

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka

Tutkintotyö (Julkinen osio)

Mari Lämsä

**KIERREKÄÄMITYN PUTKEN PROFILIN KOON MÄÄRITTÄMINEN ERI
RENGASJÄYKKYYKSILLE**

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2007

FM Raija Hanhi
Parkanon muovituote Ky, valvojana pros. tekn. Janne Kirjonen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Lämsä, Mari Kierrekäämityn putken profiilin koon määrittäminen eri rengasjäykkyyksille
Tutkintotyö 37 sivua + 8 liitettä
Työn ohjaaja FM Raija Hanhi
Työn teettäjä Parkanon Muovituote Ky, valvojana pros. tekn. Janne Kirjonen
Huhtikuu 2007
Hakusanat polyeteeni, rengasjäykkyys, putki

TIIVISTELMÄ

Yleinen rakentamisessa vaadittu muoviputkien rengasjäykkyys on 4 kN/m^2 . Joissain erityiskohteissa, kuten teiden alle asennettavissa muoviputkissa, rengasjäykkyysvaatimus on 8 kN/m^2 . Parkanon Muovituotteella tiedettiin, että heidän valmistamansa kierrekäämityt muoviputket täyttävät vaaditut rengasjäykkyyden rajat, mutta heillä ei ollut esittää siitä mitään todisteita. Tässä tutkintotyössä testattiin neljästä erikokoisesta profiilista valmistettujen polyteeniputkien rengasjäykkyydet. Saatujen tulosten perusteella laskettiin suuntaa antavat profiilien seinämän paksuudet eri rengasjäykkyysvaatimuksille, joita voi olla 2, 4, 8 ja 12 kN/m^2 . Tarkoituksena oli saada mahdollisimman kevyt putki ja mahdollisimman ohut profiili, mutta kuitenkin ylittää vaatimusraja.

Koska haluttiin, että rengasjäykkyysvaatimukset varmasti saavutetaan, laskettiin profiilien koot rengasjäykkyyksisarvoille, joihin oli kuhunkin lisätty $0,2 \text{ kN/m}^2$ vaaditun rengasjäykkyyden lisäksi. Kaikista luotettavin tulos on rengasjäykkyydelle 8 kN/m^2 laskettu profiilin seinämän paksuus, sillä testit tehtiin tällä rengasjäykkyyksialueella. Muiden rengasjäykkyyksien profiilien koot selvitettiin piirtämällä Excelillä kuvaaja, jossa testituloksista saadut rengasjäykkyydet on esitetty profiilien seinämän paksuuksien funktiona. Pisteiden kautta piirrettiin suora ja suoran yhtälön avulla selvitettiin profiilien koot.

Tulosten luotettavuus kärsi siitä, että testejä ei tehty kaikilla rengasjäykkyyksialueilla. Myös se, että testien tekopäivänä oli $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ pakkasta, saattoi vaikuttaa testituloksiin, sillä muoviputket pääsivät kylmenemään kuljetuksen aikana. Jatkossa voitaisiin tehdä lisää testejä käyttäen ohuempia ja paksumpia profiileja kuin nyt.

TAMPERE POLYTECHNIC

Chemical Engineering Defining of structure-wall gravity pipe's profile size for different ring stiffnesses

Lämsä, Mari

Engineering thesis 37 pages, 8 appendices

Thesis Supervisor FM Raija Hanhi

Commissioning Company Parkanon Muovituote Ky, supervisor Janne Kirjonen

April 2007

Keywords polyethylene, ring stiffness, pipe

ABSTRACT

The common demand for the ring stiffness of plastic pipes is 4 kN/m^2 . In some special projects, like for pipes that are installed under the roads, the demand for ring stiffness is 8 kN/m^2 . They knew in Parkanon Muovituote that the products they manufacture top the limit values of demanded ring stiffnesses, but they had no test reports. In this engineering thesis ringstiffness of polyethylene pipes made of four different size profiles were tested. Wall thicknesses for profiles were defined from the test results for different ring stiffness demands, which can be 2, 4, 8 and 12 kN/m^2 . The idea was to get as light pipe and as thin profile wall thickness as possible, but still get the ring stiffness value over the demanded limit.

Because it was wanted to make sure that the limit values of ring stiffnesses were crossed, the calculations were made for ring stiffness values where $0,2 \text{ kN/m}^2$ had been added over the limit value. Most reliable profile wall thickness result is the one counted for ring stiffness 8 kN/m^2 , because the tests were made in this ring stiffness area. All other profile wall thicknesses were solved by drawing a curve with Excel, in which ring stiffnesses calculated from the test results were in y-axle and the profile wall thicknesses of the tested pipes were in the x-axle. Line was drawn through the points and the needed profile wall thicknesses were calculated from the straight equation.

The liability of the results was declined because the tests weren't done in all ring stiffness areas. Also the fact that the temperature was $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ at the day the tests were made might have influenced the test results because plastic pipes were coolen during the transport. In the future could more tests be done by using thinner and thicker profiles than now.

ALKUSANAT

Tein tutkintotyöni Parkanon Muovituote Ky:lle keväällä 2007. Tutkintotyöhön liittyvät testit tehtiin Jita Oy:llä Virroilla. Työn valvojana toimi FM Raija Hanhi Tampereen ammattikorkeakoulusta.

Haluaisin kiittää Janne Kirjosta ja Jouni Kirjosta aiheen antamisesta ja saamastani avusta. Jita Oy:n työnjohtajaa Pekka Suokasta haluaisin kiittää mahdollisuudesta suorittaa testit Jitan tiloissa ja neuvoista rengasjäykkyyksien laskemisessa. Myös FM Raija Hanhea haluaisin kiittää neuvoista ja tuesta, joita sain tutkintotyötä tehdessäni.

Jalasjärvellä 9. huhtikuuta 2007

Mari Lämsä

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT	6
1 JOHDANTO	7
2 MUOVIT	9
2.1 HISTORIA	9
2.2 MUOVIEIN JAKO	9
2.3 YLEISET OMINAISUUDET	10
3 POLYETEENI	11
3.1 VALMISTUS	11
3.2 OMINAISUUDET	13
3.3 TYÖSTÖ	15
3.4 KÄYTTÖ	15
4 PUTKET	16
4.1 VALMISTUS	16
4.2 EKSTRUUDERIN RAKENNE	17
4.3 KULJETUS JA LIITTÄMINEN	19
4.4 VALMISTUSMATERIAALIT	20
5 MUOVIPUTKISTON SUUNNITTELU	22
5.1 SUUNNITTELUSSA SELVITETTÄVIÄ ASIOITA	22
5.2 ASENNUS	22
6 RENGASJÄYKKYYS	23
6.1 PERIAATE	23
6.2 KOELAITTEISTO	24
6.3 KOEKAPPALE	25
6.4 LASKEMINEN	26
6.5 RELAKSAATIOMENETELMÄ	27
LÄHDELUETTELO	28

Käytetyt lyhenteet ja termit

Kierrekäämitty putki

Putki, joka on valmistettu kiertämällä telan ympäri ekstruuderilla valmistettua profiilia ja saumaamalla profiilin reunat toisiinsa kiinni.

Rengasjäykkyys

Ilmaisee, kuinka suurta puristusvoimaa putki kestää kN/m².

Polymerointi

Polymeroinnissa raaka-aineen molekyylit yhdistyvät katalyytin vaikutuksesta isoiksi polymeerimolekyyleiksi. Suuri osa raaka-aineista on alkeeneja, sillä yleisimmät muovit saadaan avaamalla alkeenin kaksoissidos.

Vakionopeusmenetelmä

Rengasjäykkyyden mittaamiseen käytetty menetelmä, jossa putkea puristetaan kahden metallilevyn välissä vakionopeudella tiettyyn muodonmuutosasteeseen saakka.

Relaksaatiomenetelmä

Rengasjäykkyyden mittaamiseen käytetty menetelmä, jossa putkea puristetaan kahden metallilevyn välissä tiettyyn muodonmuutosasteeseen. Tämä muodonmuutosaste pidetään vakiona kokeen ajan. Lopuksi mitataan putkeen kohdistuva puristusvoima.

Ekstruuderi

Suulakepuristin, jota käytetään esimerkiksi muoviputkien, -levyjen ja -kalvojen valmistuksessa.

Ziegler-menetelmä

PE-HD:n valmistusmenetelmä, jonka Karl Ziegler kehitti 1953. Katalyytin käyttöön perustuva polymerointi, jossa käytetään 1–5 MPa:n painetta ja 20–150 °C:n lämpötilaa.

Phillips-menetelmä

PE-HD:n valmistusmenetelmä, jonka Phillips Petroleum Company kehitti 50-luvun alussa. Polymerointi tapahtuu katalyyttia käyttämällä 3–4 MPa:n paineessa ja 75–180 °C:n lämpötilassa.

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on selvittää kierrekäämityn putken profiilin koko eri rengasjäykkyyksille. Työn teettäjä on Parkanon Muovituote Ky, joka on noin 14 työntekijää työllistävä yritys Parkanossa. Yritys perustettiin vuonna 1994. Tuotteet ovat polyeteenistä valmistettuja muoviputkia, joiden halkaisijat vaihtelevat 700 mm:stä 3000 mm:iin. Vaasassa sijaitsevan Kwh-pipen valmistamat Weholite-putket vastaavat Parkanon Muovituotteen tuotteita. Kuvassa 1 on esitetty halkaisijaltaan kolmen metrin kokoinen Weholite-putki. Kuvasta näkee hyvin, kuinka profiilia on kierretty telan ympäri, koska profiilien saumauksesta on muodostunut raita. Putki on sileäpintainen niin sisä- kuin ulkopuoleltakin.



Kuva 1 Suuri Weholite-putki /16./

Weholite-putki on kevyt, ja sen asennustyö on nopeaa ja turvallista. Perustamistöissä Weholite-putken etuna on se, että se ei kuormita alustaansa kuten raskaammat putkimateriaalit. Putket ovat joustavia, mikä mahdollistaa niiden mukautumisen erilaisiin kuormitustilanteisiin, tärinäihin, jännityksiin ja maaperän liikkeisiin ilman että putki rikkoutuu. Vakiorengasjäykkyys on 4 kN/m^2 , joka on riittävä kaikenlaisessa rakentamisessa. Asennustyössä

merkittäviä etuja ovat putken keveys, käsittely, kuljetukset työmaalle ja maahan asentaminen. Weholitesta ei liukene mitään putkessa kulkevaan nesteeseen. Se ei myöskään ruostu, lahoa, murene eikä syövy kemiallisen tai sähköisen reaktion vaikutuksesta. Perusteellisiin pitkäaikaisominaisuuksiin perustuvat tutkimukset osoittavat, että maahan asennetulle muoviputkelle voidaan olettaa kestoaikaa yli 100 vuotta. /17./

Putkien käyttökohteet ovat pääasiassa viemäriputkistot ja erilaiset säiliöt. Säiliöitä voidaan valmistaa liittämällä suureen putkeen pääty, joka on putken pään muotoiseksi ja kokoiseksi leikattu polyeteenilevy (kuva 2).



Kuva 2 Kwh-pipen Weholite-putkesta valmistettu säiliö, joka vastaa Parkanon Muovituotteen valmistamia säiliöitä /16./

Kierrekäämittyjen putkien rengasjäykkyyden selvittämiseksi Parkanon Muovituotteen tiloissa tehtiin kokeita varten neljä erikokoisesta profiilista valmistettua muoviputkea. Varsinaiset kokeet suoritettiin Virroilla sijaitsevan muovialan yrityksen Jita Oy:n tiloissa. Saatujen tulosten perusteella määritettiin, minkä kokoinen profiili tarvitaan eri rengasjäykkyyksvaatimuksiin, joita ovat 2, 4, 8 ja 12 kN/m².

2 MUOVIT

2.1 Historia

Ensimmäiset muovit keksittiin jo 1800-luvulla, mutta niiden käyttö oli silloin hyvin vähäistä. Selluloidi oli ensimmäinen muovi, jonka valmistus aloitettiin teollisesti. 1900-luvun alussa keksittiin, kuinka täysin synteettistä fenolimuovia eli bakeliittia valmistetaan. Sen teollinen tuotanto aloitettiin 1909. Muovien suurtuotantoon johtanut kehitys tapahtui 1920-luvun lopulla. /1, s. 5./

2.2 Muovien jako

Muovipolymeerin molekyyli rakenne koostuu pääosin hiiliketjusta, joten muovit ovat orgaanisia aineita. Muovipolymeerejä on sekä kiinteitä että nestemäisiä. Kiinteitä muovituotteita valmistetaan esim. ahto-, siirto-, ruisku- ja suulakepuristamalla. Nestemäisinä muovipolymeerit esiintyvät yleensä emulsioina (liimat ja maalit) tai liuoksina (maalit, lakat ja liimat). /1, s. 8./

Muovit jaetaan usein fysikaalisten ominaisuuksiensa perusteella kahteen ryhmään: kerta- ja kestopuoveihin. Kertamuoveja valmistettaessa reaktio keskeytetään niin, että tuote jää pienimolekyylliseksi. Saatu muovi käytetään tuotteiden valmistukseen sellaisenaan tai siitä valmistetaan erilaisia puristemassoja. Lopullinen muovi syntyy vasta tässä toisessa vaiheessa joko pelkästään lämmön tai lämmön ja kovettimien avulla. Kertamuoveja ei saada enää lämmön avulla pehmenemään, vaan kuumennettaessa ne alkavat hajota alkuaineikseen. Kestomuovit taas koostuvat pitkistä joko haarautuneista tai haarautumattomista ns. lankamolekyyleistä. Ne ovat kemiallisesti tyydyttyjä eivätkä verkkoudu jatkokäsittelyssä lämmön vaikutuksesta. Lämmitettäessä tuote pehmenee vähitellen muuttuen viskoosiseksi nesteeksi. Kestomuoveja voidaan muovata uudelleen. /1, s. 8–9./

2.3 Yleiset ominaisuudet

Muoveja on monia erilaisia ja niiden ominaisuudet poikkeavat huomattavasti toisistaan. Perusmuoveja on noin 30, mutta sekoittamalla keskenään eri perusmuoveja saadaan sekapolymeerejä, joiden ominaisuudet poikkeavat alkuperäisistä homopolymeereistä. Tämän tavan lisäksi muovien eri ominaisuuksia voidaan lisätä ja parantaa käyttämällä seoksissa erilaisia pehmittimiä, täyteaineita jne. /1, s. 10./

Muovien hyviä ominaisuuksia ovat muun muassa keveys ja lujuus suhteessa painoon; korroosion kesto; äänen-, lämmön- ja sähköneristyskyky; helppo muotoiltavuus; läpivärjättyvyys tai läpinäkyvyys, mikä mahdollistaa hyvät optiset ominaisuudet; pieni kitkakerroin ja palavuus tai palamattomuus. Otsoni, happi ja UV-valo ovat usein haitallisia muoveille. Niiltä pyritään suojautumaan käyttämällä vanhenemisenestoaineita ja erilaisia pigmenttejä. Muovien lämmönkesto on jatkuvassa käytössä yleensä huono, usein 100 °C tai alle. Muovien iskutkeys huononee lämpötilan laskiessa, ja niistä tulee hauraita, mutta muovit eivät kärsi kylmyydestä, sillä iskutkeys palautuu heti lämpötilan noustessa. Vaikka iskutkeys huononee lämpötilan laskiessa, muut lujuusominaisuudet yleensä paranevat. Tällä ominaisuudella on merkitystä erityisesti lujuuslaskuja laskettaessa. Muovien mekaaninen kestävyys huoneenlämmössä on noin 10–20 % teräksen vastaavista arvoista, mutta tiheyskin on vain 15 % teräksen tiheydestä. Muovien yhteisistä kemiallisista ominaisuuksista voidaan mainita hyvä tai kohtalaisen hyvä epäorgaanisten aineiden kesto, mistä johtuu muovin käytön lisääntyminen teollisuuden laitteistoissa, säiliöissä ja putkistoissa. /1, s. 10–14;2, s. 20; 3, s. 95./

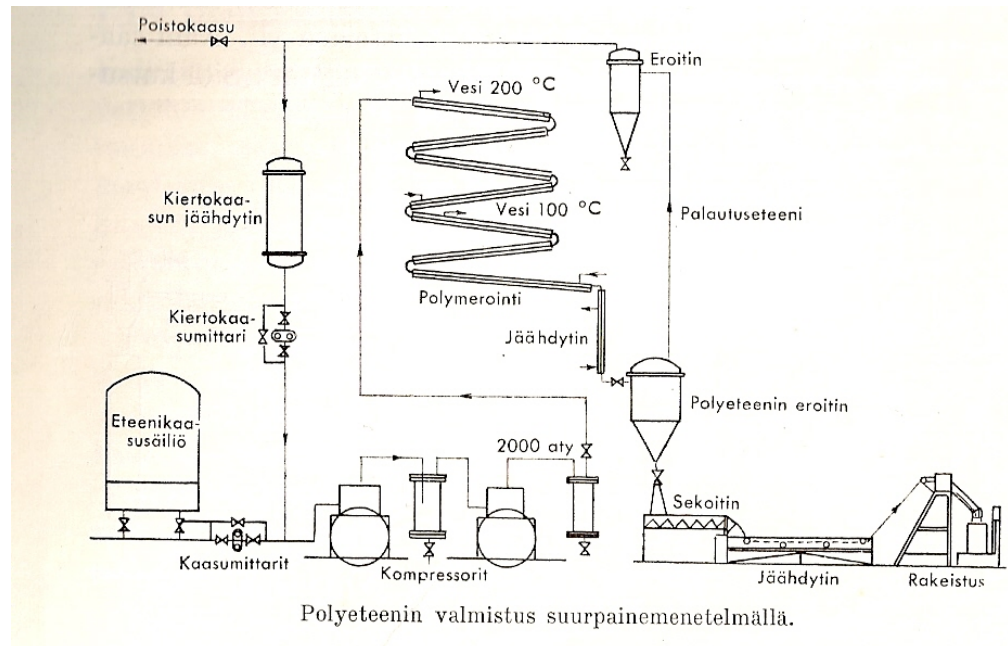
3 POLYETEENI

3.1 Valmistus

Tässä työssä tutkittavat kierrekäämityt putket valmistetaan erilaisista polyeteenimateriaaleista (PE), joten on syytä tarkastella tätä muovia vähän tarkemmin. Polyeteeni keksittiin 1933 ja sen teollinen tuotanto alkoi Englannissa 1930-luvun lopulla. Valmistus tapahtuu polymeroimalla eteenikaasusta (C_2H_4) joko korkeapaine- tai matalapainemenetelmällä. /3, s. 75./

Eteenikaasua saadaan muun muassa maaöljyjen jalostuksessa syntyvistä krakkauskaasuista. Tämä kaasu sisältää eteenin lisäksi myös etaania, propaania ja propeenaa. Krakkaus tapahtuu $800\text{ }^\circ\text{C}$:n lämmössä ja eteeni liuotetaan kylmään veteen. Näin saatu eteenikaasu on puhdistettava huolellisesti. Yleensä käytetään selektiivisiä öljyjä liuottimina ja matalaa lämpötilaa. Tämän jälkeen eteenikaasulle suoritetaan fraktioiva korkeapainetislaus. /4, s. 101–102./

Eteenin polymerointiin on käytössä kaksi eri tapaa. Vanhempi korkeapainemenetelmä on edelleenkin suosituimpi tapa. Siinä eteenimonomeeri johdetaan $200\text{ }^\circ\text{C}$:n lämpöisenä ja noin 200 MPa :n paineisena katalyytin yli, jolloin polymeroitumisaste on 5–20 %. Tässä lämmössä saatu polymeeri on sulana ja se voidaan helposti erottaa reagoimattomasta monomeeristä, joka voidaan polymeroida uudelleen tai käyttää muuhun tarkoitukseen. Näin saatua korkeapainepolyeteeniä kutsutaan nimellä PE-LD. LD tulee sanoista low density ja tarkoittaa matalaa tiheyttä. Kuvassa 3 on esitetty polyeteenin valmistus korkeapainemenetelmällä. /4, s. 102./

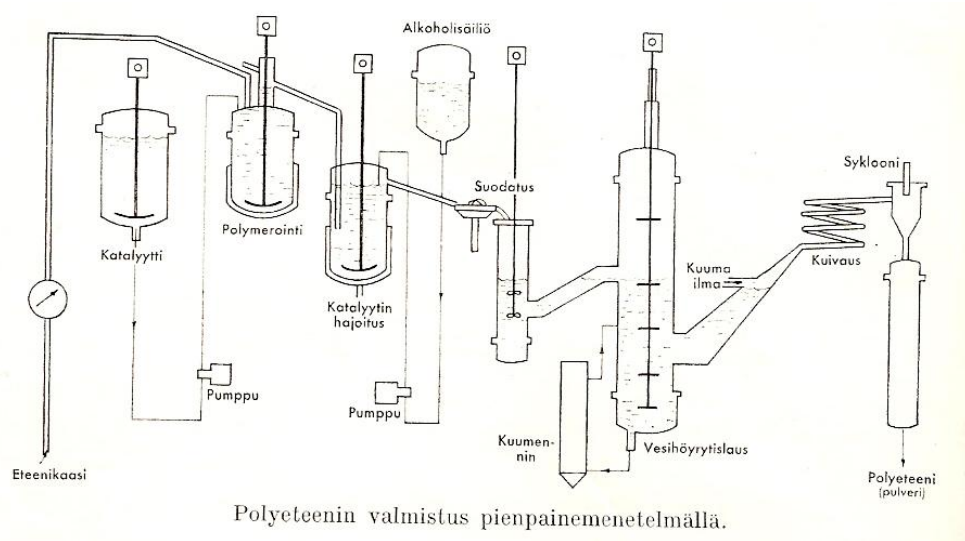


Kuva 3 Polyeteenin valmistus korkeapainemenetelmällä /4, s. 101./

Uudemmassa menetelmässä eteeni johdetaan normaalipaineessa ja edellistä menetelmää huomattavasti matalammassa lämpötilassa orgaanisten metalliyhdisteiden yli. Näin saatua pienpainepolyeteeniä kutsutaan puolestaan PE-HD:ksi. HD tulee sanoista high density ja tarkoittaa korkeaa tiheyttä.

Kuvassa 4 on esitetty polyeteenin valmistusprosessi pienpainemenetelmällä.

/4, s. 102–103./



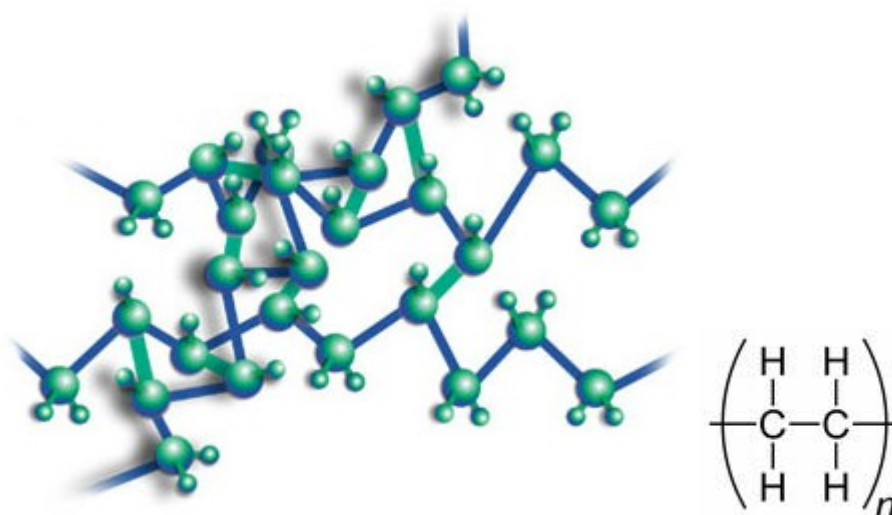
Kuva 4 Polyeteenin valmistus pienpainemenetelmällä /4, s. 102./

3.2 Ominaisuudet

Polyeteeni rakentuu hiiliketjusta, johon on liittynyt vetyjä. Eri polyeteenilajien ominaisuuksien erot johtuvat pääasiassa siitä, kuinka paljon tai vähän hiiliketju on haarautunut, mutta myös tietyillä lisäaineilla on oma vaikutuksensa.

Haarautumien määrä taas riippuu valmistustavasta tai valmistuksessa käytetystä katalyytistä. Kuvassa 5 on havainnollistettu polyeteenin rakennetta.

/5, s. 75./



Kuva 5 Polyeteenin rakenne /17; 18./

Korkeapainepolyeteenin (PE-LD) ketju sisältää enemmän haarautumia kuin pienpainepolyeteenin (PE-HD). Valmistusolosuhteiden pienetkin muutokset vaikuttavat polyeteenin ominaisuuksiin, muun muassa tiheyteen. Tiheyden lisääntyessä vetolujuus, kimmomoduuli, jäykkyys, kovuus ja lämmönkestävyys kasvavat. Iskusitkeys ja viruminen sen sijaan pienenevät. Tiheyden ollessa suuri ketju on vähemmän haarautunut ja polyeteenin kiteytymisaste on suurempi. Kun kiteytymisaste on suuri, myös mekaaniset ominaisuudet paranevat, mutta työstettävyys vaikeutuu. /5, s. 75–78./

PE-LD-tyypeille yleisiä ominaisuuksia ovat keveys ja taipuisuus. Niiden tiheys on noin $0,92 \text{ kg/dm}^3$. Tämän tyyppin polyeteenien pinta on vahamainen ja se naarmuuntuu helposti. PE-LD:n lujuusarvot ovat yleensä ottaen huonot. /1, s.15./

PE-HD on kovempaa ja jäykempää materiaalia kuin PE-LD. HD-tyyppien tiheys on luokkaa $0,941\text{--}0,965 \text{ kg/dm}^3$. Lujuusarvot ovat hiukan paremmat kuin PE-LD-tyypeillä. /1, s. 15./

LD- ja HD-tyyppien lisäksi voidaan erottaa vielä useita muita polyeteenityyppejä, esim. PE-MD, PE-LLD, PE-VLD ja PE-X. PE-X on ristisilloitettua polyeteeniä. Sillä on muihin polyeteenityyppeihin nähden paremmat iskulujuuden arvot matalissa lämpötiloissa, korkeampi jännityskorroosion kesto ja paremmat vanhenemisominaisuudet. PE-X:n suurimmat käyttöalueet ovat kaapeleiden eristeet ja kuumavesiputket. /6, s. 59./

Polyeteeneille on tyypillistä erittäin suuri jännitekorroosio. Molekyylipainon kasvaessa jännitekorroosio vähenee. Myös lisäämällä polyeteeniin 5–20 % polyisobuteenia saadaan jännityskorroosio vähenemään, tämä toimenpide tosin heikentää polyeteenin muita ominaisuuksia, kuten jäykkyyttä. /5, s. 79–80./

Polyeteenit täytyy stabiloida UV-valoa ja happea vastaan, sillä ne aiheuttavat polyeteenin vanhenemista. Myös jotkin raskasmetallit, kuten kupari (Cu), lisäävät ja kiihdyttävät vanhenemista. Polyeteenillä on erinomaiset sähköeristysominaisuudet. Ympäristön kosteudella on vain vähäinen vaikutus polyeteenin eristysominaisuuksiin, sillä se ei ime kosteutta. /5, s. 80./

Polyeteenin vahamaisen pinnan takia painoväri ei ilman erityiskäsittelyä tartu polyeteenin pintaan. Näitä erityiskäsittelyitä ovat sähkökäsittely ja kemiallinen käsittely. Paras tulos kemiallisessa käsittelyssä saataisiin kloorilla, mutta sen myrkyllisyyden takia tavanomaisesti päädytään käyttämään sähkökäsittelyä. Sähkökäsittelyssä muovin pintaan suunnataan sähköpurkaus, jonka vaikutuksesta muovin pintaosaan syntyy aktiivisia ryhmiä, joihin painoväri tarttuu. /5, s. 80–81./

Koska polyeteeni on hyvä eriste, sen pinnalla tapahtuu sähköistä varautumista, mikä aiheuttaa pölyn imeytymistä materiaalin pinnalle. Tätä ilmiötä voidaan vähentää lisäämällä muoviin valmistusvaiheessa antistaattisia lisäaineita. Antistaattisten lisäaineiden käytön haittapuolena on painovärien tarttuvuuden huononeminen. /5, s. 82–83./

3.3 Työstö

Eri työstötapoja ovat esimerkiksi ruiskupuristus, suulakepuristus (ekstruusio), lämpömuovaus ja hitsaus. Yleisesti voidaan sanoa, että polyeteenejä voidaan työstää kaikilla tavallisilla kestumuovien työstötavoilla. Muovien hitsauksella tarkoitetaan materiaalien liittämistä paineen ja lämmön avulla.

Hitsauslämpötila on yleensä noin 200–300 °C, mutta korkeampiakin lämpötiloja käytetään. Muovi pehmenee liitoskohtia lämmitettäessä. Kun pehmenneet kohdat puristetaan vastakkain, muovin molekyyliketjut puristuvat lomittain ja materiaali sekoittuu. Kun muovi viilenee, pinnat tarttuvat toisiinsa, mitä kutsutaan hitsautumiseksi. Polyeteenien liimaus on vaikeaa. Ennen liimausta pintaa on käsiteltävä esimerkiksi liekillä, sähköpurkauksella tai radioaktiivisella säteilyllä.

/5, s. 83; 2, s. 174./

3.4 Käyttö

Polyeteeni on eniten käytetty muovi. Sen käyttö ulottuu lähes kaikille elinkeinoelämän aloille. Kemianteollisuudessa polyeteeniä käytetään muun muassa metallien pinnoitteena korroosion estämiseksi, syövyttäviä liuoksia kestävinä putkina ja erikoislaitteissa, missä tarvitaan hyvää kemikaalien kesto.

/1, s. 16./

Pakkausteollisuudessa polyeteenistä valmistetaan kalvoa, josta saadaan tehtyä sellaisenaan pakkauksia tai valmistettua muovipusseja. Polyeteenillä voidaan myös laminoida muoveja, paperia ja metalleja. Nestemäisten aineiden pullot, tölkit ja tynnyrit valmistetaan yleensä polyeteenistä. Polyeteenistä valmistetut kuljetuslaatikot on todettu kestäviksi. Kotona polyeteenistä valmistettuja esineitä ovat esimerkiksi sangot, saavit, pesualtaat ja kauhat. Polyeteeniä voidaan käyttää myös kuitumateriaalina, josta valmistetaan harjoja, mattoja ja köysiä sekä suodatinmateriaalia kemianteollisuuteen.

Sähkötarviketeollisuudessa polyeteeniä voidaan käyttää eristeenä esimerkiksi koaksikaapeleissa ja suurjaksoalueilla.

/1, s. 16–17./

Käyttötarpeen mukaan polyeteenin ominaisuuksia voidaan muokata molekyylikokoa, tiheyttä ja lisäaineita säätämällä. Suurilla polyeteenin tuottajilla on valikoimissaan kymmeniä eri polyeteenejä, joten sopivimman materiaalin valitseminen vaatii asiantuntemusta ja kokemusta. Koska tämä tutkintotyö käsittelee muoviputkia, niihin liittyviä asioita käydään läpi hiukan tarkemmin seuraavassa luvussa. /5, s. 80./

4 PUTKET

4.1 Valmistus

Putkia valmistetaan sekä PE-LD:stä että PE-HD:stä. Lujuuden parantamiseksi lisäaineena käytetään nokea, joka aiheuttaa sen, että putket ovat mustia ja läpinäkymättömiä. Valmistusprosessi alkaa ekstruuderista, jossa muovigranulaatti plastisoidaan kitkan, paineen ja lämmön avulla. Ekstruuderin ruuvi työntää sulaa muovia suuttimen läpi. Syntynyt profiili jäähdytetään. Saumattomia PE-putkia voidaan valmistaa 1200 mm:iin saakka. Tätä

suuremmat putket valmistetaan kelausmenetelmällä PE-nauhasta niin, että nauhan reunat tulevat päällekkäin ja hitsataan yhteen. Kierrekäämityt putket valmistetaan kiertämällä ekstruuderista saatua profiilia telan ympäri ja saumaamalla profiilit yhteen. /5, s. 80; 19./

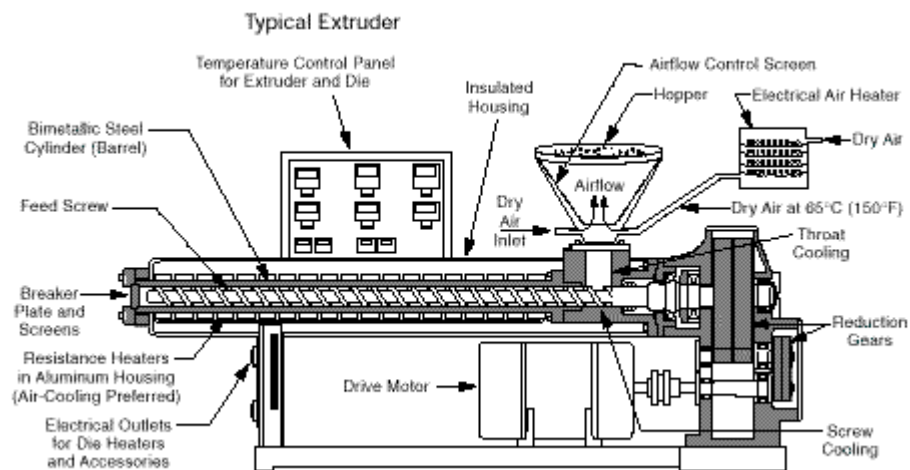
4.2 Ekstruuderin rakenne

Ekstruuderin syöttölaitteena on tavallisesti yksinkertainen suppilo, josta raemuodossa oleva muovimassa valuu itsestään sylinteriin. Suppilossa voidaan käyttää joko tärytintä tai erillisen moottorin käyttämää sekoitinta muovimassan liikkumisen varmistamiseksi. Näin toimittaessa vältetään ruuvin tyhjäkäynti. Ekstruuderin syöttövyöhyke vaatii jäähdytyslaitteiston, ettei muovi sula jo suppilossa ja tuki syöttöaukkoa. /4, s. 248./

Sylinterin täytyy olla paineen kestävä ja se on varustettu joko pelkästään jäähdytyslementeillä tai sekä lämmitys- että jäähdytyslementeillä. Sylinterin sisäpinta on kovassa rasituksessa, ja siksi sen täytyy olla hyvin kestävä materiaalia. Materiaalina käytetään korkealaatuista terästä, joka kestää suuria lämpöjännityksiä, kulumista ja muovien kemiallisia hajoamistuotteita. /4, s. 248./

Ruuvi suunnitellaan muoviraaka-aineen mukaan. Suunnittelussa huomioon otettavia tekijöitä ovat muovin sulamisominaisuudet, lämpölaajenema, hiukkaskoko ja sulan muovin kokoonpuristuvuus paineen vaikutuksesta. Ruuvi voi olla torpedopäinen tai täysikierteinen. Näistä saadaan eri tyyppisiä vaihtelemalla kierteen nousua, syvyyttä ja lukumäärää. Ruuvin halkaisija on yleensä 25–300 mm ja ruuvin pituus on yleensä noin 12–30 kertaa halkaisijan pituus. Jäähdytystä varten ruuvin keskellä on reikä, joka voi ulottua koko ruuvin pituudelle. Ruuvi täytyy valmistaa lujasta, kulutusta ja kemiallisia aineita kestävästä teräksestä. Ruuvin pinta voidaan nitrata kestävyden parantamiseksi. /4, s. 249./

Sylinterin etuosassa sijaitsee yksi tai useampi sihtilevy, joiden tarkoituksena on estää epäpuhtauksien pääsy suuttimeen, tasoittaa massavirtausta ja aiheuttaa vastapaine, jotta kaasut poistuisivat syöttöaukon kautta ja tuotteesta tulisi tiivistä ja huokoisetonta. Puristinpään ja suulakkeen muodon määrää valmistettava tuote. Letkuja, putkia, tankoja ja erilaisia profiileja valmistetaan suoralla puristuspäällä. Eriaisentoisilla kulmapäällä päällystetään lankoja, nauhoja ja kaapeleita. Puhallus- ja levypäätä käytetään kalvojen valmistukseen ja levypäätä myös muovilevyjen valmistukseen. Suulake, joka sijaitsee puristinpäässä, muotoilee tuotteen. Kuvissa 6 ja 7 on esitetty ekstruuderit. /4, s. 249–250./



Kuva 6 Tyypillinen ekstruuderit /20./



Kuva 7 Ekstruuderit /21./

4.3 Kuljetus ja liittäminen

Oluet LD-typin putket voidaan kuljettaa käyttöpaikalle kelalla, joten tällaista putkea voidaan asentaa pitkiäkin matkoja ilman liitoksia. HD-typistä valmistetut putket ovat yleensä niin jäykkiä, että ne kuljetetaan käyttöpaikalle tankoina. Näin toimitaan myös LD-putkien tapauksessa silloin, kun putki on halkaisijaltaan yli 150 mm. Muoviputket voidaan liittää toisiinsa hitsaamalla tai käyttämällä metalli- tai muoviliittimiä. Kun liitetään muoviputkea ja metalliputkea toisiinsa, voidaan käyttää vain metalli- tai muoviliittimiä.

/5, s. 80./

4.4 Valmistusmateriaalit

Lähes kaikkia kestopuoveja on käytetty putkien valmistusmateriaaleina, kuitenkin näiden muovien joukosta erottuu neljä selkeästi eniten käytettyä vaihtoehtoa putkien raaka-aineeksi. Nämä kestopuovit ovat pienpainepolyeteeni (PE-HD), korkeapainepolyeteeni (PE-LD), polypropeeni (PP) ja polyvinyylidikloridi (PVC). Näiden muovien yhteisiä hyviä ominaisuuksia ovat hinta, kemiallinen kestävyys, työstöominaisuudet ja liitostavat. Näistä muoveista eniten käytetty materiaali on PE-HD. Lisäksi käytetään teollisuuden putkina ABS-, nailon-, teflon- ynnä muita erikoisputkia, mutta niiden käyttö on vähäistä. /7, s. V1./

PE-HD tuli markkinoillemme 1950-luvun lopulla. Seuraavat ominaisuudet takasivat sen paikan tärkeimpien putkimateriaalien joukossa: erinomainen kemiallinen kestävyys, edullinen hinta, keveys, fysiologisesti indifferentti, puskuhitausta mahdollinen ja hyvä pakkasenkestävyys. Putkiin sopivaa PE-HD:ta valmistetaan joko Ziegler- tai Phillips-menetelmällä. Nämä matalapaineprosessit antavat lineaarisen molekyylirakenteen, joka johtaa materiaaliin, jolla on korkea kiteisyys ja korkea tiheys eli PE-HD:hen. Ziegler-menetelmä on Karl Zieglerin 1957 keksimä katalysointitapa, joka toimii matalassa paineessa (1–5 MPa) ja matalassa lämpötilassa (20–150 °C). Menetelmä perustuu titaanin tai vanadiinidikloridin kombinaatioon alkyylialumiinin kanssa. Phillips-menetelmä on 50-luvun alussa kehitetty polymerointitapa, joka tapahtuu 3–4 MPa:n paineessa ja 75–180 °C:n lämpötilassa kromitrioksidista ja piidioksidista koostuvan katalyytin avulla. Näistä menetelmistä Ziegler on Suomessa käytetympi. /7, s. V1-2; 8, s. 47./

PE-LD-putkia valmistettiin ensi kertaa Suomessa 1955. Käyttökohteena olivat aluksi lähinnä maaseudun vesihuoltotyöt. Sittemmin PE-LD-putkia käytettiin sekä vesi- että viemäriputkina ja myös kemianteollisuudessa putkistoina.

1970-luvulta lähtien PE-LD-putkien käyttö rajoittui lähinnä vesijohtoverkostojen talojohtoihin ja kaivosteollisuuden rikaste- ja lieteputkiin. PE-LD-putkien hyviä puolia ovat taipuisuus, korroosiokestävyys, pakkasenkestävyys, helppo liitätä, edullinen hinta ja suuret toimituspituudet. PE-HD- ja PE-LD-putkien hintasuhde on vuosien saatossa muuttunut PE-LD-putkille epäedulliseksi, joten tästäkin syystä PE-HD-putkien käyttö on yleisempää. Taipuisuuden, helpon liitättävän ja pitkien toimituspituuksien vuoksi PE-LD-putki on kannattavampi vaihtoehto silloin, kun valmistettävien putkien halkaisijat ovat pieniä. /7, s. V5./

Polypropeeniputkia käytetään oikeastaan vain putkistoissa, joissa korkean lämpötilan vuoksi muita kestumuoveja ei voida käyttää. PP-putkien etuja ovat hyvä lämmönkesto, hyvä kemiallinen kestävyys ja keveys. PP-putkien yksi käyttöä rajoittava ominaisuus on pakkashauraus. /4, s. V6-7./

PVC-putkien hyviä ominaisuuksia ovat hyvä kemiallinen kestävyys, liimattavuus ja jäykkyys. Käyttöä rajoittavia tekijöitä taas ovat vaikea työstettävyys putkeksi ja pakkasherkkyyys. PVC-putket soveltuvat jäykkyytensä ansiosta hyvin sisäasennuksiin. PVC-putkia käytettiin aikaisemmin enemmän, mutta nykyisin niiden käyttö on lähes olematonta. /7, s. V9./

Edellä esitellyistä neljästä materiaalista voidaan yhteisesti mainita, että kaikki soveltuvat sekä paineettomiin että painetarkoituksiin ja että kaikki kestävät emäksiä ja happoja, lukuun ottamatta vahvoja hapettavia happoja, esimerkiksi väkevää typpihappoa. Liuottimet vaikuttavat PE-HD-, PE-LD- ja PP-putkiin turvottavasti. PVC-putket voivat liueta eräiden liuottimien, kuten kloorattujen hiilivetyjen, vaikutuksesta. Pinta-aktiiviset aineet voivat aiheuttaa jännityskorroosiota PE-LD:stä valmistettuihin putkiin. /7, s. 10./

5 MUOVIPUTKISTON SUUNNITTELU

5.1 Suunnittelussa selvitettäviä asioita

Muovit poikkeavat huomattavasti esimerkiksi metalleista. Siksi muoviputkistoa suunniteltaessa täytyy ottaa useita uusia näkökohtia huomioon. Kun suunnitteluvaiheessa on toimittu oikein ja kiinnitetty huomiota kestopuovien ominaisuuksiin, saadaan putkistosta luotettava ja pitkäikäinen. Tärkeimmät perustiedot, jotka täytyy selvittää, ovat paine, lämpötilan minimi ja maksimi, virtaavan nesteen laatu, mahdollinen alipaine, asennustapa (maahan, veteen, sisälle), kuljetuspituudet, maaperäolosuhteet ja liikennesuunnitelma. Käyttölämpötilat vaikuttavat paljon putkimateriaalin valintaan. Normaalilämpötilassa valinta on useimmiten PE-HD ja korkeissa lämpötiloissa PP. Putkistot joutuvat usein alttiiksi lämmönvaihteluille, joten myös lämpölaajeneminen tulee ottaa huomioon suunnittelussa. Muovien lämpölaajenemiskertoimet ovat huomattavasti suurempia kuin vastaavat metallien lämpölaajenemiskertoimet. Maa- ja vesiasennuksissa lämpölaajeneminen ei tosin yleensä tuota ongelmia. Tämä johtuu maan ja putken välisestä kitkasta sekä putken joustavuudesta. Vesiasennuksissa putki pystyy liikkumaan jonkin verran ja vesi myös tasoittaa lämmönvaihteluja. /7, s. V11-14./

5.2 Asennus

Suurin osa asennuksista on maa-asennuksia (liite 2). Tällöin tulee huolehtia siitä, että paineluokka on riittävä. Paineettomia viemäreitä tehtäessä on tärkeää, että putki on riittävän vahvaa, jotta se kestäisi täyttövaiheen rasitukset, maan paineen ja mahdollisen liikennekuorman. Periaatteena on, ettei alle 3,14 kN/m² putkia asenneta maahan. Asennustyön edistymisen kannalta on tärkeä tuntee, millaiseen maaperään asennusta tehdään. Suunnittelijan on täytynyt selvittää

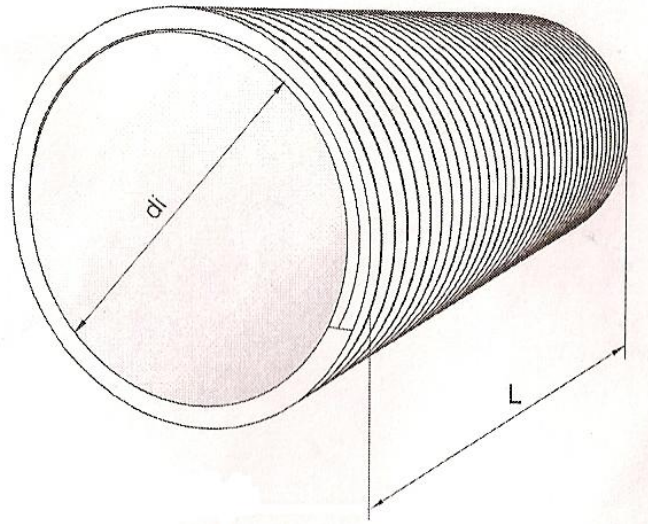
muun muassa pohjaveden korkeus, mahdolliset räjäytystyöt sekä maalajit. On tärkeää, että putki asennetaan routarajan alapuolelle, ettei se joudu alttiiksi äkillisille suunnanmuutoksille. /7, s. V17–20./

Vesistöjen alitukset ovat yleisiä Suomessa. Alitus suoritetaan yleensä PE-HD- tai PE-LD-putkilla. Näiden putkien ominaispaino on alle yhden ja siksi asennuksessa täytyy käyttää painoja. Tavallisimmat painot ovat betonipainot ja lyijylangat. Vesistöjen alituksissa käytetään sekä paine- että viemäriputkia. /7, s. V17–20./

6 RENGASJÄYKKYYS

6.1 Periaate

Rengasjäykkyyden määrittäminen vakionopeusmenetelmällä suoritetaan mittaamalla voima ja muodonmuutos, kun putkea puristetaan vakiovoimalla. Putki täytyy olla tuettu vaakasuorassa, ja sitä puristetaan kahden samansuuntaisen tasolevyn välissä pystysuoraan vakionopeudella, joka riippuu putken nimellishalkaisijasta. Tämän jälkeen piirretään voiman ja painauman välinen riippuvuuskaäyrä. Rengasjäykkyys lasketaan funktiona voimalle, joka vaaditaan muodostamaan $0,03 d_i$ muodonmuutos putken poikkileikkaushalkaisijan suunnassa. Kuvassa 8 on havainnollistettu sisähalkaisijan mitta d_i ja putken pituuden mitta l . /9, s. 6./



Kuva 8 Kuva muoviputkesta, johon on merkitty sisähalkaisija d_i ja sivun pituus $l/13$.

6.2 Koelaitteisto

Rengasjäykkyyden mittausta varten tarvitaan puristuskoelaitteisto (kuva 9), jolla saadaan aikaan vakionopeuksinen puristusliike ja joka voidaan säätää sopivaksi putken nimellishalkaisijan d_n mukaan (taulukko 1). Koelaitteisto sisältää kaksi teräslevyä, joiden kautta puristusvoima välittyy testattavaan muoviputkeen. Levyjen täytyy olla tasaiset, litteät ja puhtaat. Levyt eivät saa muuttaa muotoaan mittauksen aikana siinä määrin, että se vaikuttaisi saatuihin tuloksiin. Levyjen täytyy olla vähintään yhtä pitkiä kuin koekappale. Levyjen pienin sallittu leveys on määritelty olevan koekappaleen kosketuspinnan suurin leveys kuormituksen aikana, johon on lisätty 25 mm. /9, s. 6./



Kuva 9 Rengasjäykkyyden mittauslaitteisto /22./

Taulukko 1 Puristusnopeuden määräytyminen nimellishalkaisijan perusteella /9, s.6./

Putken nimellishalkaisija d_n (mm)	Puristusnopeus (mm/min)
$d_n < 100$	2
$100 < d_n < 200$	5
$200 < d_n < 400$	10
$400 < d_n < 1000$	20
$d_n > 1000$	50

Varsinaisen koelaitteiston lisäksi tarvitaan mittauslaitteistoja, joilla saadaan selville koekappaleen pituus millimetrin tarkkuudella, koekappaleen sisähalkaisija 0,5 %:n tarkkuudella sekä koekappaleen sisähalkaisijan muutos kuormitussuunnassa tarkkuudella 0,1 mm tai 1 % painaumasta sen mukaan, kumpi näistä arvoista on suurempi. /9, s. 6./

6.3 Koekappale

Putki, josta rengasjäykkyyttä määritetään, merkitään kokeen alussa sen kylkeä pitkin kulkevalla, putken alusta loppuun ulottuvalla viivalla. Tämän jälkeen

putkesta otetaan kolme koekappaletta, niin että koekappaleiden päät ovat kohtisuorassa putken akselin suhteen. /9, s. 8./

Kierresaumaputkien koekappaleiden tulee olla sellaisia, että ne sisältävät pienimmän mahdollisen määrän kokonaisia kierteitä. Jos niiden nimellishalkaisija on pienempi tai yhtä suuri kuin 1500 mm, jokaisen koekappaleen pituus on keskimäärin oltava $300 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$. Jos taas nimellishalkaisija on suurempi kuin 1500 mm, täytyy koekappaleen pituuden olla keskimäärin millimetreinä vähintään $0,2$ nimellishalkaisija d_n . /9, s. 8./

6.4 Laskeminen

Rengasjäykkyys, kN/m^2 , lasketaan kaikille kolmelle koekappaleelle. Lopuksi koko putken rengasjäykkyys saadaan laskemalla koekappaleiden rengasjäykkyyksistä keskiarvo. Rengasjäykkyys lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$S = (0,018 + 0,025 \frac{y}{d_i}) \frac{F}{l \cdot y}$$

jossa F on putken 3 %:n muodonmuutosta vastustava voima (N), l on koekappaleen pituus (mm), y on puristusmatka (mm) ja y/d_i on 3 %. /9, s.14./

Kokeen jälkeen tehdään testausraportti. Testausraportissa tulee olla viittaus käytettyyn standardiin SFS-EN 9969. Myös kaikki putkeen liittyvät tiedot täytyy esittää. Näitä tietoja ovat valmistaja, putken tyyppi ja materiaali, mitat, nimellisjäykkyys ja/tai paineluokka, valmistuspäivä, putken ikä, kokeen päivämäärä ja kaikkien koekappaleiden pituudet. Koe suoritetaan huoneenlämmössä ja tämä lämpötila ($23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) merkitään testausraporttiin. Koekappaleiden rengasjäykkyyksille saadut arvot pitää esittää kolmen desimaalin tarkkuudella ja koko putken rengasjäykkyys kahden desimaalin tarkkuudella. Koekappaleiden voima/painauma-käyrä voidaan myös liittää

raporttiin, mutta se ei ole välttämätöntä. Lopussa voidaan mainita erilaisia tekijöitä, jotka ovat voineet vaikuttaa tuloksiin. /9, s. 14./

6.5 Relaksaatiomenetelmä

Relaksaatiomenetelmää käytetään rengasjäykkyyksien määrittämiseen. Koe suoritetaan kuten yllä esitetty vakionopeusmenetelmän rengasjäykkyyden mittausta. Erona on, että koekappaletta puristetaan kahden vaakasuorassa olevan kuormituslevyn välissä tiettyyn muodonmuutosasteeseen ja annetaan putken pysyä tässä puristusasteessa tietyn ajan. Ajan t kuluttua luetaan kuormittavan voiman suuruus. /10, s. 2./

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

- 1 Kulju, Alvar, Muovit ja niiden käyttö. Kumi- ja muoviliitto R.Y. 1970.
- 2 Kurri, Veijo – Malén, Timo – Sandell, Risto – Virtanen, Matti, Muovitekniikan perusteet. Opetushallitus 2002.
- 3 Mäkeläinen, Pentti, Muovirakenteet. Otakustantamo 1979.
- 4 Kulju, Alvar, Muovien teknologia. WSOY 1965.
- 5 Kulju, Alvar, Muovien ominaisuudet ja käyttö. WSOY 1972.
- 6 Material Skolan, Polyeten, 2000, Del 15
- 7 Masar, Ingmar, Kestomuovit: rakennesuunnittelusta ja ominaisuuksista, kohta V. Insinöörijärjestön Koulutuskeskus 1970.
- 8 Material Skolan, Tvärbunden polyeten PE-X, 2001, Del 31
- 9 SFS-EN ISO 9969. Kestomuoviputket. Rengasjäykkyyden määrittäminen. Suomen standardoimisliitto 25.9.1995.
- 10 SFS 3433. Muoviputket. Rengasjäykkyyden määrittäminen relaxaatiomenetelmällä. Suomen standardoimisliitto 23.2.1987.
- 11 Seppälä, Jukka, Polymeeritekniikan perusteet. Otatieto Oy 1997.
- 12 Inkinen, Pentti – Tuohi, Jukka, Momentti 1. Otava 2002.

Painamattomat lähteet

- 13 Weholite Spiron tuoteseloste. Kwh-pipe Oy.
- 14 Polyethylene BL 1607:n tuoteseloste. Borealis Polymers Oy
27.7.2004.
- 15 Suokas, Pekka, työnjohtaja. Keskustelu 8.2.2007. Jita Oy. Virrat.

Sähköiset lähteet

- 16 Kwh-pipe Oy, [www-sivu]. [viitattu 13.2.2007] Saatavissa:
<http://www.kwhpipe.fi/Default.aspx?id=366623>
- 17 Zimmer, [www-sivu]. [viitattu 19.2.2007] Saatavissa:
<http://zimmer.com.au//z/ctl/op/global/action/1/id/7867/template/MP/prcat/MP/prod/y>
- 18 Wikipedia, [www-sivu]. [viitattu 19.2.2007] Saatavissa:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene>
- 19 Teppo Vienamo, [www-sivu]. [viitattu 14.2.2007] Saatavissa:
http://www.uiah.fi/virtu/materiaali/muoviteknologia/menetelmat/06-00_extruu.html
- 20 Russellplastics, [www-sivu]. [viitattu 19.2.2007] Saatavissa:
<http://www.russellplastics.co.uk/page19.html/>
- 21 Draintile, [www-sivu]. [viitattu 19.2.2007] Saatavissa:
www.draintile.com/extrusion.htm

- 22 Mitaten, [www-sivu]. [viitattu 20.3.2007] Saatavissa:
<http://www.testometric.co.uk/industries/pipe.asp>

- 23 Kwh-pipe Oy, [www-sivu]. [viitattu 20.3.2007] Saatavissa:
<http://www.kwhpipe.com/Default.aspx?id=306770>