



Ollipekka Heikkilä

Väljän toisiopäällysteisen kuituputken jäähdytysprosessi tuotantolinjassa OFC 40

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

2.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Ollipekka Heikkilä
Otsikko:	Insinööriyön otsikko
Sivumäärä:	34 sivua + 1 liite
Aika:	2.5.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine:	Koneensuunnittelu
Ohjaajat:	Yliopettaja Pekka Salonen Tuotepäällikkö Toni Seppelin Tuoteinsinööri Petri Nieminen

Insinööriyö toteutettiin Rosendahl Nextrom Oy:lle, joka on maailman johtava optisten kuitujen ja valoakaapeleiden tuotantotekniikoiden toimittaja. Insinööriyön aiheena oli perehtyä tuotantolinjan OFC 40 jäähdytysjärjestelmän toimintaan. Tuotantolinja toimii ekstruusiosprosessilla, jossa sulan muoviputken sisään asetetaan valokuituja. Tämän jälkeen muovipäällysteinen kuituputki on jäähdytettävä jäähdytysjärjestelmän avulla ympäröivän huoneilman kanssa samaan lämpötilaan.

Tavoitteena oli selvittää, miten jäähdytysjärjestelmän läpi kulkevasta kuituputkesta saataisiin mitattua lämpötila prosessin aikana, tutkia parempaa kuivausjärjestelmää kuituputken kuivaamiseen ja testata sumujäähdytyksen tehokkuutta perinteiseen vesikourujäähdytykseen verrattuna.

Työssä todettiin lämpökameran olevan paras ratkaisu lämpötilan mittaamiseen nopeasti liikkuvasta kuituputkesta. Lämpökameran toimivuuden varmistamiseksi, sitä testattiin testilinjalla Vantaalla. Lämpökameralla saatiin toistettavia mittauksia, kun ylimääräinen vesi oli poistettu. Lämpökameran mittauksista saatiin koostettua kuituputken lämpöprofiili tietyillä parametreilla.

Lämpökameraa hyödyntäen pystyttiin testaamaan mahdollinen uusi jäähdytystapa. Perinteisesti kuituputkea jäähdytetään aluksi vesikouruosuudella. Vesikouruosuuden tilalla haluttiin testata kuituputken jäähdyttämistä vesisumulla. Testien perusteella jäähdytystapa todettiin heikoksi, ellei kuituputkea laiteta taittopyörillä kulkemaan sumun läpi montaa kertaa.

Jäähdytysjärjestelmän jälkeen kuituputki on kuivattava vesipisaroista. Kuivaukseen haettiin uutta ratkaisua, joka olisi kustannustehokkaampi ja hiljaisempi, kuin nykyinen ratkaisu. Nykyisessä ratkaisussa kuituputkea kuivataan kovaäänisillä paineilma-kuivaimilla, joiden kuivausteho ei ole hyvä. Kuivauksessa testattiin vaihtoehtoista paineilma-kuivausta, mutta se todettiin varsin tehottomaksi.

Avainsanat: valokuitu, ekstruusio, OFC 40, loose tube, jäähdytys, kaapeli, kuituputki

Abstract

Author: Ollipekka Heikkilä
Title: Cooling of Secondary Coated Loose Tube in the Production Line OFC 40
Number of Pages: 34 pages + 1 appendix
Date: 2 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Professional Major Machine Design
Supervisors: Pekka Salonen, Principal Lecturer
Toni Seppelin, Product Manager, Fiber Optic Cable
Petri Nieminen, Product Engineer, Fiber Optic Cable

This thesis was made for Rosendahl Nextrom Oy, which is a global leader in optical fiber manufacturing solutions. The subject of this thesis was to familiarize with the cooling system of the loose tube production line OFC 40. The production line is based on an extrusion process, where optical fibers are inserted inside the molten plastic, called loose tube. The loose tube must be cooled down to ambient temperature with the cooling system.

The objectives of this thesis were to find out if the temperature can be measured from the hot loose tube inside the cooling system, research a better cable dryer and to test the effectivity of spray cooling compared to the traditional submersible water cooling.

It was discovered that the best solution for the temperature measurements from the fast-moving loose tube cable is a thermal image camera. To ensure, that the camera is working as intended, it was tested on the production test line in Vantaa. Thermal imaging camera gave repeatable measurements after the excess water was removed from the loose tube cable. Thermal profile of the selected parameters was created from the results.

With the thermal imaging camera, a possible new cooling method with water spray was tested. Traditionally the loose tube cable is cooled in submersible water, but in these tests the submersible water section was replaced with a water spray cooling system. Based on the tests, the cooling effectiveness was discovered to be worse than in traditional cooling unless the cable is run with multiple loops inside the spray cooling.

The loose tube cable must be dried from the cooling water after the cooling system. Different cooling methods were examined to find a better efficiency of cooling. Current system works with compressed air. An alternative compressed air dryer was tested but it was confirmed to have poor drying performance.

Keywords: Loose tube, OFC 40, extrusion, cooling, fiber optic cable

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yritys	1
3	Valokuitukaapelin teoria	3
3.1	Valokuitu	3
3.2	Valokuitutyypit	4
3.2.1	Yksimuotokuitu	5
3.2.2	Monimuotokuitu	5
3.2.3	Vuorosuuntainen ja kaksisuuntainen yhteys	6
3.2.4	Suurin sallittu tulokulma	6
3.3	Yleisimmät valokuitukaapelityypit	6
3.3.1	Kerrattu väljä putki	8
3.3.2	Tiukkapuskuroitu kaapeli	9
3.4	Vahvisteet ja muut lisärakenteet	10
3.4.1	Paloturvallisuus	11
3.5	Vaimentuminen	12
3.6	Kaistanleveys	12
4	Tuotantolinja OFC 40	13
4.1	Jäähdytysjärjestelmä	15
4.2	Vetolaitteet	18
5	Lämpötilan mittaus	19
5.1	Infrapunakameran testit	20
5.2	Testikokoonpano	20
5.3	Testien tulokset	22
6	Jäähdytystehon vertailu	24
6.1	Testikokoonpano	24
6.2	Tulokset	26
7	Kuituputken kuivaus	27

7.1	Kuivauksen ongelmat	27
7.2	Kuivauksen ratkaisuehdotukset	29
7.3	Testit ja tulokset	29
8	Yhteenveto	32
	Lähteet	33
9	Lähdeluettelo	33
	Liitteet	
	Liite 1: Esimerkkikokoonpano tuotantolinjasta OFC 40.	

Lyhenteet

CS4	Cooling System 4. Ekstruusioprosessin jälkeinen jäähdytysjärjestelmä.
DWC	Dual Wheel Capstan. Kuituputken päävetolaite.
EKP	Erikoiskaksoispuolaaja. Automaattinen puolaaja, joka pystyy vaihtamaan kelaa saumattomasti ilman tuotantolinjan alasajoa.
KAP	Kevyt aukipuolaaja. Valokuidun aukipuolaaja.
NEC	Nextrom Exit Capstan. Vetolaite.
NTA	Nextrom teipin aukipuolaaja. Aukipuolaa vedenestonauhaa "teippiä".
NYP	Nextrom Yarn Payoff. Vedenestolangan aukipuolaaja.
RAP	Raskas aukipuolaaja. Aukipuolaa valokuitua ja lisävahvisteita.
ROEX	Rosendahl Extruder. Ekstruusiopuristin.
SCC	Shrinkage Control Capstan. Hallitsee valokuidun pituutta suhteessa sitä ympäröivään päällysteeseen.

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö keskittyy valokuitukaapelin ja sen osakokonaisuuksien valmistamiseen valokuidusta, sekä vahvistusaineista. Opinnäytetyö on tehty Rosendahl Nextrom Oy:lle, jonka toimitilat sijaitsevat Vantaalla. Tässä työssä perehdytään erityisesti väljän toisiopäällysteisen valokuituputken jäähdytysjärjestelmään ja sen vaikutukseen valmiissa tuotteessa.

Rosendahl Nextrom Oy toimittaa valokuitukaapelin valmistuksessa käytettävän tuotantolinjan OFC 40, jossa jäähdytysjärjestelmänä toimii CS4. Tämä tuotantolinja tuottaa toisiopäällysteistä väljää valokuituputkea, jota käytetään yhtenä valmiin valokuitukaapelin rakenteena.

Tavoitteena oli perehtyä jäähdytysjärjestelmän toimintaan ja selvittää, miten valmis kuituputki saataisiin kuivattua tehokkaammin vedestä jäähdytyksen jälkeen. Toisena tavoitteena oli löytää ratkaisu, miten nopeasti liikkuvasta kuituputkesta saataisiin mitattua lämpötilaa jäähdytysjärjestelmässä. Toimivasta lämpötilan mittauksesta saataisiin merkittävä hyöty prosessin kehittämässä. Lisäksi tavoitteena tällä opinnäytetyöllä oli selvittää mahdollista eroa kuituputken jäähtymisessä, kun verrataan vesikouru- ja sumujäähdytystä ekstruusioprosessin jälkeen.

2 Yritys

Tämä opinnäytetyö toteutettiin Rosendahl Nextrom Oy:lle, joka on maailman johtava optisten kuitujen ja valokaapeleiden tuotantotekniikoiden toimittaja. Rosendahl Nextrom Oy:n ydinosamista ovat ”ratkaisut optiseen lasinvalmistukseen, kuidunvetoon, kuidun jälkikäsitteilyihin ja valokaapelien valmistukseen.” Rosendahl Nextrom Oy:llä (kuva 1) on Suomessa noin 150 työntekijää ja sen päätoimipiste sijaitsee Vantaalla. Vantaalla on samassa toimipisteessä valmistettavien laitteiden suunnittelu sekä kokoonpano. Laitteiden valmistettavat osia toimittavat useat eri toimittajat, Rosendahl Nextrom Oy:llä ei ole omaa

osavalmistusta. Vantaalla sijaitsevat suunnittelun ja kokoonpanon lisäksi tuotekehitystilat, joissa on mahdollista tehdä tuotekehitystä, testausta sekä kouluttaa asiakkaita.



Kuva 1. Rosendahl Nextrom Oy:n logo.

Rosendahl Nextrom Oy:n omistaa itävaltalainen Knill Gruppe, joka on perheomistuksessa. Knill Gruppe keskittyy kahteen osa-alueeseen, energiaan ja teknologiaan. Sillä on yhteensä yli 2200 työntekijää maailmanlaajuisesti.

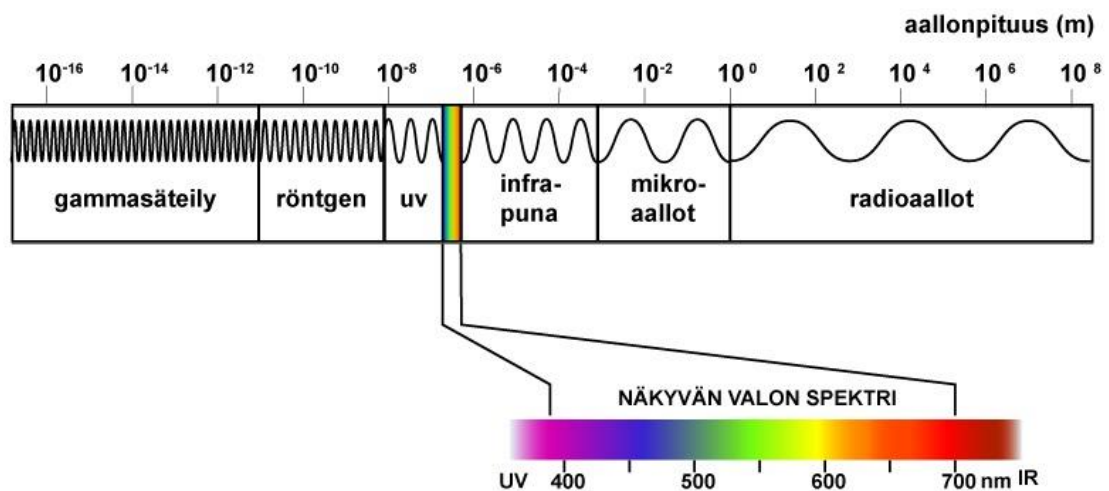
Rosendahl Nextrom Oy:llä on pitkä historia Suomessa, ja se alkaa jo vuodesta 1967, jolloin Nokia perusti kaapelin ja -koneiden valmistukseen keskittyvän yksikön. Vuonna 1987 Nokian kaapeliyksikkö ja Mallefer yhdistyivät ja yritys uudelleen nimettiin vuonna 1998 Nextromiksi. Vuonna 2001 eriytettiin kuparikaapeli-toiminta Malleferille ja Nextrom jatkoi valokuitukehitystä. Vuodesta 2005 alkaen Nextrom on kuulunut Knill Gruppiin ja on sittemmin uudelleen nimetty Rosendahl Nextromiksi.

3 Valokuitukaapelin teoria

3.1 Valokuitu

Valokuitukaapeli (Fiber Optic Cable) koostuu yhdestä tai useammasta valokuidusta, joita voi olla samassa kaapelissa yhteensä jopa useampi sata kappaletta, riippuen kaapelin asennuspaikasta ja käyttötarkoituksesta. Valokuitukaapelia voidaan käyttää pitkän matkan televiestinnässä tai nopeassa tietoliikenneyhteydessä. (Hoffrén, 2019.)

Valokuidut välittävät valoa, joka on sähkömagneettista säteilyä. Näkyvän valon aallonpituus on noin 400–700 nm, joka on vain pieni osa sähkömagneettisen säteilyn spektriä (kuva 2). Televiestinnässä käytetäänkin infrapunavaloa, jotta saadaan pidempi aallonpituus. Pidemmällä aallonpituudella saavutetaan pienemmät häviöt. Eniten käytetyt aallonpituudet valokuiduissa ovat noin 850 nm, 1300 nm, 1550 nm ja 1625 nm. (Hoffrén, 2019.)



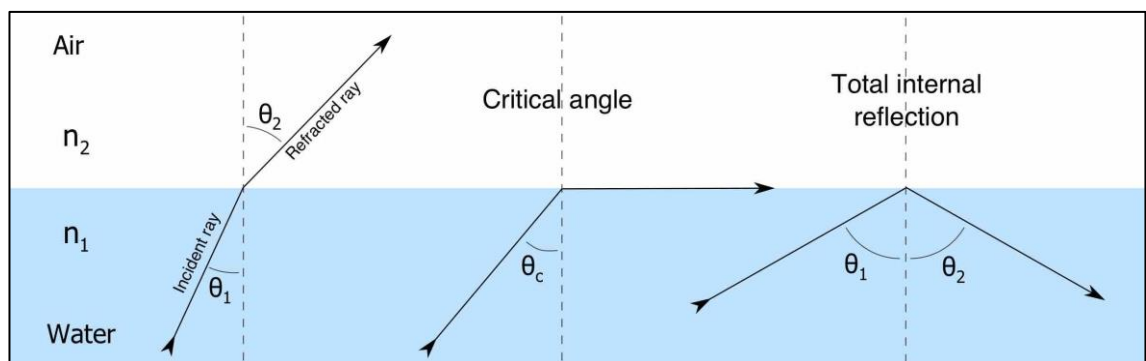
Kuva 2. Sähkömagneettinen säteily (Peda.net, 2022).

Yleinen oletus on, että valo kulkee aina samalla nopeudella (tyhjiössä $2,998 \cdot 10^8$ m/s), mutta se ei kuitenkaan pidä paikkaansa. Valo kulkee eri nopeudella eri väliaineissa. Valon kulkeminen valokuidun sisällä perustuu

kokonaisheijastumiseen (kuva 3). Snellin laki (kaava 1) kuvaa valon taittumista kahden eri aineen rajapinnalla.

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

Valonsäteen kokonaisheijastuminen tapahtuu sen tullessa optisesti tiheämmästä (n_1) optisesti harvempaan aineeseen (n_2). Kokonaisheijastuminen tapahtuu tulokulman ollessa kriittistä kulmaa suurempi. Kun tulokulma θ_1 on suurempi, kuin kriittinen kulma θ_c , tapahtuu kokonaisheijastuminen. Kokonaisheijastuminen tapahtuu täten joka kerta rajapinnassa valokuidun loppuun asti.



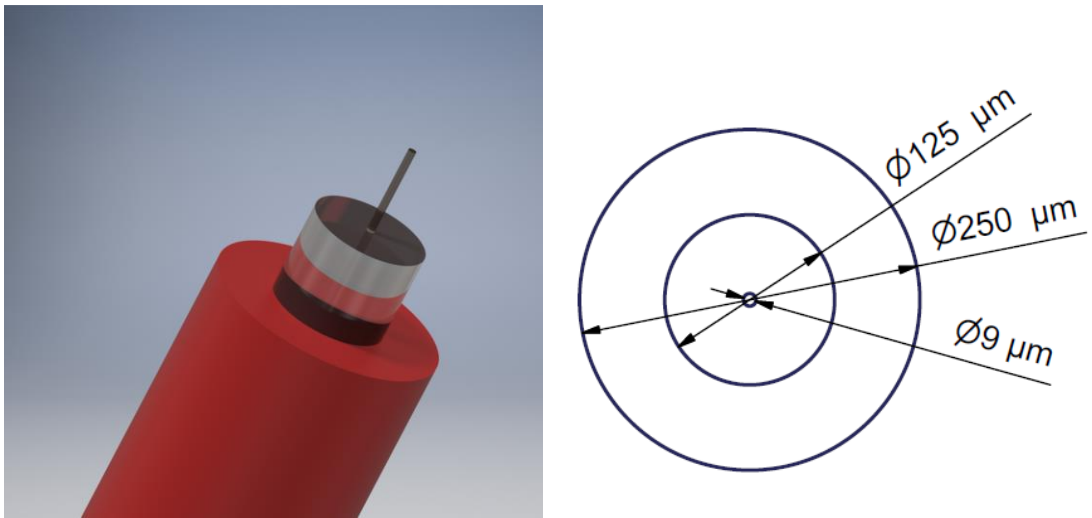
Kuva 3. Valon kokonaisheijastuminen (Hoffrén, 2019).

3.2 Valokuitutyypit

Valokuitukaapelin (kuva 4) kuidussa on ydin (core) ja sitä ympäröi kuori (cladding), jotka molemmat ovat lasia. Ydintä ja päällystettä ympäröi UV-kovetteinen akryylia oleva ensiöpäällyste (primary coating), jonka tehtävä on antaa herkälle kuidulle paremmat mekaaniset ominaisuudet. Akrylaattipäällysteitä voi olla päällekkäin useampi. Päällysteen kanssa kuitua pystytään taivuttamaan huomattavasti pienemmälle säteelle. Mitat riippuvat käyttötarkoituksesta.

3.2.1 Yksimuotokuitu

Ytimen halkaisija on yksimuotokuidussa (singlemode fiber) vain $9\ \mu\text{m}$. Vertailuna ihmisen hiuksen halkaisija on noin $40\text{--}120\ \mu\text{m}$. Ytimen kuoren halkaisija on yksimuotokuidussa yleensä $125\ \mu\text{m}$ ja akryylipäällysteen $250\ \mu\text{m}$. Joskus akryylipäällyste koostuu kahdesta osasta, pehmeämmästä sisemmästä kerroksesta ja kovemmasta ulkokerroksesta.



Kuva 4. Esimerkki yksimuotovalokuidun rakenteesta. Punaisen akrylaattipinnoitteen sisällä on ydin, jonka päällä on vaippa.

3.2.2 Monimuotokuitu

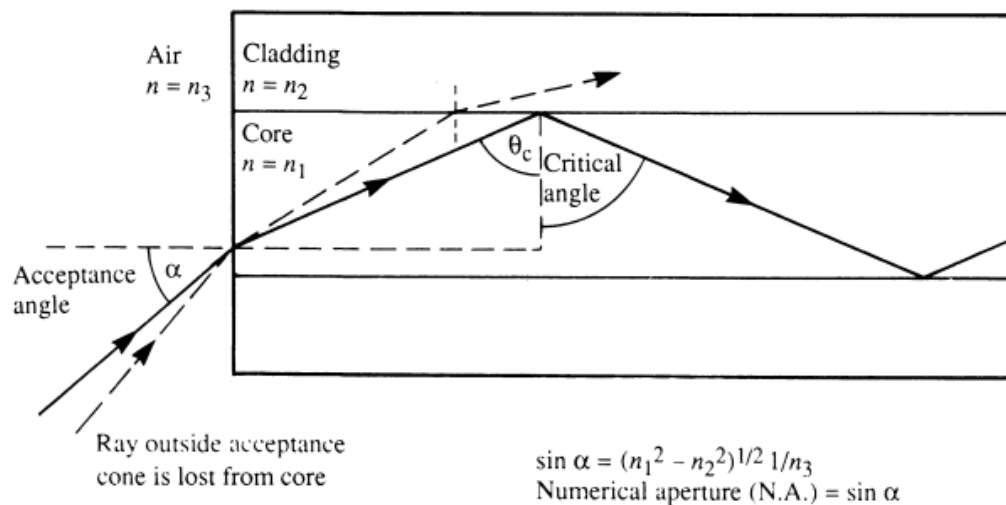
Monimuotokuidussa (multimode fiber) voi jopa useita satoja eri valonsäteitä kokonaisuudessaan ytimen ja vaipan rajapinnalla. Monimuotokuitua ei voi käyttää pitkän etäisyyden käyttökohteissa, sillä sille tapahtuu geometrinen dispersio ja signaali vaimenee. Kun ytimessä liikkuvat useat sadat eri valonsäteet liikkuvat eri kulmissa, osa niistä kulkee pidemmän matkan. Tämän takia valonsäteet saapuvat hieman eri aikaan perille valokuidun toisessa päässä. Monimuotokuiduissa on suurempi ytimen halkaisija, yleensä $50\ \mu\text{m}$. Ytimen halkaisijan ollessa huomattavasti suurempi, kuin yksimuotokuidussa, valokuidulla on suurempi numeerinen aukko. Tällöin valonsäteen lähettäminen valonkuituun helpottuu huomattavasti. (Hoffrén, 2019.)

3.2.3 Vuorosuuntainen ja kaksisuuntainen yhteys

Data voi liikkua valokuidussa joko yhteen suuntaan (simplex), tai molempiin suuntiin (duplex). Molempiin suuntiin tehtävä tietoliikenne voidaan suorittaa joko käyttämällä eri aallonpituuksia samassa valokuidussa tai käyttämällä kahta erillistä valokuitua. (DeCusatis & DeCusatis, 2019, s. 13.)

3.2.4 Suurin sallittu tulokulma

On tärkeää, että kun valonsäde asetetaan kulkemaan kuidussa, sen tulokulma on riittävän pieni. Jos tulokulma on liian suuri, tällöin kokonaisheijastumista ei tapahdu kuidussa. Tätä kutsutaan numeeriseksi aukoksi (numerical aperture). Numeerinen aukko ilmoittaa valon suurimman sallitun tulokulman kuituun (kuva 5).



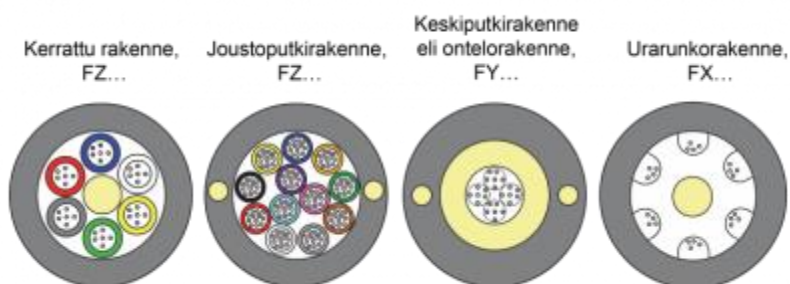
Kuva 5. Numeerinen aukko (Connect, 2010).

3.3 Yleisimmät valokuitukaapelityypit

Valokuitukaapeli voidaan koostaa valokuiduista hyvin monella eri tavalla ja käytännössä jokaiseen käyttökohteeseen löytyy siihen suunniteltuja erikoisvalokuitukaapeleita. Optisen kuidun valmistajat toimittavat ensiöpäällysteisen kuidun, jotka kaapelivalmistajat sijoittavat suojaavan tosiopäällystevaipan sisään

(kutsutaan myös englanninkielisillä termeillä sleeve, buffer tai jacket), joita sijoittamalla toisen suojakuoren sisään syntyy valmis kaapeli. Tämä prosessi on huomattavasti kalliimpi, kuin itse kuidun valmistaminen. Tästä syystä valmistajat jättävät kaapelin sisälle ylimääräisiä kuituja, jotta tulevaisuudessa kapasiteetin nosto onnistuu kustannustehokkaasti. Valokuitukaapelissa kuitua suojaavat toisiopäälysterakenteet voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin, kerrattu väljä putki (loose tube) ja tiukkapuskuroitu kaapeli (tight buffer). Nämä suojatut valokuitu-putket voidaan sijoittaa kaapelin sisälle esimerkiksi kuvan 6 osoittamalla tavalla. (Crisp, 2005, s. 71.)

Ensimmäiset kuituoptyiset yhteydet asennettiin Japanissa ja USA:ssa vuosina 1975 ja 1976. Suomessa valokuitukaapeleiden kehitystyö aloitettiin, kun Rosendahl Nextrom (silloin Nokia Kaapeli) aloitti valokuitukaapeleiden kehitystyön vuonna 1977. Pohjoismaiden ensimmäinen valokuitukaapeliyhteys rakennettiin vuonna 1979 Posti- ja telelaitoksen ja Helsingin Puhelinyhdistyksen toimesta. 1980-luvun puolivälissä valokuitukaapeliverkkojen rakentaminen kasvoi suuresti teleoperaattoreiden ja puolustusvoimien ansiosta. Ensimmäiset valokuitukaapelit tehtiin 6 kappaleen kerrannaisina, mutta 2000-luvulla siirryttiin käyttämään 12 kuidun kerrannaisia. Nykyisin yleisesti käytettävät kuitumäärät ovat 4, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 288, 384 ja 432 kappaletta. Kaapeleiden halkaisijat riippuvat suojarakenteista, mutta esimerkiksi Nestor Cablesin 192-kuituinen mikrokanavakaapeli on ulkohalkaisijaltaan vain reilut 8 mm. (Nestor Cables, 2018.)



Kuva 6. Valokuitukaapeleiden rakennetyyppejä (Nestor Cables, 2018).

3.3.1 Kerrattu väljä putki

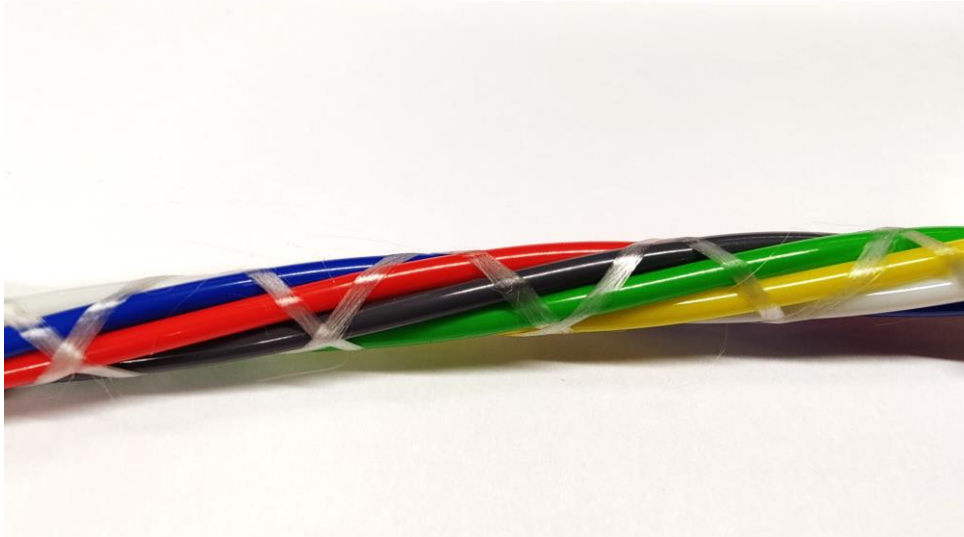
Kerratusta väljästä putkesta (loose tube) koostuvia valokuitukaapeleita käytetään pääsääntöisesti ilma-, hormi- sekä suorissa maanalaisissa asennuksissa. Yksi kerrattu väljä putki sisältää yleensä 1–12 kappaletta kuituja (kuva 7). Erikoistapauksissa jopa valokuituja voi olla jopa 48 kappaletta yhdessä kerratussa väljässä putkessa. Kuidut sijoitetaan polybutyleenitereftalaattista (PBT) tai polypropeenista (PP) valmistetun putken sisälle käyttäen hyödyksi ekstruusiomenetelmää. Ekstruusiomenetelmästä käytetään myös nimitystä suulakepuristus. Kerrattuja väljiä putkia voidaan sitoa yhteen useita kappaleita kertaamalla (kuva 8).

Kuitujen lisäksi kerratun väljän putken sisään sijoitetaan vedenestoa varten täyttemateriaali, paisuva vedenestolanka tai tiksotrooppinen geeli. Tiksotrooppisen aineen viskositeetti vähenee ainetta sekoittaessa ja kasvaa sen ollessa levossa.

Kun valokuidut ovat kerratuna löysästi putken sisään, kestää se helpommin taivutusta, sekä mahdollisia iskuja. Valokuitujen pituus voi myös erota hieman putken pituudesta (1 %), jolloin asennuksessa putkea voidaan hieman venyttää asettamatta lisärasituksia valokuidulle. (Crisp, 2005, s. 73.)



Kuva 7. Kerrattu väljä toisiopäällysteputki, jossa 12 kpl yksimuotokuituja, sekä kaksi täytelankaa. Ulkohalkaisija 2,1 mm, sisähalkaisija 1,7 mm.



Kuva 8. SZ-kerrattu kaapeli ilman suojapäällystettä. Yhteensä 6 kpl kerrattuja väljiä putkia, joissa jokaisessa on 12 kuitua kerrattuna lasikuituvahvisteisen muoviytimen ympärille.

3.3.2 Tiukkapuskuroitu kaapeli

Tiukkapuskuroidussa kaapelissa (tight buffer cable) ensiöpäällystetyn valokuidun toisiopäällystemateriaaliputki on suoraan kiinnitetty valokuidun ympärille ekstruusiomenetelmää käyttäen. Toisiopäällysteen materiaaleja on useita, esimerkiksi polyamidi 12 (PA12), polyeteeni (PE), polyvinyylidikloridi (PVC) ja halogeeniton palonsuoja-aine (HFFR). Toisiopäällysteen halkaisija on noin 0,6–0,9 mm (Rosendahl Nextrom Oy, 2016). Esimerkkirakenne valokuitukaapelista, jossa on hyödynnetty tiukkapuskuroituja kuituja, on esitetty kuvassa 9.

Tämä menetelmä antaa valokuidulle jäykkyyttä ja se suojaa yksittäisiä valokuituja vaurioilta, sekä se on helpompi asentaa. Näitä toisiopäällystettyjä valokuituja voidaan sijoittaa yksi tai useampi kappale kaapelin sisään. Tiukkapuskuroidusta toisiopäällystetyistä kuidusta kasattu valokuitukaapeli on ohuempi rakenteeltaan kuin kerrattu väljä putkirakenteinen kaapeli. Sitä käytetään pääsääntöisesti paikallisesti esimerkiksi kotitalouksien valokuituyhteyksissä.

(DeCusatis & DeCusatis, 2019, s. 23.)



Kuva 9. Kahdesta toisiopäällysteisestä tiukkapuskuroidusta kuidusta koostuva aramidivahvisteinen valokuitukaapeli.

3.4 Vahvisteet ja muut lisärakenteet

Valokuitukaapelin rakenne riippuu käyttökohteesta. Rakenteella on suuri ero, asennetaanko kaapeli sisätiloihin vai esimerkiksi maan alle, jossa se on altis suurille rasiustekijöille. Kaapelin sisälle asennetaan yleensä tukirakenteita ja vahvisteita, jotka ottavat vastaan vetoa. Tällöin rasiukset eivät kohdistu huonosti vetoa kestävään valokuituun. (Crisp, 2005, s. 74.)

Yleisimpiä vahvisteita valokuitukaapelissa on aramidi (tunnetaan kauppanimellä Kevlar), lasikuituvahvisteinen muovi ja teräsvaijeri. (Crisp, 2005, p. 72) Aramidikuidut ovat kevyitä, jotka kestävät hyvin rasiuksia. Niiden vetolujuus on erityisen hyvä suhteutettuna tiheyteen. Aramidia käytetäänkin usein aseteollisuudessa, sillä se on hyvä absorboimaan energiaa (Kobelev, 2019). Aramidikuitu kuitenkin venyy liikaa pitkillä etäisyyksillä ja kovalla vedolla, jolloin teräs tai lasikuituvahvisteinen muovi on parempia vaihtoehtoja.

Valokuitukaapelin sisään voidaan sijoittaa aukirepäisylanka (kuva 10), jolla asennuksessa kaapelin ulkokuori saadaan helposti auki valokuituja

vaurioittamatta asennuksessa. Aukirepäisylankaa käytetään erityisesti sisäasennuksissa, esimerkiksi toimistoissa.



Kuva 10. Jyrsijäsuojattu valokuitukaapeli, jossa punainen aukirepäisylanka. Rakenteena neljä kuivaa väljästi kerrattua 12 kuituista kaapelia lasikuitutangon ympärillä.

3.4.1 Paloturvallisuus

Sisäasennuskohteissa valokuitukaapelin on oltava paloturvallinen. Kaapelin tulee täyttää EU:n direktiivien vaatimukset, jotta sille voidaan myöntää CE-merkintä. CE-merkintä edellyttää, että kaapeli täyttää standardin EN 50575 asettamat vaatimukset. CE-merkinnän lisäksi kaapeleissa tulee olla CPR-luokkamerkintä. Kaikkia valokuitukaapeleita koskevat EU-alueella CE-merkinnän vaatimukset, mutta CPR-asetus koskee vain rakennuksiin asennettavien kaapeleiden paloturvallisuutta. Se kertoo, minkä CPR-luokan vaatimukset kaapelin pal ominaisuudet täyttävät. Merkinnät ja luokitukset ovat samat koko EU-alueella, mutta jäsenmaat saavat itse määritellä oman vaatimustasonsa. Suomessa vaatimustason määrittää Ympäristöministeriö perustuen standardiin SFS 6000, joka määrittää sisäkaapeleiden luokitukset. SFS 6000 on rakennettu kansainvälisen standardin EN 50575 pohjalta. (Nestor Cables, 2017.)

3.5 Vaimentuminen

Valokuidussa signaalin voimakkuus vaimenee (attenuation) sen edetessä johdun absorptiosta, sironnasta ja säteilyhäviöstä. Signaalin tehohäviöt mitataan yleensä desibeleissä (dB), joka on logaritminen yksikkö. Vaimentuminen ilmoitetaan dB/km. Pitkissä valokuitukaapeliasennuksissa vaimentumisen hallitsemiseen on käytettävä optisia vahvistimia. (Hoffrén, 2019.)

3.6 Kaistanleveys

Kaistanleveys (bandwidth) kertoo, kuinka paljon dataa valokuitukaapeli pystyy kuljettamaan. Valokuitukaapeleita käytetään nimenomaan metallikaapelien sijaan niiden hyvin suuren kaistanleveyden takia, joka mahdollistaa valtavien datamäärien siirtämisen. Myös kaistanleveys heikkenee signaalin edetessä valokuitukaapelissa. Kaistanleveyden yksikkönä käytetään hertsiä (Hz) ja se ilmoitetaan useasti MHz/km tai GHz/km. Kaistanleveys on kääntäen verrannollinen dispersioon, joka tarkoittaa signaalinpulssin hajaantumista valokuidun sisällä.

Kaistanleveys heikkenee geometrisen dispersion, materiaalidispersion ja aaltojohtodispersion takia. Kaistanleveyden suuruus riippuu käytetystä valokuitutyyppistä. Yksimuotokuiduissa ei ole geometrista dispersiota, joten niillä on huomattavasti suurempi kaistanleveys kuin monimuotokuiduilla. (Hoffrén, 2019.)

4 Tuotantolinja OFC 40

Rosendahl Nextrom Oy toimittaa valokuitukaapelin valmistuksessa käytettävän tuotantolinjan OFC 40 (Secondary Coating Line). Tällä tuotantolinjalla valmistetaan toisiopäälyllystettyä kerrattua väljää kuituputkea (loose tube), joka ei sellaisenaan ole vielä käyttökelpoinen valokuitukaapeli, vaan yleensä näitä kuituputkia sijoitetaan useampi kappale vahvisteaineen kera suojakuoren sisälle. Esimerkkikokoonpano tuotantolinjasta OFC 40 on esitetty kuvassa 11. Esimerkki tuotantolinjan asettelusta mittoineen on esitetty liitteessä 1.



Kuva 11. Esimerkki linjan OFC 40 kokoonpanosta. Linjan valmistussuunta on vasemmalle, linjan pituus on noin 30 metriä ja linjakorkeus on 1000 mm.

Kerrattu väljä putki valmistetaan ekstruusiomenetelmällä, jolloin valokuidut ja mahdolliset lisäaineet sijoitetaan sulan muovin sisälle. Linjan toimintaperiaate on siis suhteellisen selkeä, mutta laitteet ovat monimutkaisia ja prosessissa on useita eri parametrejä.

Prosessi alkaa aukipuolaamalla valmista valokuitua (yleensä yksimuoto) KAP (kevyt aukipuolaaja) ja/tai RAP (raskas aukipuolaaja) -laitteilla. Valokuidun lisäksi aukipuolataan mahdollista vedenestolankaa NYP (Nextrom Yarn Pay-Off, aukipuolaaja) ja/tai NTA (Nextrom teipin aukipuolaaja) -laitteilla. Aukipuolattavien valokuitujen pituus mitataan. Valmis nippu laitetaan kulkemaan ekstruusiopään (ROEX 45/60) läpi. Ekstruusio tapahtuu ruuvipuristimella, joka sulattaa muovirakeet (yleensä PBT tai PP) ja puristaa ne ekstruusiopään läpi kuitujen ympärille. Tämän jälkeen sula muovi jäähdytetään vedellä, kuivataan, mitataan ja puolataan kelalle (EKP, erikoiskaksoispuolaaja). Tuotantolinjan rakenteellinen valmistusnopeus on 1000 m/min, mutta sillä ajetaan usein

huomattavasti hiljempaa. Valmistusnopeus riippuu halutusta lopputuotteesta. Tuotantolinjalla pystytään ajamaan yleensä niin pitkiä tuotantosarjoja, kuin aukipuolaajissa on valokuitua, yleensä 25 tai 50 km. Automaattinen kaksoispuolaaja vaihtaa kelaä vauhdissa, mutta kuidun loppuessa tuotantolinja on ajettava hallitusti alas ja käynnistettävä uudelleen.

Valokuitujen ja lisäaineiden jännitys on tarkasti kontrolloitu, sillä se on hyvin olennainen osa valmistusprosessia. Aukipuolaajissa jännitystä hallitaan paineilman avulla, jolloin herkkäliikkeinen varsi ”dancer” pitää kuidussa olevan jännityksen vakiona (kuva 12).



Kuva 12. KAP6 valokuidun pujotus taittopyörien kautta kohti ekstruusiopuristinta. Oikealla ylhäällä kuidussa olevan jännityksen mittauspyörä. Keskellä kuvaa herkkäliikkeinen paineilmatoiminen varsi ”dancer” ylläpitämässä haluttua jännitystä.

Kuituputken jäähdytyksellä on merkittävä vaikutus haluttuun lopputuotteeseen. Kuituputken tarkasti hallitulla jäähdytisellä kontrolloidaan putken ja valokuitujen välistä eroa (Excess Fiber Length, EFL), joka on yksi tärkeimmistä parametreista. Jäähdytyksen epäonnistuessa kuituputken jälkikutistuminen voi olla suuri, sekä putkelle tehtävät vetotestit voivat antaa heikkoja tuloksia. (Nieminen, 2022.)

Valmistusprosessi aloitetaan vetämällä tyhjä PP- tai PBT-putki jäähdytysjärjestelmän läpi puristimesta puolaajalle asti. Tällöin linja käy niin hitaalla nopeudella

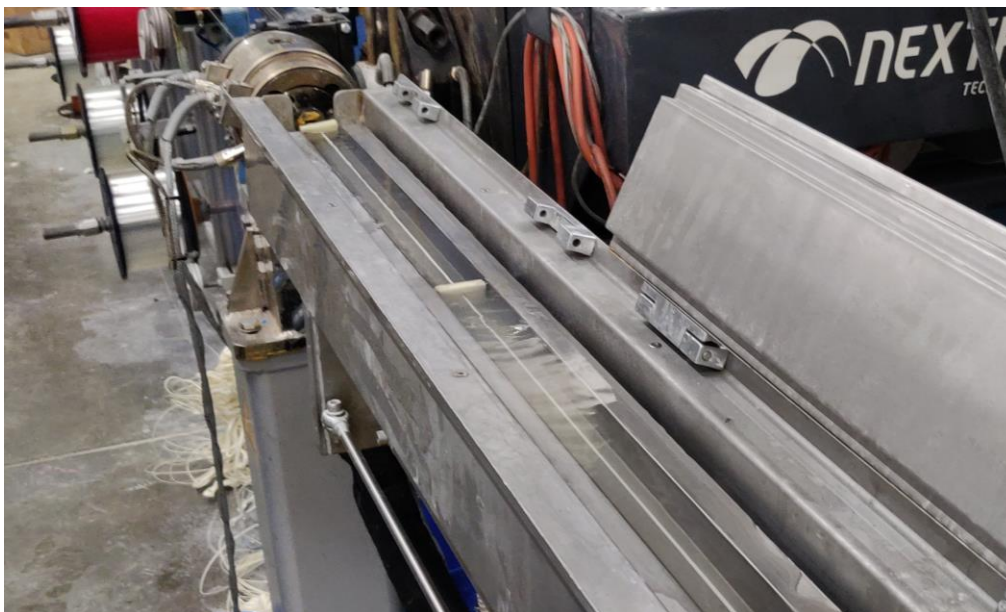
(20 m/min), että se juuri ja juuri pysyy toiminnassa. Putkea pujottaessa siihen on käsin kohdistettava vakiojännitys, jottei se mene poikki. Putken mennessä poikki, linja joudutaan ajamaan uudelleen ylös ja pujottamaan putki uudestaan ekstruusiopuristimesta jäähdytysjärjestelmän läpi puolaajalle. Kun linja on ajettu näin käyntiin, voidaan asettaa valokuidut, vedenestolanka tai vedenestogeeli putken sisälle ja nostaa nopeus tuotantonopeuteen. Tuotantolinjassa on eri vetolaitteita (capstan), joilla kuituputken kohdistuvaa vetojännitystä hallitaan. Valokuidun aukipuolauslaitteet säätelevät valokuituun kohdistuvaa vetoa. (Rosendahl Nextrom Oy, 2016.)

4.1 Jäähdytysjärjestelmä

Sula muovinen kuituputki jäähdytetään CS4-jäähdytysjärjestelmällä. Jäähdytysjärjestelmä rakentuu neljästä osasta; teleskooppi, lämmitetty vyöhyke, kylmä vyöhyke ja kuivuri. Kuituputken kokonaismatka jäähdytysrännissä on tyypillisesti 60–75 m, järjestelmän pituuden ollessa 14–30 m. Kuituputken lämpötila on ekstruusiopuristimen jälkeen tyypillisesti 220–260 °C ja sitä kulkee jäähdytysjärjestelmän läpi 40–80 kg/h. Jäähdytysjärjestelmän tavoitteena on jäähdyttää kuituputki mahdollisimman lähelle sitä ympäröivän tuotantotilan lämpötilaa. Jäähdytysjärjestelmä on modulaarinen ja se koostuu yleensä nelimetrisistä osioista, jotka sijoitetaan peräkkäin.

Jäähdytysjärjestelmä alkaa lämmitetyllä vyöhykkeellä, jossa ensimmäisenä on teleskooppi. Teleskoopissa on uppovesiosuus (kuva 13). Teleskoopilla tarkoitetaan liikkuvaa osiota, jonka etäisyyttä ekstruusiopuristinpäädästä voidaan säätää. Teleskooppi- ja ekstruusiopuristinpäädän välissä on pieni ilmajäähdytysalue. Tämä on tärkeä ominaisuus, sillä se vaikuttaa kuituputken mekaanisiin ominaisuuksiin, sekä valokuidun ja niitä ympäröivän putken pituuseroon. Kuituputki ei saa jäähtyä liian nopeasti. Valokuidut eivät tartu väljään kuituputkeen kiinni, vaan niitä vetää päävetolaite, jonka ansiosta kuituputki alkaa vetää valokuituja mukaansa, jolloin valokuituun syntyy vetoa. Jäähdytystä hallinnoimalla heti ekstruusion jälkeen tätä ilmiötä pystytään kontrolloimaan.

Teleskooppimoduulissa käytettävän veden lämpötilaa kontrolloidaan ja siinä käytettävä vesi on usein lämmitettyä. Lämpötila on tyypillisesti 20–60 °C.



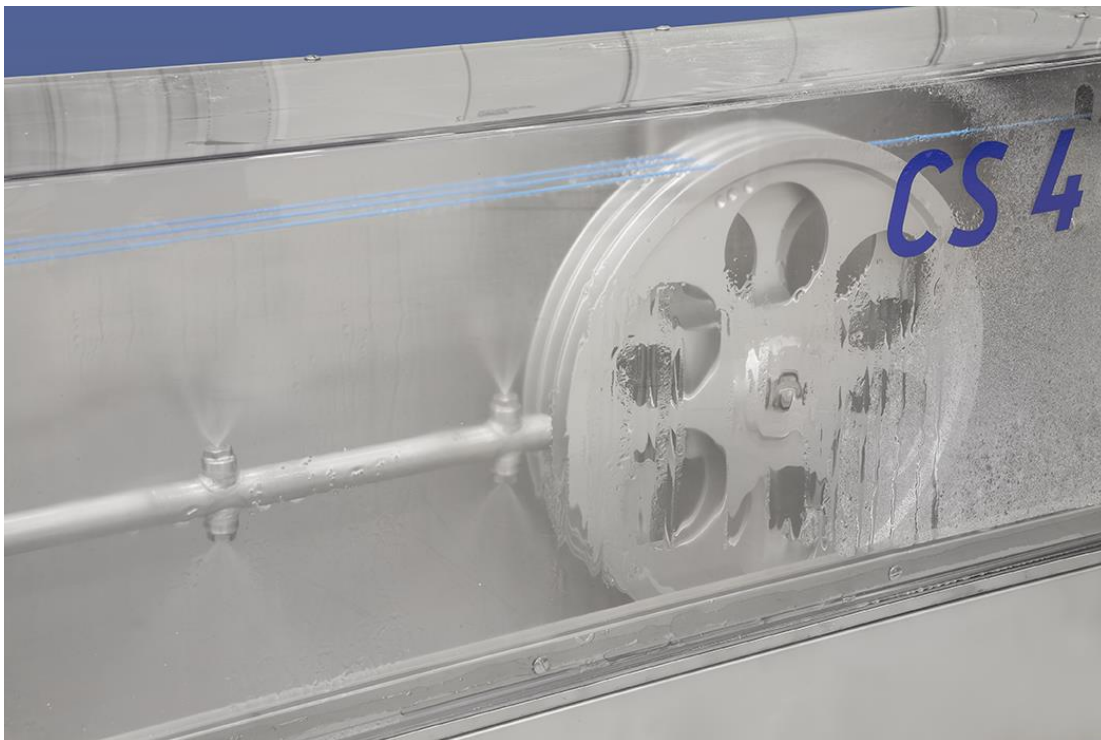
Kuva 13. Valokuidut kulkevat ekstruusioprosessissa puristinpään läpi, jota seuraa teleskooppimoduuli, jonka alussa on uppovesijähdytys.

Teleskoopin jälkeen lämminvyöhyke jatkuu jäähdytysvesikourussa, jossa kuituputkea jäähdytetään hallitulla veden virtauksella ja lämpötilalla. Jäähdytysvesikouruissa käytettävän veden lämpötilaa voidaan muuttaa hallitusti ja se on tyypillisesti 20–60 °C. Tämä osuus rakentuu yleensä nelimetrisistä osuuksista, joita voidaan muokata asiakkaan vaatimuksien mukaisesti. Tällä kouruosuudella on yleensä kaksi vetolaitetta (kuva 14). Ne määrittelevät ja hallitsevat kuituputkeen syntyvää vetojännitystä. Sulaa putkea siis vedetään poispäin puristinpäästä.



Kuva 14. Jäähdytysjärjestelmä CS4, jonka päällä ovat vetolaitteet SCC ja DWC.

Lämmitetyn vesikouruosuuden jälkeen jäähdytysjärjestelmään voidaan myös sijoittaa kylmä vesikouruosuus, jonka pituus on tyypillisesti 12–16 m. Tämä voidaan kuitenkin korvata vesisumuun perustuvalla neljä metriä pitkällä osiolla, jonka aikana kuituputki pujotettuna taittopyörien avulla kolmeen kertaan pituus-suuntaisesti tilan säästämiseksi (kuva 15). Tällöin saavutetaan yhteensä kokonaisjäähdytyskapasiteetiksi sumuosiolla 20 metriä. Käytettävä vesi ei ole lämmitettyä. Sitä voidaan jäähdyttää erillisellä lämmönvaihtimella, mikäli jäähdytysjärjestelmässä käytettävä vesi lämpenee liikaa tai vesijohtovesi on liian lämminä.



Kuva 15. Kuituputken sumujäähdytys.

4.2 Vetolaitteet

Tuotantolinjan nopeuden määrittävät vetolaitteet SCC, DWC ja NEC. Päävetolaite tuotantolinjassa OFC 40 on DWC (Dual Wheel Capstan), joka myös samalla jäähdyttää kuituputkea vesisuihuilla. Kuituputki on kerrattuna vetolaitteessa moneen kertaan, jolloin saadaan tehostettua jäähdytystä ja varmistetaan siitä, että vetolaite saa riittävän kitkan aikaiseksi kuituputkeen. Yleensä kuituputki on kerrattuna vähintään nelinkertaisesti, mutta määrä riippuu materiaaleista. Kuituputken luistamattomuus on ehdottoman tärkeää prosessin kannalta. Hitaassa linjan käynnistysnopeudessa käytetään DWC:n yhteydessä putkijarraa, jolloin vetoa on helpompi pitää yllä.

DWC ja SCC (Shrinkage Control Capstan) ovat kiinni liukujohteessa, jolloin niiden paikka on hyvin tarkasti määriteltävissä. SCC:n eli ”tyssärin” tehtävänä on hallita kuituputken jälkikutistumaa SCC:n ja DWC:n nopeuserolla. (Nieminen, 2022.)

5 Lämpötilan mittaus

Tämän opinnäytetyön yhtenä tavoitteista oli selvittää, miten jäähdytysjärjestelmän sisällä kulkevasta väljästä toisiopäälylystetystä kuituputkesta voisi saada mitattua lämpötilaa prosessin ollessa käynnissä. SCC:n sijainti jäähdytysprosessin aikana on hyvin tärkeä ja lämpötilan mittaamisella haetaan sen määrittelyyn parempia työkaluja. Nykyisellään lämpötilaa ei saada mitattua tarkasti, mikä aiheuttaa epävarmuustekijöitä jäähdytysjärjestelmää mitoittaessa asiakkaan vaatimuksiin. Nykyisin jäähdytysjärjestelmän kapasiteetti suunnitellaan laskennallisesti, kun tiedetään ekstruusiossa sulan muovin lämpötila ja jäähtymisen parametrit.

Lämpötilan mittausta lähdettiin selvittämään yhteistyössä Sarlin Oy:n kanssa. Sarlin Oy on ”teollisen paineilman, ympäristöystävällisen energiateknologian sekä teollisen automaation ja digitaalisten ratkaisujen uranuurtaja” (Sarlin Oy, 2022). Lämpötilaa on hankalaa mitata kuituputkesta, sillä se liikkuu jopa 800 m/min nopeudella ja on kauttaaltaan märkä vedestä. Haasteena on mitata juuri kuituputken lämpötilaa, eikä sitä ympäröivän veden. Tuotantonopeuden kasvaessa kuituputken ympärille tarttuu vesikalvo, jota se kuljettaa mukanaan. Lämpötilan mittausta vaikeuttaa myös kuituputken pieni ulkohalkaisija (noin 2 mm) ja sen tekemät pienet sivuttaisliikkeet. Myös kuituputken valmistustapa on hankala, sillä tuotantolinjaa ei voida pysäyttää vauhdista, eikä kuituputkea voida katkaista ja sitä kautta mitata lämpötilaa.

Lämpötilan mittaustapaa selvittäessä esiin nousi kaksi mahdollisesti toimivaa vaihtoehtoa, pyrometri ja infrapunalämpökamera. Pyrometri olisi huomattavasti edullisempi ratkaisu, mutta siinä tulee ongelmaksi kuituputken tekemä pieni sivuttaisliike jäähdytysprosessissa ja pyrometrin resoluutio. Kuituputkelle pitäisi rakentaa erilliset tukevat ohjurit, jotta se saataisiin pysymään tarkasti paikallaan. Ohjurien suunnittelu olisi työläs tehtävä, sillä niiden pitäisi olla helposti liikuteltavissa. Infrapunalämpökameran valintaa lämpötilan mittaamiseen puolsi sen helppokäyttöisyys, sillä se on helposti liikuteltavissa. Infrapunalämpökameran resoluutio on myös riittävä ja ulkohalkaisijaltaan 2 mm kuituputkesta saataisiin

usea mittauspiste. Tärkeää on huomata, että infrapunakamera mittaa lämpötilaa vain kuituputken pinnasta.

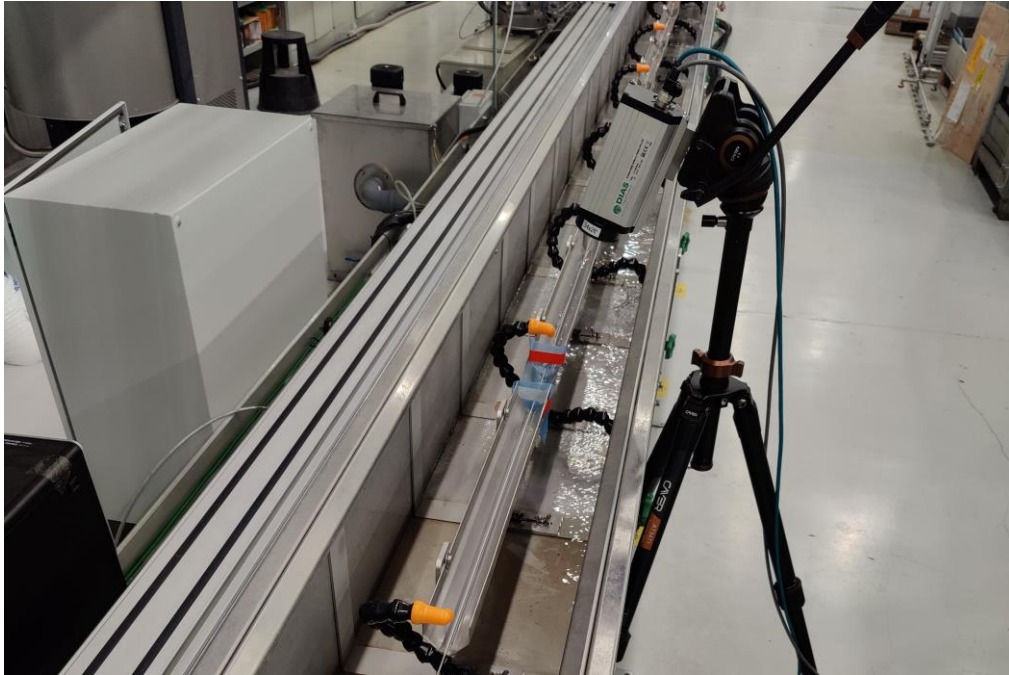
5.1 Infrapunakameran testit

Sarlin Oy toimitti infrapunälämpökameran testausta varten, jotta pystyttiin varmistumaan sen toimivuudesta. Infrapunälämpökamerat ovat varsin kalliita, eikä niihin kannata investoida, ennen kuin on varmuus toimivuudesta. Lämpökamera mittaa kuvauskohteen pinnasta lähtevää lämpösäteilyä, joten jäähdytysveden antamat mahdolliset häiriöt mittaustuloksissa haluttiin selvittää.

5.2 Testikokoonpano

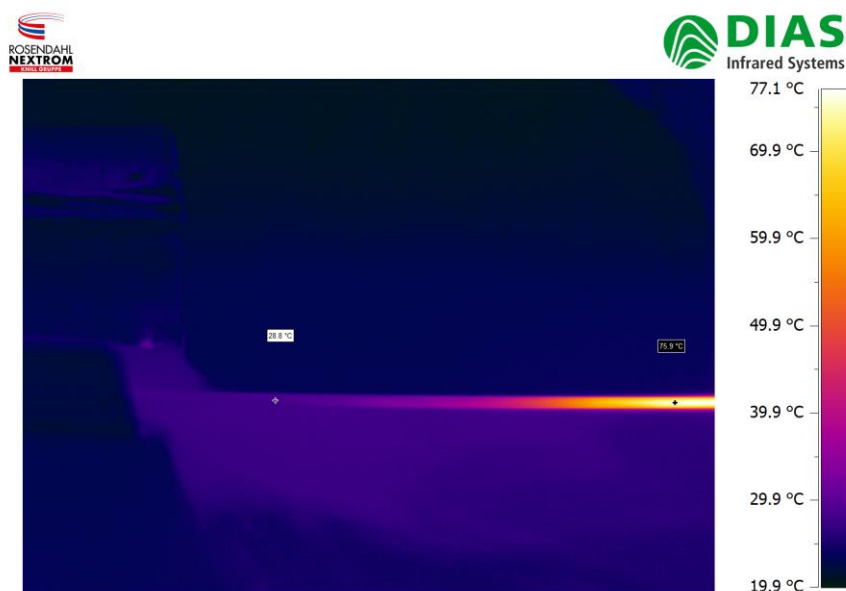
Testaukset suoritettiin DIAS PYROVIEW 640L -infrapunälämpökameralla, jonka parina toimi PYROSOFT Professional -ohjelmisto. Kameran resoluutio on 640x480. Testissä käytetyn kuituputken materiaali oli polypropeeni Borealis PP1121, jonka emissiivisyyskerroimeksi asetettiin 0,97. Emissiivisyyskerroin kertoo, kuinka paljon materiaali heijastaa lämpösäteilyä ympäristöstään. Mitä suurempi kerroin on, sitä suurempi osa materiaalin lähettämästä lämpösäteilystä on siitä itsestään peräisin. Kuituputken ulkohalkaisija oli 2,3 mm sisähalkaisijan ollessa 1,7 mm. Kuituputki oli ilmatäytteinen, eikä se sisältänyt vedenestolankoja tai vedenestogeeliä. Testeissä kuituputken sisälle asetettiin kaksi 250 µm:n halkaisijalla olevaa akryylijällysteistä valokuitua.

Kamera kiinnitettiin kolmijalkaan. Kuituputki pujotettiin kulkemaan yksinkertaisen pyyhkijän läpi, joka pyyhki suurimmat vesipisarat kuituputken pinnasta. Testikokoonpano esitetty kuvassa 16. Testi suoritettiin 1350 mm välein, ja joka kerta kuituputkea ajettiin nopeuksilla 200, 400, 600 ja 800 m/min. Kameran ohjelmisto asetettiin etsimään kaapelin maksilämpötilaa. Hypoteesina oli, että mitä kovempaa kuituputki kulkee, sitä vähemmän se ehtii jäähtyä.



Kuva 16. Infrapunalämpökameran testikokoonpano.

Kuituputken pyyhkijän tarpeellisuus haluttiin varmistaa, joten lämpötilaa yritettiin mitata myös ilman sitä. Pyyhkijä todettiin erittäin tarpeelliseksi, sillä muuten vesipisarat estävät lämpötilan mittaamiseen (kuva 17).



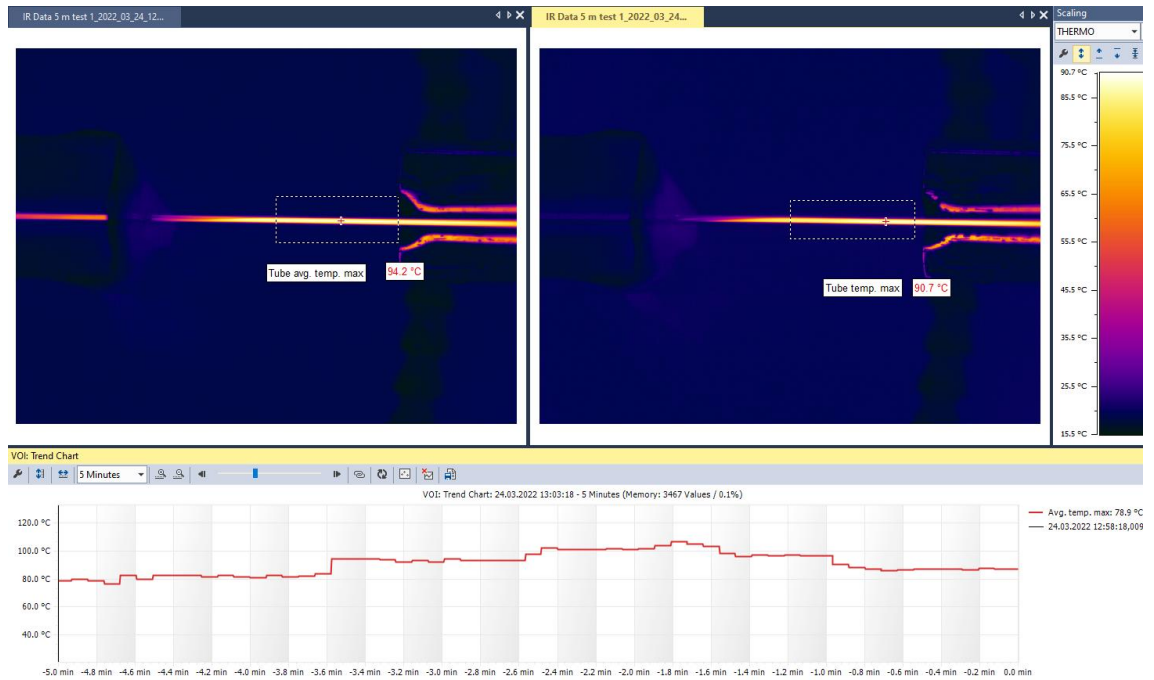
Kuva 17. Jäähdytysvesi häiritsee mittausta.

5.3 Testien tulokset

Havaittiin, että luotettavamman datan saamiseksi, on kameraan asetettava suodatus. Vaikka kuituputkea kuivattaisiin todella huolellisesti pyyhkimällä, siihen jää väistämättä pieniä vesipisaroita, jotka aiheuttavat heilumista kuvaajaan. Kun suodatus oli asetettu, saatiin luotettavia ja toistettavia lämpötilamittauksia. Lämpötilan riippuvuus suhteessa nopeuteen ja ekstruusiopuristimeen oli selkeästi huomattavissa. Kuvassa 18 on kuvankaappaus PYROSOFT Professional -ohjelmistosta, jossa näkyvät vierekkäin suodattamaton ja suodatettu (5 sekunnin maksimien keskiarvo) kuva. Alapuolella on havainnollistettu lämpötilan muutos suhteessa aikaan. Kuvaajasta on selkeästi havaittavissa kuituputken nopeuden muutos 400, 600 ja 800 m/min. Havaittiin, että emissiivisyyskerroin saattaa muuttua testien aikana, riippuen ekstruusion onnistumisesta. Lisäksi vesipisarot saattavat hieman aiheuttaa epäselvyyttä mittaustulokseen. Tulokseksi todetaan, että kamera ei välttämättä pysty antamaan tarkkaa absoluuttista lämpötilaa, mutta lämpötilan muutoksen prosessin aikana se pystyy antamaan hyvinkin tarkasti.

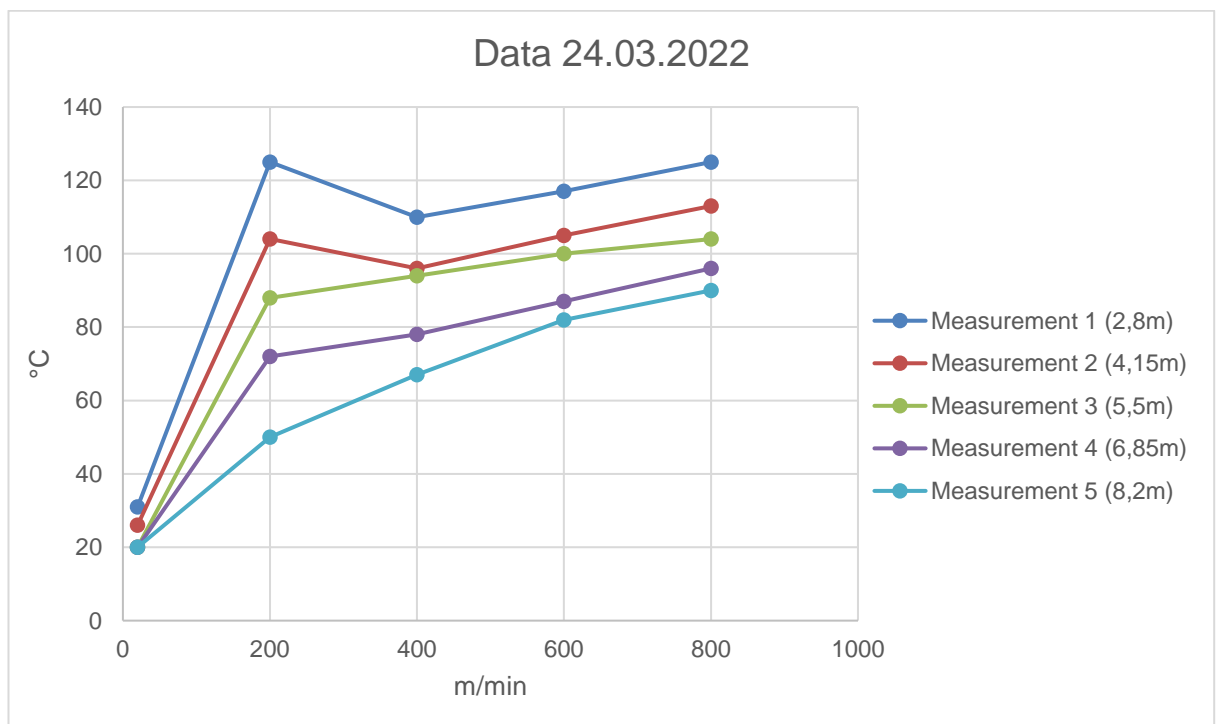
Lämpötilamittauksessa testattiin myös kuituputken sisällä olevien valokuitujen merkitystä lämpötilaan. Kuituputkea ajettiin ilman valokuituja, yhdellä kuidulla ja kahdella kuidulla. Havaittiin, että valokuiduilla ei ollut merkitystä lämpötilaan, tai mittauksen luotettavuuteen, sekä toistettavuuteen.

Kun lämpötilamittaukset jäähdytysjärjestelmän eri kohdista oli suoritettu, asetettiin ne yhteen kuvaajaan toimivuuden varmistamiseksi (taulukko 1). Havaittiin, että 200 m/min nopeudessa on erikoinen lämpötilapiikki, joka ei ollut tiedossa. Tämä on tärkeä havainto, sillä se ei ollut entuudestaan tiedossa ja nyt tämän tiedon pohjalta pystytään muuttamaan prosessin parametrejä.



Kuva 18. Kuvankaappaus PYROSOFT Professional -ohjelmasta. Vasemmalla sama kuva, kuin oikealla, mutta siinä on viiden sekunnin suodatus.

Taulukko 1. Mittaustulokset.



6 Jäähdytystehon vertailu

Kun lämpökamera oli saatu testattua ja todettu toimivaksi, voitiin sillä vertailla sumujäähdytyksen tehokkuutta verrattuna perinteiseen vesikourujäähdytykseen. Jäähdytystehon on todettu olevan hyvä sumuosiossa jäähdytysjärjestelmän loppupäässä. Tavoitteena oli testata sumujäähdytyksen toimivuutta heti jäähdytysprosessin alkupäässä. Testeissä ajettiin PP-putkea samoilla parametreillä, kuin aiemmissa testeissä.

6.1 Testikokoonpano

Sumujäähdytystä vertailtiin rakentamalla jäähdytysjärjestelmän alkuosaan koejärjestely. Koejärjestelyllä tehtiin muutama testi, jossa sumusuuttimet asetettiin eri etäisyyksille kuituputkesta. Koejärjestelyssä oli käytössä 3 metriä pitkä osuus, jossa oli käytössä BETE MW695 SS303 (kuva 19, 20) -suuttimia yhteensä 18 kpl. Myös eri lämpötila testattiin jäähdytyksessä. Koejärjestelyssä veden paine oli noin 12 bar, jolloin koko koejärjestelmän vedenkulutus oli 6,2 l/min. Mittaukset tehtiin 5,5 metriä ekstruusiopuristimesta eri nopeuksilla. Vesi-suuttimien etäisyys kuituputkesta oli noin 3–15 cm. Sumuosuuden pituus oli noin 3 m. Havaittiin, että paras jäähdytysteho saatiin vesisumun ollessa suljetussa putkessa.

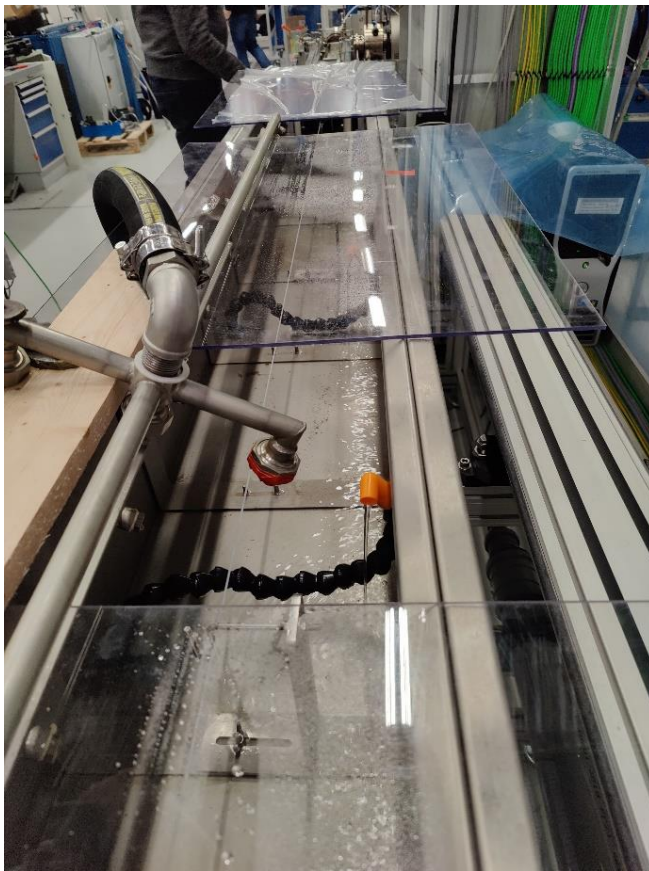


Kuva 19. Sumutestien kokoonpano suljetussa putkessa.

MicroWhirl Flow Rates and Dimensions <i>Fogging, 70° Spray Angle, 1/8", 1/4" BSP or NPT or 3/8" - 24 UNF Pipe Sizes</i>											
Male Pipe Size	Nozzle Number	K Factor	LITERS PER MINUTE @ BAR								Wt (g)
			7 bar	20 bar	40 bar	70 bar	100 bar	140 bar	170 bar	200 bar	
1/8"	MW085	0.0122	0.032	0.055	0.077	0.102	0.122	0.145	0.160	0.173	7.09
	MW105	0.0151	0.040	0.068	0.096	0.127	0.151	0.179	0.197	0.214	
or	MW125	0.0180	0.048	0.081	0.114	0.151	0.180	0.213	0.235	0.255	
1/4"	MW145	0.0209	0.055	0.093	0.132	0.175	0.209	0.247	0.272	0.296	
or	MW195	0.0281	0.074	0.126	0.178	0.235	0.281	0.332	0.366	0.397	
3/8"-24UNF	MW275	0.0396	0.105	0.177	0.251	0.332	0.396	0.469	0.517	0.560	
	MW695	0.09988	0.316	0.447	0.632	0.836	0.999	1.182	1.302	1.413	

Nominal Angle	20°	70°	
Atomization Level	mist	light fog	fine, heavy fog

Kuva 20. Käytettyjen suuttimien tekniset tiedot.



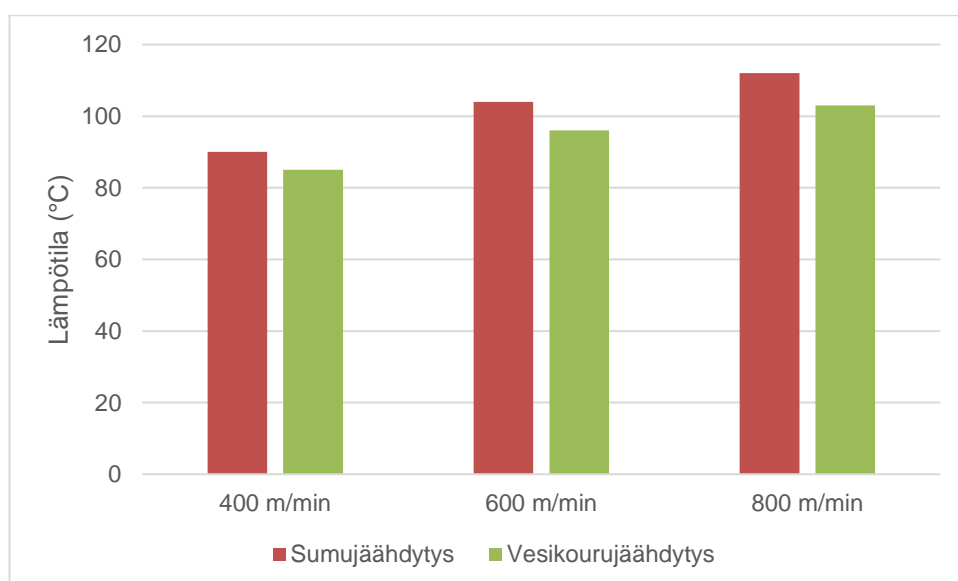
Kuva 21. Sumutestien koejärjestely.

6.2 Tulokset

Todettiin, että vesisumu ei nykyisellä koejärjestelyllä ollut tehokas jäähdytysmenetelmä. Mitatut arvot eri nopeuksilla esitetty taulukossa 2. Mitä suuremmaksi nopeus nousi, sitä heikommin kuituputki jäähdyi verrattuna perinteiseen uppovee-teen. Koejärjestelyssä testattiin myös sumutettavan veden jäähdyttämistä. Vesi jäähdytettiin alle kymmeneen asteeseen, mutta sillä oli varsin pieni vaikutus lopputulokseen, jäähdytystehon parantuessa vain muutamalla asteella. Veden jäähdyttäminen tehdasympäristössä on ongelmallista mahdollisen kondenssiveden vuoksi kuumissa ja kosteissa olosuhteissa, joten sitä ei suositella.

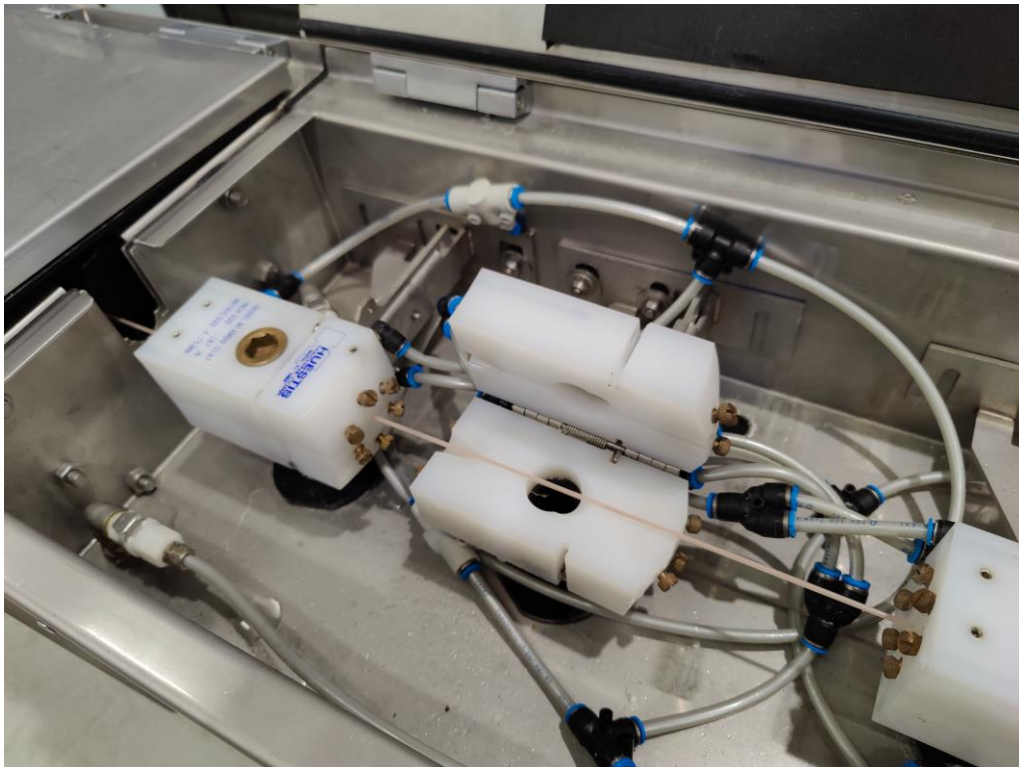
Todettiin myös, että olisi mielenkiintoista testata sumujäähdytysmenetelmää paremmin optimoidulla jäähdytysjärjestelmällä. Nykyinen sumujäähdytysosio päävetolaitteen jälkeen on varsin tehokas, lämpötilan laskiessa sen aikana 800 m/min vauhdissa noin 50 °C:sta lähelle 30 °C:ta. Kuituputki on jäähdytysjärjestelmän kerrattuna moninkertaisesti, sen kulkiessa sumuosion läpi kolminkertaisella silmukalla. Prosessin alkupäässä ei kuitenkaan voi kuituputkea vetää taitopyörien kautta moninkertaiseksi silmukaksi, sillä silloin kuituputken ja valokuidun välille syntyy turhia jännityksiä.

Taulukko 2. Jäähdytysjärjestelmien vertailu. Veden lämpötila sumujäähdytyksessä 9 °C ja vesikourujäähdytyksessä 20 °C.



7 Kuituputken kuivaus

Jäähdytyksessä käytetty vesi on kuivattava putken päältä pois, ennen kuin se puolataan kelalle. Kuituputken huolellinen kuivaaminen on tärkeää seuraavien prosessien kannalta, sillä vesipisarat aiheuttavat korroosiota sekä mittavirheitä laaduntarkkailussa. Kuituputken on oltava kuiva puolaajalla, sillä kostea kuituputkea ei voi kerrata valokuitukaapelin valmistuksessa. Kuituputki kuivataan nykyisin paineilmalla. Paineilmaa syötetään kovalla paineella erilaisten suuttimien läpi kohti putkea pienessä kulmassa. Paineilma puhaltaa vesipisarot pois. (Nieminen, 2022.)

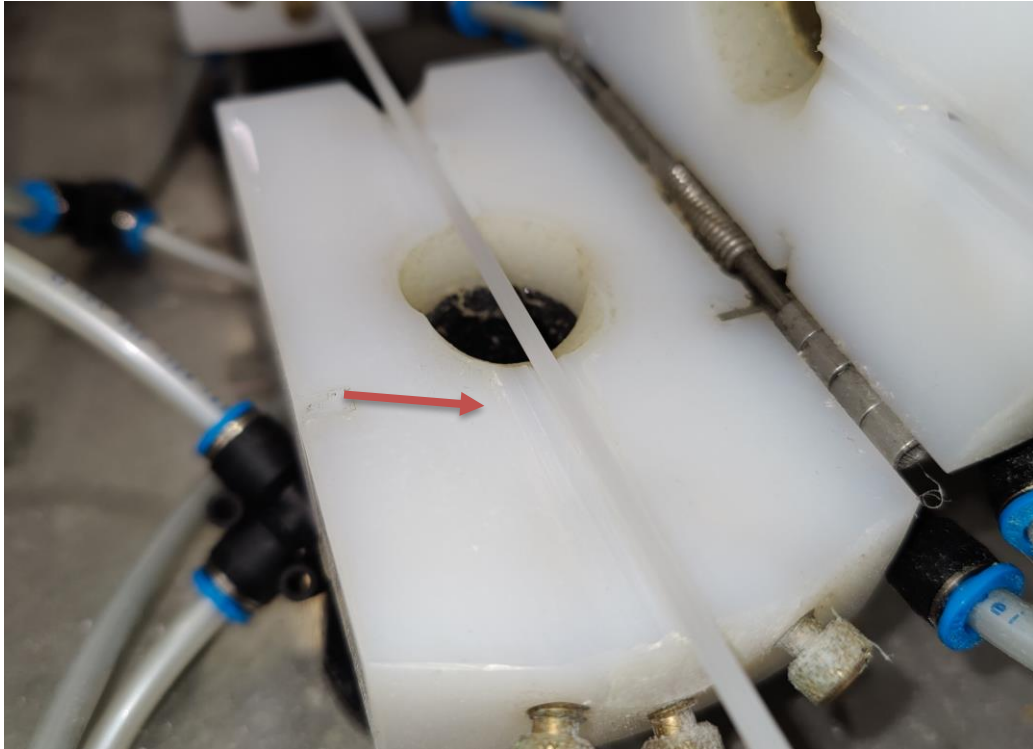


Kuva 22. Kuivausyksikkö Huestis AMDD0187 avattuna.

7.1 Kuivauksen ongelmat

Nykyisessä putken kuivauslaitteessa on oltava useita kuivausyksiköitä peräkkäin, jotta putkesta saadaan kuiva kovemmillä nopeuksilla. Kuivausyksiköt ovat varsin kalliita, niiden ilmankulutus ja erityisesti melu ovat merkittäviä haittoja.

Yksi merkittävä haitta on myös kuivausyksiköiden linjaus. Kuivausyksiköiden ollessa hieman sivussa kuituputken linjasta, alkaa putki nakertamaan omaa uraa (kuva 23).



Kuva 23. Kuituputki on nakertanut uuden uran AMDD-kuivausyksikön sisälle.

Kuivausyksiköt toimittaa nykyiseen ratkaisuun Huestis Industrial, joka on kaapeliteollisuuteen keskittynyt amerikkalainen komponenttitoimittaja. (Huestis Industrial, 2022). Kuivausyksiköt on kytketty runkolinjaan, jossa on noin 6,5 bar painetta. Käytössä on kahta eri mallia, Huestis AMDD ja AMS. AMS eli Air Miser puhalttaa kohti kuituputken tulosuuntaa kuudella puhaltimella puhaltuen veden takaisin kohti jäähdytysjärjestelmää. AMDD eli Air Miser Down Drafter puhalttaa kuituputken molemmista suunnista kuudella suuttimella, jotka pakottavat veden kulkemaan keskellä kuivausyksikön keskellä olevaan viemäriin. Ongelmana ovat kova melu, ilmankulutus ja kuivausteho suurilla nopeuksilla. Ongelmiin haluttiin etsiä ratkaisua testaamalla toista mahdollista kuivaustapaa.

7.2 Kuivauksen ratkaisuehdotukset

Korvaavina kuivaustapoina mietittiin laahaavaa kuivaustapaa (esim. keraaminen upote muovissa, jota vasten putki laahaa tai silikoninen pyyhin), lämpöä, taittopyörää tai toisentyyppistä paineilma-kuivaajaa. Avainasemassa korvaavaa kuivaajaa selvittäessä oli helppokäyttöisyys. Putkessa pitää olla koko ajan vetojännitystä, kun sitä pujotetaan käsin linjaa käynnistäessä. Tästä syystä se on varsin hankalaa pujottaa kapean silmukan läpi. Taittopyörän käyttäminen, eli putken äkillisen suunnanvaihdoksen, ei onnistunut tässä tapauksessa, sillä linjanopeus on liian pieni. Kovemmilla vauheilla ajaessa kuivausprosessiin riittää muutama taittopyörä, jossa putki tai kaapeli vaihtaa äkillisesti suuntaa ja vesipisarajat jatkava matkaa tangentin suuntaan normaalikiikityvyyden ansiosta.

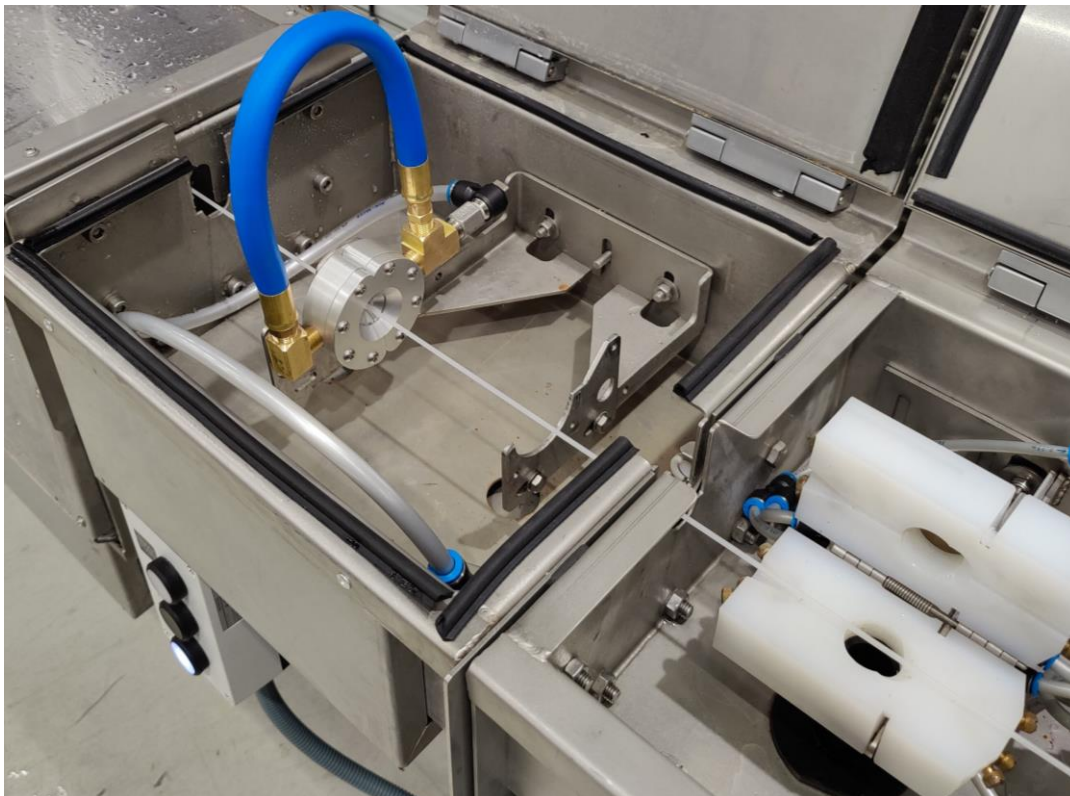
Laahaavaan kuivaustapaan ei päädytty, sillä se saattaa vaurioittaa putkea, eikä välttämättä ole kovin tehokas kuivaustapa. Lämmitys on huono ratkaisu, kun sen jälkeen kuituputki pitäisi saada taas jäähtymään lähelle tuotantotilan ilman lämpötilaa. Ratkaisuehdotukseksi valikoitui siis uuden tyyppinen paineilma-kuivain, jolla toivottiin saavuttavan parempaa kuivausjälkeä pienemmällä melutasolla ja paineilman kulutuksella.

Kuituputken kuivaamiseen haastateltiin 3D-tulostuksen erityisosaajaa, Delva Oy:tä. Yrityksen kommenttina oli, että kannattaisi ehdottomasti tässä tapauksessa harkita lisäävällä valmistusmenetelmällä tehtyä kuituputken kuivaajaa. Tällöin voitaisiin optimoida paineilamalla toimiva ilmaveitsi erittäin tehokkaasti. Kuivaajaan voitaisiin myös upottaa kulumista ehkäiseviä keraamisia renkaita. Kuivaaja voitaisiin myös suunnitella käytettävyyttä silmällä pitäen.

7.3 Testit ja tulokset

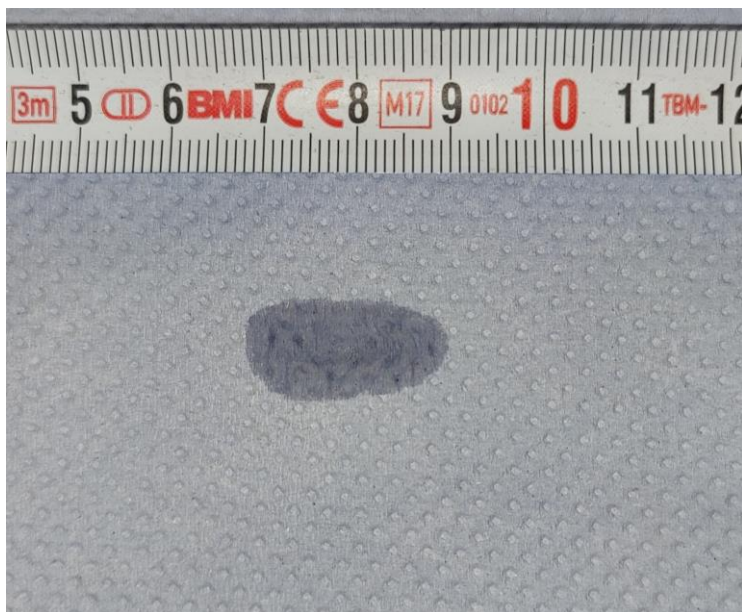
Testiin valikoitui Nexflow Ring Blade 3/8" -ilmaveitsi, jonka ilmankulutus vastasi noin yhtä Huestis AMDD kuivainyksikköä. Ilmaveitsi asennettiin nykyisen kuivausyksikön paikalle. Testikokoonpano on esitetty kuvassa 24. Uusi ilmaveitsi nähtiin hyvänä, sillä se voidaan saranan avulla halkaista kahteen osaan ja on

siten helpompi pujottaa. Sen luvattiin olevan hiljaisempi kuin nykyinen ratkaisu. Ilmaveitsen toiminta perustuu Coandă-ilmiöön, jonka ansiosta puhallettu paineilma voimistuu jopa 30-kertaiseksi. (Nex Flow Air Products Corp., 2022)

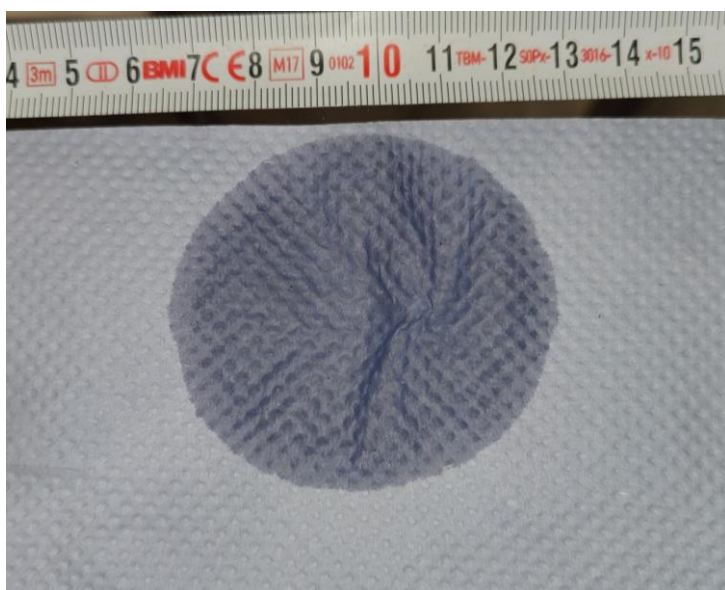


Kuva 24. Oikealla Huestis AMS ja testikuivain Nexflow Ring Blade -ilmaveitsi.

Testeissä kuituputki kasteltiin hieman normaalia märemmäksi, ja sitä ajettiin 400 m/min nopeudella. Nykyisestä kuivaustehosta otettiin referenssimittaus (kuva 25), jonka jälkeen testilaitteisto asennettiin ja mitattiin uudestaan samoilla parametreilla. Todettiin, että uuden ilmaveitsen teho on merkittävästi huonompi (kuva 26) ja kuituputki jää hyvin märäksi. Havaittiin myös, että kuituputki alkaa heilua ja täristä puolelta toiselle ilmaveitsen pyrkiessä työntämään sitä koko ajan lähemmäksi tuotantolinjan keskikohtaa. Tulos on yllättävä, sillä hypoteesina oli lähinnä vain todistaa laitteen toimivuus. Tuloksien perusteella ei suositella jatkamaan tuotekehitystä tämän ilmaveitsen kanssa, vaan on järkevää pidättäytyä vanhoissa kuivainyksiköissä.



Kuva 25. Referensmittaus.



Kuva 26. Testimittaus.

8 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön monipuolisuus yllätti tekijänsä, sillä nopeasti ajateltuna valmiista valokuidusta kaapelin tekeminen ei enää voi kovin hankala asia olla, sillä vaikein, eli kuidun valmistaminen on jo suoritettu. Tilanne ei kuitenkaan ole tämä, vaan valokuitukaapelin ja sen sisällä olevien pienempien kaapeleiden valmistaminen on todella tarkasti määritelty prosessi, jolla on useita eri muuttujia.

Valokuitukaapelin valmistuksessa käytettävien laitteiden suunnittelijalta vaaditaan hyvää tietämystä niin prosessista, mekaniikkasuunnittelusta kuin koneturvallisuudesta. On ymmärrettävä, miten laitteet toimivat yhteistyössä toistensa kanssa tuotantolinjassa.

Tässä työssä käsitellyjä ongelmia on varmasti yritetty käsitellä aiemminkin ilman erityisen hyviä ratkaisuja, joten ne eivät olleet helppoja. Lämpötilan mittauksesta saatiin nyt erittäin lupaavia tuloksia ja niillä on takuulla merkitys tuotantoprosessiin tulevaisuudessa. Kuituputken kuivaamiseen ei kuitenkaan löydetty ratkaisua tässä työssä, vaan se jää ratkaistavaksi tulevaisuudessa. Nyt onnistuttiin testaamaan yksi hyvä vaihtoehto, jota ei tarvitse enää tulevaisuudessa testata. Kuituputken kuivauslaitteessa kannattaisi ehdottomasti kokeilla tuotekehityksessä materiaalia lisääviä valmistusmenetelmiä.

Sumujäähdytyksen testaamisella haettiin sen mahdollista kannattavuutta. Testi oli tärkeä, sillä nyt tiedetään, että sumujäähdytys on merkittävästi heikompa, kuin perinteisen vesikourujäähdytyksen ilman merkittäviä optimointeja, jotka kaikki eivät välttämättä ole mahdollisia.

Lähteet

9 Lähdeluettelo

Connect, F., 2010. Fiber Optics For Sale Co. Verkkoaineisto.

<<https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95048070-basic-optics-for-optical-fiber>>. Luettu 25 Helmikuu 2022.

Crisp, J., 2005. Introduction to Fiber Optics. Kolmas painos. Newnes.

DeCusatis, C. M. & DeCusatis, C. J., 2019. Fiber Optic Essentials. Academic Press.

Hoffrén, P., 2019. Introduction to Optical Fiber. Rosendahl Nextrom.

Huestis Industrial, 2022. Verkkoaineisto.

<<http://www.huestis.com/huestisind/index.htm>>. Luettu 4 Maaliskuu 2022.

Kobelev, V., 2019. Liite A. Teoksessa: Design and Analysis of Composite Structures for Automotive Applications. Wiley.

Kuvar, S. & Deen, M. J., 2014. Fiber Optic Communications: Fundamentals and Applications. Ensimmäinen painos. Wiley.

Nestor Cables, 2017. Nestor Cablesin blogi. Verkkoaineisto.

<<https://www.nestorcables.fi/ajankohtaista/blogi/rakennustuoteasetus-cpr-parantaa-kaapeleiden-paloturvallisuutta.html>>.

Luettu 2 Maaliskuu 2022.

Nestor Cables, 2018. Nestor Cablesin blogi. Verkkoaineisto.

<<https://www.nestorcables.fi/ajankohtaista/blogi/valokaapeleiden-kehittyminen-koeasennuksista-nykypaivaan-ja-tulevaisuuden-nakymia.html>>. Luettu 1 Huhtikuu 2022.

Nieminen, P., 2022. Product Engineer, Fiber Optic Cable. Haastattelu. 15
Maaliskuu 2022.

Peda.net, 2022. Sähkömagneettinen säteily. Verkkoaineisto
<<https://peda.net/p/RiikkaKotiranta/vanha-lukuvuosi/efysiikka79/spektri-7%E2%80%93939/avaruus/universumi/t%C3%A4htien-elinkaari/f>>.
Luettu 27 Tammikuu 2022.

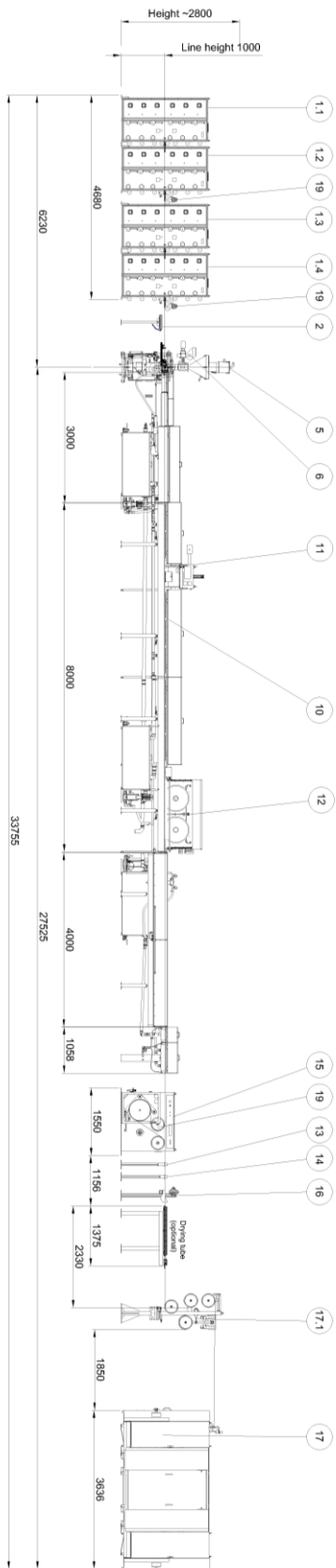
Ring Blade® Air Wipe Blowoff Systems. Verkkoaineisto. Nex Flow Air Products
Corp. <<https://www.nexflow.com/air-wipes/>>. Luettu 13 Huhtikuu 2022.

Rosendahl Nextrom Oy, 2016. OFC 40 Secondary Coating Line.
Verkkoaineisto. <https://www.rosendahlnextrom.com/fiber-optics/wp-content/uploads/2016/03/OFC-40_en.pdf>. Luettu 25 Huhtikuu 2022.

Rosendahl Nextrom Oy, 2016. OFC 42 Tight Buffer Extrusion Line.
Verkkoaineisto. <https://www.rosendahlnextrom.com/fiber-optics/wp-content/uploads/2016/08/OFC-42_en.pdf>. Luettu 1 Maaliskuu 2022.

Sarlin Oy, 2022. Sarlin Oy Ab yrityksenä. Verkkoaineisto.
<<https://www.sarlin.com/yritys/>>. Luettu 26 maaliskuu 2022.

Esimerkkikokoonpano tuotantolinjasta OFC 40



OFC 40 Secondary coating line				
Pos	Component	Type	Serial number	WEIGHT
01.1	Fiber pay-off	KAP6	KAP6-xxx	350 kg
01.2	Fiber pay-off	KAP6	KAP6-xxx	350 kg
01.3	Fiber pay-off	KAP6	KAP6-xxx	350 kg
01.4	Fiber pay-off	KAP6	KAP6-xxx	350 kg
02	Static electricity discharger	SED	SED-xxx	15 kg
03	Jelly filling unit	JFD	JFD-xxx	390kg
03.1	Jelly stand	DFD 200/DH 600	GEN-xxx	10 kg
04	Vertical dryer	S/R 8	GEN-xxx	10 kg
05	Vertical roller leader	PLASTICOLOR 1900	GEN-xxx	250 kg
06	Coating unit, 1 station	ROEX 45-24D	ROEX 45-xxx	30 kg
07	Extruder	RX5	RX5-xxx	30 kg
07.1	Cabinet for extruder	RX5	RX5-xxx	250 kg
08	Crosshead	CS 4	CS 4-xxx	1000 kg
09	Jelly filling head	CS 4	CS 4-xxx	1000 kg
10	Cooling system	SCC 100	SCC100-xxx	100 kg
10.1	Cabinet for CSA	SCC 100	SCC100-xxx	100 kg
11	Centering Capstan	DWC 600	DWC600-xxx	50 kg
11.1	Cabinet for SCC100	DWC 600	DWC600-xxx	250 kg
12	Capstan	DWC 600	DWC600-xxx	70 kg
12.1	Cabinet for DWC600	DWC 600	DWC600-xxx	70 kg
13	Diameter gauge	ODAC 13TRIO	GEN-xxx	400 kg
14	Lump detector	13TRIO, Zumbach	GEN-xxx	400 kg
15	Exit capstan	NEC 500	NEC 500-xxx	400 kg
16	Ink jet printer	9450S	GEN-xxx	400 kg
17	Automatic dual take-up	EKP800F	EKP800F-xx	250 kg
17.1	Dancer for take-up	LCU	PSU/OFC 40-935	250 kg
18	Line Control Unit	LCU	PSU/OFC 40-935	250 kg
19	On-Line excess length monitoring	PDC	PDC/OFC 40-935	350 kg
20	Line distribution cabinet	PDC	PDC/OFC 40-935	350 kg