

**Jonna Laulumaa**

**POLYOLIN JA PONNEAINEEN VAIKUTUS  
KOVAN POLYURETAANIN OMINAISUUKSIIN**

**Opinnäytetyö**

**KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU**

**Kemiantekniikan koulutusohjelma**

**Joulukuu 2009**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

<b>Yksikkö</b> Tekniikka ja liiketalous	<b>Aika</b> 18.12.2009	<b>Tekijä/tekijät</b> Jonna Laulumaa
<b>Koulutusohjelma</b> Kemiantekniikka		
<b>Työn nimi</b> Polyolin ja ponneaineen vaikutus kovan polyuretaanin ominaisuuksiin		
<b>Työn ohjaaja</b> Kaj Jansson	<b>Sivumäärä</b> 28 + 2	
<b>Työelämäohjaaja</b> Urpo Lehikoinen, Timo Voutila		
<p>Polyuretaani on yleisesti käytetty materiaali kaukolämpöputkien eristyksissä. Polyuretaani muodostuu isosyanaatin ja polyolin reagoidessa. Polyolin sekaan lisättävä ponneaine lisää vaahtoutumista ja parantaa polyuretaanin eristyskykyä. Tässä työssä on tutkittu ponneaine pentaanin määrän vaikutusta polyuretaanin ominaisuuksiin. Lisäksi tutkittiin käytetyn polyolin vaikutusta muodostuneeseen polyuretaaniin. Työn toimeksiantajana toimi kaukolämpöputkielementtejä valmistava PV-Putkitus Oy Kinnulasta.</p> <p>Kokeet tässä työssä suoritettiin vapaavaahdoille. Vapaavaahdot valmistettiin laboratoriossa. Lähtöaineet sekoitettiin keskenään ilman mekaanista sekoitusta. Tarkoituksena oli vertailla kahta eri polyolia keskenään sekä tutkia pentaanimäärän vaikutusta syntyneen polyuretaanivaahdon ominaisuuksiin. Huomattiin, että pentaanimäärän lisääntyessä vaahtoa muodostui enemmän, tiheys vaahdolla laski, puristuslujuus heikkeni ja veden absorptio nousi. Lisäksi reaktioon tarvittava aika lisääntyi pentaanimäärän noustessa.</p> <p>Tulokset ovat suuntaa antavia. Niitä ei voi soveltaa suoraan tuotantoon.</p>		

**Asiasanat**

isosyanaatti, kaukolämpö, polyoli, polyuretaani, ponneaine, PV-Putkitus Oy

## ABSTRACT

<b>CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</b>	<b>Date</b> 18.12.2009	<b>Author</b> Jonna Laulumaa
<b>Degree programme</b> Chemical Engineering		
<b>Name of thesis</b> The Effect of the Polyols and Propellant on the Qualities of Hard Polyurethane		
<b>Instructor</b> Kaj Jansson		<b>Pages</b> 28 + 2 Appendices
<b>Supervisor</b> Urpo Lehtikoinen, Timo Voutilainen		
<p>Polyurethane is a very often used material in insulation of district heating pipes. Polyurethane is produced from the reaction of isocyanate and polyol. The propellant added into polyol increases frothability and improves the insulating capacity of polyurethane. The effect of pentane and polyol on the quality of polyurethane was researched in this thesis. The study was commissioned by the company PV-Putkitus Oy from Kinnula.</p> <p>The tests were made in a laboratory for free froths, so the results may not be used in production; they only show how polyurethane reacted. The source materials were mixed without any mechanical mixing. Two different polyols were tested in the research. The result showed that the more pentane was used, the weaker polyurethane became. Both mechanical and physical properties went down and more froth was formed.</p>		
<b>Key words</b> district heating, froth, isocyanate, polyol, polyurethane, PV-Putkitus Oy		

## SISÄLLYS

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 TOIMEKSIANTAJA</b>	<b>2</b>
<b>3 KAUKOLÄMPÖ</b>	<b>3</b>
<b>4 KAUKOLÄMPÖPUTKET</b>	<b>5</b>
4.1 Virtausputki	5
4.2 Eriste	6
4.3 Suojakuori	8
4.4 Valmistusprosessi	10
<b>5 POLYURETAANI</b>	<b>11</b>
5.1 Isosyanaatti	13
5.2 Polyoli	15
5.3 Vaahdotusaineet	16
<b>6 KAUKOLÄMPÖPUTKIELEMENTIN VALMISTUSPROSESSI</b>	<b>18</b>
<b>7 POLYURETAANIN TUTKIMINEN</b>	<b>21</b>
7.1 Vapaavaahdon valmistus	21
7.2 Nousuaika	22
7.3 Rakenne	22
7.4 Vaahdon tiheyden määrittäminen	23
7.5 Vesiabsorption tutkiminen	24
7.6 Puristuslujuuden mittaaminen	25
<b>LÄHTEET</b>	<b>27</b>
<b>LIITE 1/1.–1/2. Työohje</b>	

## 1 JOHDANTO

Kaukolämpöputkissa eristeenä käytetään kovaa polyuretaania. Tässä työssä tutkittiin vapaavaahdotuksien kautta, miten porneaineen määrä sekä käytetty polyoli vaikuttavat polyuretaanin ominaisuuksiin. Tavoitteena oli löytää sellainen polyoli ja porneaineen määrä, joiden avulla voitaisiin tuottaa laadullisesti parempaa polyuretaania sekä säästää myös raaka-ainekustannuksissa.

Vaahdotukset suoritettiin neljällä eri porneainemäärällä, jotka olivat 7 %, 10 %, 13 % ja 16 %. Työssä käytettiin kahta eri polyolia, polyolia 1 ja polyolia 2. Isosyanaatti pysyi samana kaikissa vaahdotuksissa. Porneaineena käytettiin syklopentaania. Syntyneistä vaahdoista tutkittiin tiheyttä, vaahdon rakennetta, vaahdon nousuaikaa vaahdotuksissa, puristuslujuutta sekä vesiabsorptiota.

Tämä työ on tehty Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulussa Kokkolassa 1.5.2009–10.11.2009 kemiantekniikan koulutusohjelman opinnäytetyönä. Työn toimeksiantaja oli PV-Putkitus Oy Kinnulasta. Työ on salainen, joten tuloksia tässä raportissa ei ole julkaistu.

## 2 TOIMEKSIANTAJA

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli PV-Putkitus Oy. Yritys on vuonna 1986 perustettu teollisuuden putkituksiin, kaukolämpöputkituksiin ja -asennuksiin, kunnallistekniikan putkirakentamiseen sekä luokka- ym. hitsauksiin erikoistunut yritys. Toimitilat sijaitsevat Äänekoskella ja Kinnulassa. Yritys on toiminut energia-alalla jo yli 20 vuotta. Yritys on saanut hyväksynyt kaikille kaukolämpötuotteille (EHP-Sentrifikaatti), sekä yksiputkielementeille että (LT-sertifikaatti) kaksiputkielementeille. (PV-Putkitus Oy:n yritysesite 2009.)

PV-Putkitus Oy:n tuotteiden kotimaisia kohteita ovat esim. Jyväskylän Energia, Fortum lämpö Oy ja Helsingin kaupungin vesilaitos. Ulkomaisista kohteista mainittakoon Orkanger (Norja), Raute Wood (Gabon Afrikka) sekä Murmansk (Venäjä). (PV-Putkitus Oy 2009.)

Tämä opinnäytetyö tehtiin Kinnulan toimipisteeseen. Pv-Putkitus Oy aloitti tammi-kuussa 2009 tuotannon Kinnulan kunnassa sijaitsevalla tehtaalla. Tehtaalla valmistetaan yksiputki- sekä kaksiputkielementtejä (KUVIO 1.1 ja 1.2) sekä polyeteenisia paineviemäriputkia ja vesiputkia. (PV-Putkitus Oy 2009.)



KUVIO 1.1 Kaksiputkielementti



KUVIO 1.2 Yksiputkielementti

### 3 KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämmitys on esimerkiksi rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen tai teollisuusprosesseihin tarvittavan lämmön keskitettyä tuotantoa ja jakelua (VTT Energia 1999, 70). Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto. Se on luonnollinen ja varma lämmitystapa. Suomessa kaukolämpöä on ollut jo 1950-luvun alusta lähtien. (Energiateollisuus 2009.)

Vuonna 2007 noin 2,6 miljoonaa suomalaista asui kaukolämpöaloissa. Vuoteen 2009 tultaessa kaukolämmön kulutus on pysynyt jokseenkin samana, mutta sen hinta on noussut voimakkaasti viime vuosina kallistuneiden polttoaineiden johdosta. Ilman lämpötilan muutokset vaikuttavat suuresti kaukolämmön kulutukseen. Lämpiminä jaksoina kulutus on vähäistä, kun taas kovilla talvipakkasilla kulutus on paljon suurempaa. (Energiateollisuus 2009.)

Kaukolämmitystä on lähes kaikissa kaupungeissa ja taajamissa. Sen osuus lämmitysmarkkinoista on lähes 50 %. Vuonna 2007 kaukolämpöä kului Suomessa kaiken kaikkiaan 30 100 GWh. Sen myynti oli 1,37 miljardia euroa. Asuintalojen osuus kulutuksesta oli 56 %, teollisuuden 10 % ja muun kulutuksen 34 %. Vuoteen 2009 tultaessa kaukolämmön kulutus vuodessa oli 30 390 GWh. (Energiateollisuus 2009.)

Kaukolämmön polttoaineina käytetään maakaasua, kivihiiltä, turvetta, öljyä sekä lisääntyvässä määrin puuta tai muita uusiutuvia energialähteitä, kuten biokaasua. Kaukolämmön ylivoimainen energiatehokkuus ja ympäristömyötäisyys perustuvat erityisesti siihen, että kaukolämmitys hyödyntää muuten hukkaan menevää lämpöenergiaa. (Energiateollisuus 2009.)

Lähes 80 % kaukolämmöstä saadaan lämpöä ja sähköä tuottavista lämmitysvoimalaitoksista, teollisuuden ylijäämälämpönä tai kaatopaikkojen biokaasujen poltosta. Pienillä paikkakunnilla näitä lämmönlähteitä ei yleensä ole käytettävissä, jolloin

kaukolämpö tuotetaan ainoastaan lämpöä tuottavissa lämpökeskuksissa, yleensä puuta tai muita uusiutuvia polttoaineita käyttäen. (Energiateollisuus 2009.)

Lämpö siirretään asiakkaille kaukolämpöverkossa kiertävän kuuman veden avulla. Lämmin vesi lähtee lämmityslaitoksesta kaukolämpöputkia pitkin. Veden lämpötila säädetään vallitsevan ilman lämpötilan mukaan. Turhan suuria lämpötiloja pyritään välttämään lämpöhäviöiden minimoimiseksi. Jakeluverkossa pidetään yllä riittävän kovaa painetta, jotta vesi ei pääse höyrystymään putkilinjan missään vaiheessa. Menojohdon kuuma vesi luovuttaa asiakkaan lämmönsiirtimen kautta lämpöä talon lämmitys- ja lämpimän käyttöveden verkkoihin. Jäähdyntynyt vesi palaa takaisin lämmityslaitokselle lämmitettäväksi erillistä paluuputkea pitkin. (Energiateollisuus Ry 2006, 43–44.)



## 4 KAUKOLÄMPÖPUTKET

Maan alla risteilevien kaukolämpöputkien sisin putki on terästä. Teräsputkea pitkin kuuma lämmitysvesi (120 °C) syötetään kovalla paineella voimalaitokselta lämmitettäviin kohteisiin. Putken ympärille vaahdotetaan lämmöneristeeksi polyuretaania. Uloimmaiseksi suojakuoreksi tulee polyeteenistä valmistettu muoviputki. (Jyväskylän energia 2006.) Kuviossa 2 on esitetty PV-Putkitus Oy:n valmistamia kaukolämpöputkia.



KUVIO 2. Kaukolämpöputkia

### 4.1 Virtausputki

Putket voidaan jakaa valmistustavan mukaan saumattomiin tai hitsattuihin putkiin. Hitsattujen putkien osuus maailman putkituotannosta on n. 2/3. Putkien muovausprosessiin kuuluu kylmämuovaus, normalisointivalssaus sekä termomekaaninen valssaus. (Lepola & Makkonen 2000, 223–224.)

Kaukolämpöjohdoissa virtausputkena käytetään pääasiassa pituus- tai kierresaumahitsattuja sekä jonkin verran myös saumattomia teräsputkia (Energiateollisuus Ry 2006, 147). Kuviossa 3 on esitetty PV-Putkitus Oy:n kaukolämpöputkien valmistuksessa käytettäviä teräksisiä virtausputkia.



KUVIO 3. Teräksisiä virtausputkia

Teräksisistä virtausputkista ja niiden valmistuksesta on annettu tietyt säännökset. Materiaalit ja niiden käyttö -kirjassa Lepola & Makkonen ovat sanoneet seuraavaa:

Putket valmistetaan kansallisten lämpölaitosyhdistysten tai kaukolämpöputkien esieristäjien vaatimusten mukaisesti. Suomessa noudatetaan Lämpölaitosyhdistyksen L1/84 *"Kaukolämpöjohdoissa käytettävien hitsattujen teräsputkien tekniset vaatimukset"* mukaisia säännöksiä. (Lepola & Makkonen 2000, 252.)

## 4.2 Eriste

Kaukolämpöputken olennainen osa on tehokas lämmöneriste (Jyväskylän energia 2006). Kuviossa 4 nähdään virtausputkien ja suojakuoren välillä oleva kellertävä

polyuretaanieriste. Polyuretaani on eristeaineena jopa kaksi kertaa niin tehokasta kuin esimerkiksi rakennusten lämmöneristeenä käytettävä vuorivilla (Jyväskylän Energia 2006). Kuviossa 4 on esitetty kuva kaukolämpöputken päästä.



KUVIO 4. Kaukolämpöputki: virtausputket, eristekerros ja suojuakuori

Eristeenä käytettävä kova polyuretaani sekoitetaan suljetussa prosessissa kahdesta komponentista, isosyanaatista ja polyolista (Jyväskylän energia 2006). Polyoli on seos peruspolyoleja, aktivaattoreita, stabilisaattoreita, vettä ja syklopentaania. Sekoitettut kemikaalit annostellaan teräsputken ja suojuputken väliin, jossa isosyanaatti ja polyoli reagoivat keskenään ja muodostavat polyuretaania. Vaahtoutuminen muodostuu veden ja isosyanaatin reaktiossa syntyneestä CO<sub>2</sub>:n kaasuuntumisesta ja syklopentaanin kiehumisen vaikutuksista. (K. Siivonen, henkilökohtainen tiedonanto 28.10.2009.)

Pentaania syntyy bensiinin valmistusprosessin yhtenä sivutuotteena (Jyväskylän energia 2006). Pentaanin tehtävä on parantaa polyuretaanin lämmöneristysominaisuuksia. Reaktio tapahtuu jo huoneenlämmössä. (K. Siivonen, henkilökohtainen tiedonanto 28.10.2009). Aineen kovettumisreaktiossa vapautuu lämpöä. (Vienamo 2005.)

Jotta polyuretaanin optimaalinen mekaaninen lujuus saavutettaisiin, isosyanaatin NCO ja hydroksyylin OH suhde (NCO/OH) on tavallisesti 1,0–1,1. Suhteen pudotessa alle 1,0 mekaaninen lujuus, kovuus ja kimmoisuus laskevat sekä jäännösvenymä ja -puristuma nousevat hyvin jyrkästi. (Närppi 1983, 15.)

Polyuretaanieristettä ei saa hävittää polttamalla. Polyuretaanin hävittäminen suoritetaan viemällä se kaatopaikalle. Palaessa polyuretaanista syntyy terveydelle haitallisia kaasuja. Polttaminen voidaan kuitenkin suorittaa jätteiden polttamiseen tarkoitetussa polttolaitoksessa, jossa saavutetaan korkea lämpötila. (Suomen kaukolämpö Ry 1997.)

### **4.3 Suojakuori**

Polyuretaanieristettä suojaa polyeteenistä valmistettu suojakuori, jonka sisäpinta on koronakäsittely. Koronakäsittelyssä materiaalin pintaenergiaa lisätään sähköisen varauksen avulla. Käsittely lisää muun muassa pinnan kiinnittymistä ja kostuvuutta. Käsittely takaa parhaan mahdollisen tarttuvuuden ulkokuoren ja eristyksen välillä. (Oy Callidus Ab 2006.)

Suojakuorella on kolme tehtävää:

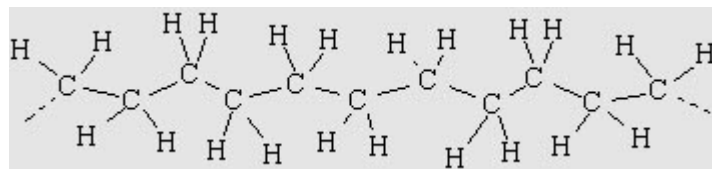
1. muodostaa eristeelle ulompi muotin osa vaahdotuksen aikana
2. suojata eristettä mekaanisilta vaurioilta varastoinnin, kuljetuksen ja asennuksen aikana
3. suojata eristettä kosteudelta, ilman hapen vaikutukselta ja auringon UV-säteilyltä. (U.Lehikoinen, henkilökohtainen tiedonanto 1.9.2009.)

PV-Putkitus Oy:n käyttämiä suojakuoria on esitetty kuviossa 5.



KUVIO 5. Polyeteenistä valmistettuja suojakuoria

Polyeteenit voidaan jaotella niiden tiheyden mukaan. Korkean tiheyden polyeteeniä (HD PE) käytetään tavanomaisten suorien putkien valmistuksessa. Tällaiset HD PE -suojakuoret valmistetaan pääasiassa suulakepuristuslaitteistolla. (Oy Callidus Ab 2006.) Polyeteenin rakennekaava on esitetty kuviossa 6.



KUVIO 6. Esimerkki polyeteenistä (Kunskapsnätet 2009.)

Polyeteeni on eniten käytetty muovi ympäri maailmaa. Käyttökohteita ovat esim. leikkuualustat, elintarviketeollisuus, putket ja putken osat. Se on yksi yksinkertaisimmista ja halvimmista polymeereistä. (Muovikoneistus Kivelä Oy 2006.) Polyeteeniä valmistetaan polymeroimalla eteenikaasua  $C_2H_4$  joko korkeapainemenetelmällä (LDPE) tai matalapainemenetelmällä (HDPE) (Mäkeläinen 1979, 75).

Materiaalina polyeteenimuovi on suhteellisen pehmeä, ja sen mekaaniset ominaisuudet ovat rajoitetut. Molekyyliä painoa kasvattamalla voidaan parantaa mekaanisia ominaisuuksia, erityisesti kulumiskestävyttä. (Christian Berner Oy 2009.)

Teräs- ja polyeteeniputket ovat kierrätyskelpoisia sellaisenaan sulatukseen ja uusintakäyttöön. Polyeteenin palaessa ei synny terveydelle vaarallisia lämpöhaajoamistuotteita, jolloin se voidaan polttaa. Ongelmana on tosin polyuretaanieristeen tarttuvuus putkiin, mikä vaikeuttaa niiden kierrätystä, sillä polyuretaania ei saa polttaa. Käyttökelvottomat lyhyet elementtien hukkapalat viedään tavallisesti yhdyskuntajätteinä kaatopaikalle. (Suomen kaukolämpö Ry 1997.)

#### **4.4 Valmistusprosessi**

Eristettyjen putkien valmistusprosessi on joko vaiheittainen tai jatkuva. Vaiheittaisessa valmistusprosessissa virtausputki liitetään suojakuoreen. Virtausputken keskitys suojakuoreessa varmistetaan kiinnittämällä muovisia keskityspaloja virtausputkeen, ennen kuin se liitetään suojakuoreen. Keskityspaloja käytetään myös pitämään (mahdollisia) hälytyslankoja paikoillaan. Seuraavaksi virtausputken ja suojakuoren välinen tila täytetään polyuretaanivaahdolla. Vaahdotus tapahtuu suurpainevaahdotusyksiköillä, mikä takaa vaahdon tiheyden tasaisuuden koko putken matkalta. Putken päät suljetaan laipoilla vaahdotuksen ajaksi. (Oy Callidus Ab 2006.)

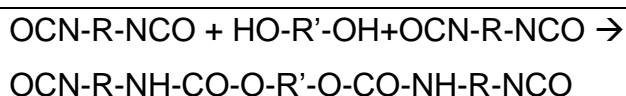
Laadunvarmistushenkilökunnan täytyy tarkastaa säännöllisesti näytteitä standardin EN 253 mukaisesti ja tehdä lopputarkastuksia, joiden avulla varmistutaan siitä, että kaikki mitat ovat sallittujen mittapoikkeamien rajoissa (Oy Callidus Ab 2006).

## 5 POLYURETAANI

Polyuretaanin valmistuksessa peruslähtöaineina ovat isosyanaatti ja polyoli. Lisäksi tarvitaan apuaineita, joita ovat esimerkiksi ponneaineet, verkouttajat, katalyytit, stabilisaattorit sekä erilaiset lisäaineet. Polyuretaanin ominaisuudet riippuvat pitkälti käytetystä polyolista. Apuaineiden tehtävä on lähinnä ohjata reaktiota. (Vaittänen 1986, 8.)

Alkoholin ja isosyanaatin välinen reaktiotulos on tunnettu jo 1850-luvulta lähtien. Polyuretaanien valmistus aloitettiin Saksassa 1930-luvulla, mutta vasta 1950-luvulla kaupallinen tuotanto pääsi kunnolla alkuun. Nämä muovit ovat saaneet nimensä uretaaniryhmästä (-NH-CO-O-), joka muodostuu, kun isosyanaattiryhmä (-NCO) reagoi jonkin alkoholin hydroksyyliyhdyntien (-OH) kanssa. (Seppälä 1997, 123–127.) Muita toiminnallisia ryhmiä ketjussa ovat esimerkiksi eetteri (-O-), esteri (-R-CO-O-R-) ja urea (-NH-CO-NH-). On olemassa myös polyuretaaneja, joissa ei ole uretaaniryhmiä. Näitä kutsutaan polyuretaaneiksi, koska ne on valmistettu samoista lähtöaineista kuin perinteisetkin polyuretaanit. (Oertel 1993, 11.)

Kaikkien polyuretaanituotteiden kemiallinen rakenne on hyvin samanlainen (Vaittänen 1986, 7). Isosyanaattiyhdyntien ja hydroksyyliyhdyntien sisältävän yhdyntien välinen reaktio on perusreaktio polyuretaanituotteiden valmistuksessa. Valmistus perustuu polyadditioreaktioon, joka on esitetty kuviossa 7.



KUVIO 7. Di-isosyanaatin ja kaksiarvoisen alkoholin välinen reaktio. Isosyanaattiryhmä (-NCO) reagoi polyolin kanssa muodostaen polyuretaania. (Seppälä 1997, 125–127.)

Näin muodostuneen yhdisteen päissä olevat isosyanaattiryhmät reagoivat edelleen uusien hydroksyyliyhmiin kanssa ja polymeroituminen jatkuu. Reaktio tapahtuu jo huoneen lämpötilassa. (Seppälä 1997, 125–127.) Muodostuneen polyuretaanin ominaisuudet vaihtelevat valitun isosyanaatin ja erityisesti valitun polyolin mukaan (Vaittinen 1986, 8).

Käyttämällä eri isosyanaatteja ja polyoleja saadaan moniin käyttökohteisiin soveltuvia polyuretaaneja, kuten esimerkiksi pehmeäsolumuoveja pehmustemateriaaliksi, integraalisolumuoveja autonosiin sekä kovasolumuoveja eristeiksi (Vaittinen 1986, 7). Polyuretaanit voivat olla kiinteitä tai vaahdotettuja, joustavia, jäykkiä tai jotain tältä väliltä. Niistä voidaan valmistaa valuja, kalvoja tai kuituja. Ne voivat käyttäytyä kuin muovit, jotka eivät palaudu muodonmuutoksesta, tai ne voivat käyttäytyä kuin perinteiset elastomeerit eli palautua lähes täysin rajunkin muodonmuutoksen jälkeen. Polyuretaanit voivat olla kertamuovailtavia tai kestopuoveja, joita voidaan muotoilla lämmön vaikutuksen alaisena useainkin kertaan. (Hipp 2006, 12.)

Polyuretaanivaahdomuoveja valmistetaan pääasiassa kahta tyyppiä, pehmeää ja kovaa polyuretaania. Kovat polyuretaanivaahdomuovit soveltuvat erinomaisesti eristystarkoituksiin. Niiden solut ovat suljettuja, ja niissä on runsaasti ristsidoksia. Tämä tekee tuotteen jäykäksi. (Seppälä 1997, 123–127.) Kovaa polyuretaanisolumuovia käytetään eristysmateriaalina sen erinomaisen lämmön- ja kylmäneristyskyvyn vuoksi. Lisäksi sillä on suuri mekaaninen kestävyys. (Vaittinen 1986, 5.)

Polyuretaaneilla on myös erinomainen kulutuskestävyys, hyvä vetolujuus ja repimiskestävyys, erinomainen öljynkesto, hyvä hapen ja otsonin kesto, hyvä taivutuskestävyys, erinomainen säteilyn kesto ja ennen kaikkea laaja kovuusvalikoima. Kovaa polyuretaania soveltuu mainiosti kaukolämpöputken eristeeksi. (Närppi 1983, 14.)



Polyuretaanit ovat lohkopolymeerejä. Lohkopolymeeri tarkoittaa, että polymeerin rakenteessa on selvästi erotettavissa kaksi tai useampia alueita, joilla on erilainen molekyyli rakenne. Polyuretaaneissa nämä ryhmät ovat kova lohko (rakentuu isosyanaatista ja ketjunjatkajasta) ja pehmeä lohko (rakentuu polyestereistä tai polyeteereistä). Kovat ja pehmeät lohkot ovat polyuretaaniketjussa sattumanvaraisessa järjestyksessä. Di-isosyanaatit reagoivat polyuretaaniketjujen kanssa muodostaen sidoksia, jolloin syntyy polyuretaanille tyypillinen kolmiulotteinen rakenne. (Närppi 1983, 2–19.)

Kovat lohkot toimivat siltoina ja jäykistäjinä pehmeille lohkoille. Kovat lohkot vaikuttavat mekaanisiin ominaisuuksiin, kuten muotopysyvyyteen, kovuuteen ja repimislujuuteen. Pehmeät lohkot taas vaikuttavat polyuretaanin venymisominaisuuksiin ja kimmoisuuteen sekä kemialliseen kestoan. Lohkopolymeerien ominaisuudet määrittyvät kovien ja pehmeiden lohkojen suhteesta. (Hipp 2006, 13.)

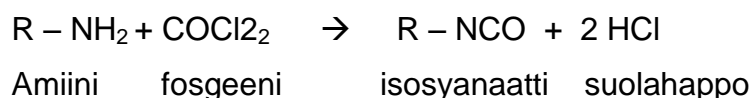
Polyuretaanin ominaisuuksia säädellään molekyyli rakennetta muuttamalla. Tärkeimmät ominaisuudet muodostuvat tiheydestä, pintarakenteesta, hydrofiilisyydestä tai hydrofobisuudesta, jalostusominaisuuksista ja loppukäyttöominaisuuksista. Jalostusominaisuuksilla tarkoitetaan polyuretaanin muovailtavuutta eli sitä, onko materiaali kestopuovi (lineaarinen rakenne) vai kertamuovi (haaroittunut rakenne). (Hipp 2006, 13–14.)

Ominaisuuksia on mahdollista parannella ketjuuntumisvaiheessa muuttelemalla lähtöaineiden suhteita (Vaitinen 1986, 7). Lisäaineilla voidaan parantaa jotain tiettyä ominaisuutta, helpottaa valmistusta tai tuoda jokin uusi erityisominaisuus lopputuotteeseen (Närppi 1983, 26).

## 5.1 Isosyanaatti

Isosyanaatit ovat nestemäisiä yhdisteitä, joissa on vähintään kaksi isosyanaattiryhmää  $N = O = C$ . Isosyanaatit valmistetaan vastaavista amiineista fosgenoimalla.

Käytännössä tämä on ainut tapa valmistaa isosyanaatteja. Tässä lähtöaineena on amiini, josta saadaan fosgenointireaktiolla isosyanaattia. (Vaittinen 1986, 8.) Kuviossa 8 on esitetty isosyanaatin valmistuksen reaktioyhtälö.



KUVIO 8. Isosyanaatin valmistus fosgenoimalla (Vaittinen 1986, 8)

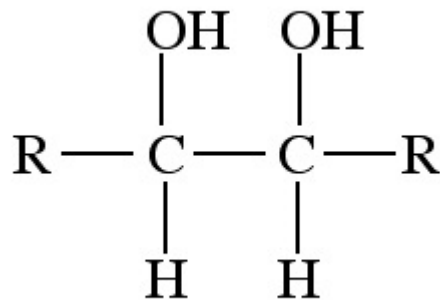
Isosyanaatteihin perustuvia kemiallisia tuotteita käytetään laajalti teollisuudessa. Isosyanaateista difenyyylimetaani-di-isosyanaattia, MDI:tä, käytetään jäykän vaahdotuovien valmistuksessa. Tätä käytetään mm. kaukolämpöputkien ja lämminvesivaraajien eristyksessä. (Artekno Oy 2009.)

Muita yleisesti teollisuudessa käytettyjä isosyanaatteja ovat TDI, NDI, HDI, IPDI sekä prepolymeerit. TDI:tä käytetään pehmeän polyuretaanisolumuovien valmistuksessa, NDI:tä lähinnä PUR-valuelastomeerien valmistuksessa sekä HDI:tä ja IPDI:tä maali- ja pinnoiteaineteollisuudessa. Prepolymeerejä käytetään PUR-elastomeerien, pehmeiden integraalisolumuovien sekä 1-komponenttisolumuovien valmistuksessa. (Vaittinen 1986, 8–9.)

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen (624/2001) vaarallisten aineiden luettelossa di-isosyanaatit luokitellaan hengitysteitä ja ihoa herkistäviksi ja ärsyttäviksi yhdisteiksi sekä myrkyllisiksi tai haitallisiksi hengitettynä. Isosyanaateille voi altistua polyuretaanituotteiden valmistuksessa tai niiden työstössä. Merkittävää MDI-altistumista on todettu kaukolämpöputkien hitsauksessa. (Työterveyslaitos 2009.)

## 5.2 Polyoli

Enemmän kuin yhden hydroksyyliyhdyntien (-OH) sisältäviä alkoholeja kutsutaan polyoleiksi. Polyuretaanin ominaisuudet vaihtelevat suuresti käytetyn polyolin mukaan. Jos polyolin moolimassa on pieni, polyoli on huoneenlämmössä nestemäinen ja tuloksena on kovia muoveja. Suuremmat polyolit ovat kiinteitä ja niistä syntyy joustavampia elastomeerejä. (Szycher 1999, 3–9.) Kuviossa 9 nähdään esimerkki polyolistä ja sen rakennekaava.



KUVIO 9. Esimerkki polyolistä (Chemistry Tutorials & Drills 2009.)

Polyolimolekyylin rakenne voi olla lineaarinen tai haaroittunut. Tämä vaikuttaa polyuretaanin ominaisuuksiin. Tärkeimmät polyolit ovat joko polyeetteri- tai polyesteripolyoleja. Molemmat näistä voidaan modifoida molekyylirakenteeltaan lineaarisiksi tai haaroittuneiksi. (Vaitinen 1986, 10.)

Polyesteripolyolit ovat yhdisteitä, jotka sisältävät vähintään yhden esteriryhmän - O - C = O. Yhdisteen valmistus perustuu di- tai polykarbonaattihappojen sekä diolien tai polyalkoholien esterointiin. Jos lähtöaineina käytetään dikarbonaattihappoa ja dioleita, saadaan lineaarinen polyesteripolyoli. Jos taas käytetään polyalkoholia, jossa on kolme tai useampi hydroksyyliyhdyntä yhdessä yhden diolin kanssa, saadaan haaroittunut polyesteripolyoli. Polyesteripolyolia voidaan käyttää esimerkiksi

pehmeän polyuretaanimuovin tai pinnoiteaineiden valmistuksessa. (Vaittinen 1986, 11.)

Polyeetteripolyolit ovat yhdisteitä, jotka sisältävät eetteriryhmiä. Näitä polyoleja käytetään kovan ja pehmeän polyuretaanisolumuovin sekä PUR-integraalisolumuovin valmistukseen. Polyeetteripolyolit ovat epokseista valmistettuja polymeerisaatiotuotteita. (Vaittinen 1986, 11–12.)

Polyeetterin polymerisointiprosessissa tarvitaan eräänlainen ”käynnistin”, joka on orgaaninen yhdiste. Siinä on vähintään kaksi aktiivista vetyatomia, joihin epoksidit kiinnittyvät eli polymerisoituvat. Yleensä käynnistimenä toimii amiini tai vähämolekyylinen di- tai polyalkoholi. (Vaittinen 1986, 11.)

Lineaarinen polyeetteripolyoli saadaan silloin, kun käynnistäjänä käytetään dioleja. Tällöin ketjun pituus riippuu käynnistäjän ja epoksidin käytetystä suhteesta. Mitä enemmän käynnistintä käytetään, sitä pidempi molekyyliketju saadaan. Lineaariset pitkäketjuiset polyeetteripolyolit ovat helppojuoksuisia, koska niillä on pieni viskositeetti. (Vaittinen 1986, 11.)

Jos käytetään yhden käynnistäjän sijasta kahta käynnistäjää, saadaan haaroittunut polyeetteri. Tällöin käynnistäjien molekyylirakenteessa tulee olla kolme tai useampia aktiivisia vetyatomeja. Haaroittuneet lyhytketjuiset polyeetteripolyolit ovat raskasjuoksuisia, koska niiden viskositeetti on korkea. (Vaittinen 1986, 12.)

### **5.3 Vaahdotusaineet**

Vaahdotusaineita lisätään, kun polyuretaanista halutaan valmistaa solumuovia tai vaahtokumia. Vaahtoutuminen saadaan aikaan lisäämällä polymerointireaktioon jokin kaasua kehittävä prosessi. Esimerkiksi vesi reagoi isosyanaatin kanssa vapauttaen hiilidioksidia. Hiilidioksidi kaasuuntuu ja muodostaa kuplia, mikä saa aikaan vaahtoutumisen. Myös puhdasta ilmaa voidaan puhaltaa suoraan prosessiin, jolloin

saadaan aikaan huokoinen lopputulos. (Hipp 2006, 25.) Elementeissä yleisimmin käytetty ponneaine on pentaani. Se on ympäristölle haitaton hiilivety. (Rakennuspolyuretaaniteollisuus 2009.)

Vaahdotusaineet ovat yleensä nesteitä, joilla on alhainen kiehumispiste ja jotka kaasuuntuvat polyuretaanin muodostumislämmön johdosta. Kaasukuplat jäävät rakenteeseen tuottaen joustavan solurakenteen. (Hipp 2006, 25.) Mitä enemmän ponneainetta on, sitä paremmin seos vaahdotuu. Pentaani ei kuitenkaan liukene kovin helposti polyoliin, ja siksi sen määrän on pysyttävä suhteellisen alhaisena. (Rakennuspolyuretaaniteollisuus 2009.)

## 6 KAUKOLÄMPÖPUTKIELEMENTIN VALMISTUSPROSESSI

Tässä luvussa on esitetty PV-Putkitus Oy:n kaukolämpöputkien valmistusprosessi. Prosessi on esitelty Kinnulan toimipisteen tehtaanjohtaja U. Lehikoisen (henkilökohtainen tiedonanto 1.4.2009) antamien tietojen mukaan.

Kaukolämpöputkissa sisimmäisenä on pintakäsitelty virtausputki tai kaksi pintakäsiteltyä virtausputkea. Polyuretaanivaahdon kiinnittymisen varmistamiseksi suurien, ulkohalkaisijaltaan yli 200 mm olevien virtausputkien pinta käsitellään kuulasingolla ja pienten, ulkohalkaisijaltaan alle 200 mm olevien putkien pinta käsitellään hiekkapuhalluslaitteella. Näihin asennetaan keskittimiä (KUVIO 10), jonka jälkeen ne työnnetään suojakuoren sisälle automaattisesti (KUVIO 11). Näin saatu elementtirunko siirretään lämmitysuunin kautta vaahdotukseen. Vaahdotuksessa virtausputki keskitetään ja päät tiivistetään laipoilla (KUVIO 12). Vaahdotuspöytää kallistetaan täyttymisen varmistamiseksi ja polyuretaanikemikaalit ruiskutetaan elementtiin. Kemikaalit tulevat kahdelta eri syöttösäiliöltä, polyolipuolelta (KUVIO 13.1) sekä isosyanaattipuolelta (KUVIO 13.2). Vaahdon kovettumisen jälkeen elementti tarvittaessa puhdistetaan, tarkastetaan visuaalisesti, merkitään ja siirretään tuotevarastoon. (U. Lehikoinen, henkilökohtainen tiedonanto 1.4.2009.)



KUVIO 10. Kaksi virtausputkea keskittimessä



KUVIO 11. Keskittimet virtausputken ja suojakuoren välissä



KUVIO 12. Päätylaippa

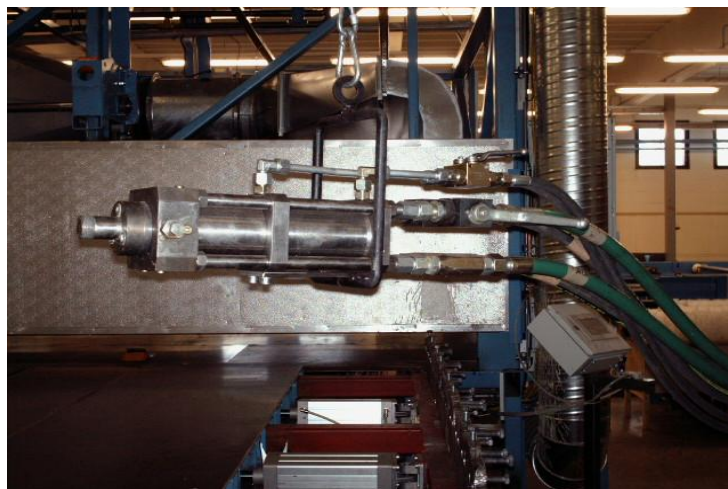


KUVIO 13.1. Polyolipuoli



KUVIO 13.2. Isosyanaattipuoli

Polyuretaanin lähtöaineet, isosyanaatti ja polyoli, tulevat eri letkuja pitkin vaahdotuspäähän (KUVIO 14), missä ne kovan paineen ja suuren virtausnopeuden avulla sekoittuvat. Sekoituspästä raaka-aineet virtaavat matalalla paineella suojakuoren ja virtausputken väliin, missä ne reagoidessaan muodostavat polyuretaania. (K. Siivonen, henkilökohtainen tiedonanto 28.10.2009)



KUVIO 14. Vaahdotuspää



## 7 POLYURETAANIN TUTKIMINEN

Tutkittavana oli vapaavaahdotuksissa polyuretaanin muodostumisen nousuaika, syntyneen polyuretaanivaahdon rakenne, tiheys, vesiabsorptio sekä puristuslujuus. Testauksissa käytetyt näytepalat (KUVIO 15) eivät saaneet olla aivan tuoreita. Koekappaleita sai ottaa vain sellaisesta polyuretaanivaahdosta, jota oli säilytetty huoneenlämmössä vähintään 72 tuntia. Koekappaleita otettiin 3–5 kpl/vahto.



KUVIO 15. Näytepaloja polyuretaanivaahdosta

### 7.1 Vapaavaahdon valmistus

Kaukolämpökanavissa käytetty kova polyuretaanisolumuovi sisältää umpinaisia soluja (Närppi 1983, 23). Solut syntyvät polyolin ja isosyanaatin reagoiessa. Solujen sisällä on veden ja isosyanaatin reaktiossa syntynyttä CO<sub>2</sub>-kaasua ja höyrystynyttä syklopentaania. Syklopentaanin kiehumispiste on n. 49 °C. Eksotermisen reaktion saavuttaessa kyseisen lämpötilan alkaa syklopentaani höyrystyä ja muodostaa polyuretaanisolujen sisällä ilmaa paremmin eristävää kaasua. (K. Siivonen, henkilökohtainen tiedonanto 28.10.2009.) Reaktio käynnistetään sekoittamalla iso

syanaatin sekaan polyoli, johon on lisätty lisäaineet (Närppi 1983, 23). Tässä työssä muutettiin polyolin sekaan sekoitettavan ponneaineen (syklopentaanin) määrää.

Kun komponentit on huolellisesti sekoitettu, alkavat nesteen lämpötila ja viskositeetti kasvaa. Tällöin ponneaine höyrystyy synnyttäen lukuisia rakkuloita, joiden tilavuus kasvaa vaahtoutumisen jatkuessa. (Närppi 1983, 23.) Eksoterminen polyadditioreaktio päättyy n. 3–10 minuutin kuluttua (K. Siivonen, henkilökohtainen tiedonanto 28.10.2009). Tällöin tilavuuden kasvu pysähtyy ja polyuretaani saavuttaa kiinteän olomuodon. Jäähtyminen ja lopullisen lujuuden saavuttaminen kestää 1–3 vuorokautta. (Närppi 1983, 23.)

## **7.2 Nousuaika**

Vapaavaahdotuksissa lähtöaineet sekoitetaan keskenään reaktioastiassa. Reaktiosta mitataan vaahdon nousuaika. Nousuaika on aika, joka kuluu reagoinnin alkamisesta silmämääräisesti reagoinnin loppumiseen eli siihen, kun vaahto ei enää turpoa. Mitataan myös aika, joka kestää lähtöaineiden sekoittamisesta reaktion alkamiseen, ns. ”starttiaika”.

## **7.3 Rakenne**

Vapaavaahdotuksen jälkeen syntyneestä vaahdosta leikataan koekappaleita. Näistä tutkitaan syntyneen vaahdon rakennetta. Silmämääräisesti voidaan määritellä vaahdon tasalaatuisuus sekä sen muita ulkoisia ominaisuuksia, kuten leikattavuus, sitkeys ja pysyvyys. Mikroskoopilla nähdään tarkemmin solujen muoto ja tasaisuus. Kuviossa 16 on esitetty mikroskooppikuva polyuretaanivaahdosta. Siinä nähdään selvästi soluja ja niiden muoto.



KUVIO 16. Polyuretaanivaahtoa mikroskooppikuvassa

#### 7.4 Vaahdon tiheyden määrittäminen

Aineen tiheys  $\rho$  määritellään massan  $m$  ja tilavuuden  $V$  osamääränä (Härkönen, Lähteenmäki & Välimaa 1997, 32). Kaavassa 1 on esitetty tiheyden määritelmä massan ja tilavuuden avulla.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Tiheyden SI-yksikkö on  $\text{kg/m}^3$ . (Härkönen, Lähteenmäki & Välimaa 1997, 32)

Massa saadaan punnitsemalla näytepala kuivana. Saadaan kuivamassa  $m$ . Tilavuus saadaan laskettua kaavasta 2.

Kaavasta 1 saadaan johdettua tilavuuden määrittäminen. Tilavuus  $V$  on massan ja tiheyden osamäärä. Kappaleen tilavuus saadaan laskettua, kun kappale upotetaan veteen ja saadaan vedensyrjäytysmassa. Tämä massa jaetaan veden tiheydellä, jolloin saadaan kappaleen tilavuus. Kaavassa 2 on esitetty tilavuuden määrittäminen massan ja tiheyden avulla.

$$V = \frac{m_v}{\rho} \quad (2)$$

Tässä  $V$  = kappaleen tilavuus, ml  
 $m_v$  = kappaleen vedensyrjäytysmassa, g  
 $\rho$  = veden tiheys, 1000 g/l = 1 g/ml

## 7.5 Vesiabsorption tutkiminen

Vesiabsorptiolla tutkitaan eristeen kyky hylkiä vettä ja kosteutta. Mitä vähemmän eriste imee itseensä vettä, sitä parempi eriste on. (Siilin 2000, 80.) Veden imeytyminen on sitä suurempaa, mitä enemmän tuotteessa on avoimia huokosia. Tiheyden pienentyessä avoimien solujen määrä kasvaa. Veden imeytyminen huonontaa eristeen muita ominaisuuksia, kuten lämmönjohtavuutta. (Ammattikasvatustieteiden tutkimuskeskus 1988, 10.)

Standardin mukaan veden imeytyminen ei saa olla yli 10 % alkuperäisestä tilavuudesta sen jälkeen, kun koekappale on ollut 90 minuutin ajan upotettuna kiehuvaan veteen. Kokeet suoritetaan huoneenlämmössä kuution tai lieriön muotoiselle koekappaleelle. Kuution särmän pituus tulee olla 25 mm. Koekappaleen massa ( $m_0$ ) määritetään tarkkuudella 0,01 g ja tilavuus ( $V_0$ ) määritetään tarkkuudella 0,1 ml. (SFS-EN 253 Kaukolämpöjohdot 2003.)

Koekappale upotetaan kiehuvaan veteen 90 minuutin ajaksi. Välittömästi tämän jälkeen se upotetaan 60 minuutin ajaksi veteen, jonka lämpötila on  $(23 \pm 2)$  °C. Pintavesi koekappaleesta poistetaan asettamalla sen jokainen sivu 3–5 sekunniksi liinalle (esim. Kleenex No 7101 tai vastaava). Tämän jälkeen massa ( $m_1$ ) määritetään tarkkuudella 0,01 g. (SFS-EN 253 Kaukolämpöjohdot 2003.)

Veden imeytymisprosentti lasketaan kaavalla 3.

$$\frac{m_1 - m_0}{V_0 \rho} 100\% \quad (3)$$

Tässä  $m_0$  = koekappaleen massa ennen koetta, g  
 $m_1$  = koekappaleen massa koejakson jälkeen, g  
 $\rho$  = veden tiheys, g/ml  
 $V_0$  = koekappaleen alkuperäinen tilavuus, ml

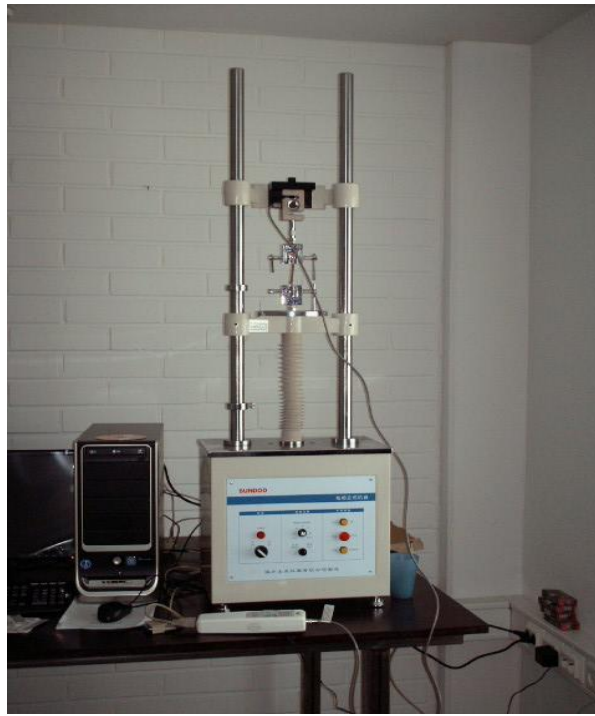
Koetulos määritetään kolmelle koekappaleelle suoritettavien mittausten keskiarvona. (SFS-EN 253 Kaukolämpöjohdot 2003.)

## 7.6 Puristuslujuuden mittaaminen

Puristuslujuudella tarkastellaan eristeen kestävyyttä. Eristeen tiheys vaikuttaa erityisesti puristuslujuuteen. Tiheyden kasvaessa soluseinämien paksuus kasvaa, jolloin eristeestä tulee kovempaa eli myötymän vastustus kasvaa. Toisin sanoen mitä tiheämpää eriste on, sitä paremmin se kestää puristusta ja sitä kovempaa eriste on. Puristuslujuuteen vaikuttaa myös solujen muoto, sen sijaan niiden koolla ei ole niin suurta merkitystä. Puristuslujuuteen vaikuttaa myös käytetty raaka-aine.

Jos vapaavaahdotuksissa jää lähtöaineita reagoimatta, se näkyy puristuslujuudessa sekä tiheydessä. Tämä vaikuttaa myös leikkauslujuuteen. (Siilin 2000,11.)

Standardissa ISO 844 määritelty puristuslujuus tai puristusjännitys säteen suuntaisessa 10 %:n suhteellisessa muodonmuutoksessa ei saa olla pienempi kuin 0,3 MPa (SFS-EN 253 Kaukolämpöjohdot 2003). Tässä työssä näytekappaleille määritettiin maksimipuristuslujuus. Sen avulla voitiin vertailla eristeiden puristuslujuuksia keskenään. Puristuslujuuden mittaamiseen tarkoitettu laite on esitetty kuviossa 17.



KUVIO 17. Puristuslujuuden mittauslaite

## LÄHTEET

Ammattikasvatushallitus. 1988. Eristystyöt. Helsinki: Valtion painantakeskus.

Artekno Oy. 2009. Www-sivu. Saatavissa:  
[http://www.artekno.fi/index.php?PAGE=52&NODE\\_ID=54&LANG=1](http://www.artekno.fi/index.php?PAGE=52&NODE_ID=54&LANG=1). Luettu 13.10.2009.

Chemistry Tutorials & Drills. 2009. Www-sivu. Saatavissa:  
<http://www.chemistry-drills.com/functional-groups.php?q=simple>. Luettu 10.11.2009.

Christian Berner Oy. 2009. Www-sivu. Saatavissa: <http://www.cboy.com/?id=24003>.  
Luettu 13.10.2009.

Energiateollisuus. 2009. Www-sivu. Saatavissa:  
<http://www.energia.fi/fi/kaukolampo/kaukolampo>. Luettu 13.10.2009.

Energiateollisuus Ry. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Kirjapaino Libris Oy.

Hipp, A. 2006. Polyuretaanin valmistus ja siihen liittyvät ongelmat. Tutkintotyö.  
Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

Härkönen, S. & Lähteenmäki, I. & Välimaa, T. 1997. Teollisuuden mittaustekniikka,  
Analyysimittaukset. Helsinki: Oy Edita Ab.

Jyväskylän Energia. 2006. Www-sivu. Saatavissa:  
<http://www.jenergialehti.fi/index2.php?id=12&selPage=1&type=6&articleId=168>.  
Luettu 13.10.2009.

Kunskapsnätet. 2009. Www-sivu. Saatavissa: <http://www.teknikattan.nu/sok/question-show.asp?intQuestionID=476>.  
Luettu 10.11.2009.

Lehikoinen, U. 2009. Tehtaanjohtajan haastattelu 1.4.2009. PV-Putkitus Oy. Kin-  
nula.

Lepola, P. & Makkonen, M. 2000. Materiaalit ja niiden käyttö. Helsinki: WSOY.

Muovikoneistus Kivelä Oy. 2006. Www-sivu. Saatavissa:  
[http://soonyritys.net/veljkivela/pe\\_polyeteeni.html](http://soonyritys.net/veljkivela/pe_polyeteeni.html). Luettu 13.10.2009.

Mäkeläinen, P. 1979. Muovirakenteet. Helsinki: Otakustantamo.

Närppi, J. 1983. Uretaanieristeen vanhenemisen huomioiva kaukolämpökanavara-  
kenteen ja eristystason valintamenetelmä. Diplomityö. Tampereen teknillinen kor-  
keakoulu, Konetekniikan osasto. Tampere.

Oertel, G. 1993. Polyurethane Handbook, 2.painos. München: Hanser.

Oy Callidus Ab. 2006. Isoplus Middelfartin yritysesittely. 1.3.2006. Www-sivu. Saatavissa: <http://www.callidus.fi/doc/putket/1.pdf>. Luettu 13.10.2009.

PV-Putkitus Oy:n yritysesite 2009.

PV-Putkitus Oy. 2009. Www-sivu. Saatavissa: <http://www.pv-putkitus.fi>. Luettu 13.10.2009.

Rakennuspolyuretaaniteollisuus. 2009. Www-sivu. Saatavissa: <http://www.polyuretaani.com/fin/rakennuspolyuretaani/kemia/>. Luettu 13.10.2009.

SFS-EN 253 Kaukolämpöjohdot. 2003. Suomen standardisoimisliitto SFS. 2. painos.

Seppälä, J. 1997. Polymeeriteknologian perusteet. Helsinki: Otatieto Oy.

Siilin, A. 2000. Eristelevyjien kehitys EPS 2000-tuoteluokitusten mukaisiksi. Opin- näytetyö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Kokkola.

Siivonen, K. 2009. Raaka-ainetoimittajan haastattelu 28.10.2009. Purfin Oy. Mas- ku.

Suomen kaukolämpö Ry. 1997. Raportti L22/1997. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.planora.fi/tiedostot/ymp%20laatu.pdf>. Luettu 13.10.2009.

Szycher, M. 1999. Szycher's handbook of polyurethanes. Boca Raton. CRC Press.

Työterveyslaitos. 2009. Kemikaalit ja työ. Rosenberg C & Henriks-Eckerman M-L & Piipari R. Www-sivu. Saatavissa: [http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/2A7AC56F-1675-4A14-91EC-DCACB7D355E2/0/4\\_11\\_3\\_Isosyanaatit.pdf](http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/2A7AC56F-1675-4A14-91EC-DCACB7D355E2/0/4_11_3_Isosyanaatit.pdf). Luettu 10.4. 2009.

Vaittinen, H. 1986. Kova polyuretaani ja sen käyttö kuuman kaukolämpölinjan eris- tykseen peltikuoreen vaahdottamalla. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen kor- keakoulu, Energiatekniikan laitos. Lappeenranta.

Vienamo, T. 2005 Muoviteknologia. Virtuaaliyliopisto. Taideteollinen korkeakoulu. Helsinki. Www-dokumentti. Saatavissa: [http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/metodit/05-00\\_uretaa.html](http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/metodit/05-00_uretaa.html). Luettu 10.4.2009.

VTT Energia. 1999. Energia Suomessa – Tekniikka, talous ja ympäristövaikutuk- set. Helsinki: Oy Edita Ab.



## Työohje

Vaahto muodostuu tiheyksien suhteessa. Esim. 1 cl seosta muodostaa seossuhdeella 100:145 (10 % seklopentaania) n. 30–40 cl vaahtoa. ( $1200 \text{ g/l} : 35 \text{ g/l} = 34$ ).

Seossuhde lasketaan massasta.

Huomaa, että seossuhde pysyy vakiona polyolin ja isosyanaatin suhteen, kun syklopentaanin määrää muutetaan.

### HUOM!

- KÄYTÄ VETOKAAPPIA
- KÄYTÄ SUOJALASEJA JA -KÄSINEITÄ
- SULJE KEMIKAALIASTIA AINA KUN OLET OTTANUT ANNOKSEN
- KÄYTÄ JOKAISELLE KEMIKAALILLE OMAA MITTAA KOKO KOESARJAN AJAN
- REAKTIO ON LÄMPÖÄ LUOVUTTAVA (vaahdon lämpötila on yli  $100^{\circ}\text{C}$ )

Varaa riittävän iso astia, ettei vaahto tule yli, 6 dl:n pahvimuki on aika sopiva, niin saat 3–5 koekappaletta/muki.

Valmistetaan molemmista polyoleista vapaavaahtoja syklopentaanin määrillä 7 p-%, 10 p-%(verrokki), 13 p-% ja 16 p-%.

## Työohje

### I Vaihe: Vapaavaahtojen tekeminen

1. Mittaa polyoli ja sekoita mittalasissa polyolin sekaan haluttu määrä syklopen-  
taania.
2. Mittaa isosyanaatti seossuhteen mukaan.
3. Kaada ainesosat yhtä aikaa vaahdotusastiaan.
4. Sekoita seosta tehokkaasti muutama sekunti. ÄLÄ KÄYTÄ POTKURISEKOI-  
TINTA, ettei seokseen sekoitu ilmaa.
5. Käynnistä sekuntikello.
6. Kun vaahto alkaa muodostua, merkitse aika muistiin = hidasteen toiminta-aika.
7. Kun vaahdon muodostuminen loppuu, merkitse aika muistiin. Kokonaisaika –  
hidasteen toiminta-aika = reaktioaika.
8. Anna vaahtojen olla vetokaapissa vähintään 2 tuntia (syklopentaania haihtuu  
useita vuorokausia).
9. Jätä vaahdot laboratoriolämpötilaan ( $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) vähintään 72 tunnin ajaksi.

### II Vaihe: Puristuslujuuden mittaaminen

Valmista jokaisen vaahdon keskeltä mahdollisimman monta koekappaletta:

Koekappale on joko suorakulmio mitoiltaan 30 mm x 30 mm x t tai lieriö hal-  
kaisijaltaan 30 mm ja pituudeltaan t, kun t on suurin saavutettavissa oleva mitta  
putken säteen suunnassa, ei kuitenkaan suurempi kuin 20 mm.

Puristuslujuus mitataan veto-/puristusmittalaitteella standardin ISO844 mukaisesti.

(U. Lehikoinen)