin tunnin. Purkamisen aikana SRF:ää siirretään koko ajan varastosäiliöihin. (Liite 2)

Varastosäiliöitä on kolme kappaletta, joita tyhjennetään yhtä kerrallaan. SRF voi syttyä palamaan, tämän takia säiliöt ovat varustettu sammutusjärjestelmillä. (Liite 2)

Säiliöistä SRF kuljetetaan nousevilla kolakuljettimilla kalsinaattorin syöttölaitteisiin. (Liite 2)

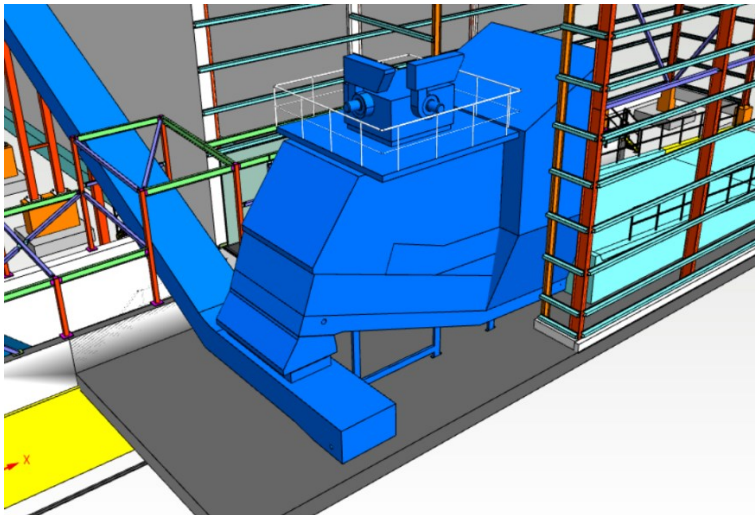
### 6.1 HCT-rekkojen purkaminen ja kuljetus varastosäiliöihin

SRF viedään jäteasemalta sementtitehtaalle HCT-rekoilla. Rekoissa on purkaimet pohjalla, joilla tyhjennetään vaunut. Kuvassa 17 esitetään, että rekkojen purkaminen tapahtuu perästä, joten rekat peruuttavat purkulavalle. Purettavia vaunuja on yleensä kaksi kappaletta, joten tyhjentäminen tapahtuu kahdessa eri vaiheessa, perä- ja etuvaunu erikseen. Yksi rekka tuo keskimäärin noin 150 m<sup>3</sup> SRF:ää. (Liite 2)



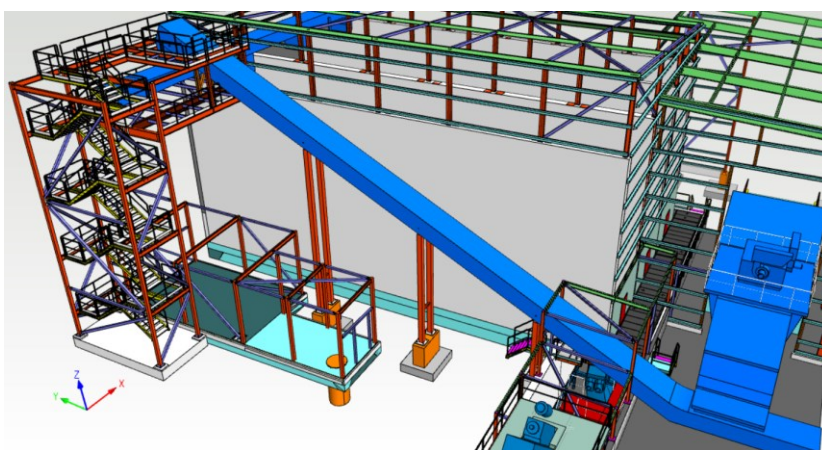
Kuva 17. SRF-laitoksen HCT-rekkojen purkulava

Vaunuista SRF putoaa leveälle kolakuljettimelle, jonka pituus on noin 10 metriä. Kuvassa 18 esitetään leveä kolakuljetin, joka pudottaa SRF:n nousevalle kolakuljettimelle, jonka nousukulma on 27 astetta.

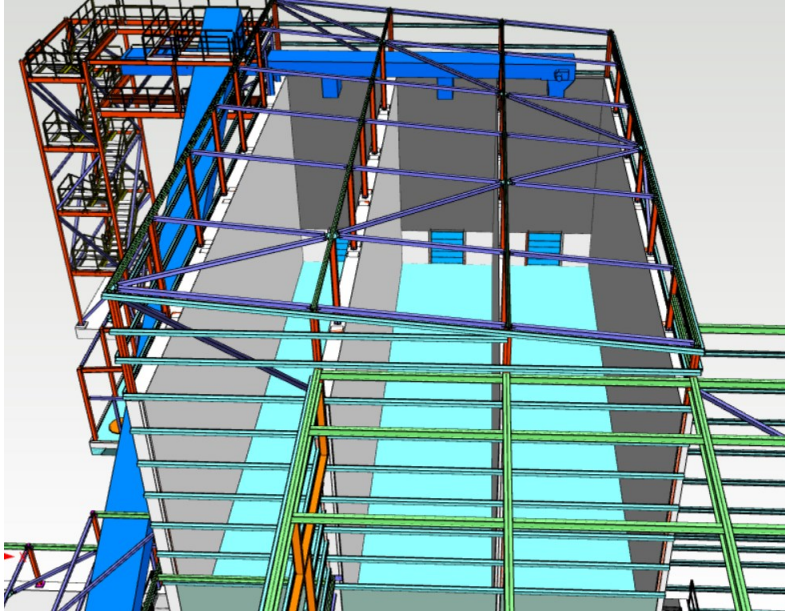


Kuva 18. Leveä kolakuljetin

Nouseva kolakuljetin kuljettaa SRF:n 12 metrin korkeuteen, joka esitetään kuvassa 19. Tämän jälkeen SRF pudotetaan vaakasuoralle kolakuljettimelle, jossa on ulosottopisteet kolmeen varastosäiliöön. Tämä esitetään kuvassa 20.



Kuva 19. Nouseva kolakuljetin



Kuva 20. Vaakasuora kolakuljetin ja varastosäiliöt

## 6.2 Varastosäiliöiden toiminta

Logistisesti tavoite on, että yhtä varastosäiliötä täytetään, toista tyhjenetään ja kolmas on täynnä odottaen tyhjennystä. Yhden varastosäiliön tilavuus on 1000 m<sup>3</sup>.

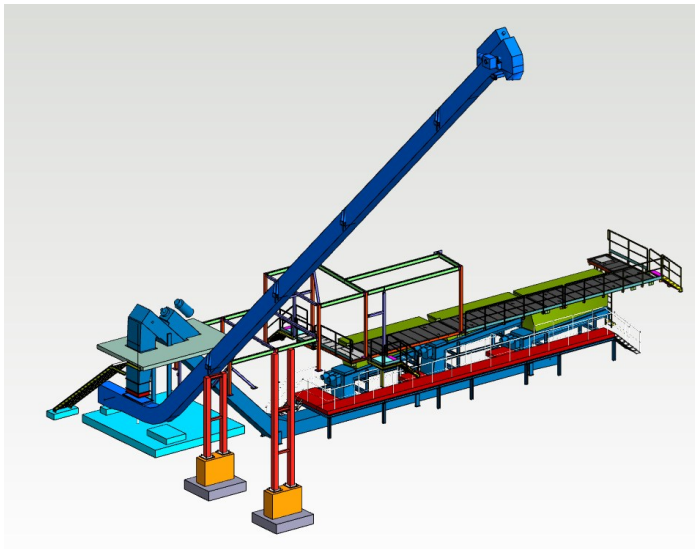
Vaakasuora kolakuljetin varastosäiliöiden päällä pudottaa SRF:n säiliön etupäähän ja ulosotto on takapästä. Säiliöiden sisällä on tasoittava kolakuljetin, joka nousee ja laskee säiliön pinnan mukaan siirtäen samalla SRF:ää kohti ulosottopistettä. Kolakuljetin on pelkkä teräsrunko, johon ketjut, kolat ja käyttölaite ovat kiinnitettyjä. Kuljetin riippuu säiliön katosta ja sitä nostetaan ja lasketaan ketjuilla. (Liite 2)

### 6.3 SRF:n purkaminen varastosäiliöistä ja kuljetus kalsinaattorin syöttölaitteisiin

Varastosäiliöistä SRF putoaa tuplaruuveille. Jokaisella säiliöllä on omat ulosottolaitteet.

Tuplaruuvit pudottavat SRF:n kolakuljettimeen, joka on ensin vaakasuora ja sen jälkeen nousee 45 asteen kulmassa.

Tämän jälkeen SRF pudotetaan viimeiselle kolakuljettimelle, joka nousee 45 asteen kulmassa ja loppuu kalsinaattorin syöttölaitteisiin. Varastosäiliön jälkeiset kuljettimet esitetään kuvassa 21.



Kuva 21. Riisuttu 3D-malli laitteista varastosäiliöiden jälkeen.

#### 6.4 SRF-laitoksen puutteet

Rekoilla tuotua SRF:ää ei käsitellä juuri lainkaan SRF-laitoksessa. Vaikka tuotteen pitäisi olla tietyn kokoista voi joukossa olla joskus isojakin kokkareita ja pitkiä nauhoja. Ne tuottavat ongelmia SRF-laitoksen kuljettimissa ja kalsinaattorin syöttölaitteissa. Huoltokatkojen aikaan SRF:n syöttö kalsinaattoriin lopetetaan pois lukien kuljettimet ennen varastosäiliöitä. Huoltokatkon aikana kuljettimet tyhjennetään ja huolletaan.

Suunnittelemattomat huoltokatkot vaikuttavat kierrätyspolttoaineiden käytettävyyteen sekä lisäävät kustannuksia. Vaikuttavia tekijöitä ovat: polttoaineiden rahallinen ero, korjauksen hinta, tarvittavien varaosien määrä ja mahdolliset vuokrattavat tarvikkeet kuten henkilönosturit. Suunnittelemattomien huoltokatkojen suurin syy on kuljettimien ja laitteiden tukkeutuminen tai rikkoutuminen.

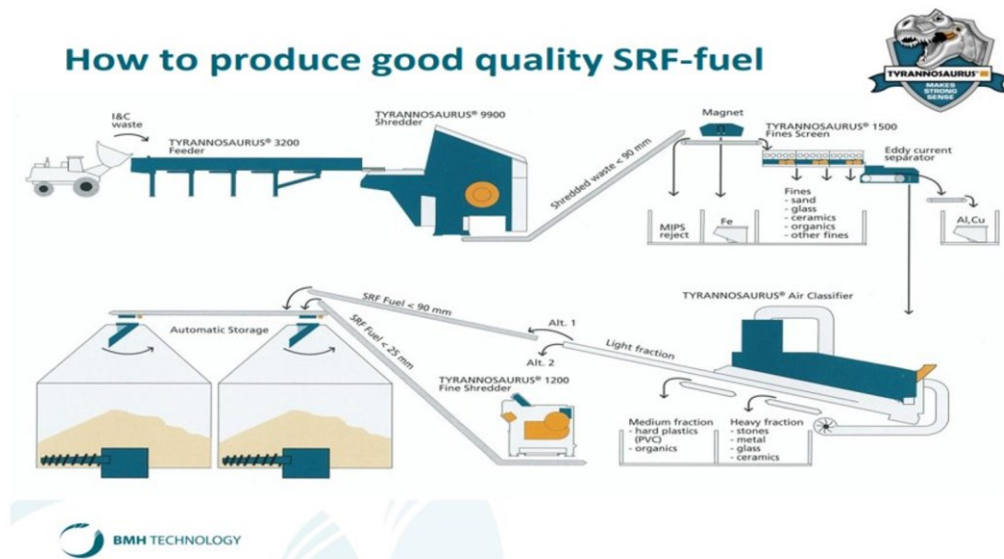
Tyhjentämisen aikana on riski, että SRF:n kevyitä materiaaleja siirtyy tuulen mukana ympäri tehdasaluetta. Tämä aiheuttaa ylimääräisiä siivouskustannuksia. SRF-laitos ja kalsinaattorin syöttölaitteet pitäisi kattaa kokonaan.

Kosteus vaikuttaa polttoprosessiin, mutta myös kuljettamiseen. Kun SRF on kostea, se saattaa juuttua kuljettimiin. Materiaalia kertyy ajan mittaan lisää ja lopulta kuljetin menee tukkoon. Yksi ratkaisu olisi materiaalin kuivatus ennen käyttöä. Tämä olisi toimiva ratkaisu kesäaikaan, mutta talven pakkasilmoilla poistettu kosteus jäätyisi muualla aiheuttaen uusia ongelmia.



### 6.4.1 BMH:n ratkaisu SRF:n käsittelyyn

Kuvassa 22 on laitetoimittajan ratkaisu SRF:n käsittelylle ennen varastointia. Käsittelyssä tehtäisiin materiaalien lajittelu ja partikkelikoon pienentäminen. Ensimmäiseksi silputaan materiaali pienempään raekokoon. Magneettierottajalla otetaan rautaa sisältävät osat pois. Tämän jälkeen hienoseulalla poistetaan epäpuhtaudet: hiekka, lasi ja keramiikka. Pyörrevirran avulla erotetaan muut metallit: alumiini ja kupari. Ilmaluokittimella erotetaan suurikokoiset jakeet mitä on jäänyt jäljelle vielä hienoseulan jälkeen. Vaihtoehtoisesti voidaan vielä hienosilppurilla silputa SRF alle 25 mm raekokoon. Ilman hienosilppuria päästään alle 90 mm raekokoon.



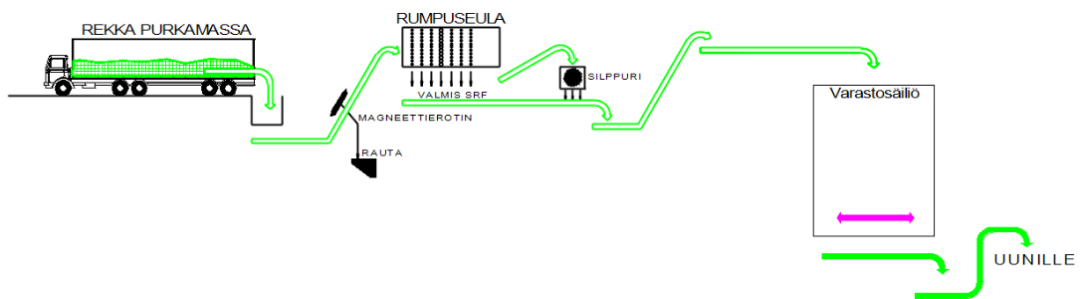
Kuva 22. BMH Technology ratkaisu SRF:n käsittelylle (Kuusinen 2021, 10)

Olemassa olevaan laitokseen on vaikea lisätä kyseiset laitteet mitä kuvassa 22 esitetään. Tämä tarkoittaisi käytännössä uutta rakennusta, josta voitaisiin kuljettaa SRF olemassa oleviin SRF-laitoksen varastosäiliöihin.

#### 6.4.2 Kundan sementtitehtaan käsittelyn ratkaisu

Kundan sementtitehtaalla Virossa on toteutettu yksinkertaisempi vaihtoehto, johon kuuluu magneettierotin, seula sekä silppuri. Kundan sementtitehtaalla käytetään SRF:n sijasta RDF:ää. SRF:n laatuksiteeri on tiukempi kuin RDF:n. Niiden ominaisuudet ovat lähes samat.

RDF kuljetetaan ensin magneettierottimen läpi, jossa erotetaan metalliosat. Tämän jälkeen on rumpuseula, joka erottaa suuret ja pienet partikkelikoot keskenään. Pienet partikkelikoot tippuvat rumpuseulassa olevista rei'istä. Rumpuseulan alla on kuljetin, joka kuljettaa valmiin RDF:n suoraan varastosäiliöön. Isommat partikkelikoot kulkevat koko rumpuseulan läpi ja putoavat toiselle kuljettimelle, joka kuljettaa erottuneen RDF:n silppuriin pienentämistä varten. Silputtu RDF kuljetetaan varastosäiliöön.



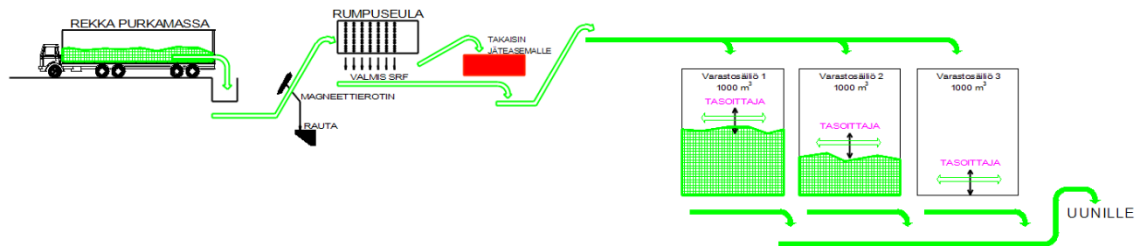
Kuva 23. Kundan sementtitehtaan RDF:n käsittelyn kaavio



Kuva 24. Kundan sementtitehtaan RDF:n käsittelylaitos Virossa

### 6.4.3 Karkeampi SRF:n käsittely

Tässä vaihtoehdossa olisi magneettierotin ja rumpuseula. Polttokelpoinen materiaali erotetaan. Isokokoiset partikkelit varastoitaisiin ja ne lähetettäisiin takaisin jäteasemalle. Tämä lisäisi käsittelyn kustannuksia samalla vähentäen huoltokatkoja. Tämä vaihtoehto esitetään kuvassa 25.



Kuva 25. Kaavio karkeasta SRF:n käsittelystä

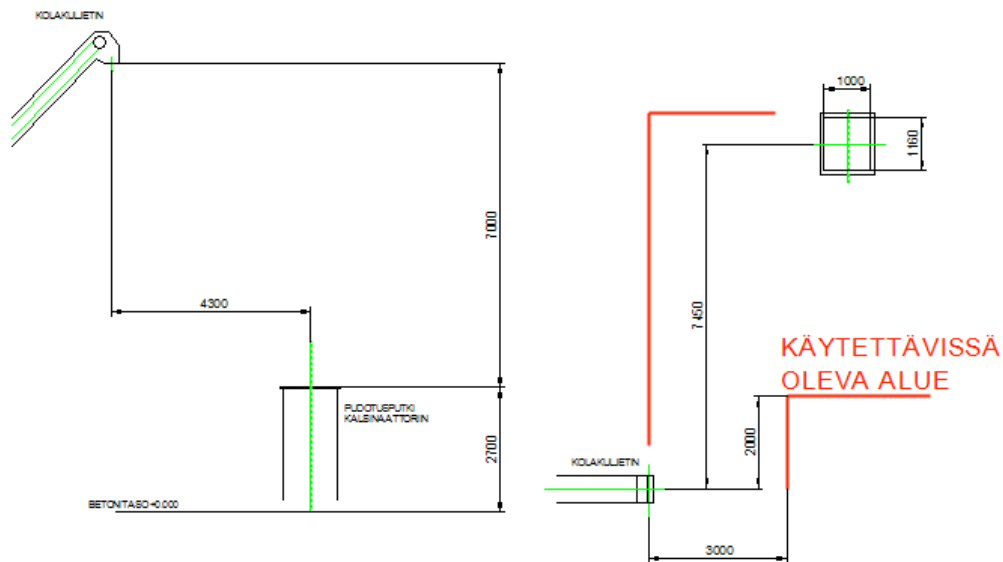
## 7 Esisuunnittelu syöttölaitteiston vaihtoon

Lappeenrannan uusi sementtiuuni aloitti toimintansa vuonna 2007. Laitetoimittaja oli tehnyt rakennusvaiheessa varauksen omille SRF:n syöttölaitteistolle kalsinaattoriin. Laitteisto asennettiin 2009. Tähän asti oli käytetty polttoaineena jauhattua kivihiiltä sekä lihaluujauhoa.

Syöttölaitteisto on mitoitettu kapasiteetille 10 t/h, joka on hyvä SRF:lle. Tulevaisuudessa näillä laitteilla voidaan joutua käsittelemään muita kierrätyspolttoaineita.

Laitteille oli varatussa tilassa korkeutta maksimissaan 9,7 metriä ja pituutta 7,5 metriä. Alueen vieressä oli rajoittavia tekijöitä, kuten syklonin pudotusputki, joka on merkitty kuvan 2 uuniprosessissa kohta 2E.

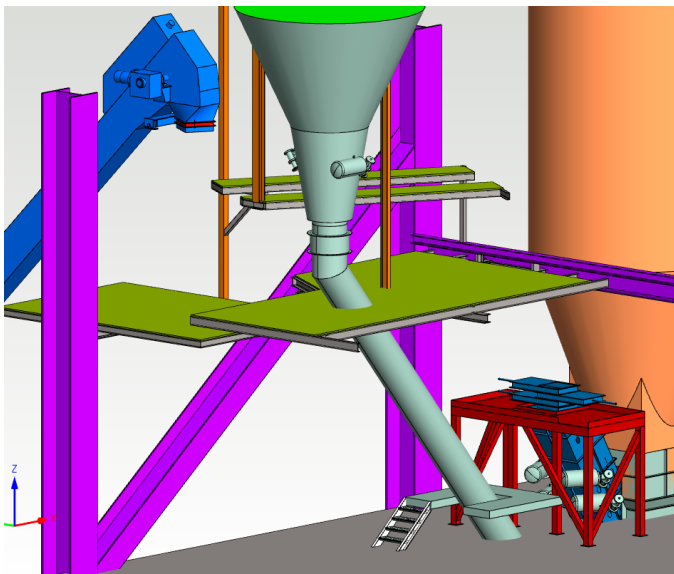
Kuvassa 26 on esitetty syöttölaitteiston vaatimat tilat. Vasen puoli on kuvattuna avolouhoksen suunnalta ja oikeanpuoleinen ylhäältä.



Kuva 26. Syöttölaitteiston käytössä olevat tilat

Syöttölaitteisto on nyt ollut käytössä yli kymmenen vuotta. Tänä aikana on tullut esiin kohtia, joita olisi hyvä parantaa. Parannusten täytyy tapahtua kuitenkin edellä mainitulla alueella. Tämä sulkee pois monen laitetoimittajan erilaiset syöttölaiteratkaisut.

Nykyinen syöttölaitteisto on kannatettu syklonitornin teräsrakenteista. Syöttölaitteisto sisältää hoitotasoja, portaita ja tukirakenteita. Mikäli pystytään käyttämään olemassa olevia rakenteita, tämä vähentää suunnittelua ja asennustöitä.



Kuva 27. 3D-malli käytettävissä olevista tiloista

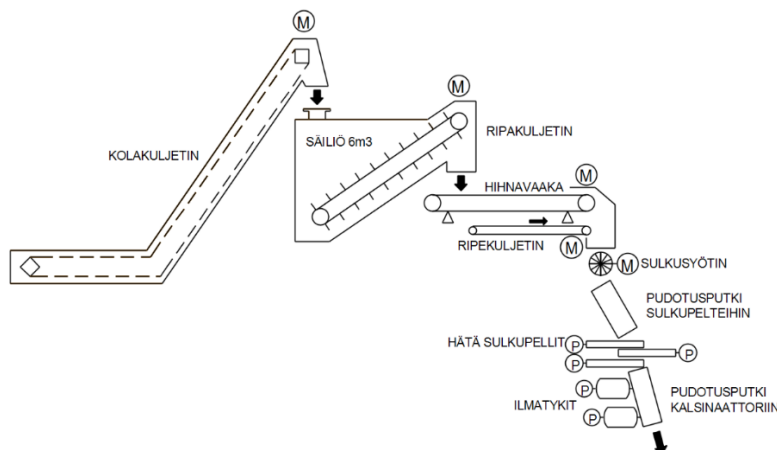
## 7.1 Nykyinen syöttölaitteisto

Nykyinen syöttölaitteisto on elinkaarensa lopussa. Laitteistojen rungot ovat vähitellen kuluneet, josta on tullut turvallisuusriskikin.

Taulukko 2 esittää syöttölaitteiden käyttötunnit klinkkeriuunin käydessä. Syöttölaitteiston suunniteltuja huoltokatkoja on noin kolme kertaa viikossa. Tällöin tehdään puhdistusta tai muuta huoltotyötä. Huoltokatkojen pituus vaihtelee. Keskimäärin ne kestävät tunnin. Odottamattomien huoltokatkojen keston vaikuttaa tapahtuma-aika. Yöllä ja viikonloppuna kunnossapitohenkilöstöä on paikalla vähemmän. Huoltokatkon aikana SRF korvataan jauhetulla kivihiehellä, joka puhalletaan kalsinaattoriin.

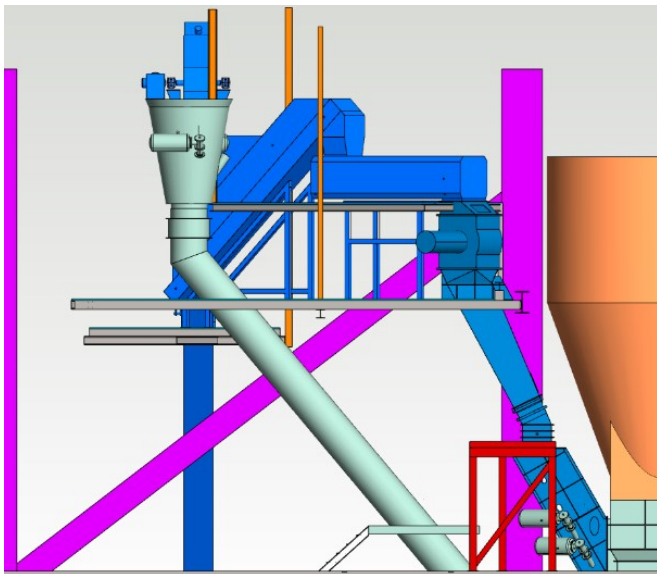
Taulukko 2. Nykyisen syöttölaitteiston käyttöaika vuodessa (Suhonen 2023)

Syöttölaitteiston käyttötunnit	Klinkkeriuunin käyttötunnit	Syöttölaitteiston käyttöosuus	Uunin käyttökatkoja	Syöttölaitteiston huoltokatkoja
6200–6450 h	7000–7100 h	87–92 %	21–46 kpl	200–300 kpl

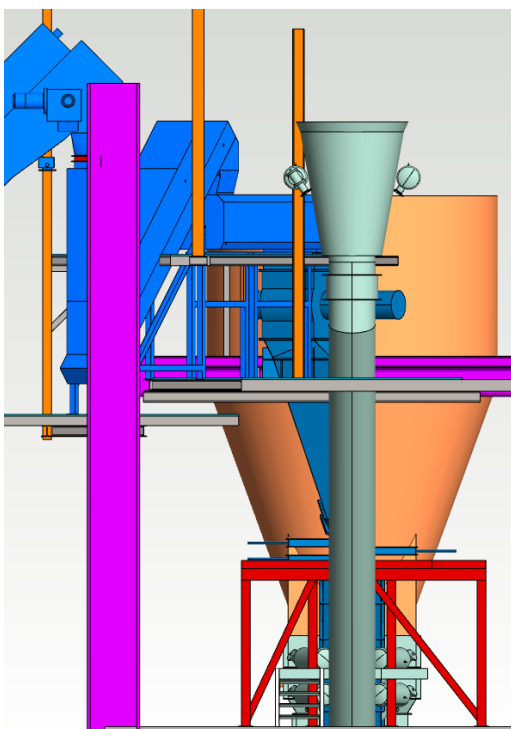


Kuva 28. Nykyisen syöttölaitteiston prosessi (Liite 2)

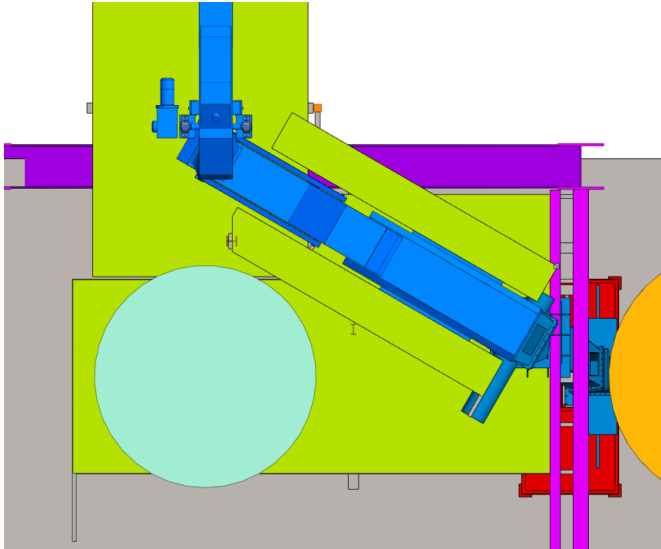
Nykyisen laitteiston kolakuljetin on 60 asteen kulmassa ripakuljettimeen ja hihnavaakaan nähden. Hihnavaaka ja sulkusyötin ovat 30 asteen kulmassa kalsinaattorin sisäänmenoon nähden. Tämä esitetään kuvissa 29, 30 ja 31.



Kuva 29. Nykyinen syöttölaitteisto raakamyllyn suunnalta



Kuva 30. Nykyinen syöttölaitteisto avolouhoksen suunnalta



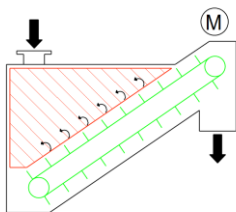
Kuva 31. Nykyinen syöttölaitteisto ylhäältä

### 7.1.1 Ripakuljetin ja säiliö

Kolakuljetin pudottaa SRF:n ripakuljettimen säiliöön, jonka tilavuus on  $6 \text{ m}^3$ . Ripakuljettimen nousukulma on 45 astetta ja leveys 800 mm.

Säiliön tarkoituksena on toimia puskurivarastona, jos kuljetuslinjassa on ongelma ennen säiliötä. Tällöin säiliössä olevaa SRF:ää voitaisiin käyttää, kunnes jauhettua kivihiiltä syötetään kalsinaattoriin.

Todellisuudessa säiliötä ei voida täyttää oikeastaan lainkaan johtuen ripakuljettimen jyrkästä nousukulmasta. SRF pyrkii valumaan takaisin alas, joka kuvassa 32 esitetään. Kun säiliö on täyttynyt kokonaan, niin SRF ei kulje eteenpäin. Tällöin joudutaan SRF:n kuljetuslinja pysäyttämään kokonaan ja tyhjentämään säiliötä.

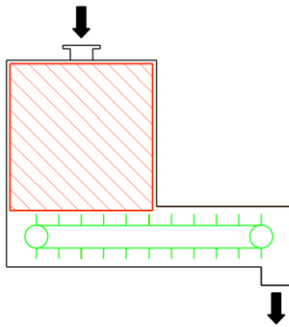


Kuva 32. Ripakuljettimen säiliön ongelmia



Säiliön pinta joudutaan pitämään alhaalla, jotta ripakuljetin toimii paremmin. Ripakuljettimen hihnaa on jouduttu vaihtamaan usein. Hihna on tyypiltään kohokuvioitu kuljetinhihna. Kohokuvioinnilla helpotetaan materiaalin kuljettamista jyrkässä nousukulmassa.

Jos haluttaisiin käyttää säiliötä, tällöin säiliön alapuolella olevan kuljettimen pitäisi olla lähes vaakasuora, kuten kuvassa 33 esitetään.



Kuva 33. Säiliön ja kuljettimen optimaalinen tapa

### 7.1.2 Hihnavaaka ja ripekuljetin

Hihnavaa'alla punnitaan ja syötetään SRF:ää haluttu määrä. Syöttömäärää säädetään kalsinaattorin lämpötilan perusteella.

SRF on yleensä kosteaa ja kevyttä, joten se jää helposti kiinni hihnavaa'an kumihihnan pintaan. Vaikka kumihihna on varustettu tehokkaalla kaavarilla, hihnan pintaan jää kuitenkin SRF-partikkeleita, jotka irtoavat hihnasta kaavarin jälkeen. Tämän takia hihnavaa'an alla on ripekuljetin, joka palauttaa SRF:n takaisin sulkusyöttimen yläpuolelle.

### 7.1.3 Sulkusyötin

Hihnavaa'alta SRF putoaa sulkusyöttimeen, jonka roottorin halkaisija on yksi metri. Sulkusyöttimen tarkoituksena on tasata materiaalivirtaa ja samalla toimia ilmalukkona, jotta ongelmatilanteessa mahdollisesti kalsinaattorista tuleva kuuma ilma ja mahdollisesti palavat partikkelit eivät pääse vahingoittamaan hihnavaakaa ja koko laitteistoa.

Sulkusyöttimen roottorin siivet ovat päistä varustettu tiivistekumeilla. Tämä vähentää roottorin terässiipien kulumista. Tiivistekumit kuluvat nopeasti ja sulkusyöttimessä alkaa ilmetä läpivuotoa. Tiivistekumien kuluminen johtuu SRF:n kuluttavuudesta.

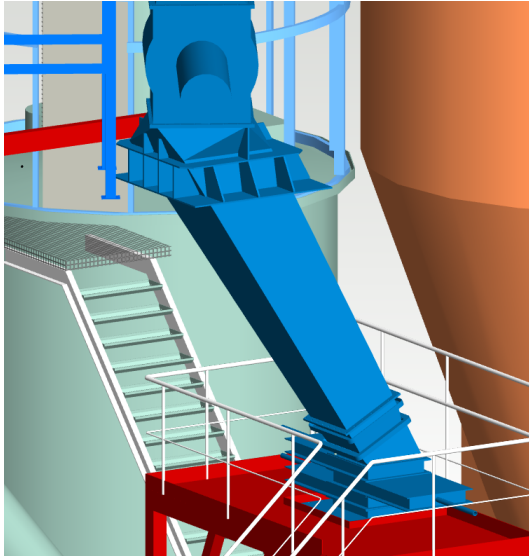
Vaikka sulkusyötin on isokokoinen, niin SRF:n joukossa on kooltaan niin isoja kappaleita, että ne tukkivat sulkusyöttimen. Näistä johtuu toisinaan pitkiä huoltokatkoja.



Kuva 34. Sulkusyötin

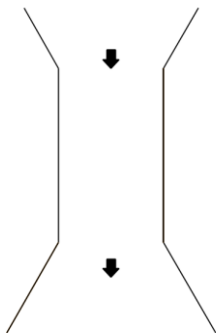
#### 7.1.4 Pudotusputki sulkusyöttimen jälkeen

Sulkusyötin pudottaa SRF:n pudotusputkeen. Putken lähtöaukko on 900x1000 mm. Putken pudotuskulma on 28,5 astetta. Putki kapenee alaspäin mennessä aukkoon 600x600 mm kolmen metrin matkalla. Tämä esitetään kuvassa 35. Pudotusputki on sisäpuolelta vuorattu kulutuslevyillä.



Kuva 35. 3D-malli pudotusputkesta

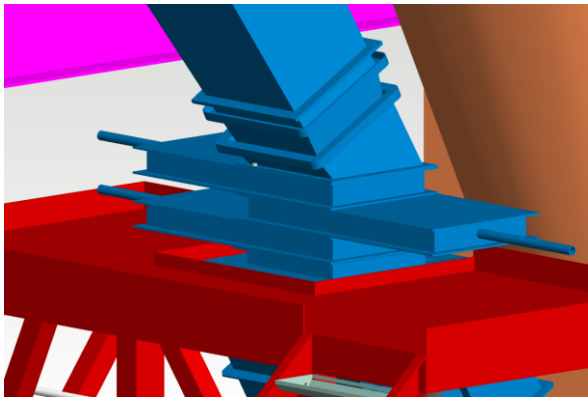
Ideaalitapauksessa pudotusputki olisi pystysuora ja vielä alaspäin suureneva. Tämä esitetään kuvassa 36. Olemassa olevassa ratkaisussa tähän ei päästä, johtuen kalsinaattorin tukirakenteesta ja ulkopinnan lämpötilasta.



Kuva 36. Ideaalitapaus pudotusputkelle

### 7.1.5 Häätä sulkupellit

Pudotusputken jälkeen on kolme häätä sulkupeltiä, joiden aukko on 600x600 mm. Sulkupellit ovat paineilmatoimisia. Sulkupellit ovat auki syötön aikana, mutta uunin pysähtyessä sulkeutuvat yhtä aikaa. Kolmella sulkupellillä varmistetaan kanavan sulkeutuminen, jotta kuumat kaasut eivät pääse vahingoittamaan laitteita.



Kuva 37. 3D-malli häätä sulkupelleistä

### 7.1.6 Pudotusputki kalsinaattoriin ja painetykit

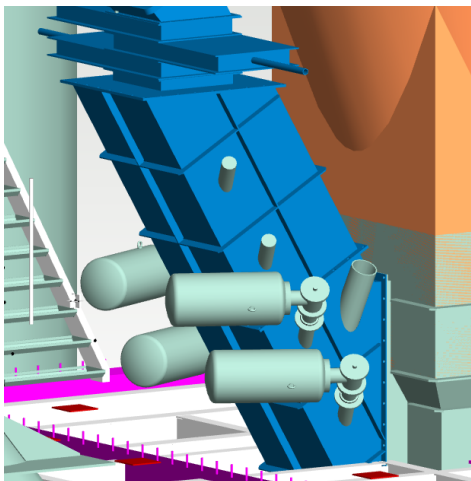
Sulkupeltien jälkeen on pudotusputki suoraan kalsinaattorin kylkeen. Tämä putki sisältää neljä kappaletta painetykettä. Painetykkien tarkoituksena on auttaa SRF:ää kulkemaan kalsinaattoriin. Yhden painetykin tilavuus on 100 litraa ja niiden sisällä on 10 baarin paineilma.

Painetykit laukeavat yksi kerrallaan tietyn sekvenssin mukaisesti. Tämä on suhteellisen merkittävä paineilman kuluttaja.



Kuva 38. Painetykit

Kalsinaattorin pudotusputki on 1000x1000 mm ja se on vuorattu kulutuslevyillä joka puolelta. Pudotuskulma on noin 45 astetta, jonka takia tarvitaan painetykkeitä.

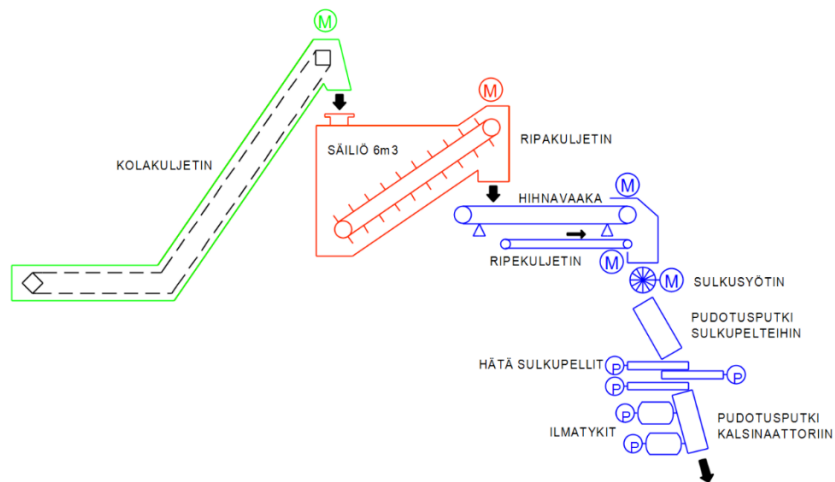


Kuva 39. 3D-malli pudotusputkesta ja painetykeistä

### 7.1.7 Mahdolliset parannukset nykyiseen syöttölaitteistoon

Nykyisten syöttölaitteistojen iän ja toimintavarmuuden takia niihin joudutaan tekemään muutoksia lähiaikoina. Kustannusten minimoimiseksi on kuitenkin syytä pyrkiä säilyttämään niin paljon nykyistä, kuin on järkevästi mahdollista. Tämä koskee sekä laitteita, että tukirakenteita ja hoitotasoja.

Kuvassa 40 on merkitty nykyiset syöttölaitteet eri väreillä. Vihreällä merkittyihin ei kosketa, punaisella merkityt muutetaan ja sinisellä merkityt saatetaan muuttaa. Punaisella merkityt osat ovat selvästi huonoimmassa kunnossa.



Kuva 40. Nykyisen syöttölaitteiston mahdollisesti parannettavat osat

## **Käyttöhenkilökunnalta tulleita parannusehdotuksia ja kommentteja**

Nykyisen syöttöjärjestelmän säiliön toiminnan parantaminen. Säiliö on tilavuudeltaan pieni. Mikäli säiliö olisi isompi, niin se antaisi mahdollisuuden lyhyihin huoltokatkoihin ilman syöttölaitteiston pysäyttämistä.

Uusittu laitteisto ei saa sisältää sellaisia laitteita, joista ei ole aikaisempaa kokemusta. Uusia laitteita mahdollisimman vähän.

Nykyinen hihnavaaka on toiminut hyvin.

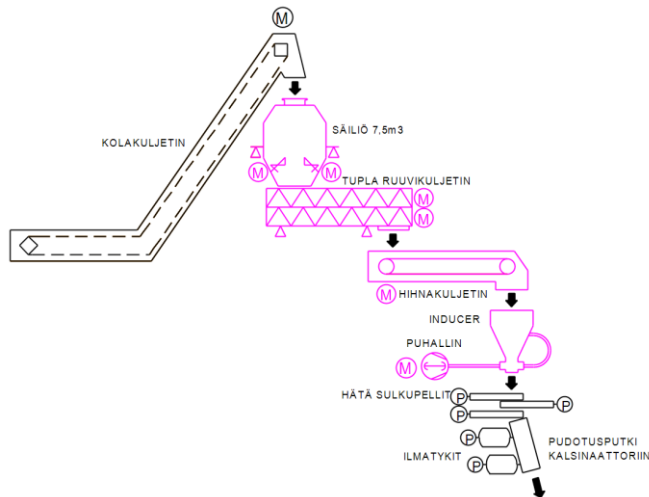
Pudotusputki hätä sulkupelteihin pitäisi olla jyrkempi, mutta se vaatisi suuria tukirakennemuutoksia.

Pudotusputken viimeinen osa kalsinaattoriin voisi olla varustettu jonkinlaisella teräsverkkopohjalla, jonka läpi puhallettaisiin ilmaa. Tällöin voitaisiin vähentää painetykkien käyttöä.

Syöttölaitteisto pitäisi kattaa kokonaan, jotta SRF ei pääsisi leviämään tuulen mukana ympäristöön. Ongelma ilmenee erityisesti suoritettaessa laitteiston huoltotöitä.

## 7.2 Vaihtoehto 1

Tässä ratkaisussa kaikki laitteet kolakuljettimen ja hätäsulcupeltien välillä vaihdetaan. Kuvassa 41 on esitetty uudet laitteet violetilla.



Kuva 41. Vaihtoehto 1

### 7.2.1 Punnitseva syötin

Punnitseva syötin sisältää säiliön ja taajuusmuuttajalla varustetun tuplaruuvin. Säiliössä on moottoreilla varustetut möyhentimet.

Koko laitteisto seisoo vaaka-antureiden päällä, lisäksi säiliössä on erilliset vaaka-anturit. Säiliön vaaka-antureita käytetään laitteiston kalibroimiseen.

Säiliössä on yläpintaraja ja tuplaruuvien loppupäässä tukosvahti.

Standardi säiliön koko on 9 m<sup>3</sup>, mutta esisuunnitteluvaiheessa säiliö piti pienentää 7,5 m<sup>3</sup>, koska tilassa korkeutta ei ole tarpeeksi.

Syöttömäärää voidaan säätää 1:10 suhteeseen. Laitteiston tarkkuudeksi ilmoitetaan ± 1 %.

Tuplaruuvien pituus on noin neljä metriä, eikä niitä saada toimittajalta pidempinä. Tämän takia tuplaruuvien jälkeen käytetään hihnakuljetinta.

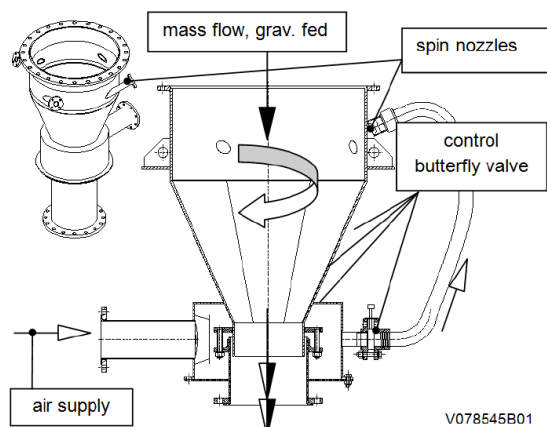




Kuva 42. Punnitseva syötin 3D-malli

### 7.2.2 Inducer

Inducerilla tarkoitetaan laitetta, jolla pyritään antamaan lisänopeutta materiaalille saattamalla se pyörivään liikkeeseen. Tämä saadaan aikaiseksi puhaltamalla inducerin säiliöön ilmaa neljällä tangentialisesti sijaitsevalla suuttimella. Samalla puhallettu ilma estää kuuman ilman virtausta kalsinaattorista ylöspäin.



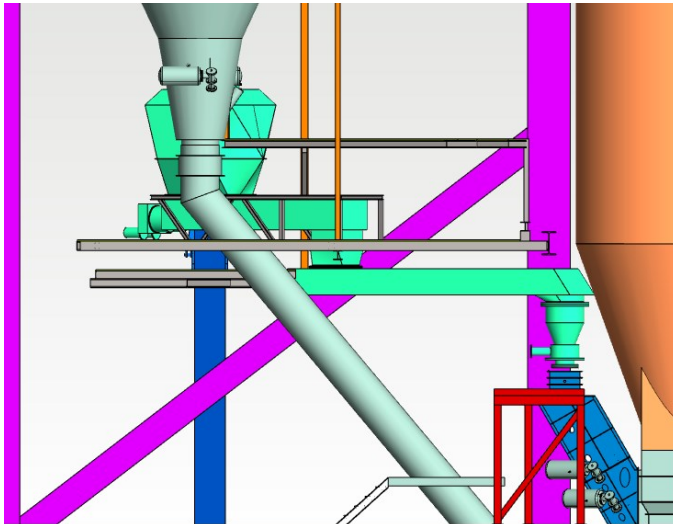
Kuva 43. Inducerin havaintokuva

### 7.2.3 Vaihtoehto 1 yhteenveto

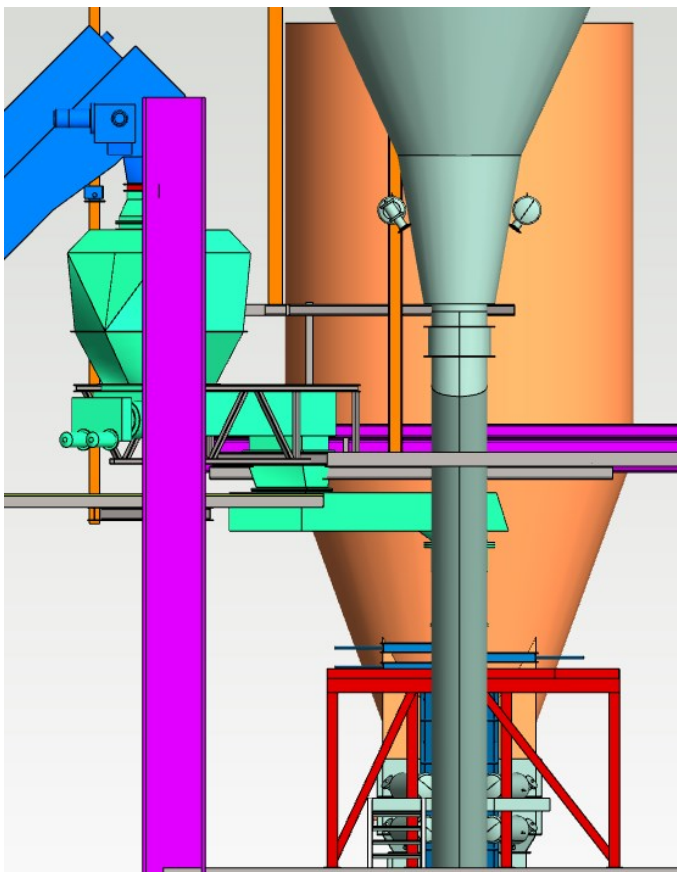
Tässä vaihtoehdossa nykyiset syöttölaitteet korvataan tunnetun laitetoimittajan toimittamalla punnitsevalla syöttimellä. Tämä ratkaisu parantaa linjan alkupäätä, mutta loppupään ongelmat jäävät entiselleen.

Käytännössä mitään nykyisiä tuki- ja hoitotasorakenteita ei voida hyödyntää. Lähes kaikki joudutaan rakentamaan uudelleen. Hihnakuljettimen loppupää tulee turhan lähelle kalsinaattorin seinää. Finnsementin henkilöstö kyseenalaisti inducerin toimivuutta.

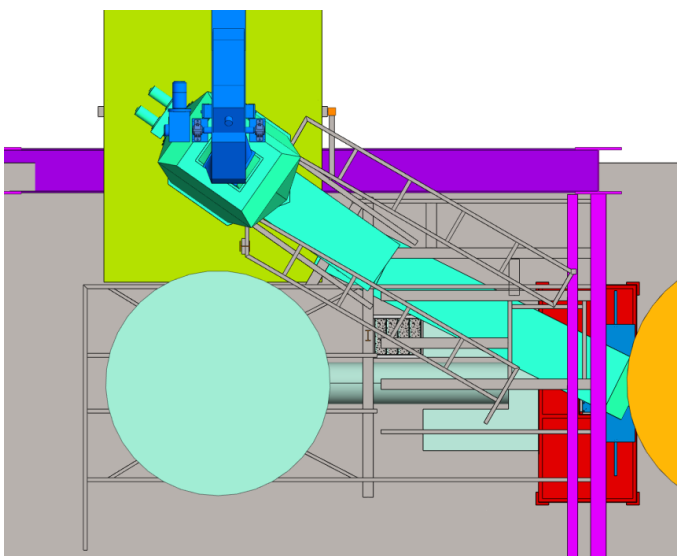
Kuvista 44, 45 ja 46 selviää laitteiston kokonaissijoitus.



Kuva 44. Vaihtoehto 1 raakamylyn suunnalta



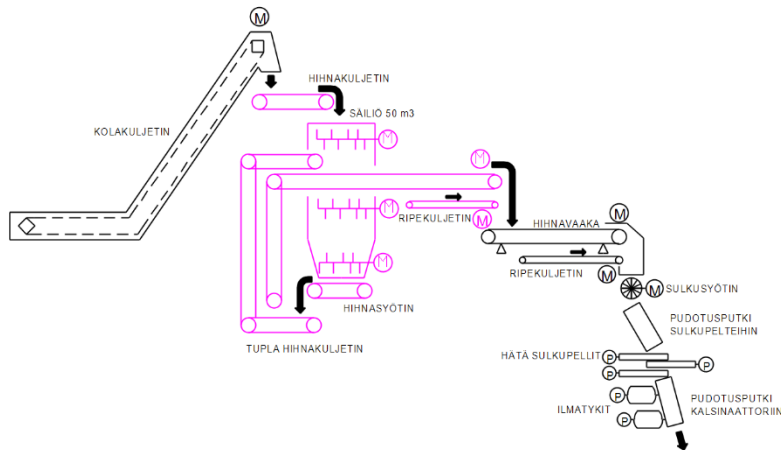
Kuva 45. Vaihtoehto 1 avolouhoksen suunnalta



Kuva 46. Vaihtoehto 1 ylhäältä

### 7.3 Vaihtoehto 2

Tässä ratkaisussa kaikki laitteet kolakuljettimen ja hihnavaa'an välillä vaihdetaan. Kuvassa 47 on esitetty uudet laitteet violetilla.



Kuva 47. Vaihtoehto 2

#### 7.3.1 Säiliö ja hihnakuljettimet

Ensimmäinen uusi kuljetin on lyhyt hihnakuljetin. Tämä tarvitaan, jotta laitteisto saadaan etäämmäksi syklonitornin tukirakenteen diagonaalista.

Tämän jälkeen on 50 m<sup>3</sup> säiliö. Säiliössä on möyhentimiä. Säiliön ulostuloaukko on pitkän mallinen. Säiliön alla on hihnasyötin, joka syöttää materiaalin tuplahihnakuljettimelle.

Jotta vähennetään SRF:n kulkeutumista hinnan alapintaa pitkin taaksepäin, tuplahihnakuljetin on syytä varustaa erillisellä ripekuljettimella. Tuplahihnakuljetin pudottaa SRF:n olemassa olevaan hihnavaakaan.

### 7.4.1 Tuplahihnakuljetin

Tuplahihnakuljetin mainittiin kohdassa 5.5.1.

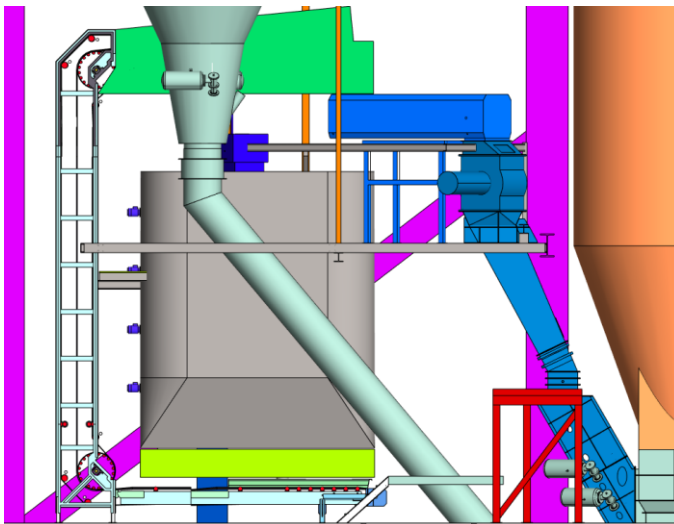
Tässä ratkaisussa tuplahihnakuljetin nousee ylös säiliön takapuolelta ja kulkee säiliön yli, koska siellä on paremmin tilaa. Tämä on normaali sovellus tuplahihnakuljettimelle.

### 7.4.2 Vaihtoehto 2 yhteenveto

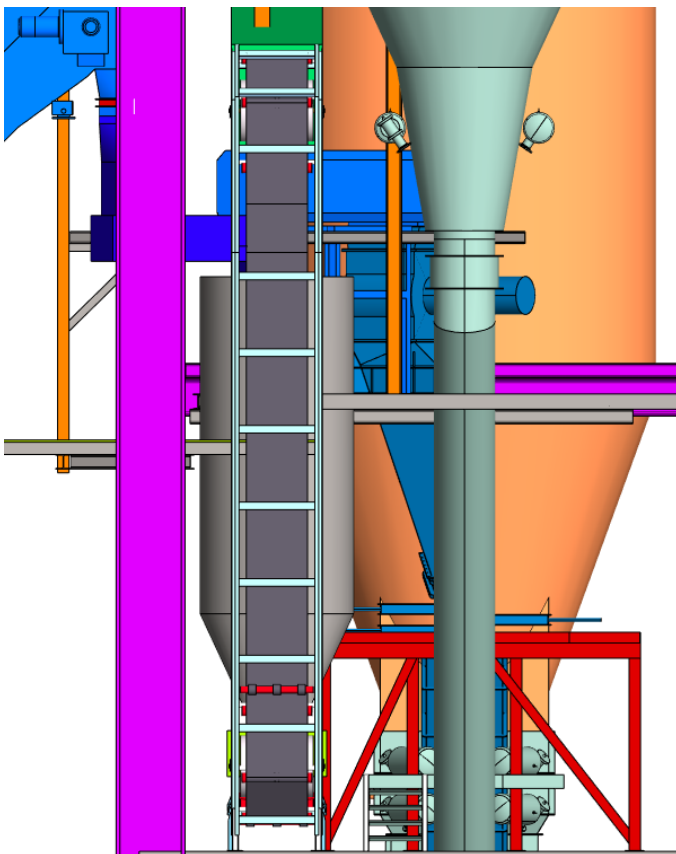
Tämän ratkaisun hyvä puoli on 50 m<sup>3</sup> säiliö, joka antaa lisää aikaa huoltokatkoille. Lisäksi hihnavaakaan ja siitä eteenpäin oleviin laitteisiin ja niiden tukirakenteisiin ei kosketa.

Huono puoli on ”räätälöity” säiliö. Tällaiselle ratkaisulle pitäisi löytää ratkaisuun sitoutunut laitetoimittaja, joka ottaisi toiminnan kokonaisvastuun. Lisäksi erilaisia toimilaitteita on paljon. Sijoituspaikka on monella tavoin ahdas.

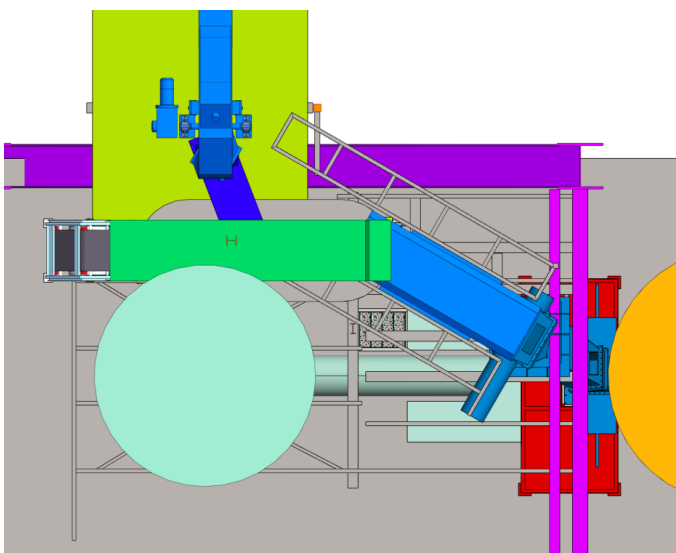
Kuvista 48, 49 ja 50 selviää laitteiston kokonaissijoitus.



Kuva 48. Vaihtoehto 2 raakamyllyn suunnalta



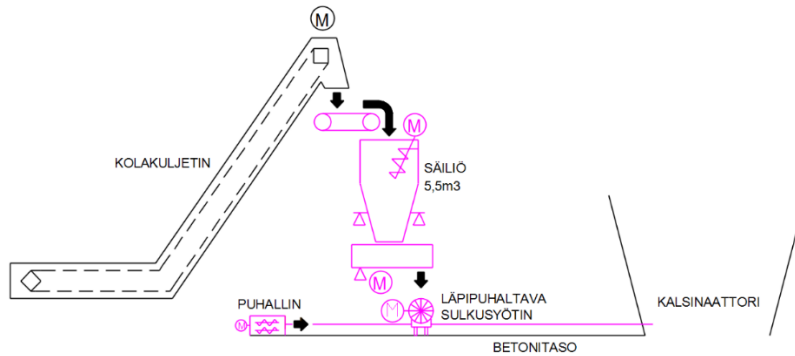
Kuva 49. Vaihtoehto 2 avolouhoksen suunnalta



Kuva 50. Vaihtoehto 2 ylhäältä

## 7.4 Vaihtoehto 3

Tässä ratkaisussa kaikki laitteet kolakuljettimen ja kalsinaattorin välillä vaihdetaan. Kuvassa 51 on esitetty uudet laitteet violetilla.



Kuva 51. Vaihtoehto 3

### 7.4.1 Punnitseva syötin

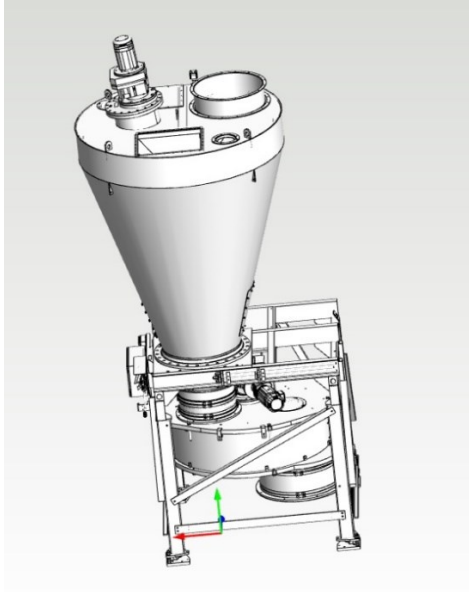
Ensimmäinen uusi kuljetin on lyhyt hinnakuljetin. Tämä tarvitaan, jotta laitteisto saadaan etäämmäksi syklonitornin tukirakenteen diagonaalista.

Punnitseva syötin sisältää säiliön ja syöttimen, joka on vaakatasossa oleva sulkusyötin. Säiliössä on moottorilla varustettu möyhennin.

Syöttimen roottori punnitaan, jolla määräytyy syöttömäärä. Lisäksi koko laitteisto seisoo vaaka-antureiden päällä, joita käytetään laitteiston kalibroimiseen.

Säiliön koko on 5,5 m<sup>3</sup> ja seinämät ovat jyrkät.

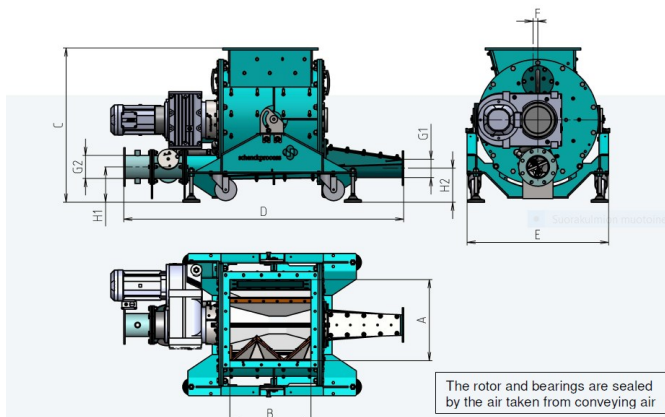
Syöttömäärää voidaan säätää 1:10 suhteeseen. Laitteiston tarkkuudeksi ilmoitetaan  $\pm 1$  %.



Kuva 52. Punnitseva syötin 3D-malli

#### 7.4.2 Läpipuhaltava sulkusyötin, puhallin ja kuljetusputki kalsinaattoriin

Läpipuhaltavan sulkusyöttimen tekniikka kerrottiin aikaisemmin kohdassa 5.8:ssa. Kuva 53 esittää SRF:lle soveltuvaa läpipuhaltavaa sulkusyötintä. Laitteen korkeus on 1,2–1,5 metriä riippuen kapasiteetista.



Kuva 53. Läpipuhaltavan sulkusyöttimen päämittakuva



Puhaltimena käytetään roottoripuhallinta, joka kehittää noin 2 baarin paineen. Putkilinjan koko on DN150. Putkilinja pyritään tekemään täysin suoraksi ilman yhtään käyrää. Jos käyriä kuitenkin tarvitaan, niiden on oltava vahvistettuja sulabasaltilla tai alumiinioksidilla. Käyrän jälkeen pitää olla metrin pituinen vahvistettu häntäosa.

#### 7.4.3 Vaihtoehto 3 yhteenveto

Tämän ratkaisun etuna on kuljetuslinjan investoinnin hinta. Lisäksi laitteet ovat sangen yksinkertaisia ja niitä on vähän. Laitteet voidaan sijoittaa olemassa olevan betonitason päälle, ja uusia teräsrakenteita vaaditaan vähän. Punnitseva syötin on tunnetun laitetoimittajan valmistama.

Ratkaisun huonot puolet:

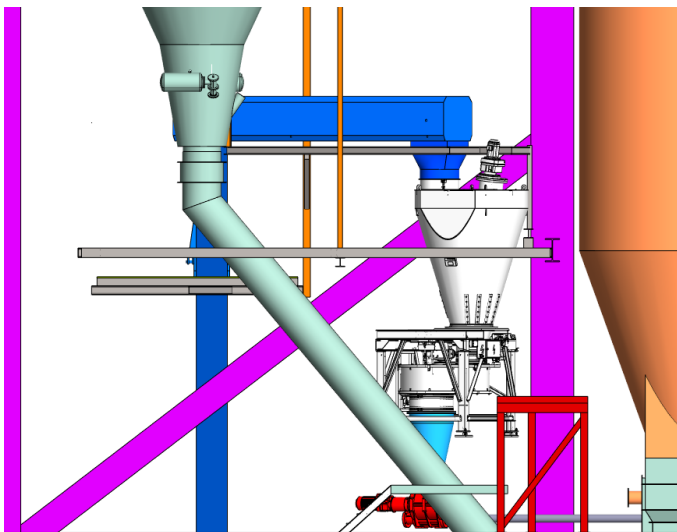
Nykyinen SRF ei sovellu, koska siinä on liian isoja kappaleita joukossa. Ennen syöttölaitteistoja SRF pitäisi käsitellä hienommaksi. Tämä vaatisi uusien laitteiden sijoittamista SRF-laitokseen.

Ylimääräisen kylmän ilman puhaltaminen kalsinaattoriin huonontaa kalsinaattorin hyötysuhdetta.

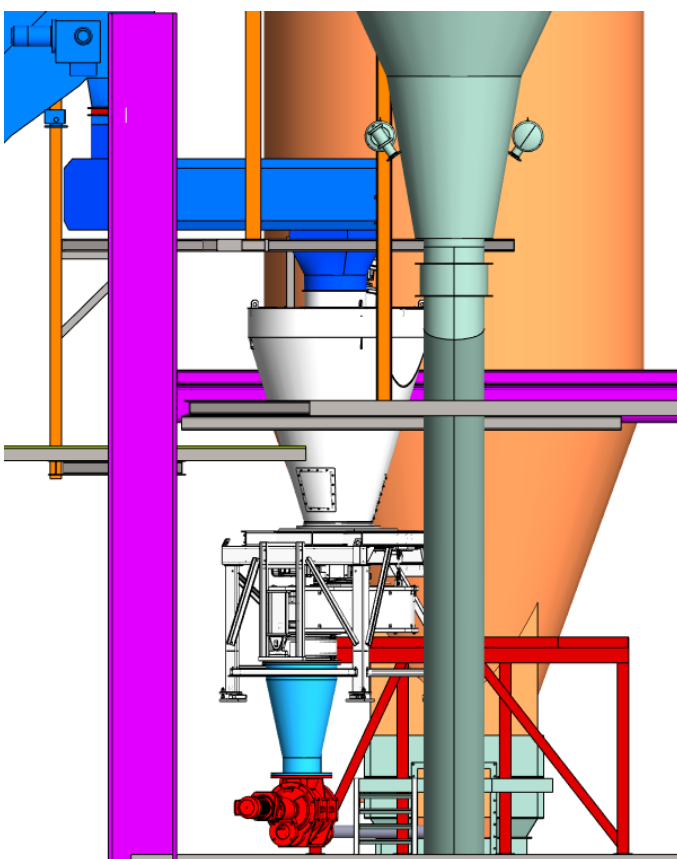
SRF:n puhaltaminen sisään kalsinaattoriin voi aiheuttaa ongelmia sisäpuoliselle vuoraukselle. Tätä voitaisiin vähentää alentamalla SRF:n kuljetusnopeutta ennen kalsinaattoria, joka toteutettaisiin suurentamalla putkilinjan viimeisen osan kokoa.

Puhaltimen sähköenergian tarve on suuri. Toisaalta tällöin ei tarvittaisi nykyisiä painetykkeitä, jotka vievät energiaa.

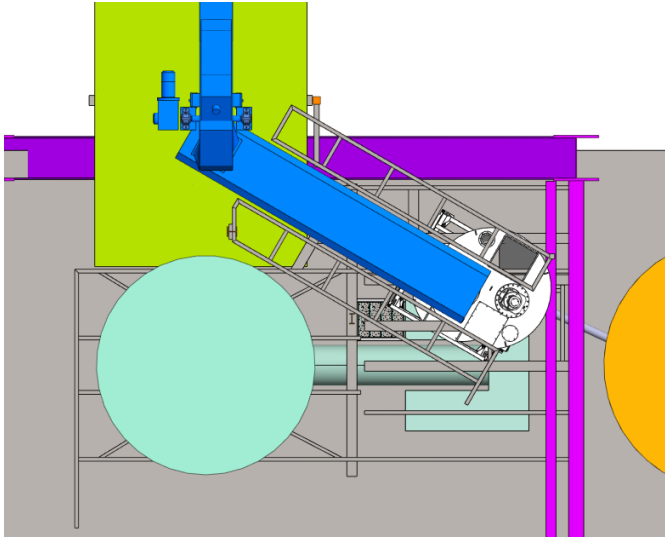
Kuvista 54, 55 ja 56 selviää laitteiston kokonaissijoitus.



Kuva 54. Vaihtoehto 3 raakamyllyn suunnalta



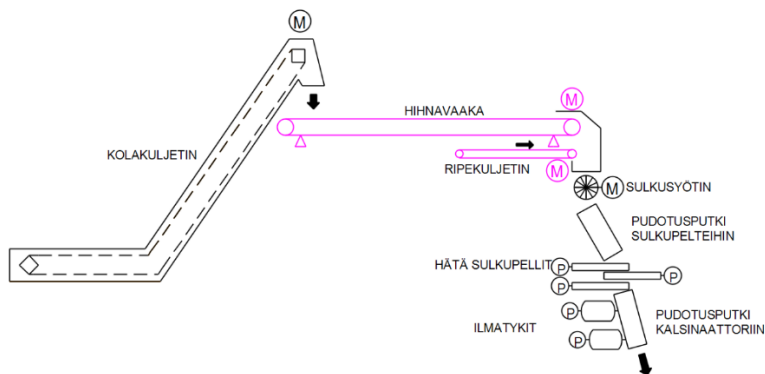
Kuva 55. Vaihtoehto 3 avolouhoksen suunnalta



Kuva 56. Vaihtoehto 3 ylhäältä

#### 7.5 Vaihtoehto 4

Tässä ratkaisussa nykyinen ripakuljetin ja säiliö poistetaan. Uusi hihnavaaka olisi pidempi. Kuvassa 57 on esitetty uudet laitteet violetilla.



Kuva 57. Vaihtoehto 4

##### 7.5.1 Hihnavaaka

Vaikka nykyinen hihnavaaka on toiminut luotettavasti, se joudutaan vaihtamaan pidempään. Myös uusi ripekuljetin tarvitaan.

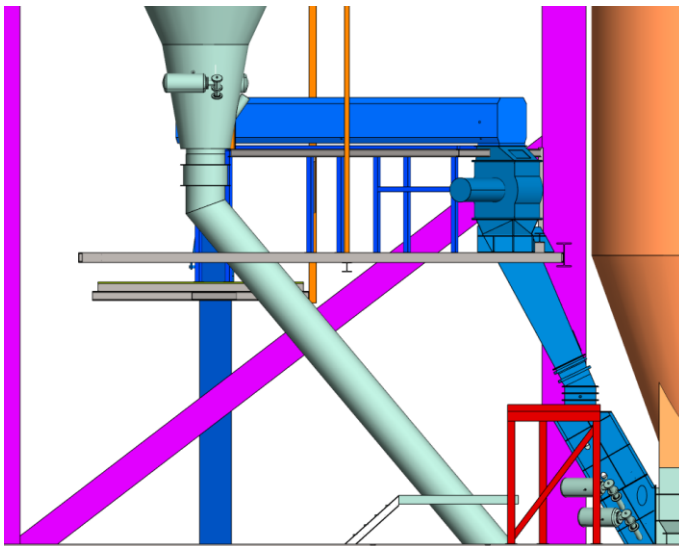
### 7.5.2 Vaihtoehto 4 yhteenveto

Tässä ratkaisussa tukirakenteet jäävät entiselleen. Hihnavaa'an hoitotasoa tarvitsee pidentää. Tämä ratkaisu parantaa linjan alkupäätä, mutta loppupään ongelmat jäävät entiselleen.

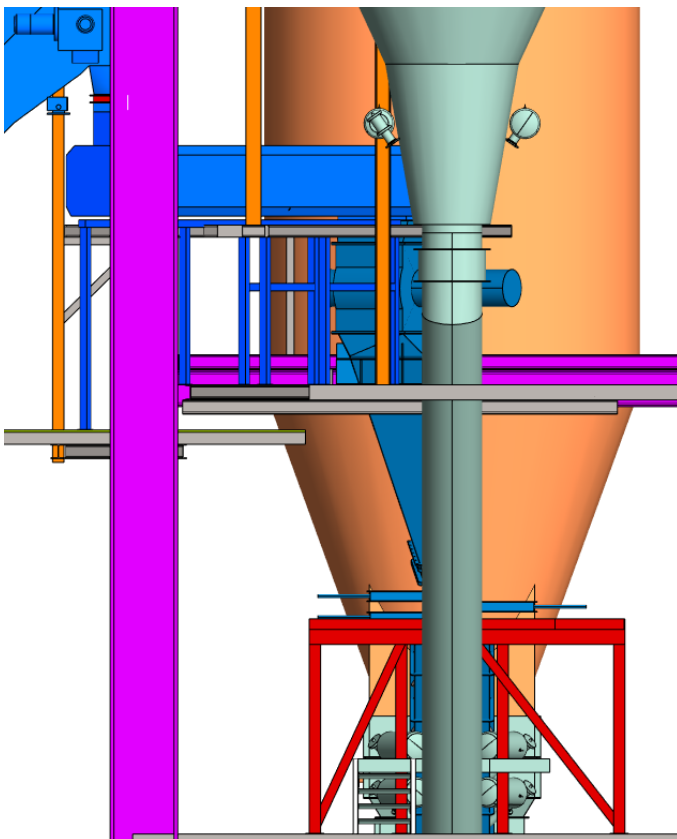
Hihnavaa'an laitetoimittajia on paljon, myös kotimaisia. Kotimaisen laitetoimittajan kanssa toimiminen on helpompaa, koska he voivat helpommin tutustua asennuspaikkaan.

Huonona puolena on, että kolakuljetin purkaa materiaalin suoraan hihnavaa'an päälle, jolloin käytännössä mitään varastosäiliötä ei ole.

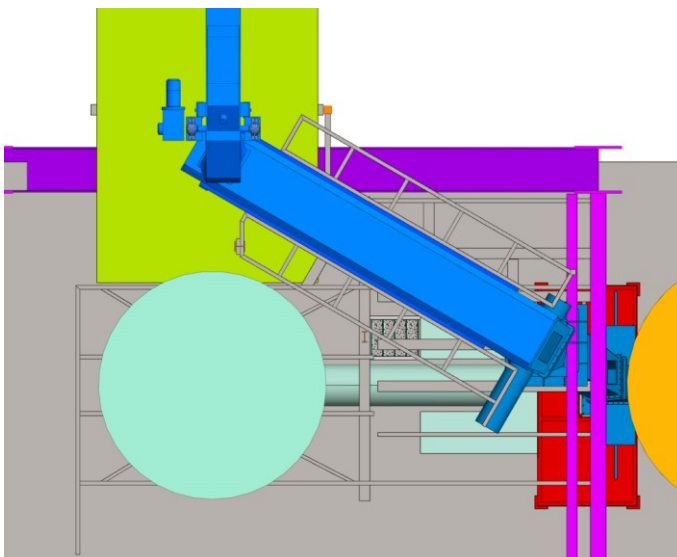
Kuvista 58, 59 ja 60 selviää laitteiston kokonaissijoitus.



Kuva 58. Vaihtoehto 4 raakamylyn suunnalta



Kuva 59. Vaihtoehto 4 avolouhoksen suunnalta



Kuva 60. Vaihtoehto 4 ylhäältä

## 8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kerätä yhteen aiemmin tehdyn suunnittelun ratkaisut SRF:n syöttölaitteiston parantamiseen. Mitään vaihtoehtojen välistä tarkempaa kustannuslaskentaa ei tehty tässä vaiheessa.

Suunnittelua aloitettaessa oli tiedossa, että olemassa olevalle syöttölaitteistolle on tehtävä parannuksia. Mitään varsinaista selvää etenemislinjaa ei ollut. Ratkaisut ja niiden toteuttamiskelpoisuus tulivat esille suunnittelun etenemisen myötä.

SRF on yleisnimitys polttokelpoiselle jätteelle. SRF:n ominaisuudet vaihtelevat paljon alueesta tai valmistajasta riippuen. Tämän takia käyttöhenkilökunnan ja laitetoimittajien mielipiteet eroavat usein toisistaan.

Suunnittelun edetessä löydettiin neljä erilaista toteutusvaihtoehtoa. Näillä jokaisella oli hyvät ja huonot puolensa. Pelkkä syöttölaitteiston uusiminen ei kuitenkaan ratkaise kaikkia ongelmia. SRF:n käsittelyä pitäisi parantaa jo ennen syöttölaitteistoja, joko jäteasemalla tai SRF-laitoksella.

Tutkitut vaihtoehdot antoivat paljon tietoa ja näkemystä, miten syöttöprosessia kannattaa kehittää. Nykyisen syöttölaitteiston suurin ongelmakohta ratkaistaisiin vaihtoehdolla 4. Vaihtoehto 4 olisi myös kustannuksena maltillinen uusien laitteiden hinnan ja vaihtotyössä tarvittavan asennusajan suhteen. Myöhemmin voitaisiin parantaa syöttölaitteiston loppuosaa ja SRF-laitosta.

Projekti odottaa edelleen toteuttamista, joten uusiakin ratkaisuja voi vielä tulla esiin. Joka tapauksessa jonkinlaisia korjauksia ja parannuksia syöttölaitteistoon tullaan tekemään lähitulevaisuudessa.

## Lähteet

Bridgestone Pipe Conveyor Belt. Viitattu 21.2.2023

[https://www.bridgestone.com/products/diversified/conveyorbelt/products/pipe\\_conveyor\\_belt.html](https://www.bridgestone.com/products/diversified/conveyorbelt/products/pipe_conveyor_belt.html)

Crosswrap 2022. Surviving the energy crisis. Viitattu 15.11.2022

<https://crosswrap.com/surviving-the-energy-crisis/>

Finnsementti 2014. Lappeenrantaan huippu-uuni. Viitattu 28.10.2022

<https://finnsementti.fi/yritys/historia/lappeenrantaan-huippu-uuni/>

Finnsementti 2014a. Suomalaista sementtiä 100 vuotta. Viitattu 28.10.2022

<https://finnsementti.fi/yritys/historia/>

Finnsementti 2014b. Toimipaikat. Viitattu 28.10.2022

<https://finnsementti.fi/yritys/toimipaikat/>

Finnsementti 2021. Finnsementin ympäristöraportti 2021. Viitattu 20.7.2022

<https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/Ymparistoraportti-Finnsementti-2022-1.pdf>

Gcp 2020. Using alternative fuels in cement production. Viitattu 28.10.2022

<https://gcpat.com/en/about/news/blog/using-alternative-fuels-cement-production>

Koivisto, K. 2017 Kuljetintekniikka. Helsinki: Bod-Books on Demand. Viitattu 28.11.2022

Kuusinen, T. 2021. Waste to energy – How to produce good quality solid recovered fuel from waste. Viitattu 28.10.2022 [https://lsta.lt/files/events/2061-04-19\\_LITBIOMA/28\\_Kuusinen\\_Teemu\\_webb\\_NBB16.pdf](https://lsta.lt/files/events/2061-04-19_LITBIOMA/28_Kuusinen_Teemu_webb_NBB16.pdf)

LOW-TECH MAGAZINE 2011. Aerial ropeways: automatic cargo transport for a bargain. Viitattu 20.1.2023 <https://www.lowtechmagazine.com/2011/01/aerial-ropeways-automatic-cargo-transport.html>

Moving Floor Handling system. 2016. Viitattu 20.1.2023

<https://www.youtube.com/watch?v=fpK5ba9TprY>

Pihkala, J. 2011. Prosessitekniikka: prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. Opetushallitus. Viitattu 9.1.2023

Pneumat 2021. Alternative Fuels In Cement Production: Challenges And Solutions. Viitattu 28.10.2022

<https://pneumat.com/cement-production-challenges-solutions/>

Suhonen, E. 2023. Haastattelu. Lappeenrannan sementtitehtaan prosessi-insinööri Esa Suhosta haastatteli 21.2.2023 opinnäytetyön tekijä Markus Kankare.

Tärylaite Oy, Tärykuljetin. Viitattu 20.1.2023

<https://tarylaite.fi/tuotteet/tarykuljetin/>

VDZ 2016. Course LB 3.0 – Rotary Kiln Plants. Viitattu 9.1.2023

<https://www.vdz-online.de/en>

VHV – Double belt conveyor / Doppelgurtförderer. 2019. Viitattu 20.1.2023

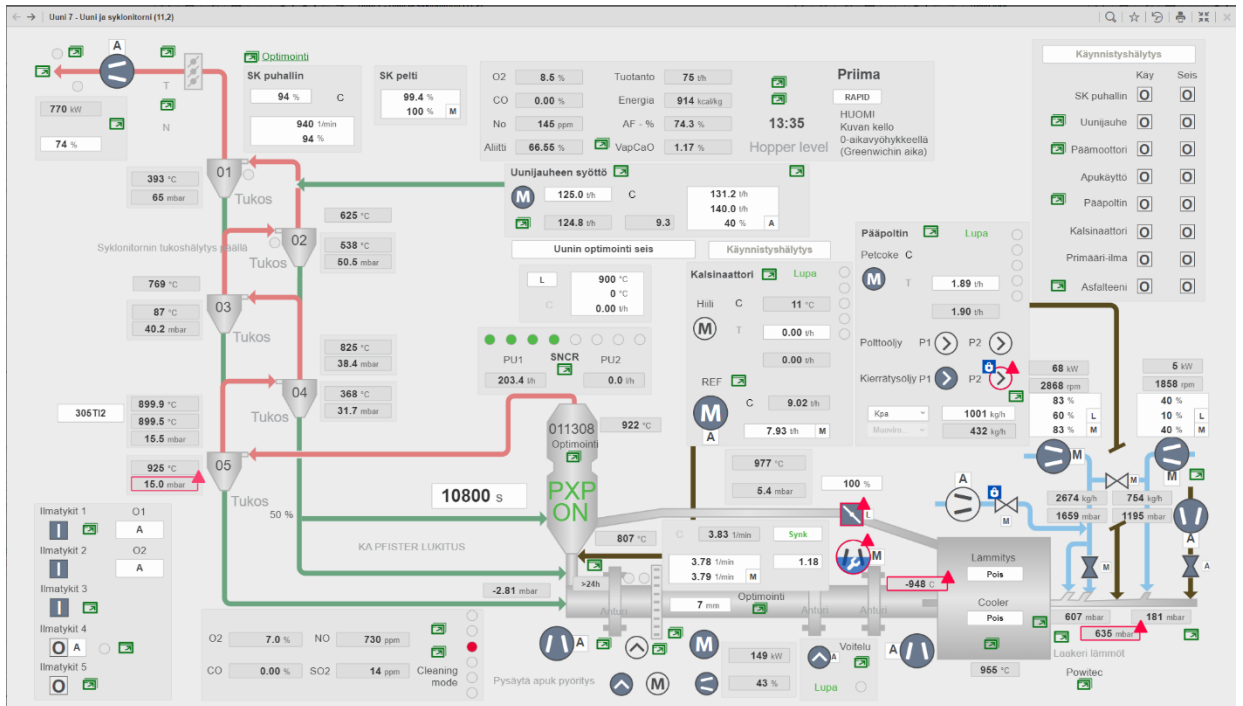
<https://www.youtube.com/watch?v=OjEIUE26BA0>

VTT 2007. Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö. Viitattu 28.10.2022

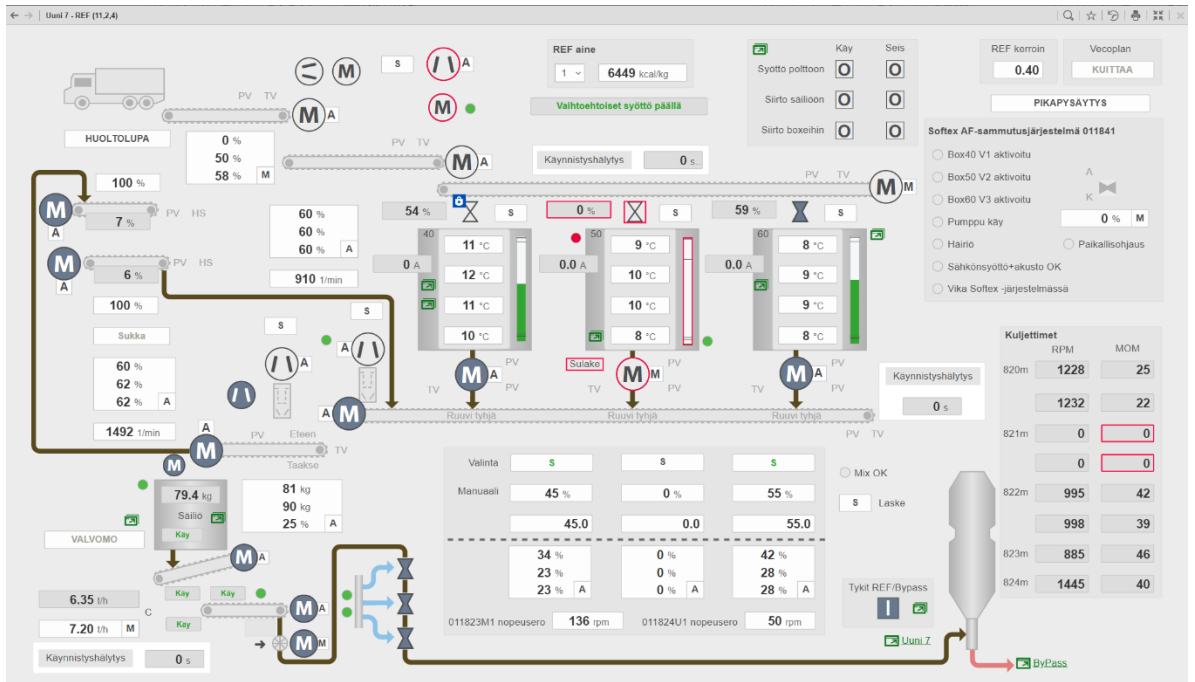
<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2007/T2416.pdf>



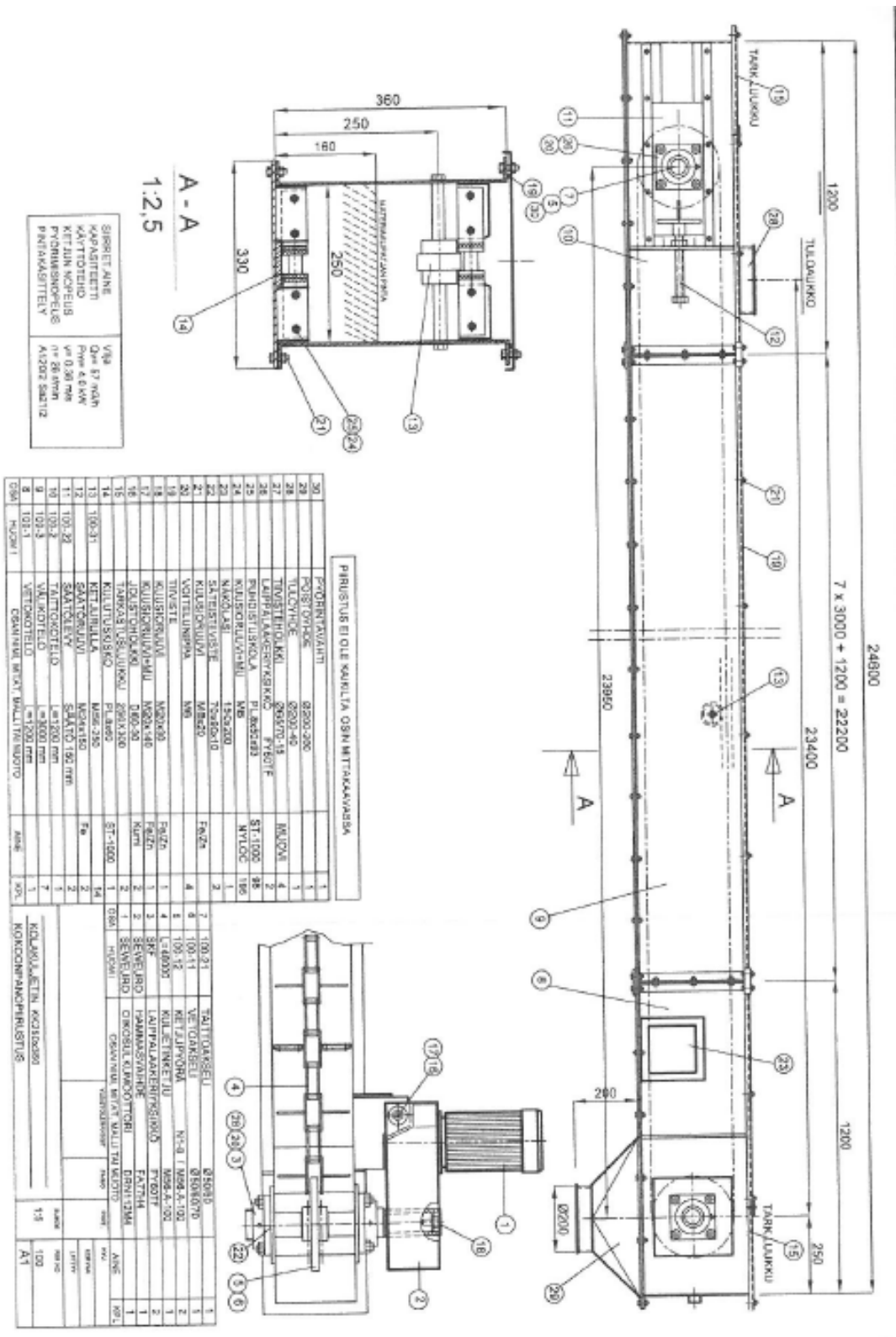
# Liite 1



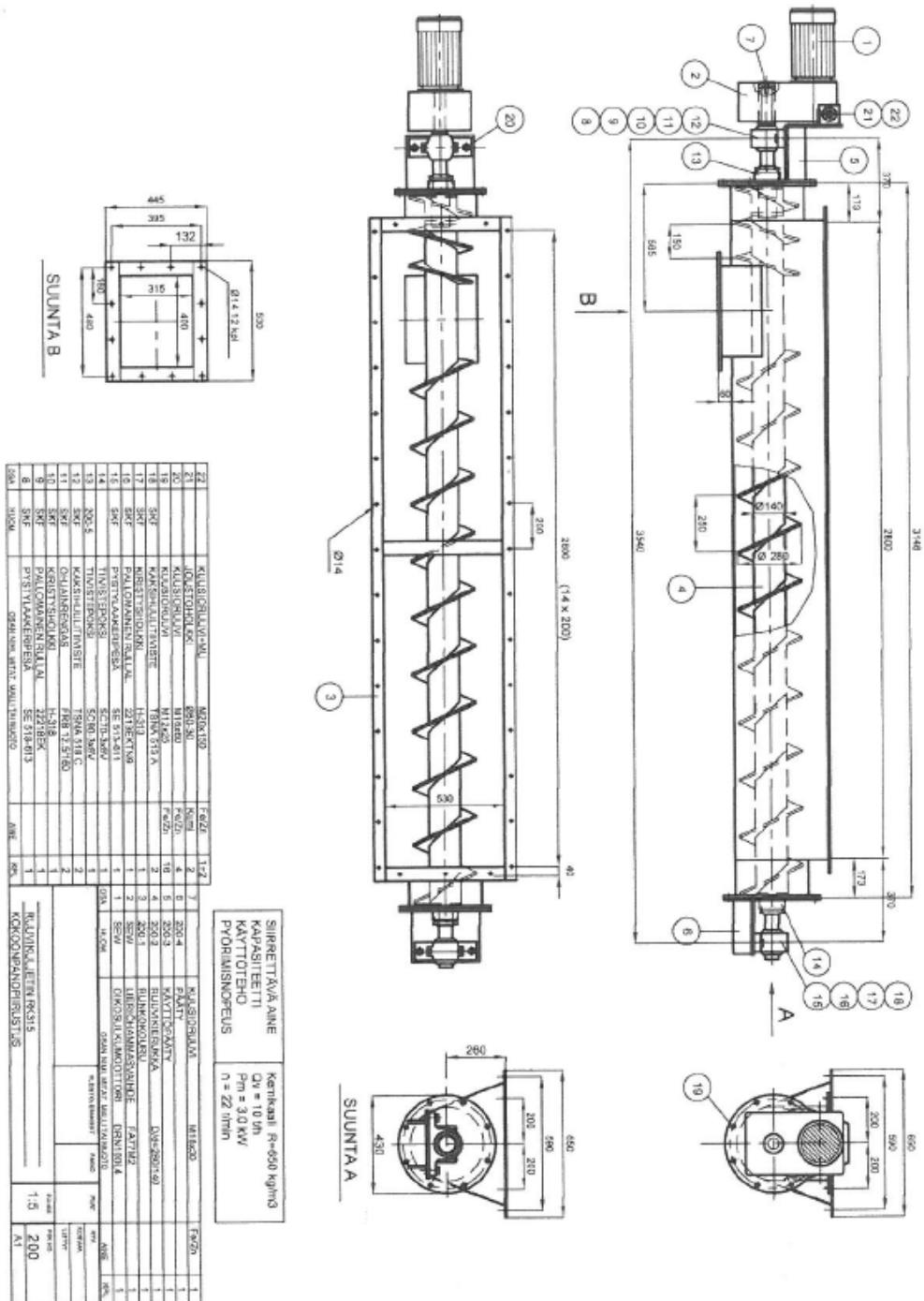
## Liite 2



Liite 3



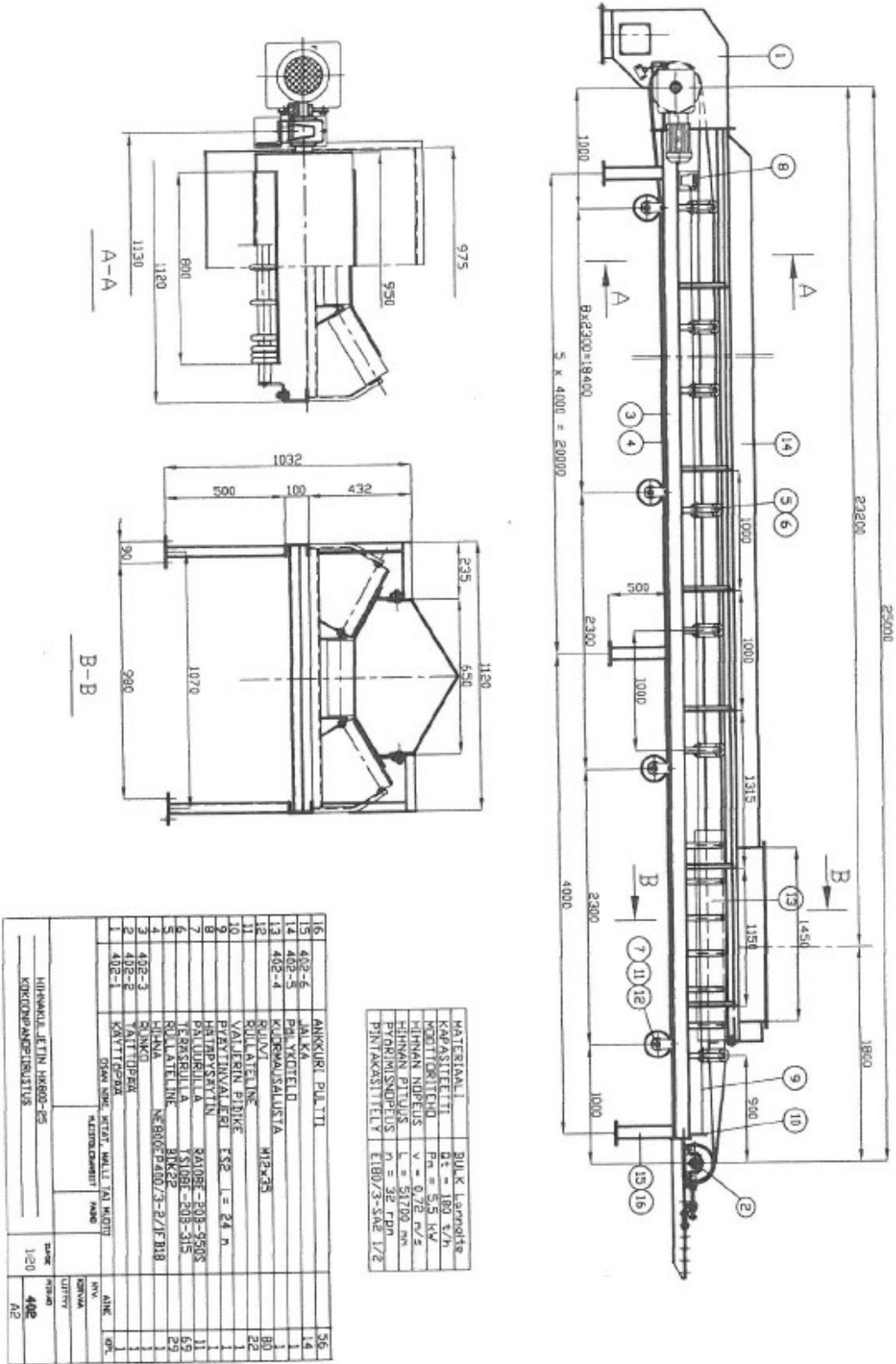
Liite 4



Nro	Mittaus	Osan nimi	Määrä	Osan kuvaus	Osittainen paino	Kokonaispaino
22	KLUSISUUNTA-A	MOTORI	1-2			
21	KLUSISUUNTA-B	MOTORI	2			
20	KLUSISUUNTA	MOTORI	4			
19	KUUSIKORU	MOTORI	6			
18	KUUSIKORU	MOTORI	4			
17	KUUSIKORU	MOTORI	2			
16	KUUSIKORU	MOTORI	1			
15	KUUSIKORU	MOTORI	2			
14	KUUSIKORU	MOTORI	1			
13	KUUSIKORU	MOTORI	2			
12	KUUSIKORU	MOTORI	2			
11	KUUSIKORU	MOTORI	1			
10	KUUSIKORU	MOTORI	1			
9	KUUSIKORU	MOTORI	1			
8	KUUSIKORU	MOTORI	1			

SIRETTÄVÄ AINE  
 KAPASITEETTI  
 MAHTIVOIMAKUVA  
 PÄÄVOIMA  
 P = 3,0 kW  
 n = 22 1/min

Liite 5



Liite 6

