



Linda Paju

# Mikrokanavatekniikka ja siltä vaaditut ominaisuudet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

23.11.2023

## Tiivistelmä

Tekijä: Linda Paju  
Otsikko: Mikrokanavatekniikka ja siltä vaaditut ominaisuudet  
Sivumäärä: 33 sivua + 1 liite  
Aika: 23.11.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Bio- ja kemiantekniikka  
Ammatillinen pääaine: Materiaali- ja pinnoitetekniikka  
Ohjaajat: Lehtori Timo Laitinen  
Hankintapäällikkö Samu Salo

---

Tässä opinnäytetyössä pohditaan valokuiturakentamisessa käytettyä mikrokanavatekniikkaa ja siltä vaadittuja ominaisuuksia. Valokuidun suosion kasvaessa myös rakennusmenetelmät kehittyvät. Mikrokanavatekniikka onkin suhteellisen uusi tapa rakentaa valokuituverkkoa. Työn tavoitteena oli saada tietoa polyeteenistä valmistettujen mikrokanavien ominaisuuksista ja pohtia, korreloivatko saadut tulokset käytännön käyttökokemusten kanssa. Testimenetelmiksi valikoitui vetokoe, kovuuskoe Shore-D, DSC-lämpöanalyysi sekä FTIR-analyysi.

Työssä tutkittiin kahden materiaalinvalmistajan tuotteita. Tutkittavat materiaalit valikoituivat Eltelin valokuiturakentamisessa käyttämien materiaalien perusteella Hexatronin ja Nestor Cablesin tuotteisiin. Menetelmistä konkreettisin tietoa materiaalin ominaisuuksista saatiin veto- ja kovuuskokeesta, jotka korreloivat suoraan käytännön kokemusten kanssa. DSC- ja FTIR-analyysi toivat tietoa polyeteenistä ja voitiin todeta mikrokanavan olevan suurtiheyksistä polyeteeniä.

Tietoa mikrokanavatekniikan ominaisuuksista saatiin materiaalinvalmistajilta sekä käyttämällä kirjallisia tietolähteitä. Valmistajilta saatujen tietojen perusteella vertailtiin lyhyesti myös heidän laadunvarmistuksensa menetelmiä.

Mikrokanavatekniikka on tehokas tapa valokuidun rakentamiseen, kun mikrokanavaa käytetään oikeaoppisesti.

Avainsanat: mikrokanavatekniikka, valokuitu, polyeteeni

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Linda Paju  
Title: Microduct Technology and Its Required Properties  
Number of Pages: 33 pages + 1 appendix  
Date: 23 November 2023

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering  
Professional Major: Materials Technology and Surface Engineering  
Supervisors: Timo Laitinen, Senior Lecturer  
Samu Salo, Procurement Manager

---

The aim of this thesis is to study and discuss the required properties that are vital in building optic fiber networks using microduct technology. As the popularity of optical fiber networks increase, construction methods also develop. Microduct technology is a relatively new way to build an optical fiber network. The properties of polyethylene microducts were analyzed and tested, and all the fault points were determined. The test methods selected were tensile test, Shore-D hardness, DSC thermal analysis and FTIR analysis. It was also considered whether the test results correlate with the practical experiences obtained from the field.

Products by two manufacturers were studied: Hexatronic and Nestor Cables. The studied materials were selected based on what Eltel uses in the building of optical fiber networks. Information about the products was collected from the manufacturer's professionals and other written sources of information. On the basis of the information gathered from the manufacturers, also their quality control methods were briefly compared.

When it comes to the testing methods, the most concrete results about the material properties were obtained from the tensile test and hardness test, which directly correlate with experiences from the field. DSC and FTIR analysis provided information about polyethylene and confirmed that the material was mainly high-density polyethylene.

In conclusion, microduct technology is an effective way to build optic fiber networks, if it is used properly.

Keywords: microduct technology, optic fibers, polyethylene

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	2
2	Valokuituverkko	3
2.1	Valokuituverkosta yleisesti	3
2.2	Valokuitukaapelit ja niiden rakenne	4
3	Mikrokanavatekniikka	7
3.1	Mikrokanavaputket	8
3.2	Valokuitukaapelin asennus mikrokanavaputkeen	9
4	Mikrokanavalta vaaditut ominaisuudet	10
4.1	Asennus	10
4.2	Suojaus ja ongelmatilanteet mikrokanavan asennuksessa	11
4.3	Käyttöolosuhteet	13
4.4	Valmistajien laadunvarmistus	14
4.4.1	Nestor Cables	14
4.4.2	Hexatronic	15
5	Polyeteeni	16
5.1	Polyeteenin ominaisuudet	17
5.2	Suurtiheksinen polyeteeni	18
6	Materiaalien kokeellinen testaus	19
6.1	Vetokoe	19
6.1.1	Työn suoritus	20
6.1.2	Tulokset	21
6.2	Shore D -kovuus	23
6.2.1	Työn suoritus	24
6.2.2	Tulokset	24
6.3	DSC-lämpöanalyysi	25
6.3.1	Työn suoritus	26
6.3.2	Tulokset	27
6.4	FTIR-analyysi	31

6.4.1 Työn suoritus	31
6.4.2 Tulokset	32
6.5 Silmämääräinen vertailu	32
7 Yhteenveto	34
Lähteet	36
Liitteet	
Liite 1: FTIR tulokset	

## Lyhenteet

- DSC: Differential Scanning Calorimetry, differentiaalinen pyyhkäisykalorimetria
- FTIR: Fourier-Transform infrared spectroscopy, fouriermuunnettu infrapunaspektroskopia
- ESCR: Environmental Stress Crack Resistance
- HDPE: Suuritiheyspolyeteenit, high density
- IEC: International Electrotechnical Commission (IEC) on kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.
- LDPE: pientiheyspolyeteenit, low density
- MDPE: Keskitiheyspolyeteeni, medium density

## Johdanto

Verkkoyhteyksien kysyntä on kasvanut viime vuosikymmenten aikana suuresti, ja erityisesti valokuituverkon suosio on kasvanut ja on jatkuvassa kasvussa. Valokuituverkolla taataan nopea ja luotettava verkkoyhteys, jolla luvataan toimivat yhteydet vuosikymmeniksi. Vuoden 2022 aikana uusia liittymiä rakennettiin ja otettiin käyttöön yli 80 000 kappaletta, ja yhteyksiä oli vuoden lopulla saatavilla 1,5 miljoonaa kotitalouteen. Tällöin valokuitusaatavuus kasvoi yli kolme prosenttiyksikköä vuodessa. Kysynnän kasvaessa verkon rakennusmenetelmätkin ovat kehittyneet. [1.]

Tässä työssä tarkasteltiin valokuiturakentamisessa käytettyä mikrokanavatekniikkaa ja siihen käytettyjen mikrokanavaputkien ominaisuuksia. Tarkastelun pohjana on ymmärrys mikrokanavatekniikan yleisimmistä ongelmakohtista, eli asennuksesta ja erilaisista käyttöolosuhteista. Pohditaan, miten kanavaa voidaan suojata ja ehkäistä vaurioitumista kaikista kannattavimmin. Testimenetelmillä testataan tärkeimpiä ominaisuuksia, kuten vetolujuutta ja pinnankovuutta, sekä pohditaan, korreloivatko saadut tulokset käytännön kokemusten kanssa. Aihetta pohjustetaan lyhyellä katsauksella valokuitukaapelin toimintaan ja rakenteeseen, minkä jälkeen siirrytään itse mikrokanavatekniikkaan.

Tämä insinöörityö tehtiin yhteistyössä Eltelin kanssa. Eltel on johtava sähkö- ja tietoliikenneverkkojen palveluntuottaja, joka suunnittelee, rakentaa ja ylläpitää kestävämpiä ja toimivampia verkkoyhteyksiä. Tutkimus tehtiin Eltelille, jotta mikrokanavan käytettävyydestä ja mahdollisista ongelmakohtista saataisiin suurempi kokonaiskäsitys. Lisäksi haluttiin tutkia, voisiko jokin kokeellisista menetelmistä ennakoida tuotteen toimivuutta käyttöolosuhteissa.

Opinnäytetyön lähteinä on käytetty verkkoaineistoja sekä kirjallisuutta aiheesta. Lisäksi aiheeseen saatiin kommentteja mikrokanavavalmistajilta Hexatronicilta ja Nestor Cablesilta.

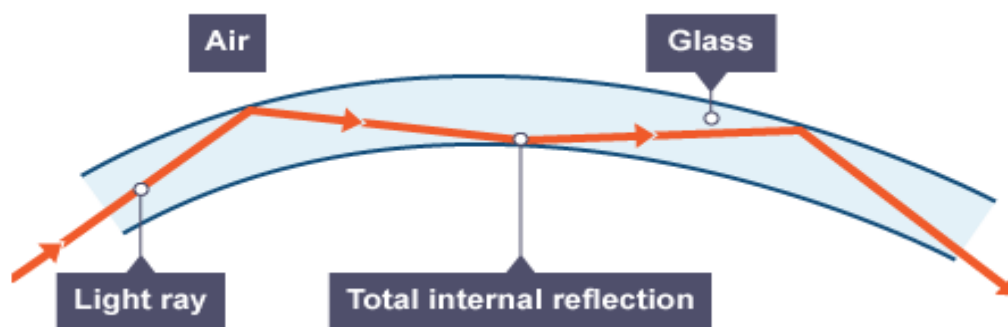
# 1 Valokuituverkko

Valokuidun suosio on ollut kasvussa jo useamman vuoden ajan. Nykypäivänä uudisrakentamisessa nettiyhteys on jo lähes yhtä oleellisessa asemassa kuin sähkö- tai viemäriverkosto. Vuoden 2022 lopussa yli puoleen suomalaisista kotitalouksista oli mahdollisuus rakentaa valokuituyhteys. [1.]

## 1.1 Valokuituverkosta yleisesti

Valokuituyhteys takaa luotettavamman verkkoyhteyden kuin langaton internetiyhteys, mikä tukee suosiota. Valokuidun etuja ovat muun muassa pitkienkin välimatkojen tiedonsiirto, alhainen signaalin vaimentuminen sekä tiedonsiirron turvallisuus.

Valokuituverkon avulla siirretään tietoa paikasta toiseen infrapunavaloimpulssin muodossa optista kuitua pitkin, jossa signaali kulkee lähettimestä vastaanottiin. Valosignaali kulkee kuitua pitkin tietyllä aallonpituudella kokonaisheijastuksen periaatteen mukaisesti kuljettaen erilaista tietoa. Kokonaisheijastuksella (Total internal reflection) tarkoitetaan valon heijastumista aina vastakkaisesta pinnasta toiseen sen kulkiessa lasikuidussa (kuva 1). Lähettimen tehtävänä on muuntaa sähköinen signaali valon muotoon ja ohjata se optiseen kuituun. Kun valosignaali siirtyy kuidussa, se vaimenee eli menettää osan tehostaan. Valokuituverkkoa suunniteltaessa huomioidaan heijastuksen kokonaisvaimennus, johon kuuluvat valokuidun oman vaimennuksen lisäksi erilaisten kuitujatkosten ja liitosten vaikutus signaalin tehoon. [2.]



Kuva 1. Kokonaisheijastumisen periaate kuvattuna. Valo kulkee kuidussa heijastuen aina toisesta sivusta vastakkaiseen. [3.]

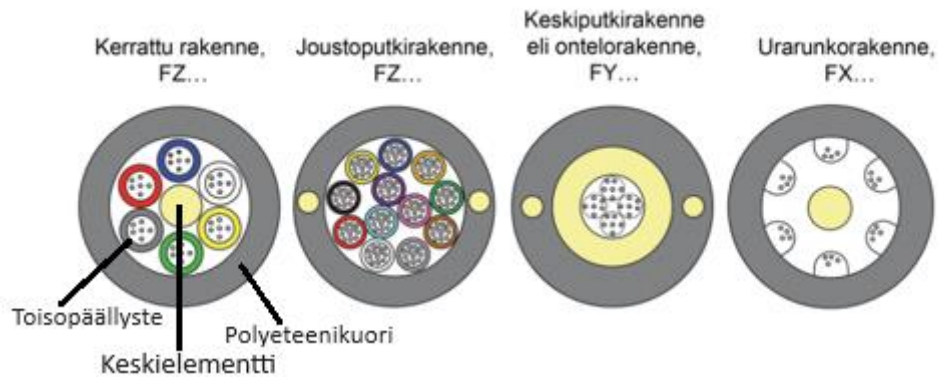
## 1.2 Valokuitukaapelit ja niiden rakenne

Valokuitukaapeleita on useita erilaisia riippuen niiden käyttötarkoituksesta. Kaapeleita voidaan asentaa moniin eri paikkoihin, kuten maahan, veteen, ilmaan tai rakennuksiin. Ulko- ja sisäkaapeleille on asetettu erilaisia vaatimuksia sen rakenteelle ja materiaaleille. Ulkokaapelit ovat mekaanisesti vahvempia, minkä vuoksi ne ovat paksumpia ja jäykempiä kuin sisäkaapelit, jotka ovat rakenteeltaan huomattavasti kevyempiä. Ulkokaapeleissa käytetyiltä materiaaleilta vaaditaan erityisesti kestävyyttä erilaisia olosuhteita vastaan, kuten lämpötilan ja kosteudenvaihtelevuutta sekä auringonvaloa kohtaan. Sisäkaapeleiden taas on oltava helposti asennettavissa myös ahtaisiin paikkoihin, joten ominaisuudet poikkeavat suuresti. Markkinoilla on tarjolla myös sekä sisä- että ulkokaapelin vaatimukset täyttäviä tuotteita. Taulukossa 1 on vertailtu maa-, kanava- ja mikrokanava-kaapeleiden eroja. Ulkokaapeleihin lukeutuvat mikrokanavaan puhallettavat valokuitukaapelit, kanavaan ja suoraan maahan asennettavat valokuitukaapelit [3, s.33–40]. Mikrokanavatekniikkaa käsitellään tarkemmin luvussa 3.

Taulukko 1. Maakaapeli, kanavakaapeli ja mikrokanavakaapelin vertailua asennuksen, käytön ja rakenteen näkökulmasta [4, 33–40].

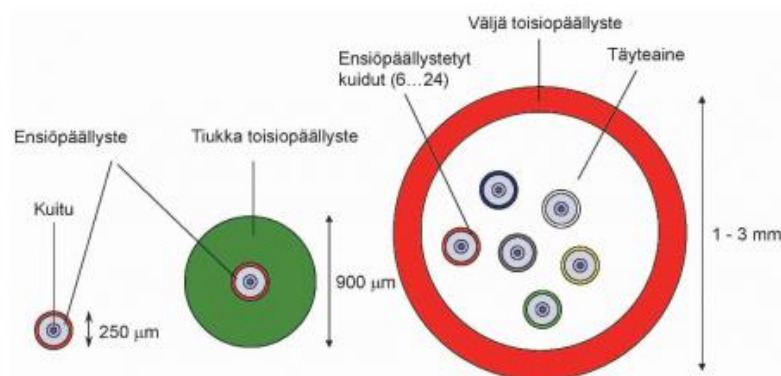
	<b>Asennus</b>	<b>Käyttö</b>	<b>Rakenne</b>
<b>Maakaapelit</b>	Asennetaan suoraan maahan, esim auraimalla.	Asetetaan suoraan kivettyyn ojaan, voidaan suojata esimerkiksi suojakourulla.	Paksu ja jäykkä. Sisältää suojaavan toisopäällyste. Keskiputkirakenne.
<b>Kanavakaapelit</b>	Asennetaan vetämällä maavaraisputkisiin tai kanava-putkiin.	Asennetaan esimerkiksi jo olemassa oleviin maavaraisputkisiin.	Kevyempi ja taipuisampi kuin maakaapeli. Ohuempi toisopäällyste. Kerrattu- ja keskiputkirakenne.
<b>Mikrokanavakaapelit</b>	Asennetaan puhaltamalla, työntämällä tai vetämällä mikrokanavaan.	Mikrokanavatekniikalla rakennettaessa. Mikrokanavareitti rakennetaan ensin ja lopuksi kuitu puhalletaan tai vedetään kanaviston läpi.	Ohut toisopäällyste. Kevyt ja joustava. Kerrattu rakenne.

Kaapelit muodostuvat suojaavasta ulkokuoresta ja sen sisällä olevista kuiduista. Suojaava ulkovaippa on useimmiten korkeatiheyksistä polyeteeniä, joka suojaaa sisällä olevia kuituja koko kaapelin elinkaaren aikana muodostuvilta rasituksilta. Polyeteenikuori on paksuudeltaan noin 0,5 mm ja värjätty hiilenmustaksi, mikä parantaa varsinkin ulkokaapeleiden auringonvalonsietoa. Polyeteenikuoren alla on väljempi toisopäällyste, jonka sisässä valokuitukaapelit kulkevat. Kuidussa oleva keskielelementti takaa tuotteelle vetolujuuden. Keskielelementti voi sijaita keskellä kuiturakennetta tai polyeteenikuoreen sijoitettuna. Kuvassa 2 on esitetty kuitukaapeleiden perusrakenteita, joista kahta ensimmäistä käytetään yleisimmin mikrokanavatekniikassa. [5.]



Kuva 2. Valokuitukaapeleiden perusrakenteet. Kuvassa esitettynä toisipäällyste, polyeteenikuoren ja keskielementin sijainnit. Rakenteet vaihtelevat kuitutyyppiin mukaisesti, mutta jokaisessa toistuvat samat rakenteen osat [5, s. 36].

Toisipäällysteinä käytetään muovisia putkia, jotka on täytetty täyteaineella, esimerkiksi vaseliinilla. Kuidut ovat toisipäällysten sisällä väljästi rasvaseoksessa, jotta niihin ei kohdistuisi ylimääräistä rasitusta esimerkiksi kaapelia taivutettaessa. Kuvasta 3 voidaan hahmottaa kuitujen väljyys täyteaineessa.



Kuva 3. Leikkauskuva valokuitukaapelin sisärakenteesta, jossa on esitetty toisipäällysten sisemmät rakenteet [5, s. 35].

Valokuitukaapelin sisässä kulkevat optiset kuidut ovat kvartsilasista valmistettuja valokuituja. Optisten kuitujen materiaali voi vaihdella kaapelin käyttökohteen mukaan. Vaihtoehtoinen kuitumateriaali on esimerkiksi muovi.

Optisten kuitujen määrät vaihtelevat kaapeleittain ja yleisimmät mikrokanavatekniikassa käytetyt kuitumäärät ovat 4, 12, 24, 48, 192 ja 288. Kuidut erotellaan toisistaan värijärjestelmillä, joita niitäkin on useampaa erilaista. Suomessa useimmin käytetään kuvassa 4 olevaa FIN 2012- värijärjestelmää. [4.]

### FIN2012

Fibre or group	Väri suomeksi	Colour in english (IEC 60757)
1.	 Sininen (SI)	Blue (BU)
2.	 Valkoinen (VA)	White (WH)
3.	 Keltainen (KE)	Yellow (YE)
4.	 Vihreä (VI)	Green (GN)
5.	 Harmaa (HA)	Grey (GY)
6.	 Oranssi (OR)	Orange (OG)
7.	 Ruskea (RU)	Brown (BN)
8.	 Turkoosi (TU)	Turquoise (TQ)
9.	 Musta (MU)	Black (BK)
10.	 Violetti (VT)	Violet (VT)
11.	 Vaaleanpunainen (VP)	Pink (PK)
12.	 Punainen (PU)	Red (RD)

Kuva 4. FIN 2012 -värijärjestelmä, jota käytetään kuitujen erotteluun valokuitukaapelin sisällä. [6.]

Värijärjestelmän käyttöä varten jokainen kaapelissa kulkevat optiset kuidut tulee jakaa 12 eri nippuun, jossa jokainen on saa oman värinsä järjestelmän mukaisesti. Esimerkiksi 48-kuituisessa kaapelissa on yhteensä neljä 12 kuidun nippua.

## 2 Mikrokanavatekniikka

Mikrokanavatekniikalla tarkoitetaan valokuituverkon rakentamista mikrokanavapippuja käyttäen. Mikrokanavaniput muodostuvat mikroputkista, joihin valokuitukaapeli puhalletaan.

Mikrokanavatekniikkaa käytetään valokuituverkon rakentamisessa erityisesti taajamissa ja kaupunkialueilla. Ahtaat kadut ja tieliittymät sekä aikaisemmin asennetut kaapeloinnit yhdessä muodostavat haasteen uudelle kaapeloinnille. Haastetta verkon rakentamiselle tuo myös se, että kaikki alueen asukkaat eivät välttämättä halua liittyä verkkoon samanaikaisesti, vaan liittyjien määrä voi

kasvaa huomattavasti jo rakennusvaiheen alettua. Mikrokanavatekniikka onkin tästä syystä hyvä vaihtoehto taajamarakentamiseen. Kanavareitit voidaan rakentaa koko alueelle, vaikkakin jokainen sen varrella oleva kiinteistö ei liittyisi verkkoon. Reitti rakennetaan valmiustilaan, jolloin myöhemmässä vaiheessa kiinteistön liittäminen verkkoon onnistuu. Mikrokanava on myös suhteellisen ohutta ja helposti käsiteltävää, joten asentaminen ei vaadi suuria maanrakennusurakoita. [7.]

## 2.1 Mikrokanavaputket

Mikrokanava on muovista, yleisesti suuritiheyspolyeteenistä (HDPE) valmistettua putkea. Mikrokanavaputket asennetaan yleisesti suoraan maahan tai maassa oleviin suojaputkiin. Putket ovat HDPE:stä valmistettuja ohuita yksittäisiä putkia, jotka on niputettu yhteen samasta materiaalista valmistetulla vaipalla. Nipuissa olevat pienemmät putket ovat niitä, joihin valokuitukaapelit puhalletaan. Kuvassa 5 voidaan nähdä eri mikrokanavanippuvaihtoehtoja.



Kuva 5. Esimerkkikuva mikrokanavanipuista, jotka voivat koostua 2–12 putkesta. [8.]

Vaipan sisällä olevien putkien ja putkinippujen koko vaihtelee halutun tuotteen mukaan. Pienempien putkien tyypillisiä kokoja ovat 14 mm/10 mm ja 7 mm/3,5 mm, joissa ensimmäinen mitta kuvaa putken ulkohalkaisijaa ja jälkimmäinen sisähalkaisijaa. Niput voivat koostua 2–12 pienemmästä putkesta. Tärkeässä osassa mikrokanavarakentamisessa on myös putken ulkovaipan väri, jossa

käytetään samaa FIN 2012 värijärjestelmää kuin valokuitukaapeleissakin. Vaipan värin avulla helpotetaan tunnistamista ja merkitsemistä. Taulukossa 3 taulukoituna erilaisia mikrokanavaputkivaihtoehtoja.

Taulukko 2. Eri mikrokanavaputkinippujen vaihtoehtoja, joita käytetään valokuiturakentamisessa. Mikrokanavanippujen sisäputkien koko pysyy samana, mutta niiden lukumäärä vaihtelee tuotteittain. [8.]

<b>14/10 mm</b>	<b>7/3,5mm</b>
2x14/10 mm Blue	2x7/3,5 mm Blue
4x14/10 mm Blue	4x7/3,5 mm Blue
4x14/10 mm White	4x7/3,5 mm White
7x14/10 mm Blue	7x7/3,5 mm Blue
7x14/10 mm White	7x7/3,5 mm White
7x14/10 mm Yellow	7x7/3,5 mm Yellow
7x14/10 mm Green	7x7/3,5 mm Green
	12x7/3,5 mm Blue
	12x7/3,5 mm White
	12x7/3,5 mm Yellow
	12x7/3,5 mm Green

Taulukossa nähtävien tuotteiden lisäksi on myös erikoisempia putkivaihtoehtoja, mutta niiden käyttö on harvinaisempaa. Lisäksi esimerkiksi tonttiasennuksissa, joissa rakennetaan asiakkaan pihamaalla, käytetään 1x7/3,5 mm:n putkea, mutta niidenkin käyttömäärät pysyvät pienempinä kuin yllä olevien suurempien nippujen määrät.

Mikrokanava valmistajia on maailmalla useita, Suomessa pääosin käytetyimpiä ovat Hexatronic ja Nestor Cables, joten tässä työssä keskitymme näiden valmistajien tuotteisiin.

## 2.2 Valokuitukaapelin asennus mikrokanavaputkeen

Mikrokanavatekniikassa käytetyt valokuitukaapelit poikkeavat hieman suoraan maahan asennettavista kaapeleista, jotka ovat usein paksuja ja jäykkiä. Kaapelin suojaavista ominaisuuksista voidaan tinkiä, sillä kaapeli puhalletaan mikrokanavaan, jolla itsellään on useita suojaavia ominaisuuksia.

Valokuitukaapeli puhalletaan valmiiksi rakennettuun mikrokanavaputkistoon puhalluslaitteistoa ja paineilmaa käyttäen. Laitteisto puhaltaa kompressorilla ilmaa mikrokanavaan samalla työntäen kaapelia putkeen. Ilman tarkoituksena on vähentää kitkaa putken ja kaapelin välillä.

### **3 Mikrokanavalta vaaditut ominaisuudet**

Mikrokanavalta vaaditaan ominaisuuksia, jotka takaavat kestävyyttä ja pitkäikäisyyttä hankalissakin olosuhteissa. Ominaisuuksien tulee tukea toisiaan ja tehdä tuotteesta kauttaaltaan parempi kokonaisuus. Jos jotain ominaisuutta halutaan muuttaa, täytyy varmistaa, että ei huononnetta jotain toista ominaisuutta. Pääosassa ominaisuuksista on mikroputken kovuus. Liian kova materiaali murskaantuu puristuksesta ja liian pehmeä taas litistyy helposti. Tuotevalmistajien tehtävänä on siis muodostaa optimaaliset ominaisuudet materiaaleille sen käytötarkoitusta silmällä pitäen.

#### **3.1 Asennus**

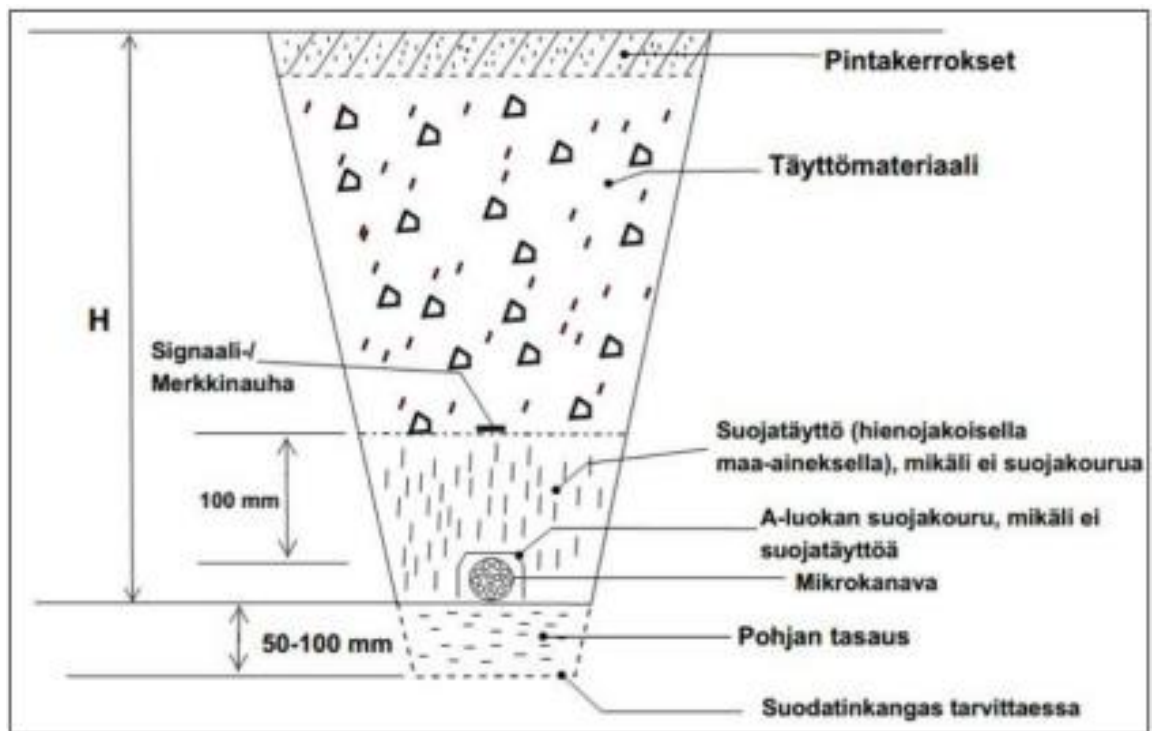
Mikrokanavat asennetaan maahan, joten asennuksessa tulee huomioida useita seikkoja mahdollisimman hyvän tuloksen saamiseksi. Asennustapoja on useita taajamassa useimmiten käytetyt tavat ovat kaivaminen ja mikrosahaus. Kaivuulla maahan kaivetaan kaivinkoneella kapeaa ojaa, johon kanava sitten asennetaan. Mikrosahauksessa mikrokanava sahataan suoraan asfaltin läpi tierakenteeseen.

Hyvin tehty kaivanto takaa paremman tuloksen, kun kuitua aletaan puhaltamaan mikrokanavaan.

Kaivannon tulee olla mahdollisimman tasainen pohjalta, jotta mikrokanavaputkeen ei muodostu mutkia kaivannossa olevista kivistä tai muista epätasaisuuksista. Myöskään kanavan päälle ei saisi asentaa kivistä maa-ainesta, sillä se lisää riskiä kanavan vahingoittumiselle. Kivinen maa-aines voi painaa kanavan rikki, ja vauriota voi olla hankala huomata ja paikallistaa. Kivinen maa-aines

poistetaan ja tilalle tuodaan hienoa hiekkaa kanavan suojaksi. Suojahiekan tilalla voidaan käyttää myös suojakourua tai -putkea.

Jos asennusreitillä on mutkia, mikrokanavat tulee asentaa laajoina kaarina. Mikrokanavaa ei voi asentaa jyrkkään mutkaan, sillä puhallus ei tällöin onnistu. Puhallettaessa kuitu jää jumiin liian jyrkkään mutkaan. Myös suorilla reiteillä tulee huomioida, että kanava asennetaan suoraan eikä se pääse kiertymään.



Kuva 6. Esimerkkikuva mikrokanavaojasta. [9.]

### 3.2 Suojaus ja ongelmatilanteet mikrokanavan asennuksessa

Mikrokanavakaivannoissa tulee noudattaa annettuja kaivuu syvyyksiä. Jos kaivantoa ei jostain syystä voida sijoittaa tarpeeksi syvälle, se pitää suojata suoja-putkella tai -kourulla. Suojausmenetelmä riippuu työkohteesta, mutta kaikki alle 0,6 metrin syvyiset asennukset suojataan. [9.]

Suojauksessa on käytettävä A- tai B-luokituksen suojakourua tai -putkea. Suojaputket jaetaan näihin luokkiin rengasjäykkyyden ja iskulujuuden perusteella.

Rengasjäykkyydellä tarkoitetaan putkeen kohdistuvaa maan alla tapahtuvaa ulkopuolista painetta. Paine luokitellaan asennus kohteen mukaan keveään liikenteeseen ja raskaaseen liikenteeseen. A-luokan putkien rengasjäykkyys on 16 kN/m<sup>2</sup>, joka merkitään putkeen SN 16. B-luokan suojaputken jäykkyys on 8 kN/m<sup>2</sup>, eli SN 8. B-putken jäykkyys on siis puolet A-putken jäykkyydestä.

A-luokan (raskas käyttö) putkia käytetään maanvaraisputkituksissa ja hiekkavaippaisissa kanavissa raskaan liikenteen alueilla sekä katujen ja teiden alituksissa. [10.]

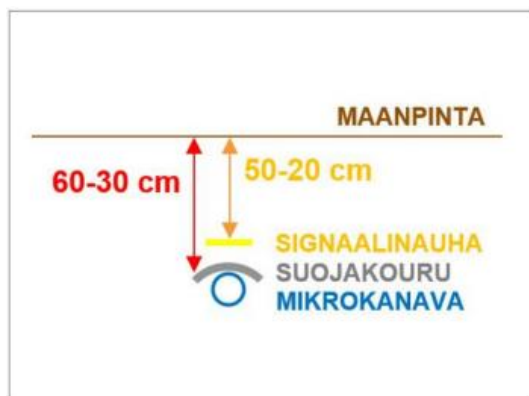
Mikrokanavarakentamisessa käytettyä suojakourua ja suojaputkea valmistaa esimerkiksi Pipelife Finland sekä Uponor.

Mikrokanavaojia on raskaita ja kevyitä. Tämä määrittää asennussyvyyden mukaan. Raskaassa asennuksessa upotussyvyys on vähintään 70 cm, jopa 100 cm.



Kuva 7. Raskas mikrokanavaoja, jossa kanavan asennussyvyys on vähintään 70 cm. [9.]

Kevyttä mikrokanavaojaa voidaan käyttää viranomaisen antamalla luvalla. Tällöin asennussyvyys on 60–30 cm. Näissä asennuksissa vaaditaan lähes poikkeuksetta kanavan suojaamista erillisellä suojakourulla tai -putkella. [9.]



Kuva 8. Kevyt mikrokanavaaja, jossa kanavan asennussyvyys vaihtelee 60–30 cm välillä. [9.]

Mikrokanavaa käytettäessä ongelmat ovat yleensä ominaisuuksista riippumattomia, kuten vahingossa kaivaessa katkaistu kanava tai muu mekaaninen raskaus, jossa voimat ovat niin suuria, että niihin ei materiaalin ominaisuuksilla voida juurikaan vaikuttaa.

Luvussa 4.1 on mainittu oikeaoppinen asennustapa ja kaivannon tekeminen takaavat toimivan mikrokanavareitin. Kiviset maa-ainekset tai puuttuva suojaus voivat aiheuttaa ongelmia kuten kanavan kasaan painumista tai poikkeamista terävän kiven tai mutkan takia.

### 3.3 Käyttöolosuhteet

Mikrokanaviin suurin käyttöön vaikuttava tekijä on ympäröivän ilman lämpötila. Tiedetään, että kylmässä polyeteeni jäykistyy ja lämpimämmässä se notkistuu. Materiaalivalmistajat antavat tuotteilleen asennus-, kuljetus-, varastointi- ja käyttölämpötilat, joissa tuotetta voidaan toimivasti hyödyntää.

Taulukko 3. Tuotevalmistajien antamat lämpötila-asteikot mikrokanavan asennukselle, kuljetukselle, varastoinnille ja käytölle.

#### **Nestor Cables**

Asennus	-15 - +40 °C
---------	--------------

Kuljetus, varastointi ja käyttö	-45 - +60 °C
<b>Hexatronic</b>	
Asennus	-20 - +50 °C
Kuljetus, varastointi ja käyttö	-40 - +60 °C

Taulukosta 3 huomataan, että Hexatronicin antamat arvot asennukselle ovat hieman laajemmat kuin Nestorin.

Kovin korkeilla pakkaskeleillä asennusta ei suositella suoritettavan. Mikrokana-  
van levitys kelalta voi olla ongelmallista pakkasen takia jäykentyneen muovima-  
teriaalin takia. Kanavaa voi olla vaikea saada asennettua suoraan kaivantoon,  
sillä sen muodonmuutoskyky on heikentynyt alhaisen lämpötilan takia.

### 3.4 Valmistajien laadunvarmistus

Molemmat tuotevalmistajat testaavat tuotteitaan standardin IEC 60794 mukai-  
sesti. Standardin mukaisten testien lisäksi tehdään laadunvarmistusta, usein  
jopa jokaiselle valmistetulle erälle, millä taataan tuotteen toimivuus.

#### 3.4.1 Nestor Cables

Nestor Cables testaa valmistamiaan tuotteita kattavasti. Materiaalit testataan  
tyyppitestein ja jokaisen valmistuvan erän laatu varmistetaan ennen tuotteen  
toimittamista eteenpäin.

Tuotteet testataan tyyppitestein aina tuotteen koostumuksen tai tuotantoproses-  
sin muuttuessa. Tyyppitesteillä tutkitaan tarkemmin materiaalin ominaisuuksia,  
kuten lujuutta, taivutusta, puristusta tai iskulujuutta. Materiaalia testataan IEC -  
standardien mukaisesti, tarkalleen ottaen IEC 60794 -standardin mukaisesti.

Myös jokainen valmistuva erä testataan laadultaan erilaisten testien avulla. Alla  
lueteltuna esimerkkejä laadunvarmistusmenetelmistä, joita Nestor Cables suo-  
ritttaa jokaiselle valmistuvalle erälle:

- Halkaisijan ja keskeisyyden mittaaminen tuotantoprosessissa, jossa määritetään putken halkaisijan paikkansapitävyys ja varmistetaan että jokainen sivu on saman paksuinen.
- Halkaisijan, seinämän vahvuuden- ja keskeisyyden tarkistusmittaus työntömitalla.
- Kuulatesti (inner clearance test), jossa kuula kulkee putken läpi taaten myös puhallukselle sujuvan kulun.
  - Tehdään jokaiselle yksittäiselle kanavalle valmistuksen jälkeen ja vielä uudelleen nipussa vaippauksen jälkeen jokaiselle yksittäiselle putkelle.
- Niputuksen aikana on prosessinaikaiset halkaisija-, patti- ja reikä-tunnistimet, jotka tarkkailevat ulkovaipan laatua reaaliaikaisesti valmistuksen aikana.
- Yksittäisen kanavien ja nippujen pituudet mitataan prosessissa.
- Lopputarkastukseen kuuluu myös visuaalinen tarkastus, jossa tarkistetaan putkien värijärjestys ja värit, sekä vaippamerkintä.

Nestor suorittaa putkille myös kylmän ilman asennustestiä, joka tehdään –15 °C:ssa. Testissä mikrokanavaa kelataan minimihalkaisijan mukaiselle kelalle toistuvasti. Tällä testillä pystytään varmistamaan, että kanava ei mene rikki tai muuta muotoaan. [11.]

### 3.4.2 Hexatronic

Myös Hexatronic testaa tuotteitaan myös IEC 60794 -standardin mukaisesti. Heidän tyyppitesteihinsä kuuluu muun muassa hankaus, taivutus, iskun ja puristuksen kestävyys. Lisäksi jokaiselle valmistuneelle erälle suoritetaan kuulatesti eli inner clearance test.

Hexatronicilla painotetaan erityisesti puristuksen ja halkeilun kestävyyttä. Korkea puristuksen kestävyys parantaa tuotteen kestävyyttä, mutta liian kova materiaali vanhenee nopeammin, mistä aiheutuu halkeilua. Kovempi mikrokanava myös on vaikeampaa asentaa, koska kelalle kelattu materiaali ei helposti suoristu sitä purettaessa.

Halkeilun ja murtuman kestävyyttä testataan IEC -standardin lisäksi ESCR-rasitushalkeama testillä. Testillä testataan polymeerin pinnassa olevien halkeamien ja murtumien muodostumista materiaalin rasituksen ja ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta. [12.]

Tässä testissä mikrokanavasta leikattuja suikaleita asetetaan testiliuoksella täytettyyn putkeen taitettuna U:n muotoon, jossa niitä liuotetaan tietty aika tietyssä lämpötilassa. Jokaiseen kanavan taivutuskohtaan on leikattu uurre, josta mahdollinen murtuma voi saada alkunsa. Leikattu uurre on eri testikappaleissa eri syvyinen. Testiliuoksen pitoisuus, lämpötila ja näytteen mitat aiheuttavat erilaista rasitusta näytekappaleisiin. Näytettä tarkkaillaan mahdollisten halkeamien ja murtumien havaitsemiseksi tietyin väliajoin. [13.]

## 4 Polyeteeni

Polyeteeni on maailman käytetyin kestopuovi. Kestomuoveja voidaan sulattaa ja kiteyttää useita kertoja. Lämpömuovautuvia muoveja kutsutaan termoplastisiksi muoveiksi, koska ne säilyttävät plastiset ominaisuutensa. Polymeerimolekyylit muodostuvat pitkistä ketjuista, joissa on heikkoja sidoksia ketjujen välissä. Heikot sidokset rikkoutuvat muovia kuumennettaessa, jolloin polymeeriketjut voivat muotoutua. Jäähdytymisen aikana sidokset syntyvät uudelleen ja materiaali säilyttää uuden muotonsa.

Polyeteeni valmistetaan pääosin öljyistä ja maakaasuista polymeroimalla eteeniä eli etyleeniä. Polyeteenit jaetaan karkeasti kolmeen eri päätyyppiin niiden tiheyden perusteella. Pientiheyspolyeteeni LDPE (tiheys 0,91–0,93 kg/dm<sup>3</sup>),

keskitiheyspolyeteeni MDPE (tiheys 0,93–0,95 kg/dm<sup>3</sup>), sekä suurtiheyspolyeteeni HDPE (tiheys 0,95-0,98 kg/dm<sup>3</sup>). [14.]

Kuvasta 9 voidaan nähdä suurtiheyksisen- ja pientiheyksisen polyeteenin ero rakenteessa.



Kuva 9. Polyeteenin rakenteet. Suurtiheyksinen HDPE on lineaarinen rakenteeltaan ja pientiheyksinen LDPE on rakenteeltaan haaroittunut. [15.]

HDPE:n lineaarinen rakenne mahdollistaa termoplastisen käyttäytymisen ja helpon muokattavuuden. Lineaarinen rakenne tekee materiaalista myös jäykemmän ja vahvemman. Pientiheyksinen polyeteeni on haaroittuneempi, mikä tekee siitä taas kevyen ja joustavan, mutta vaikeammin muokattavan. [15.]

#### 4.1 Polyeteenin ominaisuudet

Polyeteenien ominaisuudet vaihtelevat tyypistä toiseen, ja myös siksi käyttösovelluksia on kevyistä kalvopakkausista paksuihin putkituotteisiin. Polyeteenimuovi ei juurikaan reagoi muihin aineisiin, sillä sen molekyyliketju on yksinkertainen hiilivety, mikä tarkoittaa hyvää kemiallista kestävyyttä. Sen pinta on liukas ja hylkivä, mikä on etu monissa sovelluksissa.

Polyeteenien ominaisuuksia ovat esimerkiksi:

- hyvä kemikaalinkestävyys, pois lukien erittäin voimakkaat hapot.
- hyvä sähköneristävyys

- Sitkeys ja alhainen jäykkyys
- Keveys, tiheys kaikilla polyeteenilaaduilla alle  $1 \text{ g/cm}^3$
- Soveltuu elintarvikepakkauksiin
- Kellastuminen UV-säteilyssä
- Alhainen lämmönkestävyys

Ominaisuuksia voidaan muuttaa lisäämällä erilaisia seosaineita sekä jälkikäsitelyn avulla. Esimerkiksi ultraviolettivalon vaikutusta polyeteeniin voidaan muuttaa lisäämällä muoviseokseen erilaisia suoja-aineita. Seostamattoman polyeteenin ominaisuudet määräytyvät suurimmilta osin sen tiheyden ja moolimassan perusteella. Moolimassalla kuvataan molekyylien pituutta, niiden lyhyiden ja pitkien ketjujen, jakauma vaikuttaa muovin ominaisuuksiin. [16, s. 20]

#### 4.2 Suuritiheksinen polyeteeni

Suuritiheksinen polyeteeni on tunnettu sen erinomaisesta vahvuus-tiheys-suhteesta. HDPE:n tiheys voi vaihdella  $0,93\text{--}0,97 \text{ g/cm}^3$ . Sen tiheys on huomattavasti suurempi kuin pientiheyspolyeteenin, sillä sen lineaarinen rakenne mahdollistaa vahvemmat molekyylien väliset voimat ja vetolujuuden. Suuritiheksiselle polyeteenin on sulamispisteeksi noin  $132 \text{ }^\circ\text{C}$ , kun taas pientiheyspolyeteenin on vain  $115 \text{ }^\circ\text{C}$ . [15.]

Suuritiheksisen polyeteenin erityisiä ominaisuuksia ovat esimerkiksi:

- Erinomainen vahvuus-tiheys-suhte
- Suuri iskunkestävyys
- Helposti muokattava kuumennettaessa, ei juurikaan kutistu.

Näiden ominaisuuksien johdosta suurtiheyksinen voi korvata raskaampia materiaaleja joissain sovelluksissa. [15.]

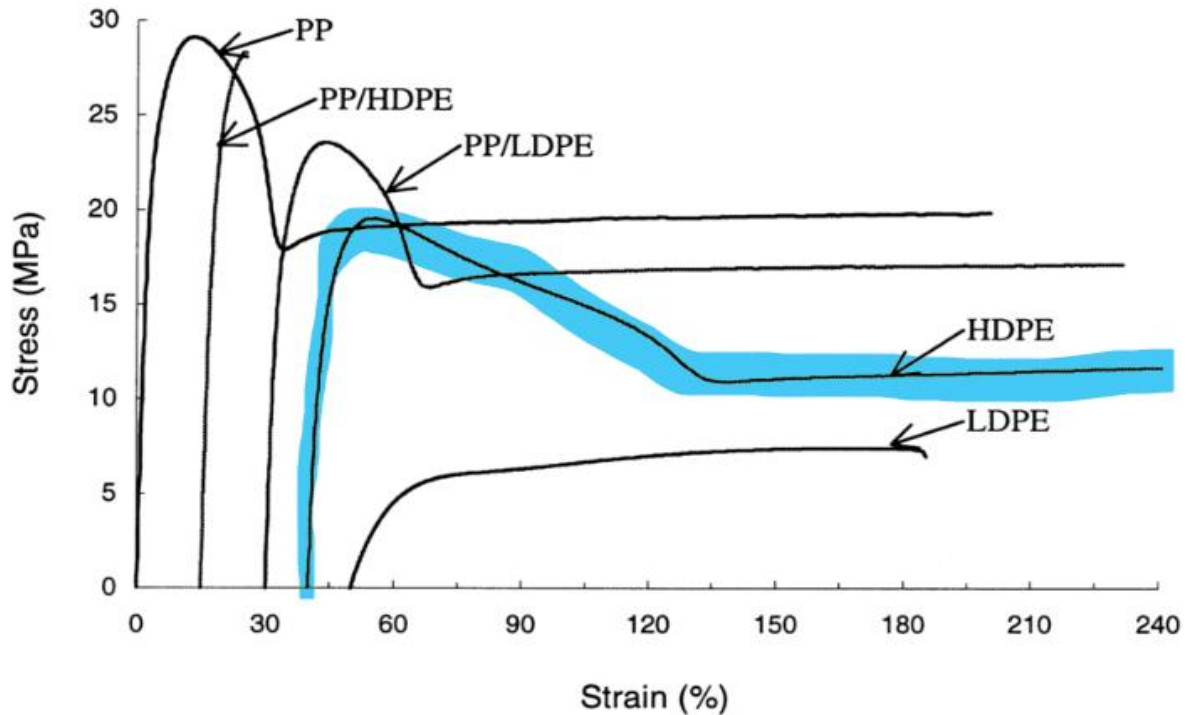
## 5 Materiaalien kokeellinen testaus

Materiaaleja testattiin Metropolian kampuksen materiaalitekniikan laboratoriossa. Kokeellisen testauksen tavoitteena on tutkia materiaalien ominaisuuksia ja pohtia, korreloivatko ne käytännön kokemusten kanssa.

Testauksia varten oli hankittu mikrokanavaputkinäytteitä molemmista Hexatronicin ja Nestor Cablesin tuotteista. Testattaviksi valikoituivat Hexatronicilta Microduct DB 12x7/3,5 mm Blue sekä Microduct 7x14/10 mm White kanavaniput, joista testattiin myös yksittäisiä sisäputkia. Nestor Cablesilta valittiin yrityksen valikoimistansa vastaavat tuotteet Optimus DB 12x7/3,5 Blue ja Optimus DB 7x14 White. Kanavan ulkovaipan värillä ei näissä laboratoriotesteissä ollut merkitystä.

### 5.1 Vetokoe

Vetokokeessa määritetään muovin lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia. Vetokokeen periaate perustuu koekappaleen vetämiseen sen molemmista päistä niin, että sen pituus kasvaa vakionopeudella. Samalla rekisteröidään muodonmuutokseen tarvittava voima koekappaleen pituuden muutoksen funktiona. Tuloksena vetokokeesta saadaan voima-pituudenmuutoskäyrä, jonka arvoista voidaan laskea jännitys-venymäkäyrä. [17.]



Kuva 10. Esimerkki vetokokeessa muodostuvasta kaaviosta. Esitetty useita eri muovimateriaaleja, joista yliviivattu esittää suurtiheysistä polyeteeniä. [18.]

Vetokokeessa testattiin kanavanippujen sisältä yksittäisiä 7/3,5 mm:n ja 14/10 mm:n putkia. Testattiin yhteensä kaksitoista näytettä, molemmilta tuotevalmistajilta kolme kappaletta kummankin paksuista putkimateriaalia.

Hexatronic antaa tuotekortissaan 7/3,5 mm putkelle 250 N:n vetolujuuden asennuksen yhteydessä, jolla tarkoitetaan maksimi voimaa jolla kanavaa voidaan asentaa sen rikkoutumatta. 14/10 mm putkelle vetolujuudeksi annetaan 700 N.

Nestor Cables antaa 7/3,5 mm tuotteelleen 270 N:n vetolujuuden ja 14/10 mm tuotteelleen 700 N:n vetolujuuden.

### 5.1.1 Työn suoritus

Työ aloitettiin asettamalla vetokoe ohjelmistoon asetusarvot. Arvojen määrittäminen oli hieman vaikeaa, sillä laitteistolla testataan pääsääntöisesti metallisia

materiaaleja, joiden asetusarvot poikkeavat paljon muoveista. Muutaman testi-vedon jälkeen löytyi toimivimmat asetusarvot ja testi aloitettiin.

Ohjelmistoon laitettiin näytekappaleen mitat sekä asetusarvot jolla testi suoritettiin. Kaikki kappaleet mitattiin 15 cm pitkiksi, jolloin venyväksi koepituudeksi jäi 5 cm.

### 5.1.2 Tulokset

Mittauksista saatiin tietoon materiaalien ominaisuuksia. Murtolujuus  $R_m$ ,  $N/mm^2$  kuvaa suurinta voimaa pinta-alayksikköä kohti, eli painetta, jonka aine kestää murtumatta. Myötölujuus  $R_e$ ,  $N/mm^2$  määritellään sen mukaan, minkälainen paine aiheuttaa sen, että aine antaa myöten mutta ei murru. Maksimi voimalla  $F_{max}$ , N tarkoitetaan kokeen kohtaa, jossa käytetty voima on ollut suurimmillaan. [19.]

Taulukko 2. Vetokokeen tulokset taulukoituna järjestyksessä murtolujuus  $R_m$ , myötölujuus  $R_e$  ja maksimi voima  $F_{max}$ .

#### Nestor Cables

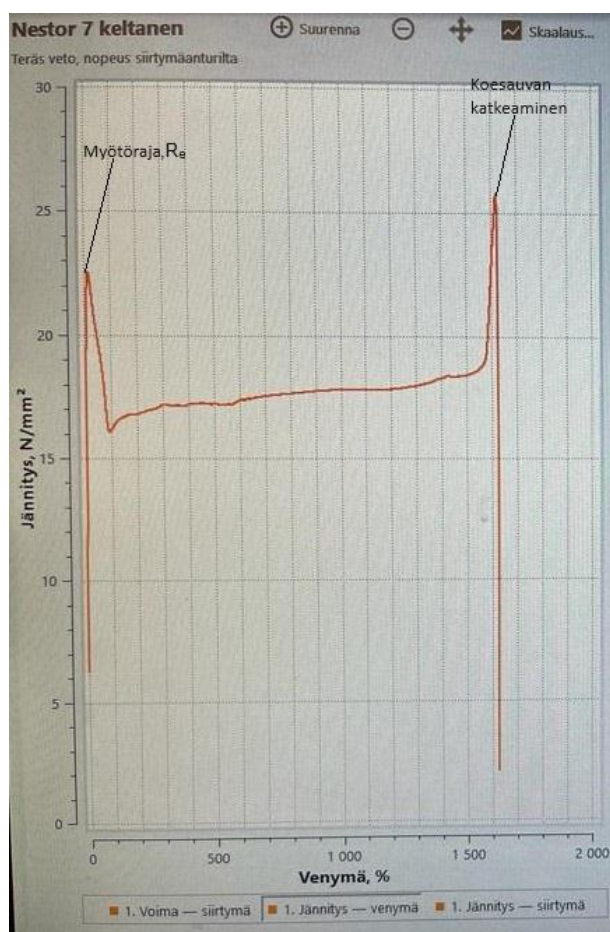
7/3,5 mm	$R_m$ , $N/mm^2$	$R_e$ , $N/mm^2$	$F_{max}$ , N
1.	36,265	9,407	1046,7
2.	20,552	17,6	710,24
3.	25,799	16,072	891,55
Keskiarvo	27,539	14,360	882,83
<b>14/10 mm</b>			
1.	31,764	2,848	2394,96
2.	30,222	4,898	2278,75
3.	30,413	1,507	2293,11
Keskiarvo	30,800	3,084	2322,273

#### Hexatronic

7/3,5 mm	$R_m$ , $N/mm^2$	$R_e$ , $N/mm^2$	$F_{max}$ , N
1.	28,961	10,151	835,9
2.	27,166	19,553	938,789
3.	23,915	12,638	826,467
Keskiarvo	26,681	14,114	867,052

14/10 mm			
1.	24,966	11,628	1882,4
2.	30,857	4,7	2326,6
3.	25,246	3,259	1903,54
Keskiarvo	27,023	6,529	2037,513

Taulukon 5 arvojen perusteella nähdään, että putkista vetolujuudeltaan kestävämpää tuotetta valmistaa Nestor Cables. Ero ei kuitenkaan ole huomattava eri valmistajien tuotteiden välillä. 14/10 mm putkien myötölujuudessa huomataan suurinta eroja tuloksissa.



Kuva 10. Vetokokeesta muodostunut jännitys-venymäkäyrä, jossa osoitettuna myötöraja ja koesauvan katkeaminen.

Kuvassa 10 myötöraja kertoo, milloin koekappaleen muoto muuttuu ja sauva alkaa venymään. Myötörajan jälkeen jännitys kappaleessa laskee, ja kappale

venyy tasaisesti. Venymän kasvaessa suuremmaksi jännitys suurenee kappaleessa ja lopulta näytesauva katkeaa venymän ja jännityksen johdosta.

Kappaleen venymissä huomattiin eroja Nestorin ja Hexatronicin välillä. Nestorin 14/10 mm putket katkesivat paljon aiemmin, kun Hexatronicin putki venyi aivan äärimmilleen. Tämä kertoo Nestorin putken olevan kovempaa. Tämä esitetty kuvassa 12.



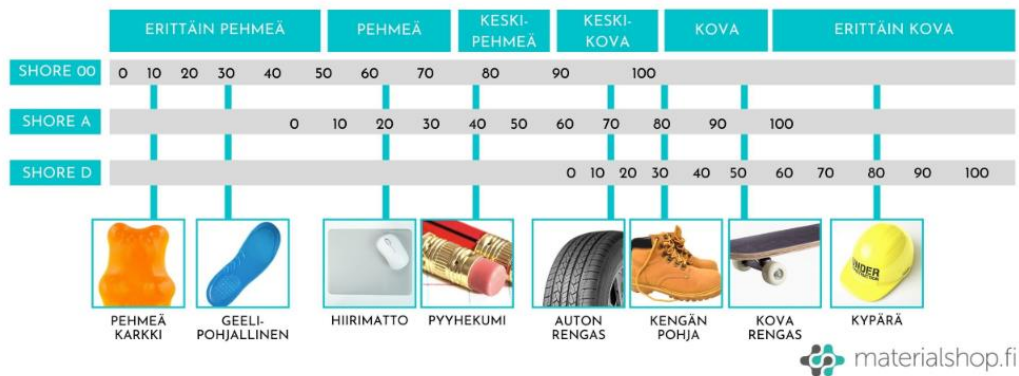
Kuva 11. Vetokokeen tuloksia. Vasemmalla Hexatronicin 14/10 mm putki ja oikealla Nestorin 14/10 mm putki vedettynä.

## 5.2 Shore D -kovuus

Kovuuden määritelmänä pidetään materiaalin kykyä vastustaa muodonmuutosta, kuten siihen tunkeutuvaa esinettä, naarmuuntumista, kulumista tai leikkaamista. Kovuus on riippuvainen monista muista materiaalin ominaisuuksista, kuten murtolujuudesta, sitkeydestä, kimmoisista ominaisuuksista ja iskusitkeydestä. [20.]

Shore -kovuusmittauksella testataan pehmeitä materiaaleja, kuten muoveja ja kumeja. Shore -menetelmässä on mitta-asteikoita eri materiaaleille, mutta

yleisimmät ovat Shore A ja D. A-menetelmää käytetään pehmeille materiaaleille kuten kumille ja elastomeereille ja D:tä hieman kovemmille muovimateriaaleille. Kuvassa 13 esitettynä tunnettujen materiaalien Shore kovuuksia. [21.]



Kuva 12. Shore-kovuusasteikko ja erilaisia materiaaleja ja niiden kovuuksia asteikolla. [22.]

Tässä työssä testattiin polyeteeniä Shore D menetelmällä.

### 5.2.1 Työn suoritus

Kovuusarvo määritetään painamalla durometrin pää näytteeseen ja mittaamalla mittauspään tunkeutumissyvyyttä. Kovuusmitat vaihtelevat välillä 0–100, mitä suurempi tulos on, sitä kovempi materiaali on.

Mittaus suoritettiin molempien materiaalien valmistajien, Hexatronicin ja Nestor Cablesin, kolmen eri tuotteen pinnalle. Mitattiin kahden mikrokanavanipun ohuen ulkovaipan pinnankovuutta sekä paksumman putkivaihtoehdon yksittäisen putken pinnankovuutta. 7/3,5 mm putken kovuutta ei pystytty mittaamaan sen kapeuden takia.

### 5.2.2 Tulokset

Alla taulukoituna Shore D -kovuusmittauksen tulokset.

Taulukko 3. Shore D -kovuusmittauksen tulokset.

<b>Muovivaipan kovuus 12x7/3,5mm</b>	1. mit- taus	2. mit- taus	3.mit- taus	4.mit- taus	5.mit- taus	Kes- kiarvo
<b>Nestor Cables</b>	58	58	63	59	58	59,2
<b>Hexatronic</b>	40	43	53	43	43	44,4

<b>Muovivaipan kovuus 7x14/10mm</b>	1. mit- taus	2. mit- taus	3.mit- taus	4.mit- taus	5.mit- taus	Kes- kiarvo
<b>Nestor Cables</b>	52	52	52	52	53	52,2
<b>Hexatronic</b>	43	42	41	41	42	41,8

<b>Yksittäisen 14/10 mm kovuus</b>						
	1. mit- taus	2. mit- taus	3.mit- taus	4.mit- taus	5.mit- taus	Kes- kiarvo
<b>Nestor Cables</b>						
Keltainen	62	63	61	62	58	61,2
Ruskea	63	62	65	62	60	62,4
Vihreä	61	64	65	64	61	63
<b>Hexatronic</b>	1. mit- taus	2. mit- taus	3.mit- taus	4.mit- taus	5.mit- taus	Kes- kiarvo
Valkoinen	55	57	58	57	58	57
Vihreä	59	61	60	61	62	60,6
Oranssi	61	61	59	60	61	60,4

Tuloksista voidaan huomata, että Nestor Cablesin tuotteet ovat mittausten mukaan kovempia kuin Hexatronicin. Tulokseen vaikuttaa tutkittavan materiaalin muoto ja koko. Tässä työssä tutkimme kapeaa putkimateriaalia, joten tulokseen voi vaikuttaa se, että durometriä ei saa painettua kappaleeseen tasaisesti. Putken värillä ei pitäisi olla vaikutusta tuotteen kovuuteen, mutta voidaan huomata, että Hexatronicilla valkoisen putken kovuus on heikompi kuin värillisten.

### 5.3 DSC-lämpöanalyysi

Differentiaalinen pyyhkäisykalorimetria on termooanalyttinen tekniikka, jossa tutkittavan näytteen lämpötila ja vertailulämpötilan nostamiseen tarvittavan lämmön määrän ero mitataan lämpötilan funktiona. DSC:llä tutkitaan polymeerien muutoksia kuumennettaessa. Kyseessä on siis terminen menetelmä, jolla

saadaan tutkittua polymeerien sulamista, kiteytymistä ja lasimuutosta. Analyysin lämpötilaohjelma on suunniteltu siten, että näytteenpitimen lämpötila nousee lineaarisesti ajan funktiona. [23.]

Laitteeseen asetetaan kaksi kapselia, joissa toisessa on tutkittavaa materiaalia ja toinen jätetään tyhjäksi vertailua varten. Kapseleita ohjataan tietokoneen avulla siten, että kummankin kapselin kuumennusnopeus pysyy täsmälleen samana. Polymeeriä sisältävän kapselin kuumentamiseen tarvitaan enemmän lämpöenergiaa kuin tyhjän kapselin kuumentamiseen.

Tässä työssä määritimme laitteiston muodostamasta käyrästä näytteen sulamispisteet.

### 5.3.1 Työn suoritus

Laboratoriotyö aloitettiin käynnistämällä DSC-laitteisto, jäähdytin ja siihen liitetty tietokone ja ajo-ohjelma. Laitteeseen kuuluu myös typpipullo, josta säädettiin toisiopaine 3 baariin. Typen virtaus säädettiin DSC-laitteistossa olevasta paineenalennusventtiilistä kulkemaan 20 ml/minuutissa.

Tutkittavasta muoviputkesta vuotiin 5–10 mg:n näyte pieneen alumiinipannuun, johon puristettiin kansi siihen tarkoitettulla laitteella. Valmistettiin myös toinen tyhjä alumiinipannu, joka toimi vertailunäytteenä. Pannut asetettiin DSC-laitteiston kammioon niin, että vasemmalle asetettiin näytettä sisältävä pannu ja oikealle puolelle tyhjä vertailukappale. Kammio suljettiin lopuksi vielä kahdella kannella.

Näytteitä oli tarkoitus testata kuusi kappaletta, kolme molemmilta tuotevalmistajilta. Laite kuitenkin rikkoutui kesken mittausten, ja kaikkia suunniteltuja mittauksia ei saatu suoritettua.

Tutkittiin ensin Hexatronicin valmistamaa tuotetta. Ajoja tehtiin kolme kappaletta samalle tuotteelle. Näytettä punnittiin alumiinipannuun ensimmäiseen ajoon 5,3 mg, toiseen 7,1 mg ja kolmanteen 5,2 mg. Ajo-ohjelmaan asetettiin

maksimilämpötilaksi 300 °C, jossa sitä kuumennettiin 1 minuutti. Lähtötilassa näytteen lämpötila oli 30 °C.

Seuraavaksi tutkittiin Nestor Cablesin tuotetta. Tarkoituksena oli ajaa myös Nestorin tuotteella 3 ajoa, mutta laitteisto lakkasi toimimasta ennen kun työ ehdittiin suorittaa loppuun. Näytettä punnittiin alumiinipannuun 5,2 mg. Ajo-ohjelmaan asetettiin samat arvot kuin aikaisemmassa testissä, eliaksimilämpötilaksi 300 °C, missä sitä kuumennettiin 1 minuutti. Lähtötilassa näytteen lämpötila oli 30 °C.



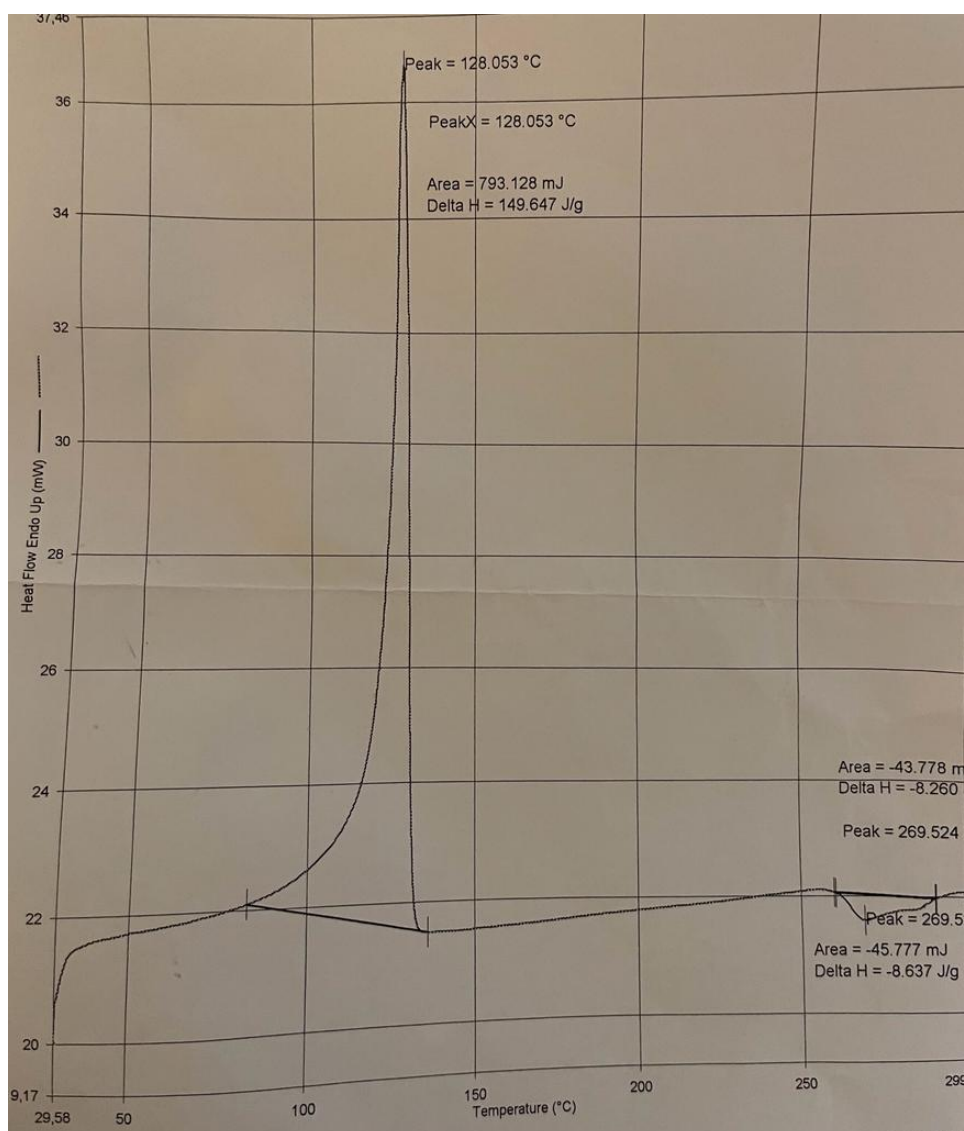
Kuva 13. Alumiinipannut DSC-laitteen kammiossa. Vasemmalla muovinäytettä sisältävä panna ja oikealla tyhjä vertailunäyte.

Tietokoneella luotiin ajo-ohjelma, jonka perusteella laite analysoi näytteitä ja muodostaa niistä käyrän.

### 5.3.2 Tulokset

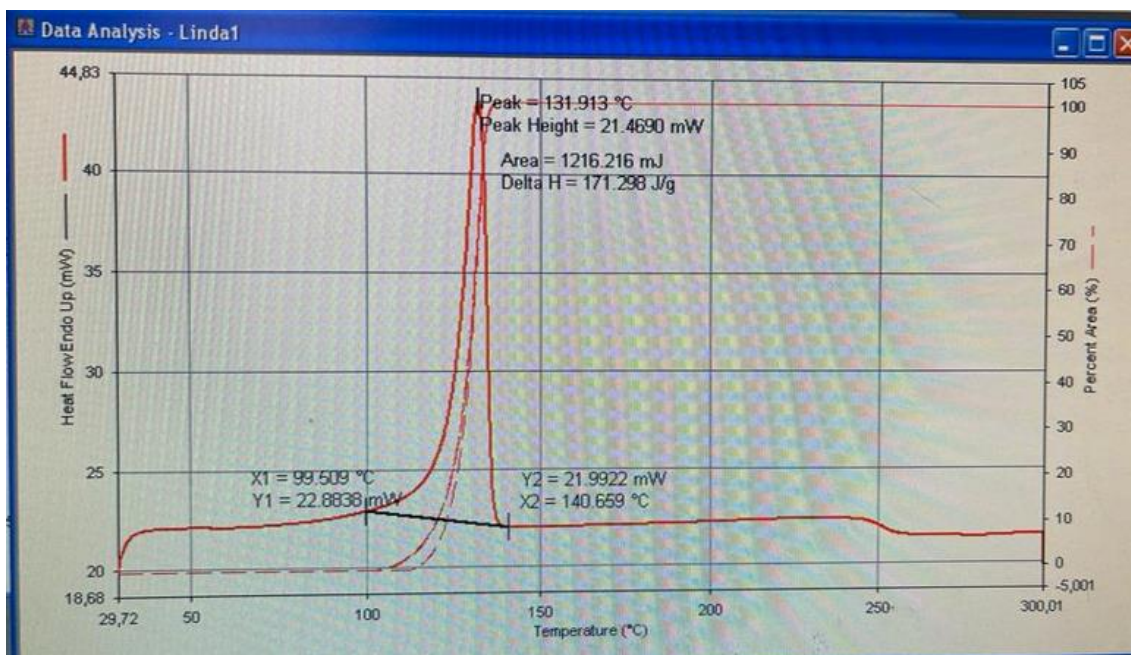
Alla esitettyinä DSC:n muodostamat käyrät.

Kuvassa 15 korkeana piikkinä voidaan nähdä Hexatronicin ensimmäisen 5,3 mg:n näytteen sulamispiste 128.053 °C.



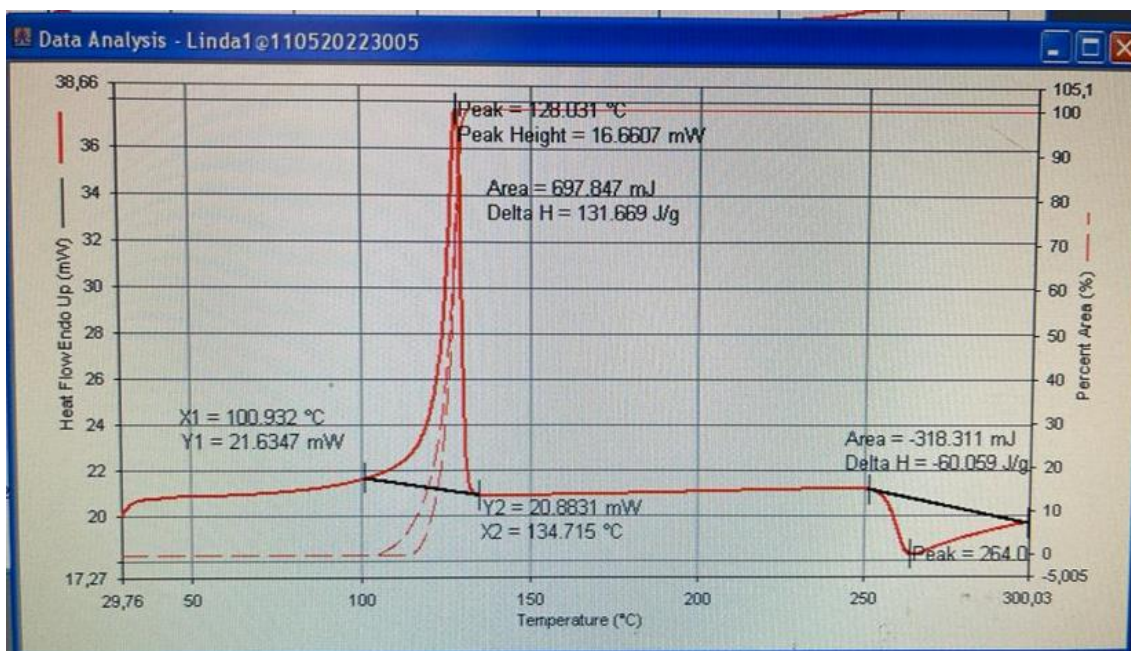
Kuva 14. DSC-analyysi Hexatronic 5,3 mg:n näyte.

Kuvassa 16 nähdään korkeana piikkinä Hexatronicin toisen 7,2 mg:n näytteen sulamispiste 131.913 °C.



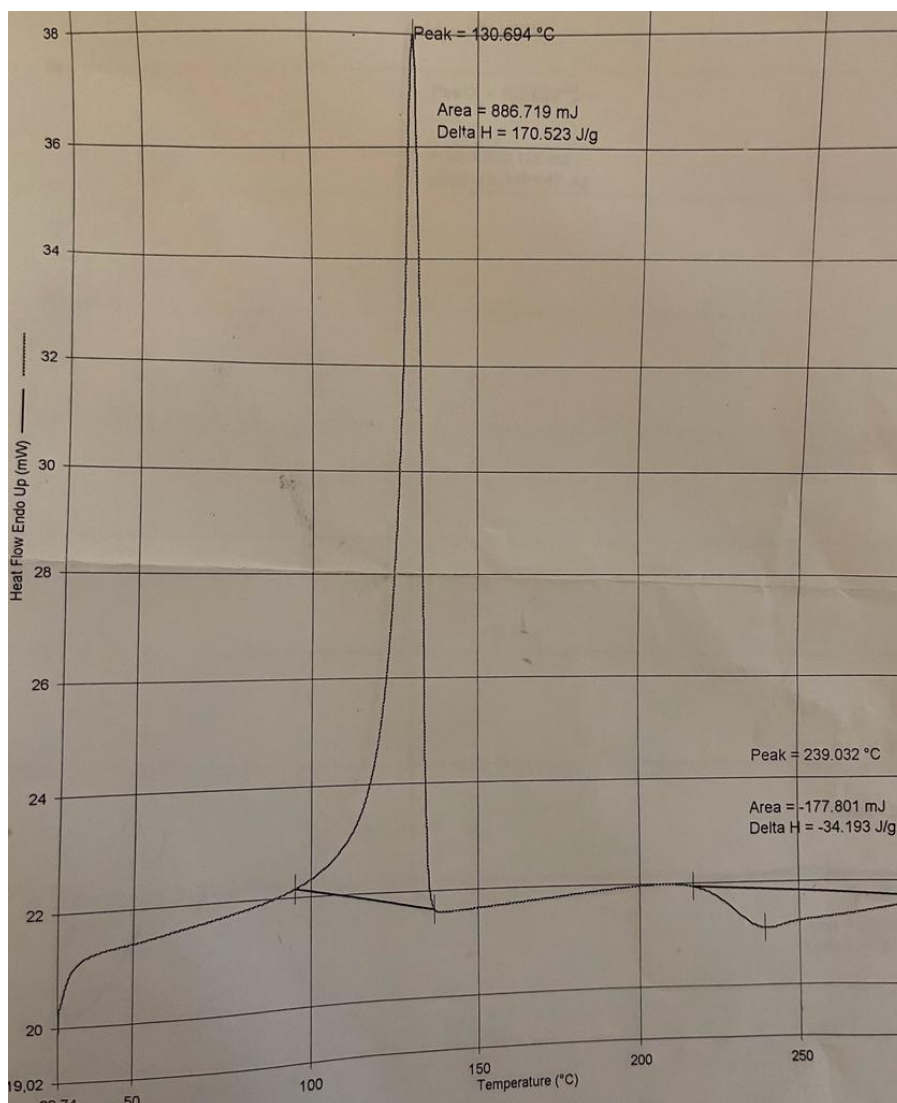
Kuva 15. DSC-analyysi Hexatronic 7,2 mg:n näyte.

Kuvassa 17 nähdään korkeana piikkinä Hexatronicin kolmannen 5,2 mg:n näytteen sulamispiste 128.031 °C.



Kuva 16. DSC-analyysi Hexatronic 5,2 mg:n näyte.

Kuvassa 18 nähdään korkeana piikkinä Nestor Cabelsin 5,2 mg:n näytteen sulamispiste 130.694 °C.



Kuva 17. DSC-analyysi Nestor Cables 5,2 mg:n näyte.

Tuloksista voidaan huomata, että ne ovat hyvin samankaltaisia. Korkeana piikkinä näkyy polyeteenin sulamispiste, joka on jokaisessa kokeessa 128–132°C:een välillä. Tulokset eivät ole korreloitavissa käyttökokemusten kanssa, mutta tukevat polyeteenille annettuja materiaaliominaisuuksia.

## 5.4 FTIR-analyysi

Fouriermuunnettua infrapunaspektroskopiaa eli FTIR:ää käytetään aineiden tunnistamiseen ja molekyylien rakenteen määrittämiseen. Näytettä säteilytetään sähkömagneettisella säteilyllä, jonka aallonpituus on yleensä 2,5–50  $\mu\text{m}$ . Mittaus perustuu molekyylien vuorovaikutukseen infrapunavalon kanssa. Säteily absorboituu näytteeseen, jolloin tapahtuu sidosten värähtelyä. Jokaisella sidostyyppillä on ominainen värähtelyn taajuus. Absorboidun aallonpituuden perusteella voidaan tunnistaa näytteen sisältämät kemialliset sidosryhmät. Menetelmällä voidaan tutkia kiinteitä, nestemäisiä ja kaasumaisia näytteitä. [24.]



Kuva 14. FTIR laitteisto. [25.]

Laitte muodostaa yhdisteelle ominaisen infrapunaspektrin, jonka perusteella materiaali voidaan tunnistaa. [26.]

Laitteisto on yhteydessä moniin tunnettuihin spektrikirjastoihin, joihin se vertaa mitatun materiaalin muodostamaa spektriä. Laitte muodostaa listauksen komponenteista ja niiden määristä joita se havaitsee näytteestä.

### 5.4.1 Työn suoritus

FTIR laitteisto on erittäin helppokäyttöinen. Näyte asetettiin mittauspään alle ja se kiristettiin tiukaksi putkeen kiinni. Laitteella ajettiin yksi tyhjä ajo ennen

näytteen lisäämistä. Ajo-ohjelmaan määritettiin montako mittausta laite ottaa näytteestä. Tätä testausta varten laite suoritti 16 mittausta.

#### 5.4.2 Tulokset

FTIR-mittauksen tulokset ovat esitettynä liitteessä 1.

Tuloksista voidaan huomata, että molempien tuotevalmistajien putket ovat pääsääntöisesti suuritiheyksistä polyeteeniä eli HDPE:tä. Nestorin molemmat 14/10 mm ja 7/3,5 mm sekä Hexatronicin 14/10 mm sisältävät mikrokiteistä vahaa ja parafiinivahaa, joka voisi mahdollisesti lisäaine, jota käytetään sisäpinnan liukauden lisäämiseksi tai valmistusprosessissa liukasteina.

Ominaisuuksia parantavia lisäaineita ovat esimerkiksi Eraclene, Hostalen ja Scolefin, joita jokaisessa testatussa materiaalissa oli pieniä määriä.

#### 5.5 Silmämääräinen vertailu

Silmämääräisesti tarkastellaan molempien tuotevalmistajien tarjoamia tuotteita putket näyttävät hyvin samanlaisilta. Hexatronicilla putken väripigmentti on läpikuultavampaa kuin Nestorilla. Läpikuultavuuden johdosta Hexatronic takaa tuotteelleen helpon vikakohtien paikannuksen mikrokanavassa. Läpikuultavasta putkesta puhallettu kuitu näkyy läpi, kun taas Nestorin putkesta kaapelia ei

pysty näkemään. Kuvassa 15 esitetty Nestorin ja Hexatronicin ero putken läpikuultavuudessa.



Kuva 15. Vasemmalla Nestorin putki ja oikealla Hexatronicin putki.

Mikrokanavaputkien sisäpintaa tarkasteltaessa huomataan Hexatronicin putken pinnan olevan tasaisempi kuin Nestorin. Tämä voi vaikuttaa valokuidun puhallukseen ja kuidun etenemiseen putkessa. Nestor Cablesin asiantuntija Viitalan mukaan putken sisäpinnalla on ohut kerros hieman erilaista muoviseosta, jonka sekaan on lisätty silikonipohjaista lisäainetta, jotta kitkakerroin pienenesi [11].



Kuva 16. Kuva tuotteiden sisäpinnasta. Ylempänä Nestor ja alempana Hexatronic. Eroavaisuutta voidaan huomata ylemmän putken sisäpinnan kuvioinnissa.

Myös Hexatronicin yhteyshenkilö Rehnfors kertoi, että Hexatronicin putken sisäpinta on tehty liukkaammaksi valokuidun asentamista helpottamiseksi. Myös putken sisällä näkyvien urien syvyys on tieteellisesti tutkittu toimivaksi. [12.]

## 6 Yhteenveto

Optisen verkon yleistyessä Suomessa myös mikrokanavatekniikka yleistyy sen mukana. Valokuidun etuja ovat muun muassa pitkien välimatkojen tiedonsiirto, alhainen signaalin vaimentuminen sekä tiedonsiirron turvallisuus. Valokuitukaapelit muodostuvat suojaavasta ulkokuoresta ja sen sisällä olevista kuiduista. Suojaava ulkovaippa on useimmiten korkeatiheyksistä polyeteeniä, joka suojaa sisällä olevia kuituja koko kaapelin elinkaaren aikana muodostuvilta raskailta. Valokuitukaapeli saa kuitenkin paljon suojaa polyeteenistä valmistetusta mikrokanavasta, johon kuitu puhalletaan. Mikrokanavan takia itse valokuitukaapelin suojaavista ominaisuuksista voidaan tinkiä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia valokuiturakentamisessa käytetyn mikrokanavatekniikan vaadittuja ominaisuuksia kokeellisin menetelmin sekä käytännön kokemusten perusteella.

Mikrokanavatekniikalla voidaan rakentaa valokuituverkkoa nopeasti ja kustannustehokkaasti, mutta kanavaverkosto vaatii kuitenkin asianmukaisen asennustekniikan, jotta toimintavarmuus voidaan taata. Asennuksessa tulee huomioida oikea asennussyvyys, sekä se, että tehty kaivanto on tasainen eikä mikrokanavalle aiheudu siitä vaurioita.

Kanavan yleisimmät vauriot muodostuvat epätasaisista ja kivisistä kaivannoista, jolloin kanava voi mennä poikki tai puhallettu valokuitu ei pääse kulkemaan putkessa mutkien tai töyssyjen takia. Pääosin ongelmat mikrokanavatekniikkaa käytettäessä muodostuivat juuri epätasaisesta kaivannosta tai liian kylmistä käyttöolosuhteista, joissa kanava muuttuu jäykäksi.

Mikrokanavat valmistetaan pääsääntöisesti haaroittuneesta suurtiheyksisestä polyeteenistä. Polyeteeni on ominaisuuksiltaan hyvin kestävä ja helposti käsiteltävää. Sen ominaisuudet tekevät siitä maailman käytetyimmän kestopuovin.

Vetokokeessa koekappaleet vedettiin vetolaitteistolla poikki, josta saatiin tulokseksi jännitys-venymäkäyrä ja arvot myötölujuudelle, murtolujuudelle ja maksimivoimalle. Tuloksena voidaan todeta, että Nestor Cablesin tuotteissa nämä arvot olivat korkeampia kuin Hexatronicilla. Kovuuden testausmenetelmällä Shore D antoi samanlaisia vastauksia kuin vetokoe. Nestorin tuotteet ovat materiaaliltaan kovempia kuin Hexatronicin.

Silmämääräisesti verratessa molempien valmistajien tuotteita ne eivät kovasti poikkea toisistaan. Suurin eroavaisuus nähdään itse tuotteen väriyksessä, jolla Hexatronic takaa helpon vian paikantamisen. Myös sisäpinnan urien syvyys poikkesi tuotteissa, jossa Nestor Cablesilla urat ovat syvemmät. Myös käsin tuotteita taivuteltaessa voidaan huomata, että Nestorin kanava on kovaa ja huomattavasti jäykempää kuin Hexatronicin. Tämä tukee materiaalitestauksesta saatuja veto- ja kovuuskokeen tuloksia, joista nähdään Hexatronicin tuotteiden oleva joustavampaa ja pehmeämpää kuin Nestorin.

Tuotteina molemmat sopivat käyttötarkoitukseensa ja polyeteeni materiaalina on oiva valinta mikrokanavaan. On varmasti käyttäjistä kiinni, kumpi tuotteista koetaan paremmaksi. Erityisesti veto- ja kovuuskokeen tulokset korreloivat käyttökokemusten kanssa. Materiaalin ominaisuuksien tutkimista tästä voisi vielä jatkaa, esimerkiksi iskukovuuden ja taivutuslujuuden tutkimisella. Näillä jatkotutkimuksilla saataisiin lisää tietoa kanavan kestävydestä esimerkiksi asennuksessa, jossa ongelmana on kivinen ja epätasainen kaivanto.

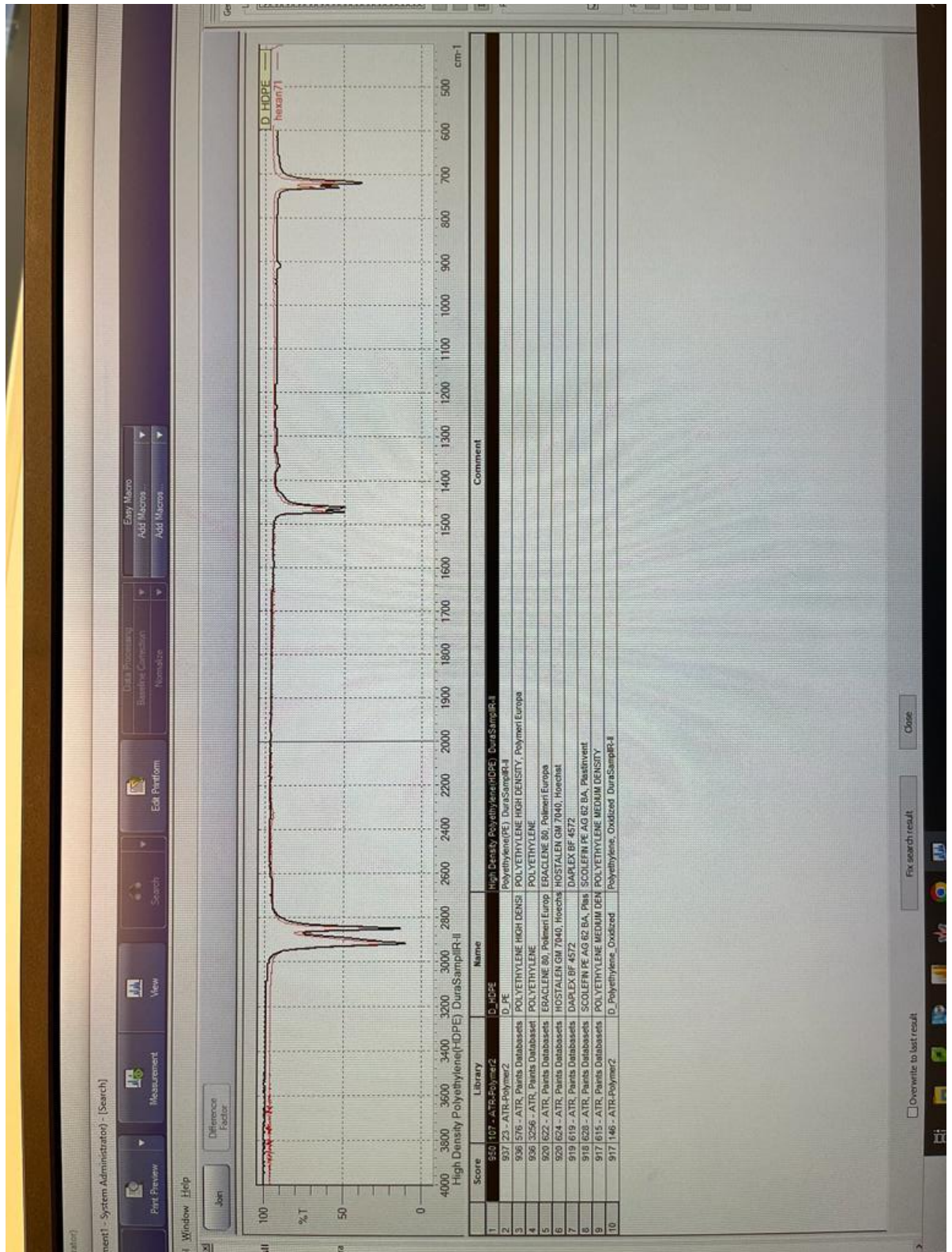
## Lähteet

- 1 Valokuituverkot laajenevat ja niiden käyttö kasvaa entisestään. 2023. Verkkootikkeli. Traficom. <<https://traficom.fi/fi/ajankohtaista/valokuituverkot-laajenevat-ja-niiden-kaytto-kasvaa-entisestaan>> Luettu 23.11.2023.
- 2 Basic elements of fiber optic communication system and its working. Verkkoinaisto. Elprocus. <<https://www.elprocus.com/basic-elements-of-fiber-optic-communication-system-and-its-working>> Luettu 30.4.2023.
- 3 Total internal reflection and optical fibres. Verkkoinaisto. BBC. <<https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zctmh39/revision/2>> Luettu 23.11.2023.
- 4 FTTX-Kirja 2023. Verkkoinaisto. Nestor Cables. <[https://www.nestor-cables.fi/media/aineistopankki/kirjat/fttx\\_kirja\\_2023\\_web.pdf?liana\\_pv=f6839d2ea55a6c53fee32d8346afa3b4](https://www.nestor-cables.fi/media/aineistopankki/kirjat/fttx_kirja_2023_web.pdf?liana_pv=f6839d2ea55a6c53fee32d8346afa3b4)> Luettu 30.4.2023.
- 5 Kaapelirakenne suojaa valokuitua, 4 päärakennetta tarkastelussa. Verkkoinaisto. Nestor Cables. <<https://www.nestorcables.fi/ajankoh-taista/blogi/kaapelirakenne-suojaa-valokuitua-4-paarakennetta-tarkaste-lussa.html>> Luettu 5.5.2023.
- 6 Colour codes. Verkkoinaisto. Nestor Cables. <<https://www.nestor-cables.com/cable-information/colour-codes.html>> Luettu 5.5.2023.
- 7 Mikrokanavatekniikka soveltuu taajamien valokaapelointiin. Verkkoinaisto. Sonepar Suomi Oy. <<https://ideat.sonepar.fi/mikrokanavatekniikka-soveltuu-taajamien-valokaapelointeihin/>> Luettu 5.5.2023.
- 8 Maahan asennettavat mikrokanavat. Verkkoinaisto Nestor Cables. <<https://www.nestorcables.fi/tuotteet/mikrokanavatekniikka/mikrokana-vat/maahan-asennettavat-mikrokanavat/optimus-db-735-mm-mikroka-nava.html#preview>> Luettu 5.6.2023.
- 9 Maanrakentajan yleisperehdytys. 2023. Yrityksen sisäinen aineisto. Eltel. Luettu 17.10.2023.
- 10 Kaapelinsuojaus. Verkkoinaisto. Uponor Finland. <<https://www.uponor.com/fi-fi/infra/tuotejarjestelmat/kaapelinsuojaus>> Lu-ettu 17.10.2023.
- 11 Viitala, Antti. 2023. Avainasiakaspäällikkö, Nestor Cables. Sähköposti haastattelu 16.10.2023.

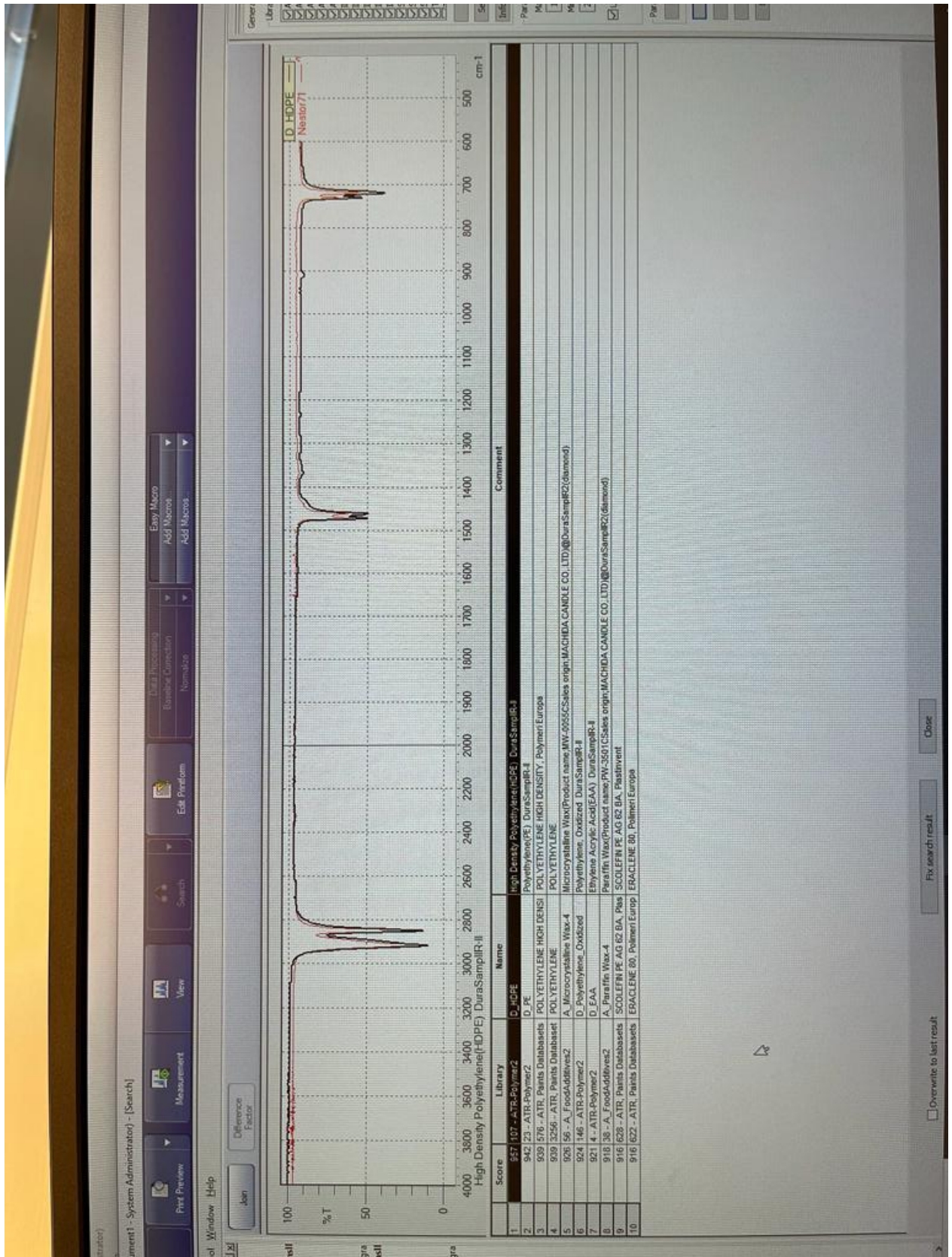
- 12 Rehnfors, Jori. 2023. Tekninen myyntipäällikkö, Hexatronic. Sähköposti haastattelu 23.10.2023.
- 13 Understandig ESCR. Verkkoaineisto. Poly Prosessing Company. <<https://tanks.polyprocessing.com/hubfs/images/uploads/Understanding-ESCR.pdf>> Luettu 17.10.2023.
- 14 Raaka-aine. Verkkoaineisto. Pipelife Finland Oy. <<https://www.pipelife.fi/tietoa-meista/vastuullisuus/raaka-aine.html>> Luettu 31.7.2023.
- 15 Difference between hdpe and ldpe. Verkkoaineisto. Difference Between.com.<<https://www.differencebetween.com/difference-between-hdpe-and-vs-ldpe/>> Luettu 31.7.2023.
- 16 Järvinen, Pasi. 2017. Muovit ja muovituotteiden valmistus. Porvoo: Bookwell Oy. 20–30. Luettu 31.7.2023.
- 17 Tensile test. Verkkoaineisto. Instron.<<https://www.instron.com/en/resources/test-types/tensile-test>> Luettu 31.7.2023.
- 18 Tensile stress strain curves for the various types of samples. Verkkoaineisto. Research gate. <[https://www.researchgate.net/figure/Tensile-stress-strain-curves-for-the-various-types-of-samples\\_fig1\\_248448530](https://www.researchgate.net/figure/Tensile-stress-strain-curves-for-the-various-types-of-samples_fig1_248448530)> Luettu 23.11.2023.
- 19 Korpela, Jukka. 2023. Datateknikka ja viestintä. Verkkoaineisto. <<https://jkorpela.fi/yksikot/9.7.html>> Luettu 13.11.2023.
- 20 Durometer Shore hardness scale. Verkkoaineisto. Smooth on. <<https://www.smooth-on.com/page/durometer-shore-hardness-scale/>> Luettu 21.9.2023.
- 21 Hardess Shore D. Verkkoaineisto. Omnexus.<<https://omnexus.special-chem.com/polymer-properties/properties/hardness-shore-d>> Luettu 21.9.2023.
- 22 Näin tulkitsem materiaalien kovuuksia. Verkkoaineisto. Materialshop.<<https://www.materialshop.fi/Ohjeet/Naein-tulkitset-materiaalien-kovuuksia>> Luettu 13.11.2023.
- 23 DSC. Verkkoaineisto. Intertek.<<https://www.intertek.com/analysis/dsc/>> Luettu 13.11.2023.
- 24 FTIR-spektroskopia. Verkkoaineisto. Measurlabs. <<https://measurlabs.com/fi/menetelmat/ftir-spektroskopia/>> Luettu 21.9.2023.

- 25 FTIR Spectroscopy system. Verkkoaineisto. Shimadzu.<<https://www.shimadzu.com/an/products/molecular-spectroscopy/ftir/ftir-spectroscopy-system/index.html>> Luettu 21.9.2023.
- 26 FTIR analysis. Verkkoaineisto. RTI Laboratories.<<https://rtilab.com/techniques/ftir-analysis/>> Luettu 21.9.2023.

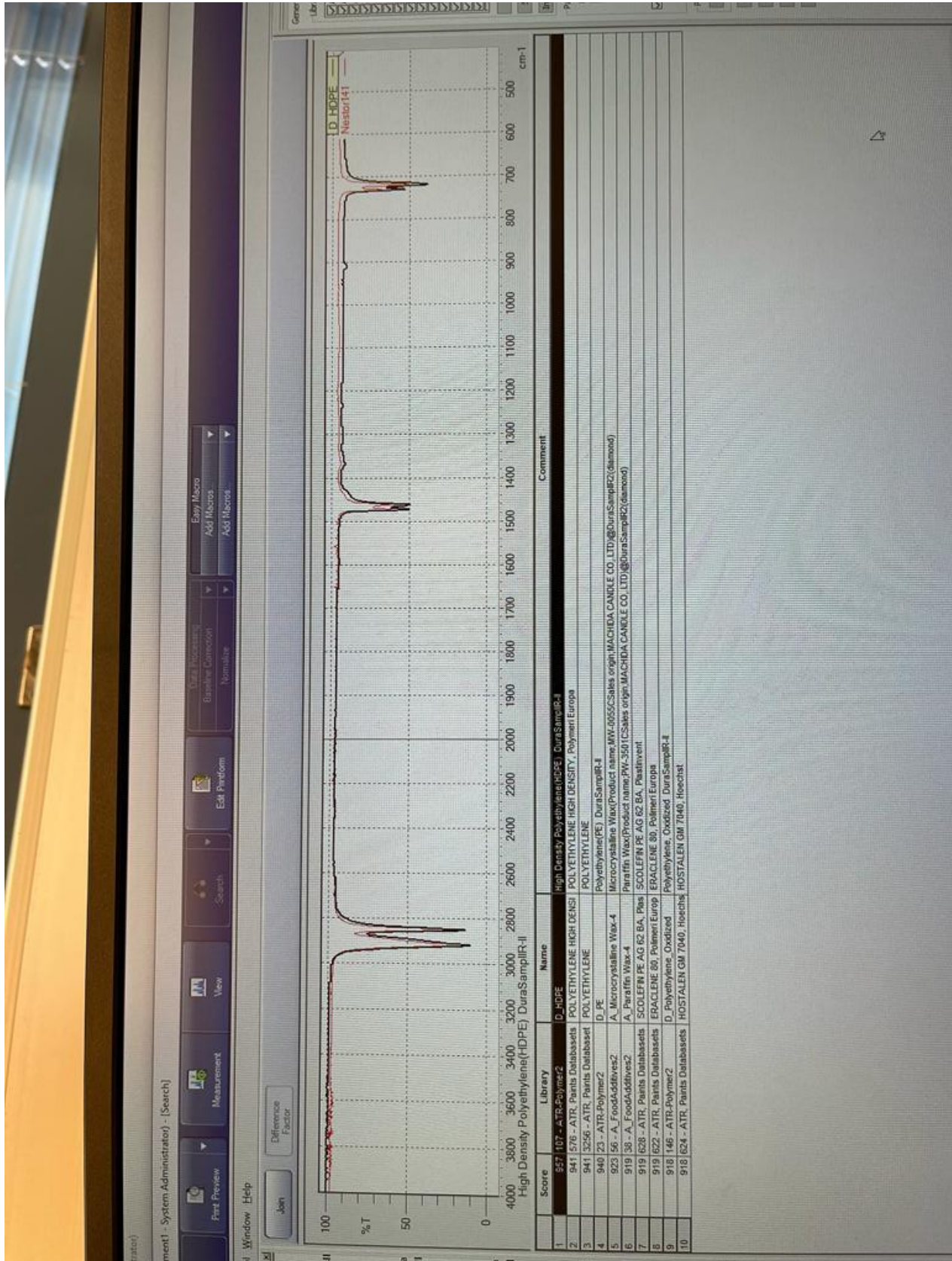
# FTIR-tulokset



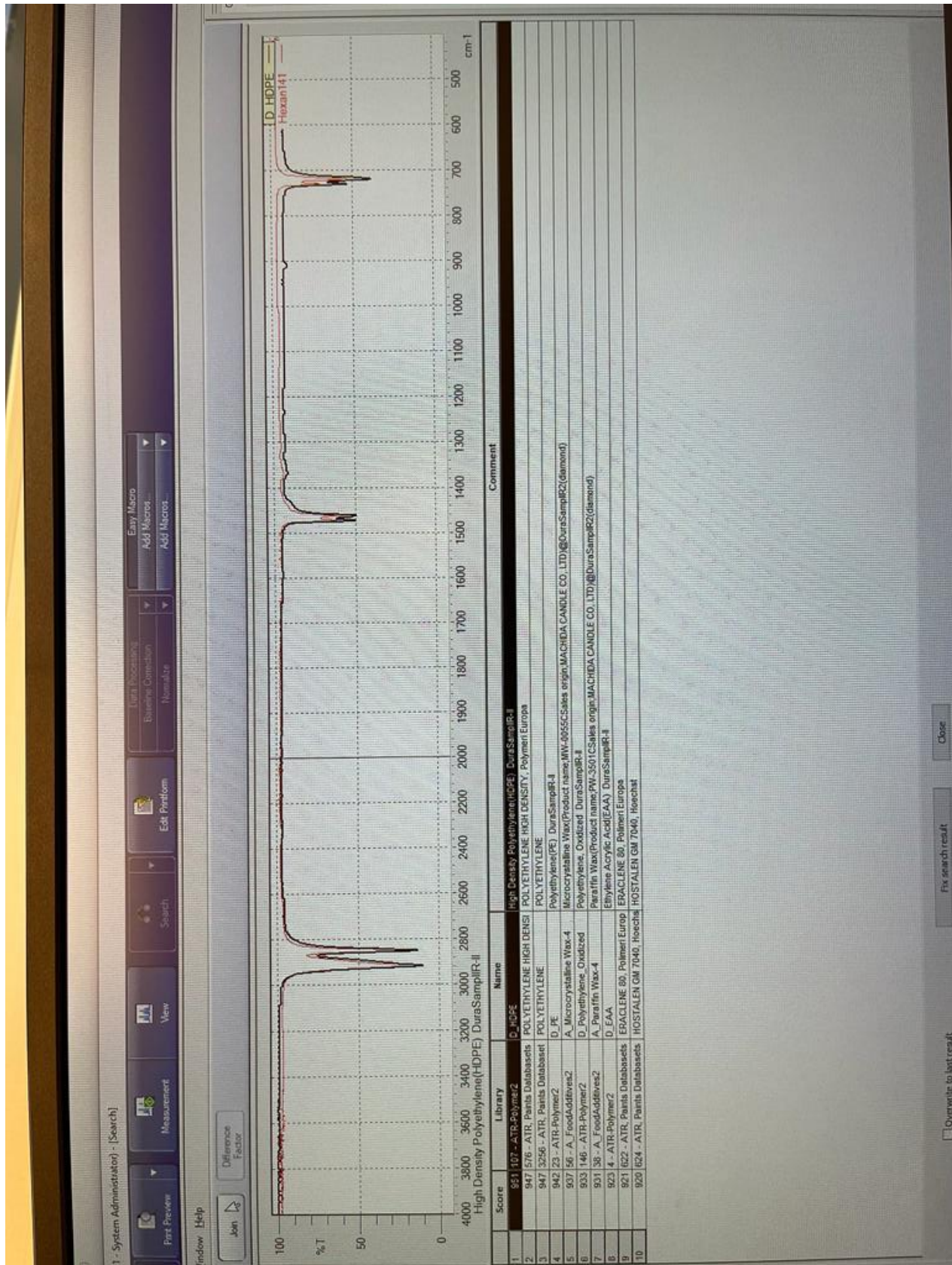
Hexatronicin 7/3,5 mm putken FTIR-analyysi.



Nestor Cablesin 7/3,5 mm putken FTIR-analyysi.



Nestor Cablesin 14/10 mm putken FTIR-analyysi.



Hexatronicin 14/10 mm putken FTIR-analyysi.