

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Kemiantekniikka

Tutkintotyö (Julkinen osio)

Mikko Lämsä

**MUOVILATTIANPÄÄLLYSTEEN RAAKA-AINERESEPTIN
KEHITTÄMINEN**

Työn ohjaaja

Lehtori, DI Esa Väliaho

Työn teettäjä

Upofloor Oy, valvojana DI Samuli Löytönen

Tampere 2008

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikka

Lämsä, Mikko

Tutkintotyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Maaliskuu 2008

Hakusanat

Muovilattianpäällysteen raaka-ainereseptin kehittäminen

58 sivua + 18 liitesivua

Lehtori, DI Esa Väliaho

Upofloor Oy, valvojana DI Samuli Löytönen

PVC-vapaa, ympäristöystävällinen lattianpäällyste, termoelastit, eteenin kopolymeerit

TIIVISTELMÄ

Upofloor Oy haluaa tarjota teknisiltä ominaisuuksiltaan ja ulkonäöltään kilpailukykyisen vaihtoehdon perinteisille PVC-lattianpäällysteille. PVC- ja pehmitinvapaa lattianpäällyste on ympäristöominaisuuksiltaan parempi perinteisiin muovisiin lattianpäällystemateriaaleihin verrattuna.

Useammalle nykyisessä LifeLine-laatussa käytössä olevalle raaka-aineelle on vain yksi valmistaja, jolloin riippuvaisuus yhdestä toimittajasta muodostaa jonkinasteisen riskin toiminnalle ja vaikuttaa myös olennaisesti raaka-aineiden hintatasoon.

Työn tarkoituksena oli kartoittaa ja testata LifeLine-laattaan sopivia vaihtoehtoisia raaka-aineita, joista valmistettava lopputuote olisi sekä teknisesti toimiva että kustannuksiltaan edullisempi kuin nykyinen. Tuotteen toimitusvarmuus asiakkaalle kasvaa, kun on olemassa yksi tai useampi vaihtoehtoinen toimiva raaka-aineresepti sekä vaihtoehtoinen raaka-ainetoimittaja. Löydettyäessä halvempia ja tekniset vaatimukset täyttäviä raaka-aineita nykyisten tilalle, saavutetaan säästöjä raaka-ainekustannuksissa.

Työssä suoritettiin seuraavia muovimateriaaleille ja lattianpäällysteille soveltuvia testejä, joilla tutkittiin niiden teknisiä ominaisuuksia: muoviseoksen prosessoitavuus sekoitusvalssilla, sulaindeksi, lämpölaajeneminen ja sen aiheuttama voima, lämmön vaikutus mittastabiilisuuteen (mittamuutos ja reunannousu) sekä jäännöspainuma.

Laboratoriotutkimuksista saatujen tulosten perusteella valittiin kolme uutta raaka-ainepolymeeriä (kaksi raaka-ainereseptiä) tuotantokoeajoihin. Toisen koeajoreseptin mukainen muovimassa ja siitä valmistettu lattianpäällystetuote todettiin tuotannollisesti ja teknisiltä ominaisuuksiltaan toimivaksi lukuunottamatta pieniä prosessoitavuusongelmia. Tätä raaka-ainereseptiä on tarkoitus jatkotestata ja –kehittää sekä pyrkiä löytämään sille optimaaliset prosessiparametrit. Jatkokehityksen tuottaessa toivottuja tuloksia, on mahdollista, että reseptiä tullaan käyttämään vaihtoehtona nykyisen rinnalla LifeLine-laatussa.

Työ sisältää osioita, jotka ovat luottamuksellisia.

TAMPERE POLYTECHNIC

Chemical Engineering

Lämsä, Mikko

Development of resilient floorings raw material recipe

Engineering Thesis

58 pages + 18 appendices

Thesis Supervisor

Lector Esa Väliäho (MSc)

Commissioning Company Upofloor Oy. Supervisor: Samuli Löytönen (MSc)

March 2008

Keywords

PVC-free, environmentally friendly resilient flooring, thermoplastic elastomers, ethylene copolymers

ABSTRACT

Upofloor Oy wants to offer a competitive alternative to traditional PVC-flooring. PVC- and plasticizer free flooring is more environmentally friendly than traditional flooring materials.

There is only one manufacturer in the world for several raw materials used in the LifeLine-tile. It causes a risk to supply reliability and also affects essentially on raw material price level.

The objective of this engineering thesis is to research suitable alternative raw materials and recipes for the LifeLine-tile which should be technically valid and cheaper than current ones. When the objective is achieved increases supply reliability and production costs decreases.

This study included following technical tests for plastic materials: processability of plastic mixture, melt flow index, thermal expansion and its force, dimensional stability and curling after exposure to heat and residual indentation after static loading.

Three new raw material polymers (two recipes) were selected for production tests on ground of a laboratory tests. The other test recipe turned out functioning mainly well and there is intention to perform more tests and further develop it in the future. If the development is successful it may be possible to use the new recipe as an alternative for current one in the LifeLine-tile.

This investigation includes sections which are confidential.

ALKUSANAT

Tämä tutkintotyö on tehty Upofloor Oy:lle ja insinööritutkinnon opinnäytteeksi Tampereen ammattikorkeakoululle prosessitekniikan osastolla, kemiantekniikan koulutusohjelmassa. Testit ja mittaukset suoritettiin aikavälillä 7.9.2007 – 29.2.2008 Upofloor Oy:n tuotekehitysosaston laboratoriossa Nokiolla ja tuotannon koeajot Ikaalisten tehtaalla. Kirjoitustyön sain päätökseen maaliskuun aikana. Kiitokset Upofloor Oy:lle erittäin mielenkiintoisesta ja haastavasta tutkintotyön aiheesta, joka tuki myös hyvin opintojani.

Tutkintotyön ohjaajana Tampereen ammattikorkeakoulusta toimi DI Esa Väliaho ja valvojana Upofloor Oy:stä DI Samuli Löytönen.

Haluan kiittää DI Samuli Löytöstä hänen antamastaan avusta työni toteutuksessa sekä asiantuntevista neuvoista ja tiedoista. Lisäksi esitän kiitokseni Upofloor Oy:n tuotekehitysosaston henkilökunnalle saamastani opastuksesta.

Kiitän DI Esa Välihoa saamastani ohjauksesta työni aikana.

Lämmin kiitos aviopuolisolleni Marille tuesta ja kannustuksesta työni aikana.

Tampereella, maaliskuussa 2007

Mikko Lämsä

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

| | |
|--|----|
| SISÄLLYSLUETTELO | 5 |
| 1 JOHDANTO | 9 |
| 2 UPOFLOOR OY | 10 |
| 3 MUOVISET LATTIANPÄÄLLYSTEET JA NIIDEN VALMISTUS | 11 |
| 3.1 Lattianpäällysteiltä vaaditut ominaisuudet | 13 |
| 3.2 Kalanterointimenetelmä | 14 |
| 3.3 Sivelymenetelmä | 16 |
| 3.4 Thermofix–menetelmä | 17 |
| 4 UPOFLOOR OY:N IKAALISTEN TEHTAAN LIFELINE -TUOTANTOLINJA | 17 |
| 4.1 LifeLine - ympäristöystävällinen julkisten tilojen matto ja laatta | 18 |
| 5 TERMOPLASTISET POLYMEERIT | 20 |
| 5.1 Polymeerien rakenne | 20 |
| 5.3 Polyeteenit | 22 |
| 5.4 Polyeteenin kopolymeerit | 24 |
| 5.4.1 Eteenin ja vinyliasetaatin kopolymeeri (EVA) | 24 |
| 5.4.2 Eteenin ja akryylihapon kopolymeeri (EAA) | 25 |
| 5.4.3 Eteenin ja eteeniakrylaatin kopolymeeri (EEA) | 25 |
| 5.4.4 Eteenin ja metyyliakrylaatin kopolymeeri (EMA) | 26 |
| 5.4.5 Ionomeerit | 26 |
| 5.5 Polypropeenit | 27 |
| 5.6 Termoleastit | 28 |
| 5.6.1 Termoelastien käyttö ja yleiset ominaisuudet | 29 |
| 5.6.2 Termoelastin ja perinteisen kumin vertailua | 30 |
| 5.6.3 Termoplastiset styreenielastomeerit (TPE-S) | 31 |
| 5.6.4 Termoplastiset polyesterielastomeerit (TPE-E) | 32 |
| 5.6.5 Termoplastiset polyamidielastomeerit (TPE-A) | 33 |
| 5.6.6 Termoplastiset polyuretaanielastomeerit (TPU) | 33 |
| 5.6.7 Polyolefiinien seokset (TPO) | 34 |
| 5.6.8 Kumin ja muovin yhdistelmät (O-TPV) | 34 |
| 6 LABORATORIO- JA TUOTANTONÄYTTEIDEN TESTAUS | 35 |
| 6.1 Testipolymeerit | 35 |
| 6.2 Laboratorionäytteiden valmistus | 36 |
| 6.3 Tuotantonäytteiden valmistus | 36 |

| | |
|--|----|
| 6.4 Näytteille suoritettut testit _____ | 36 |
| 6.4.1 Muoviseoksen prosessoitavuus sekoitusvalssilla _____ | 37 |
| 6.4.2 Sulaindeksi _____ | 38 |
| 6.4.3 Lämpölaajenemisominaisuudet _____ | 39 |
| 6.4.4 Lämmön vaikutus mittastabiilisuuteen _____ | 41 |
| 6.4.5 Jäännöspainuma _____ | 42 |
| | |
| 7 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO _____ | 43 |
| 7.1 Laboratorionäytteiden testitulokset _____ | 43 |
| 7.2 Tuotantonäytteiden testitulokset _____ | 43 |
| 7.3 Jatkotestin tulokset _____ | 43 |
| | |
| 8 YHTEENVETO _____ | 43 |
| | |
| LÄHDELUETTELO _____ | 46 |

KÄYTETYT TERMIT

Polymeeri

Aine, jonka makromolekyyli on muodostunut monomeerien liittyessä yhteen kemiallisten reaktioiden kautta ketjumaisiksi tai verkkomaisiksi rakenteiksi.

Monomeeri

Aine, jonka pienehkö molekyyli kykenee reagoimaan samanlaisten tai toisten samalla tavoin reagoivien molekyylien kanssa.

Kopolymeeri

Polymeeri, jonka molekyylin rakenneyksiköinä on kahden- tai useammanlaisia monomeerejä.

Termoplasti

Kestomuovi, jota voidaan ilman kemiallista hajoamista muovata ja sulattaa useita kertoja.

Termoelasti

Polymeerimateriaali, jonka kimmoisuus perustuu aineensisäisiin fysikaalisiin voimiin, jotka voidaan purkaa lämmittämällä tai sulattamalla.

Ionomeeri

Termoplastinen kopolymeeri, joka sisältää sähköisesti neutraaleja sekä ionisoituneita toistuvia yksiköitä.

Polyolefiini

Polymeeri, joka on muodostunut alkeenimonomeereistä. Yleisnimitys polyeteeneille ja polypropeneille.

Kompaundi

Yhdestä tai useammasta polymeeristä ja kaikista lopputuotteen kannalta tarpeellisista lisäaineista valmistettu homogeeninen seos, joka on tarkoitettu suoraan valmistukseen.

Lasittumislämpötila, T_g

Lämpötila, jonka alapuolella amorfinen polymeerimateriaali on lasitilassa (kova ja jäykkä) ja jonka yläpuolella se on joustava ja pehmeä.

Amorfinen aine

Aine, jonka atomit tai molekyylit eivät ole järjestäytyneet kiteiksi.

Jännityssäröily

Ilmiö, jossa vedon tai taivutuksen alaiseen kappaleeseen muodostuu murtumiseen johtavia säröjä.

Myötöraja

Kun venymä kasvaa riittävän suureksi, jännitys saavuttaa myötörajan, jolloin venymä kasvaa tarvittavan voiman lisääntymättä.

Kiteisyysaste

Kuvaa materiaalin kiteisen osuuden suhteellista tilavuus- tai massaosuutta polymeerimateriaalissa

POLYMEERIEEN LYHENTEET

| | |
|--------------|---|
| TPE | Termoelasti |
| TPE-S | Termoplastinen styreenielastomeeri |
| TPE-E | Termoplastinen polyesterielastomeeri |
| TPE-A | Termoplastinen polyamidielastomeeri |
| TPE-U | Termoplastinen polyuretaanielastomeeri |
| TPO | Polyolefiinien seos |
| O-TPV | Kumin ja muovin yhdistelmä |
| EVA | Eteenin ja vinyyliaasetatin kopolymeeri |
| EEA | Eteenin ja eteeniakrylaatin kopolymeeri |
| EAA | Eteenin ja akryylihapon kopolymeeri |
| EMA | Eteenin ja metyyliakrylaatin kopolymeeri |
| EBA | Eteenin ja n-butyliakrylaatin kopolymeeri |

1 JOHDANTO

Upofloor Oy on kehittänyt PVC-vapaata lattianpäällystetuoteperhettään jo usean vuoden ajan. Tällä hetkellä markkinoilla on kolme PVC-vapaata tuotetta: LifeLine -laatta, LifeLine LT -painokuosilaatta ja LifeLine CS -julkisten tilojen matto.

Upofloor Oy haluaa tarjota teknisiltä ominaisuuksiltaan ja ulkonäöltään kilpailukykyisen vaihtoehdon perinteisille PVC-lattianpäällysteille. PVC- ja pehmitinvapaa lattianpäällyste on ympäristöominaisuuksiltaan parempi perinteisiin lattianpäällystämateriaaleihin verrattuna. LifeLine -lattia- ja pehmitinvapaa päällyste ei sisällä ympäristöä kuormittavia aineita, joten se voidaan hävittää esimerkiksi polttamalla ja hyödyntää energijätteenä. Se ei myöskään sisällä mitään terveydelle haitallisia haihtuvia aineita, joten valmistusvaiheen työturvallisuus raaka-aineiden osalta taattu.

Kehitystyön tuloksena kullekin LifeLine -tuotteelle on syntynyt oma raaka-ainereseptinsä. On myös kyetty luomaan tuotteille sekä raaka-aineille vaatimusprofiilit eli tiedetään asiakaskunnan tarpeet sekä mitkä tekniset ominaisuudet ovat tärkeimpiä. Myös tuotteen prosessitietämys ja valmistustekniikka ovat huomattavasti parantuneet kehitystyön alkutilanteesta.

Useammalle käytössä olevalle LifeLine-laatan raaka-aineelle on vain yksi valmistaja, jolloin riippuvaisuus yhdestä toimittajasta muodostaa jonkinasteisen riskin toiminnalle ja vaikuttaa myös olennaisesti raaka-aineiden hintatasoon. Useat näistä raaka-aineista ovat erikoismuoveja, joiden hintataso on jo senkin takia varsin korkea. Tässä tutkintotyössä tutkitaan vaihtoehtoisia raaka-aineita, jotka soveltuisivat LifeLine-laatan tuotannolliseen valmistukseen.

Työn tarkoituksena on kartoittaa ja testata LifeLine -laattaan sopivia vaihtoehtoisia raaka-aineita, joista valmistettava lopputuote olisi sekä teknisesti toimiva että kustannuksiltaan edullisempi kuin nykyinen. Yksi tavoitteista on löytää toimiva raaka-aineresepti mahdollisimman pienellä ionomeerimäärällä, koska ionomeeri on kallista ja sen tuotanto on maailmanlaajuisesti suhteellisen vähäistä. Tuotteen toimitusvarmuus asiakkaalle kasvaa, kun on olemassa yksi tai useampi vaihtoehtoinen toimiva raaka-aineresepti sekä vaihtoehtoinen raaka-ainetoimittaja. Löydettyäessä

halvempia ja tekniset vaatimukset täyttäviä raaka-aineita nykyisten tilalle, saavutetaan säästöjä raaka-ainekustannuksissa.

Työ suoritettiin Upofloor Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosaston laboratorioissa olevilla laitteilla ja testausmenetelmillä, joita on käytetty myös tähänastiseen LifeLine-tuotteiden tuotekehitykseen ja -testaukseen. Lisäksi suoritettiin tuotantokoeajoja Ikaalisissa LifeLine-tuotantolinjalla. Koeresepteillä valmistetuille näytteille tehtiin pääosin standardoituja testejä tärkeimpien teknisten ominaisuuksien tutkimiseksi. Seuraavia muovimateriaaleille ja lattianpäällysteille soveltuvia testejä suoritettiin: muoviseoksen prosessoitavuus sekoitusvalssilla, sulaindeksi, lämpölaajeneminen ja sen aiheuttama voima, lämmön vaikutus mittastabiilisuuteen sekä jäännöspainuma. Mittaustulosten pohjalta arvioitiin testattujen polymeerien soveltuvuutta LifeLine-laatan raaka-aineiksi.

2 UPOFLOOR OY /18/

Upofloor Oy kuuluu Karelia-Upofloor Oy -konserniin, joka on yksi Euroopan johtavia lattianpäällystevalmistajia. Konsernin liikevaihto vuonna 2006 oli 122,7 miljoonaa euroa, josta muovilattianpäällysteiden osuus oli 23 %. Henkilöstömäärä oli keskimäärin 698. Konsernilla on seitsemän tuotantolaitosta eri puolilla Suomea ja myyntikonttori Virossa sekä parkettitehtaat Venäjällä ja Romaniassa. Päämarkkina-alueina ovat kotimaan lisäksi Länsi-Eurooppa, Pohjois-Amerikka ja Venäjä. Muovilattianpäällysteiden valmistajana Upofloor Oy on merkittävä pohjoismainen, sekä ainoa suomalainen valmistaja.

Upofloor Oy on suomalainen lattianpäällysteisiin erikoistunut yritys, jonka toiminta-ajatuksena on tuottaa korkealaatuisia lattianpäällysteitä asiakaslähtöisesti. Päällystevalikoima tarjoaa vaihtoehtoja lähes kaikkiin tiloihin niin kodeissa kuin julkisissa tiloissa.

Upofloor Oy toimii ISO 9001-pohjaisen laatu järjestelmän sekä ISO 14001 -pohjaisen ympäristöjärjestelmän mukaisesti. Upofloor Oy:llä on yli 50 vuoden ko-

kemus lattianpäällystealalta. Julkisten tilojen kalanterimatot sekä asuintilojen muovimatot valmistetaan Nokialla ja julkisten tilojen kvartsivinyylilaatat sekä PVC- ja pehmitinvapaat LifeLine -päällysteet Ikaalisissa. Upofloor Oy:n tuotemerkillä myytävät parketit valmistetaan Heinolassa ja Nastolassa.

Yrityksen lähtökohtana on yhä kestävämpien, helppohoitoisempien ja ympäristöystävällisempien lattianpäällysteiden tutkimus- ja kehitystyö.

3 MUOVISET LATTIANPÄÄLLYSTEET JA NIIDEN VALMISTUS

Muovista valmistettuja puolikovia lattianpäällysteitä kuvaillaan kiinteäpintaisiksi, tuntumaltaan joustaviksi ja muotoonsa palautuviksi. Muovilattianpäällystemateriaaleista valmistetaan erikokoisia ja -muotoisia lopputuotteita kuten laattoja ja mattoja. Valmistusmateriaaleina käytetään PVC:a, polyolefiineja sekä linoleumia, jonka perusaineena on pellavaöljyn ja hartsin seos. Väri- ja kuosivalikoimaltaan moninaisten muovisten lattianpäällysteiden etuja ovat kestävyys, askelmukavuus, esteettisyys, kosteuden kesto, helppo asennettavuus, hyvä siivottavuus ja desinfioitavuus sekä alhainen hinta, joiden ansiosta niitä käytetään laajasti julki- ja asuintiloissa lattianpäällysteinä. Muovisille puolikoville lattianpäällysteille on määritelty standardit koskien niiltä vaadittavia teknisiä ominaisuuksia, joita ovat esimerkiksi kestävyys ympäristön kuluttavia tekijöitä vastaan sekä mittatarkkuus. Muoviraaka-aineiden käyttö lattianpäällystetuotannossa antaa hyvät lähtökohdat ympäristöasioiden huomioimiseen, koska ne ovat kierrätettäviä, niistä aiheutuvat päästöt ovat pieniä sekä niiden elinkaari on pitkä. /15/

Matoissa ja laatoissa käytetty muovi on yleisimmin polyvinyylidikloridia, johon on lisätty muun muassa pehmittimiä, väriaineita sekä täyteaineita. Täyteaineen määrä vaihtelee 10 – 80 % välillä päällystetyypin mukaan. Pintakerroksena matossa voi olla läpinäkyvä täyteaineeton kerros ja tämän päällä vielä ohut pintakäsittelykerros. Muovimatot valmistetaan pääasiassa kalanteroimalla tai sivelymenetelmällä.

Muoviset lattianpäällysteet voidaan rakenteensa perusteella jakaa seuraaviin ryhmiin:

- **Yksiaineiset eli homogeeniset** lattianpäällysteet (kuva 1) ovat kokonaan samasta massasta rakentuneita, mutta niissä saattaa olla useita kerroksia. Paksuudet ovat 1,5 – 2,5 mm. Pääasiallisena käyttökohteena ovat julkiset tilat, joissa kulutus on suuri.



Kuva 1 Homogeenisen PVC-lattianpäällysteen poikkileikkaus

- **Monikerroksiset** lattianpäällysteet (kuva 2) koostuvat pintakulutuskerroksesta, jonka paksuus on 0,2 – 1,0 mm sekä sen alla olevasta runsaammin täyteainetta sisältävästä kerroksesta. Päällysteet sopivat asuin- ja julkitilakäyttöön sekä kosteisiin tiloihin.



Kuva 2 Monikerroksisen, PVC-vapaan, lattianpäällysteen poikkileikkaus

- **Eriaineiset eli heterogeeniset** lattianpäällysteet (kuva 3) koostuvat muovisesta pintakulutuskerroksesta, jonka alla on joko solumuovista tai jostakin muusta aineesta valmistettu useimmiten joustava kerros. Tähän ryhmään kuuluvat esimerkiksi pehmeälustaiset sivelymenetelmällä valmistetut matot kuten joustovinyyli- eli kohokuviomatot. Joustovinyylimatoissa on mineraali- tai lasikuituhuopa-alustalla PVC-solumuovikerros, jonka päällä on prosessissa kohokuvioitu pintakerros. Päällimmäisenä on läpinäkyvä PVC-pintakulutuskerros.

Pehmeillä alustoilla parannetaan välipohjien askelääneneristystä, jolle on useissa tapauksissa asetettu määrätty vaatimukset.



Kuva 3 Heterogeenisen joustovinyylimaton poikkileikkaus

- **Muovilaatat** valmistetaan yleensä kalanteroimalla tai puristamalla muovimassasta, joka sisältää runsaammin kuin matot täyteainetta (50 – 80 paino-%). Tällaiset laatat ovat tyypillisesti homogeenisia. Laatat sopivat lattianpäällysteiksi julkisiin tiloihin ja teollisuuslattioiksi kuivaan teollisuuteen. Erikokoisia laattoja voidaan leikata myös mattomaisista tuotteista. /5/

3.1 Lattianpäällysteiltä vaaditut ominaisuudet /6; 12/

Julkisten tilojen lattianpäällysteeltä vaaditaan seuraavia ominaisuuksia:

- **kulumisen, iskujen ja naarmuuntumisen kesto:** erilaisten painausten, naarmujen ja pintavaurioiden muodostumattomuus sekä mahdollisen pintakulutuskerroksen irtoamattomuus, joita aiheuttavat muun muassa käveleminen, huonekalujalkojen kuormitus, erilaiset rullapyörät ja siivousvälineet
- **kemikaalien ja kosteuden kesto:** kestävä kemikaaleja ja vettä, jotka ovat peräisin muun muassa ruoasta, juomasta ja puhdistusaineista. Ei reagoi kumin kanssa
- **UV-säteilyn kesto:** ei haurastu, tummene tai haalistu auringon valossa
- **palontorjuntaominaisuudet:** ei ylläpidä paloa
- **asennettavuus:** riittävän kevyt käsitellä, sopivan taipuisa, riittävä repimislujuus, kestävä taivutusta, hyvä liimattavuus ja liimauksessa pysyminen

nen, mittapysyvyys (lattianpäällysteen lämpölaajenema niin pieni, ettei se aiheuta kupruilua)

- **helppohoitoisuus:** hylkii likaa, helppo ja edullinen siivota, ei vaadi vahausta
- **askelmukavuus:** sopiva kimmoisuus, askelääniä vaimentava, pitävä pinta
- **ulkonäkö:** ajaton ja rauhallinen kuosi sekä väritys.
- **kierrätettävyys:** voidaan käyttää tuotannossa uusiomateriaalina tai hyödyntää energiajätteenä
- **terveydelle sekä ympäristölle vaaraton:** ei sisällä terveydelle tai ympäristölle haitallisia aineita.

Lisäksi erikoiskäyttö voi asettaa vaatimuksia esimerkiksi sähkönjohtokykyyn tai valon heijastumisominaisuuksiin. Lattianpäällysteiden ominaisuuksien luokittelu edellyttää arviointi- ja koestusmenetelmiä, jotka ovat toistettavia ja luotettavia.

3.2 Kalanterointimenetelmä /1; 6; 7/

Kalanteroimalla voidaan valmistaa kalvoja ja levyjä syöttämällä massa vastakkaisiin suuntiin pyörivien telojen väliin. Valmistusmenetelmää käytetään etenkin muovien ja kumien valmistuksessa.

Ennen kalanterointia lähtöaineet sekoitetaan korkeassa lämpötilassa homogeeniseksi massaksi, joka kalanteroidaan joko suoraan lopputuotteen paksuiseksi matoksi tai ohuemmaksi maton levyiseksi kalvoksi, jotka lämmön avulla liitetään yhteen. Kuviot saadaan aikaan sekoittamalla kalantereissa erivärisiä massoja. Pinta voidaan lisäksi martioda eli pintakuvioda.

Periaatteessa voidaan kalanteroida kaikkia termoplastisia polymeerejä, joilla on riittävän laaja plastinen lämpötila-alue ja tarpeeksi suuri viskositeetti. Kalanteroiduista muovilaaduista polyvinyylidikloridin (PVC) osuus on suurin 80 % osuudel-

la. Toisena on akrylinitriilibutadieenistyreeni (ABS) 15 % osuudella. Muita kalanteroitavia muoveja ovat muun muassa PE-HD, PP ja styreenimuovit.

Telajärjestyksen mukaan voidaan nimetä I-, L-, F- ja Z-kalanterit, jonka valinta riippuu käyttökohteesta. Kukin kalanterin tela pyörii oman moottorinsa voimalla. Telojen on oltava erittäin jäykkiä, niiden on pyörittävä tasaisesti ja kestettävä suuri momentti. Telapinnan on oltava virheetön. Työstön aikana esiintyvät varsin suuret voimat aiheuttavat helposti kalvon dimensioihin vaihtelua. Voimien aiheuttamat paksuusvaihtelut voidaan eliminoida telojen asentoa säätämällä sekä esijännityksellä. Prosessin aikana lämpötilan tulee olla hyvin hallinnassa, niinpä telat voivat olla lämmitettäviä. Kalanteroidulle radalle voidaan tehdä jälkikäsitteilynä venytystä, painatusta, kalvojen päällekkäin liittämistä, pinnoittamista, lakkaamista sekä lämpökäsittelyä jännitysten poistamiseksi.

Kalanteroidun tuotteen laatu vaihtelee hyvin herkästi prosessin olosuhteiden ja parametrien muuttuessa, joten prosessin säätäminen on hallittava tarkasti. Prosessin lukuisien toimintojen on tapahduttava synkronoidusti.

Upofloor Oy:n kalanteritehdas aloitti toimintansa 1960-luvulla ja siellä työskentelee nykyisin 55 henkilöä. Vuotuinen valmistusmäärä on noin miljoona neliometriä kalanterotua lattianpäällystettä ja keskimääräinen tuotantolinjan ajonopeus noin 4 m/s.

Upofloor Oy:n kalanterointimenetelmällä valmistettujen lattianpäällysteiden tuotantoprosessi on vaiheittain järjestyksessä seuraavanlainen (numeroitu kuvaan 4):

vain tilaajan kappaleessa

3.3 Sivelymenetelmä /6; 7/

Sivelymenetelmä on eräs menetelmä radan pinnoittamiseksi muovilla. Joustava ratamainen materiaali, joka voi olla esimerkiksi tekstiilikudos, lasikuitu-, paperi-, metalli- tai muovikalvo pinnoitetaan termoplastisella muovikerroksella.

Sivelymenetelmässä rata kulkee kiinteän terän ali, joka levittää pintaan pinnoitekerroksen. Ratajärjestely riippuu muovimassan viskositeetista ja halutusta pinnoituksen paksuudesta. Usein on tarpeen useampikertainen pinnoituskäsittely.

Yleisin pinnoitusmassa on PVC-pulveri pastamaisena seoksena lisäaineiden ja juoksevan pehmittimen kanssa. Emulsio- ja suspensio-PVC ovat pinnoitusmassana käytetyt PVC-tyypit, joista ensin mainittu on eniten käytetty hyvien plastisointiominaisuuksiensa vuoksi. Pehmittimien lisäksi käytetään stabilointiaineita, väriaineita ja täyteaineita. PVC-pulveri ja pehmittinaine muodostavat dispersion, joka lämpökäsittelyssä gelatinoidaan kiinteäksi kerrokseksi. Jäähdytyksen jälkeen se on muotonsa pitävä, mekaanisesti luja ja elastinen. Sivelykerroksia voi olla useita. Pintakuviointi voidaan tehdä painotekniikalla, jolloin päällimmäisenä kulutuskerroksena on läpinäkyvä PVC-kerros. Pinta on useimmiten martioitu. Jälkeenpäin tapahtuvien muodonmuutosten välttämiseksi sisältyy valmistukseen usein vielä loppuvaiheessa lämpökäsittely.

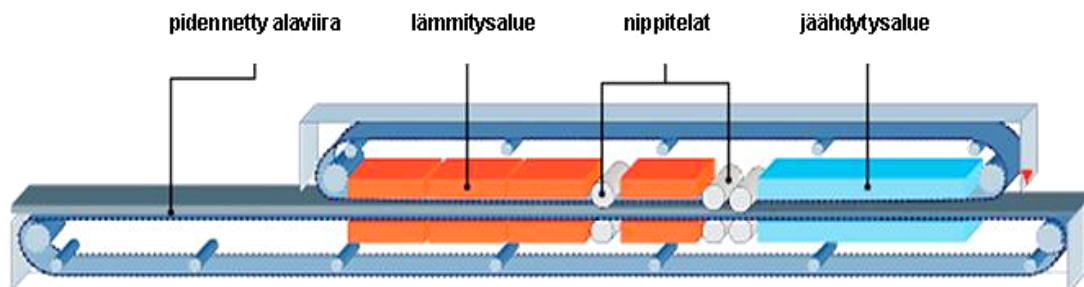
Upofloor Oy:n sivelymattolinja valmistui nykyiseen muotoonsa vuonna 1984 ja sen parissa työskentelee nykyään 22 henkilöä. Tuotantolinjan keskimääräinen ajonopeus on 11,4 m/min ja valmista tuotetta syntyy noin 650 000 neliometriä vuodessa.

Upofloor Oy:n sivelymenetelmällä valmistettujen lattianpäällysteiden tuotantoprosessi on vaiheittain järjestyksessä seuraavanlainen (numeroitu kuvaan 5):

vain tilaajan kappaleessa

3.4 Thermofix–menetelmä /14; 17/

Thermofix –menetelmässä muovimateriaalia sulatyöstetään kahden viiran välissä lämmön ja paineen avulla ilman, että materiaaliin kohdistetaan hiertoa. Materiaali sulaa yhtenäiseksi, sileäpintaiseksi ja halutunpaksuiseksi levyksi. Menetelmää soveltuu myös muovilevyjen ja –kalvojen laminointiin. Thermofix-laitteistossa (kuvas 6) on kaksi päällekkäin asetettua termостоitua teflon-päällysteistä vaakatasossa liikkuvaa viiraa. Kuvassa 4 laitteisto näkyy osana Upofloor Oy:n LifeLine -tuotantolinjaa. Raaka-aineiden ja esikäsittelymateriaalin syöttö tapahtuu alemman ja pidemmän viiran pinnalle. Kompaundoidun muoviraaka-aineen syöttö tapahtuu pieninä muruina erityisen ripottelulaitteen avulla. Kahdella ripottelulaitteella voidaan lattianpäällysteeseen valmistaa heterogeenisiä kerrosrakenteita. Radanleveys voidaan säätää halutuksi ja syntynyt hylkymateriaali voidaan kierrättää tuotantoon uusiomateriaalina. Viirat ovat kontaktissa levymäisten kuumentavien ja viilentävien elementtien kanssa, joiden väliin on asennettu yksi tai useampi termостоitu telapari. Telojen nippiväliä voidaan säätää materiaalikerroksen paksuuden mukaan.



Kuva 6 Thermofix-laitteiston toimintaperiaate /14/

4 UPOFLOOR OY:N IKAALISTEN TEHTAAN LIFELINE - TUOTANTOLINJA

Upofloor Oy:n Ikaalisten lattianpäällystetehdas aloitti toimintansa vuonna 1973 ja nykyään siellä työskentelee 22 henkilöä. Tehtaassa valmistetaan Hovi -laattaa, jonka perusraaka-aine on PVC sekä LifeLine -mattoa ja -laattaa, jotka on valmistettu PVC-vapaista raaka-aineista. LifeLine -tuotantolinja valmistui vuonna 2002, sen keskimääräinen ajonopeus on 3 m/min ja valmista tuotetta syntyy noin 400 000 ne-

liömetriä vuodessa. Maton ja laatan rakenne ja siten myös valmistusprosessi eroavat jossain määrin toisistaan, mutta perusvaiheet ovat samankaltaisia. Molempien tuotteiden ensimmäinen vaihe on raaka-aineiden sekoitus ja murskaus, jonka tuotteena saatu murumainen muoviseos (puolivalmiste) toimii valmistusprosessin toisen vaiheen lähtöaineena.

LifeLinen sekoitus- ja murskausprosessi on vaiheittain järjestyksessä seuraavanlainen (numeroitu kuvaan 7):

vain tilaajan kappaleessa

LifeLinen toinen vaihe, jossa murumainen muoviraaka-aine työstetään lopulliseen lattianpäällystemuotoonsa, on vaiheittain järjestyksessä seuraavanlainen (numeroitu kuvaan 8):

vain tilaajan kappaleessa

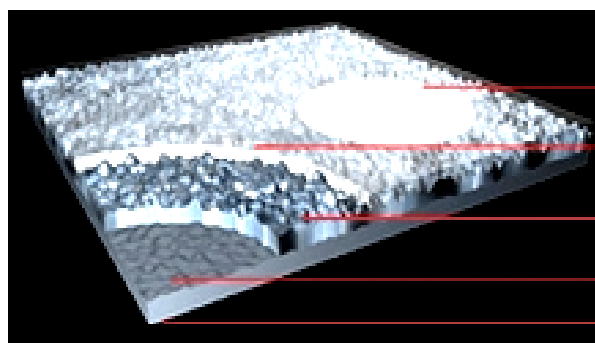
Kuvassa 8 on esitetty LifeLine CS-maton valmistusprosessi. LifeLine-laatan valmistuksessa prosessivaiheet ovat muutoin samat, mutta viimeisen vaiheen tilalla on katkaisu aihioiksi, jonka jälkeen niiden pohjapuolet pintakäsitellään UV-kovetteisella primerillä liimattavuuden parantamiseksi. Sen jälkeen aihioista stansataan määrätyn kokoisia laattoja, jotka tarkastetaan visuaalisesti ja pakataan.

4.1 LifeLine - ympäristöystävällinen julkisten tilojen matto ja laatta

Muovien lisääntyneen käytön myötä ihmiset ovat alkaneet kiinnittää enemmän huomiota siihen, miten muovit ja muoviteollisuus vaikuttavat ympäristöön. PVC:n lisäaineena käytetyt pehmittimet, ftalaatit ovat aika ajoin olleet kritiikin kohteena niiden mahdollisen myrkyllisyytensä vuoksi. Mahdolliset myrkyllisyystasot ovat kuitenkin alhaisia ja monien tutkimusten mukaan siksi myös harmittomia, mutta

aihe on silti kiistanalainen. Moni kuluttaja ja muovialan ammattilainen on alkanut etsiä PVC-vapaata vaihtoehtoa käyttökohteeseensa. Muoviteollisuudessa ekologisuudella saavutetaan myös taloudellista hyötyä, koska tuotantoprosessissa syntynyt muovijäte voidaan hyödyntää uusiomateriaalina. /8/

Upofloor Oy:n kehittämän ympäristöystävällisen lattianpäällysteen lähtökohtana oli halu tarjota teknisiltä ominaisuuksiltaan ja ulkonäöltään kilpailukykyinen vaihtoehto perinteisille PVC-lattianpäällysteille. LifeLine-tuoteperhe syntyi kymmenen vuoden tuotekehityksen tuloksena. PVC-vapaan lattianpäällysteen kehitystyön varrella tuotteen nimi, rakenne, raaka-aineresepti ja valmistustekniikka ovat muuttuneet useaan otteeseen. Tällä hetkellä markkinoilla on kolme PVC-vapaata tuotetta: LifeLine-laatta, LifeLine LT -painokuosilaatta ja LifeLine CS – julkisten tilojen matto (tuoterakenne kuvassa 9). LifeLine on Upofloor Oy:n kehittämästä uudenlaisesta materiaalista, Enomerista™, valmistettu lattianpäällyste. Enomer koostuu luonnonmineraalista (kalsiumkarbonaatti) ja termoplastisista polymeereistä. Kalsiumkarbonaatti toimii muoviseoksessa täyteaineena, jolla yleisesti tarkoitetaan kiinteää, hienojakoista raaka-ainetta, jonka tarkoituksena on joko parantaa muovin ominaisuuksia tai alentaa sen valmistuskustannuksia. Kulutuskerros on ionomeeri-impregnoitu. Impregnoinnilla tarkoitetaan ionomeerisulan imeytymistä maton kuosikerroksessa oleviin huokosrakenteisiin. LifeLine kestää kovaa kulutusta, se on helppohoitoinen ja ympäristöystävällinen. LifeLinen käyttökohteita ovat julkiset tilat. Se ei sisällä PVC:a, pehmittimiä, halogeneja eikä raskas-metalleja. LifeLine-päällysteet voidaan käytöstä poistettaessa hävittää polttamalla ja käyttää energiajätteenä. LifeLinestä ei haihdu sisäilmaan mitään terveydelle haitallisia aineita. Tuotannossa materiaali on kierrätettävissä. /13/



- Loiva pintastruktuuri - pölävä jalan alla, helppohoitoinen
- ionomeeri-impregnoitu kulutuskerros imeytetty kuosikerroksen sisään
- kuosikerros kolmivärisistä Enomer-granulaateista
- pohjakerros Enomer-kierätysmateriaalista
- karhennettu pohja - hyvä kiinnitettävyys

Kuva 9 LifeLine CS –maton tuoterakenne /13/

5 TERMOPLASTISET POLYMEERIT

Pääsääntöisesti termoplastiset polymeerit saadaan lämmittämällä plastiseen olomuotoon viskoosiksi nesteeksi, mikä johtuu niiden lineaarisesta tai haarauneesta molekyyli-rakenteesta. Tämä mahdollistaa nopeiden syklisten tai jatkuvatoimisten työstömenetelmien käytön. Näitä polymeerejä kutsutaan usein myös kesto-muoveiksi, koska niitä voidaan työstää uudelleen lämmittämällä.

Polyolefiinit

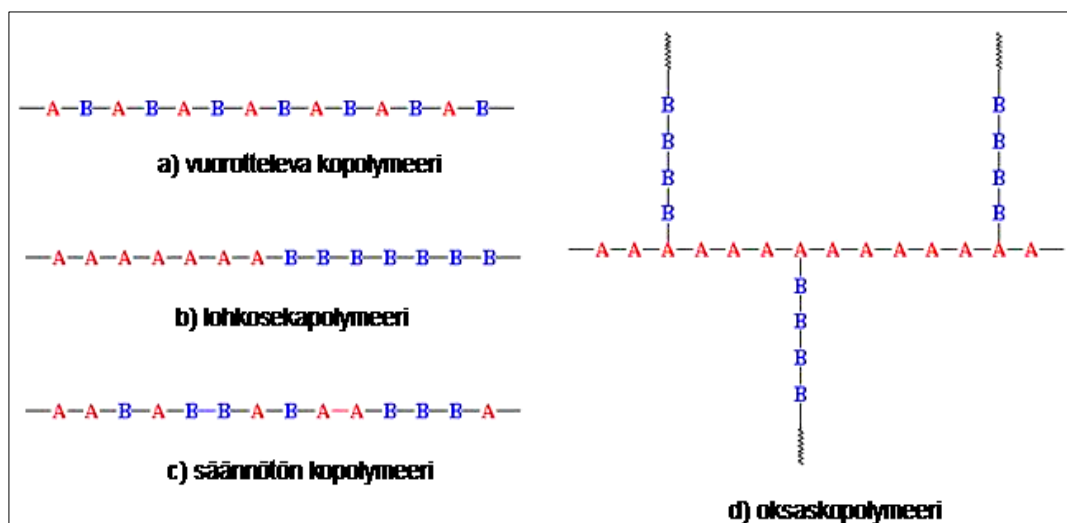
Olefiinilla tarkoitetaan lineaarista tai haaroittunutta hiilivetyä, jossa on ainakin yksi kaksoissidos. Polyolefiinit muodostavat yli 50 % maailmanlaajuisesti käytetyistä muoveista ja ovat käyttömäärältään suurin synteettisten polymeerien ryhmä. Polyeteeni ja polypropeeni vastaavat määrällisesti lähes tästä kaikesta, mutta pienemmän tuotantovolyymien polyolefiineilla on kuitenkin omat erikoissovelluksensa niiden parempien ominaisuuksiensa (esimerkiksi sulamisalue tai optinen kirkkaus) ansiosta. Sekä polyeteenistä että polypropeenista on kehitetty paljon erilaisia ominaisuuksia omaavia laatuja. Polyolefiinituotteet ovat periaatteessa kierrätettäviä tai poltettavissa energiaksi, koska ne ovat puhtaita hiilivetyjä. Tämän vuoksi polyolefiinit menestyvät hyvin eri materiaaleille tehdyissä elinkaarivertailuissa. /7/

5.1 Polymeerien rakenne

Kun polymeeri on muodostunut vain yhdestä monomeerilajista, sitä kutsutaan homopolymeeriksi. Jos monomeerejä on kahta tai useampaa laatua, polymeeriä nimitetään kopolymeeriksi.

Homopolymeeri voi olla lineaarinen, haaroittunut tai silloittunut verkkorakenteeksi. Lineaarisen homopolymeerin rakenne on ketjumainen ja haaroittuneessa homopolymeerissä runko-osaan on liittyneenä eripituisia haaroja. Silloittuneessa homopolymeerissä monomeerimolekyylit ovat liittyneet toisiinsa tasomaiseksi tai kolmiulotteiseksi verkoksi. Silloittunut rakenne tekee polymeerin sulamattomaksi ja liukenemattomaksi. Kertamuovit kuuluvat tähän rakennetyyppiin.

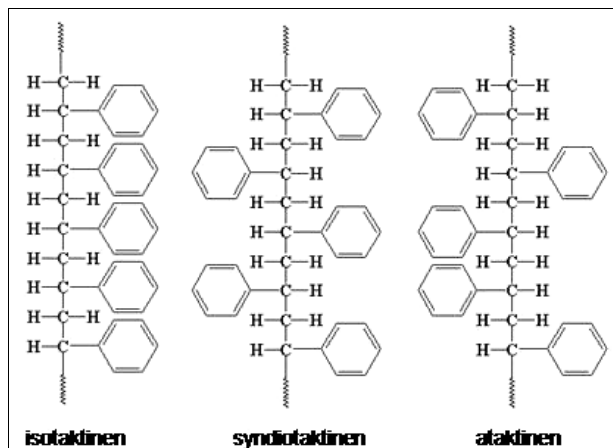
Kopolymeerissä eri monomeerilajeista muodostuneet rakenneyksiköt voivat olla vuorottain (kuva 10 a) tai säännöttömästi (kuva 10 c) toisiinsa nähden sijoittuneena. Lohkosekapolymeerissä (kuva 10 b) esiintyy monomeerien muodostamia pitkiä molekyylin osia eli lohkoja. Yhdessä molekyyllissä niitä voi olla kaksi tai useampia. Oksaskopolymeerissä (kuva 10 d) yhdestä monomeerilajista syntyneeseen runkoon liittyy toisen monomeerilajin muodostamia haaroja. /7/



Kuva 10 Kopolymeerin erilaiset rakenteet

Taktisuudella tarkoitetaan polymeerin perusyksikön tietyn sivuryhmän sijaintia pääketjun suhteen. Jos kaikki sivuryhmät ovat samalla puolella pääketjua, polymeeri on isotaktinen. Jos sivuryhmät vuorottelevat molemmiin puolin pääketjua, polymeeri on syndiotaktinen. Jos sivuryhmät sijoittuvat satunnaisesti pääketjun molemmiin puolin, polymeeri on ataktinen. Erilaiset taktisuudet on esitetty kuvassa 11. /16/

Ataktiset ketjut, joissa sivuryhmät ovat jakautuneet satunnaisesti, eivät kiteydy juuri lainkaan, koska epäsäännöllisten ketjujen pakkautuminen säännölliseksi kitehilaksi on mahdotonta. Ataktiset materiaalit ovat siis lähes poikkeuksetta täysin amorfisia. Isotaktinen ja syndiotaktinen sivuryhmien sijoittuminen edistää kiteytymistä, koska pakkautumiselle ei ole avaruudellista estettä järjestäytyneessä ketjussa. Tällaisen polymeerimateriaalin kiteisyysaste on yleensä korkea. Kiteisyys parantaa polymeerimateriaalin lujuusominaisuuksia. /11/



Kuva 11 Erilaiset taktisuudet polystyreenin avulla esitettynä /16/

5.3 Polyeteenit /7/

Polyeteenin ominaisuuksia ovat:

- vahamainen pinta
- ohuet kalvot läpinäkyviä
- ylläpitää palamista
- hyvä kemiallinen kestävyys
- kestää vettä, suolaliuoksia, laimeita happoja ja alkaleja
- hyvät sähköneristysominaisuudet
- helppo muotoilla ja työstää

Polyeteeni on rakenteeltaan suoraketjuista, mutta se voi sisältää eripituisia haaroja riippuen valmistusmenetelmästä.

Kaupalliset polyeteenilaadut voidaan jakaa kolmeen pääryhmään valmistusmenetelmän ja ominaisuuksien mukaan:

- PE-LD, matalatiheuspolyeteeni. Polymeeri sisältää lyhyitä ja pitkiä haaroja
- PE-HD, korkeatiheuspolyeteeni. Polymeeri on suoraketjuinen

- PE-LLD, lineaarinen matalatiheyspolyeteeni. Polymeeri sisältää lyhyitä haaroja

PE-LD on vanhin näistä laaduista, se kehitettiin Englannissa 1930-luvulla. Alkuperäisessä menetelmässä eteeni polymeroidaan 1000 – 3000 bar paineessa 200 – 300 °C lämpötilassa. Eteeni ei polymeroidu täysin suoraketjuiseksi polymeeriksi, vaan siihen syntyy runsaasti eripituisia sivuketjuja. Lyhyistä sivuketjuista johtuen PE-LD:n kiteisyys on vain 50 – 60 % ja tiheys alhainen 0,910 – 0,925 g/cm³ verrattuna täysin lineaariseen polyeteeniin, jonka kiteisyys on 70 – 80 % ja tiheys jopa 0,970 g/cm³. Alhaisesta kiteisyydestä johtuen PE-LD:n sulamispiste on lineaarista polyeteeniä matalampi. Sillä on hyvä työstettävyys, se on joustava ja suhteellisen läpinäkyvä. Lujuusominaisuudet ovat huonommat kuin lineaarisella polyeteenillä. Sitä käytetään eniten raaka-aineena kalvoissa, päällystystuotteissa ja putkissa.

PE-HD on PE-LD:ä jäykempi ja lujempi suuremman kiteisyyden ansiosta. Sitä käytetäänkin enimmäkseen erilaisissa ruiskupuristustuotteissa. PE-HD:n valmistus tuli mahdolliseksi katalyyttisen polymeroinnin (Ziegler-Natta-polymerointi) keksimisen ansiosta, jolloin sitä oli mahdollista tehdä alhaisissa lämpötiloissa (alle 100 °C) ja paineissa (alle 10 bar). Kiteisyys ja tiheys ovat PE-LD:tä korkeammat.

PE-LLD:t ovat eteenin ja jonkun 1-olefiinin kopolymeerejä ja niitä valmistetaan katalyyttien avulla kuten PE-HD-polyeteenejä. Polyeteeniketjuun satunnaisesti liittynyt komonomeeri alentaa polyeteenin kiteisyyttä, minkä vuoksi tiheys alenee ja kirkkaus kasvaa verrattuna PE-LD:n. Vetolujuus on suurempi kuin PE-LD:llä. PE-LLD-polymeerejä käytetään korvaamaan PE-LD-polymeerejä.

Polyeteenin kemialliset ja mekaaniset ominaisuudet ovat jossain määrin riippuvaisia kiteisyydestä ja molekyylien pituudesta. Kiteisyyteen voidaan vaikuttaa esimerkiksi lisäämällä pieni määrä jotain komonomeeriä, joka estää säännöllisen kiderakenteen muodostumisen. Kopolymeerimalla eteenin kanssa muita kaksoissidoksen sisältäviä monomeerejä on mahdollista modifioida polyeteenin ominaisuuksia erikoiskäyttökohteita varten.

5.4 Polyeteenin kopolymeerit

Eteeniä kopolymeroidaan monien ei-olefiinisten monomeerien kanssa, pääasiassa akryylihapon ja vinyyliasetaatin kanssa, joista viimeksi mainittu on kaupallisesti merkittävin. Kopolymeerit häiritsevät homogeenisen PE:n kiteytymistä ja siten muuttavat sen ominaisuuksia muun muassa alentaen myötörajaa ja moduulia sekä parantavat matalalämpötilan joustavuutta.

Eteenin kopolymeereissä on sekoitettu kahta tai useampaa monomeeriä, joissa kussakin on hiili-hiili kaksoissidos. Polyeteeniin lisätään kopolymeeriä parantamaan esimerkiksi lämmönkestoa, joustavuutta tai iskulujuutta. /9/

5.4.1 Eteenin ja vinyyliasetaatin kopolymeeri (EVA) /2; 10/

Vinyyliasetattimonomeeri vähentää kopolymerin kiteytymistä ja lisää sen kemiallista reaktiivisuutta. EVA on erittäin joustava ja se sitoutuu hyvin muihin materiaaleihin. Vinyyliasetattipitoisuuden lisääntyessä polymeerin myötöraja ja jäykkyys pienenevät; joustavuus ja iskulujuus puolestaan kasvavat.

Erittäin matalan vinyyliasetattipitoisuuden omaavaa (noin 3 p-%) kopolymeeriä käytetään joustavuutensa ja pintakiiltonsa ansiosta kalvoissa. Myrkyttömyytensä ansiosta se sopii käytettäväksi elintarvikepakkauksiin. EVA:sta valmistetut kalvot ovat pehmeitä ja tarttuvia, joten ne sopivat kelmukääreiksi ja laminointiin. EVA-kopolymeerit, joiden vinyyliasetattipitoisuus on noin 11 %, käytetään laajasti pinnoitteissa ja liimoissa, joissa tarvitaan riittävää sulalujuutta, mutta joka toisaalta sallii matalan sulatyöstölämpötilan. 15 % vinyyliasetattipitoisuudella kopolymeeri muistuttaa läheisesti mekaanisilta ominaisuuksiltaan pehmitettyä PVC:a. EVA on luontaisesti pehmeä polymeeri, joten sillä ei ole riskiä pehmittimen hikoiluun. Sen suurin kasvumahdollisuus löytyykin käyttönä PVC:n korvaajana.

5.4.2 Eteenin ja akrylihapon kopolymeeri (EAA) /2; 9/

EAA:n polymeroinnissa metallin oksideja lisätään kopolymeerimateriaaliin. Metalliatomit ionisoituvat ja liittyvät kopolymeeriin ionisidoksin, jolloin polymeeriketjut ristisilloittuvat. EAA:t sisältävät tyypillisesti 3 - 20 p-% akrylihappoa. Se on vähemmän kiteinen kuin PE ja sen kirkkaus sekä öljynkesto ovat paremmat kuin PE:llä. Ionisidosten ansiosta sillä on myös parempi sulalujuus ja kulumiskesto sekä parempi isku-, veto- ja lävistyslujuus kuin homogeenisellä PE:llä.

EAA omaa erittäin hyvän tarttuvuuden metallisiin ja ei-metallisiin pintoihin. Karboksyylliset ja hydroksyylliset funktionaaliset ryhmät muodostavat vetysidoksia ja nämä vahvat molekyylin sisäiset vuorovaikutukset aikaansaavat alumiinikalvon ja polyeteenin sitoutumisen toisiinsa. Tätä ominaisuutta käytetään hyödyksi monikerroksisissa laminaattituotteissa ja alumiinipäällysteissä.

5.4.3 Eteenin ja eteeniakrylaatin kopolymeeri (EEA) /2/

EEA:t sisältävät tyypillisesti 15 – 30 p-% etyyliakrylaattia. Ne ovat joustavia polymeerejä, joilla on suhteellisen korkea molekyylimassa. EEA:sta tehdyt tuotteet omaavat korkean jännityssäröilynkoston, erinomaisen väsymiskeston ja matalalämpötilaominaisuudet -65 °C asti. Käyttösovelluksia ovat muun muassa joustavat kalvot, kertakäyttökäsineet, letkut ja tiivisteet. Useissa sovelluksissa käytetään polymeerimodifikaatioita, joissa EEA sekoitetaan olefiinipolymeeriin (EEA on yhteensopiva polyeteenin ja polypropeenien kanssa), jotta saataisiin sopiva moduuli samalla säilyttäen hyöty EEA:n polaarisuudesta. Etyyliakrylaatin läsnäolo seoksessa lisää sitkeyttä, joustavuutta ja tarttuvuutta. EEA:lla ja EVA:lla on hyvin samankaltaiset ominaisuudet, tosin EEA:lla on parempi kulumiskesto ja lämmönkesto, kun taas EVA on sitkeämpi ja ulkonäöltään kirkkaampi.

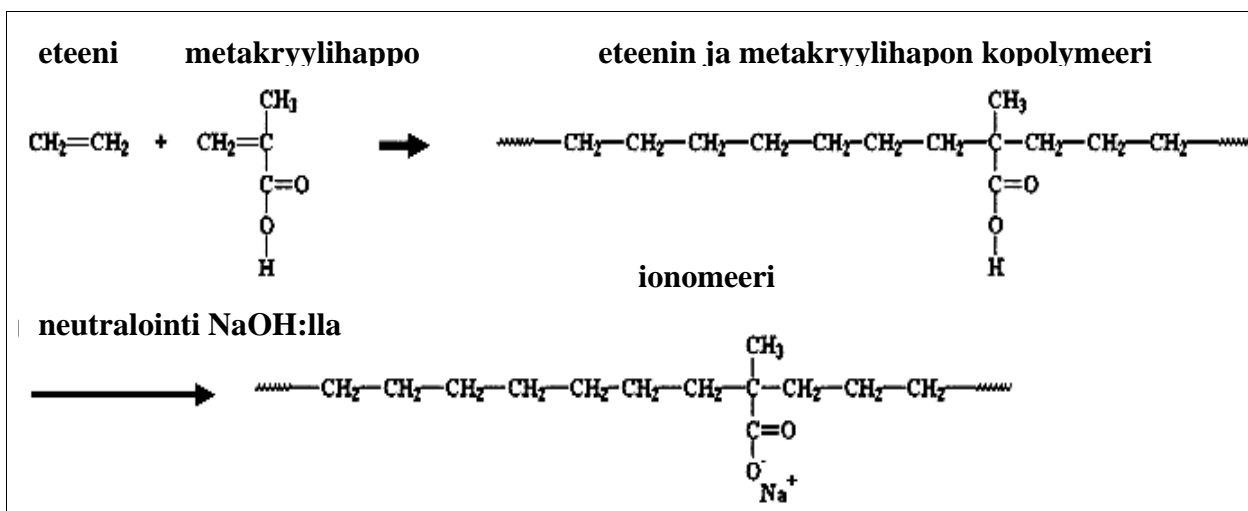
5.4.4 Eteenin ja metyyliakrylaatin kopolymeeri (EMA) /2/

EMA-kopolymeerejä työstetään usein puhallusmuovausmenetelmällä ja niillä on hyvin kumimaiset mekaaniset ominaisuudet sekä erinomainen lävistyslujuus. EMA-kalvon lateksikumin kaltaisia ominaisuuksia käytetään hyödyksi kertakäyttökäsineissä ja lääketieteellisissä tarvikkeissa, jolloin vältetään lateksikumin allergisoiva haittavaikutus. Adheesio-ominaisuuksiensa vuoksi EMA-kopolymeerejä käytetään ekstruusiopäällystyksessä, koekstruusiassa sekä laminointisovelluksissa kuumasaumakerroksena. EMA on termisesti stabiilein polyeteenin kopolymeeri. Tätä kopolymeeriä käytetään laajasti myös homogenisointiaineena (seostusaineena) olefiinisten homopolymeerien (PE, PP) sekä polyamidien, polyesterien ja polykarbonaattien kanssa, jolloin saadaan parannettua iskunkestävyyttä, sitkeyttä, kuumasaumattavuutta ja tarttuvuutta. Samaan tarkoitukseen käytetään myös eteenin ja n-butyliakrylaatin (EBA) kopolymeerejä.

5.4.5 Ionomeerit /2; 10/

Ionomeerit ovat polymeerejä, joissa molekyylien välillä esiintyy ionisidoksia. Niiden valmistuksessa monomeeri, kuten eteeni kopolymeroidaan tyydyttymättömän orgaanisen hapon, kuten metakryylihapon kanssa. Karboksyyliiryhmiä sisältävä kopolymeeri käsitellään jollakin metalliatomeja luovuttavalla yhdisteellä, kuten natriummetoksidilla tai sinkkioksidilla, jolloin osa karboksyyliiryhmistä neutraloituu ja ionisidokset muodostuvat. Ionomeerin muodostumisreaktio on esitetty kuvassa 12. Käyttämällä kationina natriumia saavutetaan yleensä paremmat optiset ominaisuudet ja öljyn kestävyys. Sinkkiä käyttämällä puolestaan saavutetaan yleensä paremmat tartuntaominaisuudet, matalampi vesiabsorptio ja parempi iskulujuus. Ioni-ryhmät muodostavat termisesti palautuvia sidoksia, jotka hajoavat lämmön vaikutuksesta ja muodostuvat uudelleen jäähtyöksessä. Tämän ansiosta ionomeereja voidaan prosessoida tavanomaisille kestonuoveille tarkoitetuilla laitteilla. Du Pont valmisti ensimmäiset eteenistä ja metakryylihaposta valmistetut kaupalliset ionomeerit (Surlyn A) vuonna 1964. Kopolymeerit sisältävät metakryylihappoa 1 – 15 %. Sulaindeksiluku on tyypillisesti välillä 0,5 - 15. Ionomeereilla on PE-LD:n ver-

rattuna suurempi jäykkyys, sitkeys ja vetolujuus. Lisäksi ionomeerien läpinäkyvyys on erinomainen, adheesio metalleihin ja kuituihin hyvä, taipumus jännityssäröilyyn vähäinen, hyvä kulumiskesto ja öljyn- sekä rasvankestävyys erinomainen. Käyttösovelluksia ovat kirkkaat ja sitkeät pakkauskalvot ja monikerroskalvot. Paperia voidaan pinnoittaa jopa 0,005 mm paksuisella ionomeerikalvolla, mikä johtuu sulatilan hyvistä lujuusominaisuuksista. Ruiskupuristuslaaduista valmistetaan muun muassa pulloja ja auton muoviosia.



Kuva 12 Kemiallinen kokonaisreaktio ionomeerin muodostumisesta /16/

5.5 Polypropeenit

Polypropeeni on olefiininen polymeeri, samanlainen kuin polyeteeni sillä erotuksella, että pääketjussa joka toiseen hiiliatomiin on kiinnittynyt metyyliiryhmä. Polypropeeni voidaan valmistaa taktisuudeltaan erilaisiksi. /16/

Polypropeenit (PP) ovat yksi eniten käytetty teknisten polymeerien ryhmä. Muoviksi soveltuvaa polypropeenia alettiin valmistaa 1950-luvulla. Polypropeenista voidaan muodostaa avaruusrakenteeltaan kolmea erilaista polymeeriä: isotaktista, ataktista tai syndiotaktista rakennemuotoa. Kaupallinen laatu sisältää tavallisesti 96 % isotaktista muotoa lopun ollessa ataktista. Isotaktinen ja syndiotaktinen muoto pystyy kiteytymään, ataktinen polymeeri on amorfista ja heikkoa. Polypropeenin kiteisyysaste vaihtelee tavallisesti 40 – 60 % välillä. Polypropeenin lasittumisläm-

pötila on -10 °C ... -20 °C ja sulamislämpötila 160 °C ... 175 °C . Sen tiheys on $0,90 - 0,91\text{ g/cm}^3$. /7/

5.6 Termoleastit

Termoelastit (termoplastiset elastomeerit), joita kutsutaan myös termoplastisiksi kumeiksi, ovat polymeerejä tai polymeerien seoksia. Ne käyttäytyvät laajalla lämpötilavälillä kuten vulkanoitu kumi, mutta korkeassa lämpötilassa ne muuttuvat ominaisuuksiltaan kestopuovin kaltaisiksi pehmeiksi ja hyvin työstettäviksi. Kumimainen luonne palautuu sulan aineen jäähtyessä. Tämä termoplastisuus johtuu siitä, että polymeerimolekyylien väliset sidokset ovat kokonaan tai suurimmaksi osaksi fysikaalisia eikä kemiallisia. Tyypillisesti termoplastiset elastomeerit sisältävät sekä pehmeitä että jäykkiä lohkoja. /10/

Termoelastien kyky muuttua kiinteästä nestemäiseksi kuumennettaessa ja kiinteytyä uudelleen jäähdytettäessä mahdollistaa tuotannon nopeilla, muoviteollisuuden käyttöön kehitetyillä prosessointivälineillä. Kalliita ja hitaita kompaundointi- ja vulkanointivaiheita ei tarvita, eikä lopputuotteeseen jää vulkanointiaineiden jäänteitä. Lisäksi hylkymateriaali voidaan usein kierrättää.

Lähes kaikissa termoelasteissa toinen faasi on huoneen lämpötilassa kova ja kiinteä toisen faasin ollessa elastinen. Kova faasi antaa TPE-materiaaleille lujuutta. Kun kova faasi sulaa, materiaali pääsee virtaamaan ja sitä voidaan työstää. Jäähdytyksessä kova faasi jähmettyy käyttäytyen samaan tapaan kuin rikkisillat perinteisessä vulkanoidussa kumissa. Tätä prosessia kutsutaan usein fysikaaliseksi silloittumiseksi.

Termoelastit jaetaan seuraaviin ryhmiin:

Kopolymeerit:

- termoplastiset styreenielastomeerit
- termoplastiset polyesterielastomeerit
- termoplastiset polyamidielastomeerit
- termoplastiset polyuraetaanielastomeerit

Muovin ja kumin seokset:

- polyolefiinien seokset
- kumin ja muovin yhdistelmät

Styreenin ja dieenin lohkopolymeerit ovat TPE-kopolymeereistä eniten valmistettuja ja halvimpia. Polyesteri- ja polyamidityyppiset kumit ovat edellisiin verrattuna huomattavasti kalliimpia ja niitä käytetään vain erikoistarkoituksiin. /3/

5.6.1 Termoelastien käyttö ja yleiset ominaisuudet /3; 16/

TPE:n käyttö

TPE-S- ja TPO-materiaalien päämarkkina-alue on paineettomat renkaat (rullapyörät ja umpirenkaat). Muita TPE:n käyttökohteita ovat muun muassa tiivistenauhat ja autoteollisuuden muoviosat. Korkeamman suorituskyvyn TPE:ita käytetään sielä, missä käyttölämpötila-alue, mekaaninen rasitus ja nesteiden kestävyys vaativat parempaa suorituskykyä. Termoelasteja käytetään myös erikoissovelluksissa, joissa tarvitaan hyvää sähköneristyskykyä tai palonesto-ominaisuuksia. Kasvava käyttökohde on sovellukset, joissa materiaali on suorassa kosketuksessa ruokaan (elintarvikepakkaukset). Lääketieteellisiä käyttökohteita ovat erilaiset letkut, injektioruiskut ja katetrit.

TPE:n yleiset ominaisuudet

Elastomeerit sisältävät kovalenttisia ristisidoksia, jotka saavat aikaan sille ominaisen elastisuuden. Silloittunutta polymeeriä kuten perinteistä kumia ei voi kierrättää

koska se ei sula. Ne eivät muutu juokseviksi koska ristisidokset kiinnittävät polymeeriketjut yhteen tehden ne yhdeksi isoksi molekyyliksi. Ympäristöasioiden huomioiminen synnytti ajatuksen palautuvasta ristisidoksesta, joka johti termoplastisten elastomeerien keksimiseen. Palautuva ristisidos sitoo polymeeriketjut yhteen ei-kovalenttisesti tai sekundääristen vuorovaikutusten avulla. Palautuvia ristisidoksia ovat vetysidokset ja ionisidokset. Materiaalia kuumennettaessa tällainen ristisidos katkeaa ja seos muuttuu sulaksi, jolloin se on prosessoitavissa ja kierrätettävissä. Kun materiaali jäähtyy, ristisidokset muodostuvat uudelleen.

TPE sisältää tavallisesti kaksi erilaista polymeerisosaa: kovan termoplastisen osan ja pehmeän elastomeerisen osan. Tällaisen TPE:n ominaisuudet riippuvat osaltaan molemmista polymeeriosista sekä niiden välisistä vuorovaikutuksista. Näitä kahta TPE:n faasia voidaan myös kutsua kovaksi ja pehmeäksi lohkoksi, joilla on yhteinen polymeerirunko. TPE:n tekniset ominaisuudet riippuvat kovan termoplastisen faasin sulamislämpötilasta ja pehmeän faasin lasittumislämpötilasta (T_g). Termoelasteja voidaan prosessoida tavallisilla termoplastisilla tekniikoilla.

5.6.2 Termoelastin ja perinteisen kumin vertailua /3/

John Brydson esittää Plastic Materials -kirjassaan (seventh edition 1999), että termoelastit ovat vakiinnuttaneet asemansa enemmän termoplastien kuin perinteisen kumin kilpailijana. Polymeerejä käsittelevässä kirjallisuudessa usein kuitenkin kerrotaan, että TPE:t korvaavat perinteisen kumin kasvavassa määrin monissa käyttökohteissa ja niissä vertaillaan termoelastin ja perinteisen kumin ominaisuuksia.

TPE:n käytännöllisiä etuja verrattuna vulkanoitavaan kumiin:

- prosessoitavuus on yksinkertaisempaa ja vaatii vähemmän vaiheita
- prosessin kiertoaika on lyhyempi
- TPE tarvitsee vain vähän tai ei ollenkaan seostamista muihin materiaaleihin ja niitä on saatavilla täysin seostettuina ja käyttövalmiina

- TPE-hylkymateriaali voidaan kierrättää. Kertamuovinen hylkymateriaali usein heitetään pois, mikä lisää kustannuksia ja kuormittaa ympäristöä
- termoplastisen kappaleen prosessointi mahdollistaa tiukemman kontrollin mittatarkkuuteen kuin vulkanoitavalla kumikappaleella

TPE:n haittapuolia verrattuna vulkanoitavaan kumiin:

- monet TPE:t täytyy kuivata ennen prosessointia
- TPE:n polymeerirakenne alkaa hajota sulamislämpötilan yläpuolella
- TPE-tuotteet vaativat korkeiden valmistuskustannusten vuoksi melko suuren tuotantovolyymien, jotta niiden valmistus olisi kannattavaa
- seostettu kumiraaka-aine on yleensä suurina erinä halvempaa kuin kilpaileva TPE-raaka-aine

5.6.3 Termoplastiset styreenielastomeerit (TPE-S) /4; 10/

Termoplastisten styreenielastomeerien rakenne on $(AB)_n$ -tyyppiä, joissa A on jäykkä polystyreenilohko ja B on pehmeä dieenilohko. Dieenilohkon ollessa butadieeni on polymeerin lyhenne SBS ja sen ollessa isopreeni, on lyhenne SIS. Lasitumislämpötilan alapuolella PS-lohkot erottuvat omaksi faasikseen muodostaen jäykän rakenteen, joka toimii fysikaalisena ristsidoksena elastomeerin pehmeille lohkoille. SBS- ja SIS-elastomeerien styreenipitoisuus vaihtelee 20 – 40 % välillä. Elastomeerin vetolujuus on parhaimmillaan 35 MPa ja venymä 1100 %. Käyttölämpötila on enimmillään 60 °C. SBS ja SIS sisältävät paljon tyydyttymättömiä kaksoissidoksia ja siksi ne eivät sovi käyttökohteisiin, joissa vaaditaan otsonin, UV-säteilyn tai korkeiden lämpötilojen kestoja.

Markkinoilla on saatavilla myös laatuja, joissa pehmeä dieenilohko on hydrattu, jolloin hapen- ja otsoninkestävyys paranee huomattavasti tavallisiin laatuihin verrattuna. TPE-S:n laajin käyttöalue on jalkineet. Lisäksi niitä käytetään letkuissa, tiivisteissä sekä erilaisissa liimoissa.

Hydratut termoplastiset styreenielastomeerit (SEPS ja SEBS)

Hydratut lohkokopolymeerit ovat lineaarisia kolmilohkokopolymeerejä, jotka muodostuvat polystyreeni- ja elastomeerilohkoista. Elastomeerilohko on yleensä eteenin ja buteenin kopolymeeri, joka valmistetaan hydraamalla butadieeniä. Nämä TPE-materiaalit syntyivät, kun TPE-S-materiaaleihin kaivattiin enemmän vulkanoidun kumin ominaisuuksia. Hydraamalla saadaankin parannettua TPE-S-polymerien lämmönkestoa, UV-säteilyn kestoja ja vanhenemisominaisuuksia.

Styreeni-eteenipropeeni-styreeni (SEPS) lohkokopolymeerit ovat amorfisia ja niiden T_g on -55 °C ja -60 °C välillä. Styreeni-eteenibuteeni-styreeni (SEBS) lohkokopolymeerit voidaan valmistaa siten, että lasittumislämpötila on alhainen ja elastisuus sen yläpuolella hyvä. Optimiyhdistelmä saavutetaan, kun buteenia on polymerissä noin 35 %. Ne kestävät huomattavasti paremmin korkeita lämpötiloja ja jännitysrasitusta kuin termoplastit. SEBS:t ovat lujempia ja jäykempiä sekä niiden venymä on pienempi kuin TPE-S:llä.

5.6.4 Termoplastiset polyesterielastomeerit (TPE-E) /10/

Termoplastiset polyesterielastomeerit koostuvat vuorotellen sijoittuneista jäykistä ja pehmeistä lohkoista eli ne ovat rakenteeltaan $(AB)_n$ -tyyppiä. Pehmeänä lohkona toimivat polyeetteriglykolit ja jäykät lohkot muodostuvat vaihtoesteröinnissä dimeytylitereftalaateista ja 1,4-butaanidiolista. Elastomeerien ominaisuudet riippuvat paljolti jäykkien segmenttien määrästä. Käyttölämpötila-alue sijoittuu -60 °C ja $+150\text{ °C}$ välille. Elastomeerin jäykkyys vaihtelee suuresti, vetolujuus on välillä 40 – 50 MPa ja venymä välillä 500 – 800 %. Ne kestävät öljyjä, rasvoja ja hydraulisia nesteitä sekä niillä on hyvä iskunkestävyys ja taivutusväsymislujuus. Käyttökohteita ovat letkut, putket, hihnat, tiivisteet ja optiset kappaleet.

5.6.5 Termoplastiset polyamidielastomeerit (TPE-A) /5; 10/

TPE-A-polymeerit rakentuvat kovista lohkoista, joilla on korkea sulamis- tai lasitumislämpötila ja pehmeistä, alhaisissa lämpötiloissakin elastista lohkoista. Elastomeerin rakenne on $(AB)_n$ -tyyppiä, jossa polyamidilohkot muodostavat aineen kovat lohkot ja polyeetteriosat muodostavat pehmeät lohkot. Kovan lohkon suhteellisen osuuden kasvaessa materiaalin kovuus ja jäykkyys lisääntyvät sekä venymä pienenee. Kovien lohkojen määrän suhde pehmeiden lohkojen määrään voi vaihdella 10:90 ja 90:10 välillä. TPE-A:t ovat kevyitä, vahvoja sekä joustavia jopa -40 °C lämpötilaan asti. Ne soveltuvat käyttökohteisiin, joissa vaaditaan hyvää kulumiskestoa ja joustavuutta laajalla lämpötila-alueella. TPE-A-materiaaleilla voidaan saavuttaa jopa $-40\dots+170\text{ °C}$ käyttölämpötila-alue, jonka vuoksi ne ovat kilpailukykyisiä silikoni- ja fluorikumien kanssa. TPE-A:sta valmistetaan muun muassa korkeaa lämpötilaa kestäviä sähköjohtojen päällysteitä.

5.6.6 Termoplastiset polyuretaanielastomeerit (TPU) /3; 5/

TPU:n rakenne on $(AB)_n$ -tyyppiä, jossa A on kova kiteinen lohko, joka on muodostettu jatkamalla di-isosyanaattiketjua glykolilla. B on pehmeä lohko, joka on muodostettu polyesteristä tai polyeetteristä. Pehmeän segmentin luonne määrittelee polymeerin elastisuuden ja kylmänkesto-ominaisuudet. Molekyylinsisäiset vetysidokset uretaaniryhmien välillä yhdistävät kovat lohkot toisiinsa, joista aiheutuu palauttava voima materiaalia venytettäessä. TPU:t ovat tunnettuja niiden erinomaisesta kulumiskestostaan ja matalasta kitkakertoimestaan. TPU:t hajoavat vanhetessaan hitaasti, mutta hajoaminen nopeutuu merkittävästi korkeissa lämpötiloissa ($130 - 170\text{ °C}$). TPU:t kestävät hyvin öljyjä, polttoaineita ja rasvoja, mutta liukenevat polaarisiin orgaanisiin nesteisiin. TPU:n kalliimpi hinta voidaan perustella sellaisissa käyttösovelluksissa, joissa vaaditaan korkeaa kulumiskestoa ja sitkeyttä tai matalaa kitkakerrointa. Näitä sovelluksia ovat erilaiset rullapyörät, kengänpohjat, autojen kojelaudat sekä järeät letkut ja putkistot.

5.6.7 Polyolefiinien seokset (TPO) /5; 10/

Polyolefiinien etuja ovat inerttiys, pieni ominaispaino, halpa hinta ja hyvä saata-
vuus. Termoelastien kaltaisia polyolefiiniseoksia ovat esimerkiksi polypropeenin ja
eteenipropeenikautsun seokset. Ne eivät sekoitu toisiinsa vaan kautsusta muodos-
tuu epämääräisiä, pisaramaisia kertymiä polypropeenimatriisiin. Polyolefiiniseos-
ten iskunkestävyys riippuu kautsupartikkelien suuruudesta ja silloittumisasteesta.
Niiden läpimitan kasvaessa iskunkestävyys huononee. Kautsun silloittuminen lisää
seoksen joustavuutta ja elastisuutta. Vetolujuus on välillä 8 – 15 MPa ja venymä
välillä 150 – 400 %. TPO:n suurin käyttökohde on autojen puskurit ja muut sen
kaltaiset profiilit.

5.6.8 Kumin ja muovin yhdistelmät (O-TPV) /5; 10/

O-TPV:n rakenne koostuu synteettisen kautsun ja termoplastisen kovan polymeerin
seoksesta, jossa kautsuosa on vulkanoitu ja osittain silloittunut kovan polymeerin
kanssa.

Näitä TPE-materiaaleja valmistetaan niin sanotulla dynaamisella vulkanoinnilla,
jossa elastomeeri vulkanoidaan sulasekoittaen sitä samalla sulan muovin kanssa.
Tuloksena saadaan materiaali, jonka monet ominaisuudet ovat elastomeeristen loh-
kopolymerien tasolla, joissain tapauksissa jopa paremmat.

EPDM-kumin ja polypropeenin seos kestää kohtuullisen hyvin öljyä ja lämmön-
kesto ulottuu 100 °C:een. Polypropeenin ja nitrilikumin seoksella on edellä mainit-
tua parempi vetolujuus, joustavuus ja öljynkesto. O-TPV-materiaaleja käytetään
raaka-aineina teknisiin kappaletuotteisiin, autojen moottoritilojen kumiosiin, teolli-
suusletkuihin sekä sähköneristeisiin.

6 LABORATORIO- JA TUOTANTONÄYTTEIDEN TESTAUS

Testattujen muoviseoksien prosessoitavuudet arvioitiin subjektiivisesti laboratorion sekoitusvalssilla, jossa seurattiin muovimassan sekoittumista täyteaineeseen, tarttuvuutta valssin pintaan, muovattavuutta ja sulalujuutta. Prosessoitavuutta voitiin pitää ensimmäisenä karsivana ominaisuutena, koska laboratoriomittakaavassa toimimatonta muoviseosta ei varmastikaan saada toimimaan tuotantomittakaavassa, jossa prosessin säätäminen on vaikeaa. Teknisiä ominaisuuksia tutkittiin laboratorion testausmenetelmillä, joista järjestyksessä mitattiin sulaindeksi, lämpölaajenema ja sen aiheuttama voima. Sulaindeksiluku antoi tietoa näytemateriaalin sulaviskositeetista ja sulalajuudesta, joista edelleen voitiin tehdä johtopäätöksiä muoviseoksen prosessoitavuusominaisuuksista. Lämpölaajenemisominaisuudet toimivat toisena karsivana tekijänä, koska se on hyvin tärkeää lattianpäällysteen liimauksessa pysymisen ja sitä kautta pitkäikäisyyden kannalta. Tuotantotesteihin valittiin laboratoriotesteissä hyviksi havaittuja raaka-ainepolymeerejä ja niistä tehtiin kaksi reseptiä. Tuotantokoeajoissa valmistetuista lattianpäällystenäytteistä testattiin edellä mainittujen testien lisäksi lämmön vaikutus mittastabiilisuuteen (mittamuutos ja reunanousu) sekä jäännöspainuma, jotka soveltuivat kerrosrakenteisille lattianpäällysteille.

6.1 Testipolymeerit

Testipolymeereiksi valittiin kemialliselta rakenteeltaan samankaltaisia termoplastisia polymeerejä kuin mitä tämänhetkisen LifeLine –laatan raaka-aineina käytetään eli pääasiassa eteenin kopolymeerejä. LifeLine –laatan raaka-aineresepti sisältää useampaa erilaista polymeeriä, joista kukin on valittu ajatellen muoviseoksen prosessoitavuutta tai siitä valmistetun tuotteen tiettyjä teknisiä ominaisuuksia. Laatan rakenne on kerroksellinen ja kehityskohteena oli kulutuspinakerroksen alla oleva niin sanottu pintamateriaalikerros. Tavoitteena oli samalla löytää uusi raaka-

ainetoimittaja vaihtoehdoksi nykyiselle, joten kiinnostuksen kohteena olivat monien eri valmistajien polymeerit. Tutkimus aloitettiin suunnittelemalla koereseptisarjoja, joissa raaka-ainepolymeereinä käytettiin eri valmistajien eteenin kopolymeerejä. Pyrkimyksenä oli löytää korvaavia polymeerejä, jotka ovat prosessoitavuudeltaan toimivia ja josta valmistettu tuote ylittäisi teknisiltä ominaisuuksiltaan samalle tasolle kuin nykyinen LifeLine –laatta.

6.2 Laboratorionäytteiden valmistus

vain tilaajan kappaleessa

6.3 Tuotantonäytteiden valmistus

Tuotantoteissä käytettiin laboratoriossa hyviksi havaittuja raaka-ainepolymeerejä. Tehdyt koereseptit koskivat LifeLine-laatan pintamateriaalikerrosta. Muissa rakennekerroksissa käytettiin LifeLine-laatan normaaleja raaka-aineita. Tuotannossa muoviraaka-aineet ja täyteaine sulasekoitettiin sekoitusekstruuderissa ja homogenoitiin sekoitusvalssilla, josta muoviseos eteni kalanterille yhtenäisenä nauhana. Prosessi on jatkuvatoiminen, jossa raaka-aineet sekoitetaan, kalanteroidaan, murskataan ja lopuksi seulotaan haluttuun raekokoon. Saadusta murumaisesta raaka-aineseoksesta valmistui Thermofix-prosessissa valmis monikerroksinen lattianpäällystelaatta. Koko valmistusprosessin yksityiskohtainen kulku on esitetty kuvissa 7 ja 8.

6.4 Näytteille suoritettut testit

Laboratoriossa testireseptien mukaan valmistetuista muoviseoksista arvioitiin niiden prosessoitavuus sekoitusvalssilla. Valssatuista ja puristetuista näytteistä mitattiin sulaindeksi sekä lämpölaajenema ja sen aiheuttama voima. Tuotantolinjalla

valmistetuille näytelaatoille suoritettiin lisäksi kaksi testiä: lämmön vaikutus mitta-stabiilisuuteen ja jäännöspainuma, jotka soveltuvat valmiille monikerroksisen rakenteen omaaville lattianpäällysteille.

6.4.1 Muoviseoksen prosessoitavuus sekoitusvalssilla

Sekoitusvalssissa (kuva 13) kaksi vierekkäin vaakatasoon asennettua telaa pyörivät vastakkaisiin suuntiin. Telojen lämpötilaa, telarakoa ja pyörimisnopeutta voidaan säätää. Raaka-aineet syötetään telojen väliin, ne sulavat kuumennettujen telojen pintoihin ja sekoittuvat leikkausvoimien ja kitkan vaikutuksesta, jotka aiheutuvat telojen pyörimisnopeuksien erosta. Telojen nopeuksien suhdetta kutsutaan hier-tosuhteeksi. Muovimassaa on mahdollista kaapia terän avulla telan pinnalta, muo-kata sitä käsin ja kääntää takaisin telojen väliin. Sekoitusta jatketaan, kunnes muo-viraaka-aine ja täyteaine ovat sekoittuneet homogeeniseksi massaksi.

Muoviseoksen prosessoitavuudella tarkoitetaan tuotannossa sekoitusekstruderilta tulevan pehmeän muoviseoksen ja täyteaineen sekoittumista ja käyttäytymistä se-koitusvalssilla ja kalanterilla. Tämä ominaisuus on hyvin tärkeä, koska se käytän-nössä määrää onko testattavasta muoviseoksesta mahdollista valmistaa lattianpääl-lystettä tuotantotasolla. Se on tutkimusluonteeltaan subjektiivinen eli testin suorit-tajan kokemukseen ja arvioon perustuva mittasuure. Tulokset esitetään sanallisesti kuvailien testin aikaisia tapahtumia ja ilmiöitä. Laboratoriossa tapahtuva muo-viseoksen prosessointi sekoitusvalssilla eroaa huomattavasti vastaavasta tuotanto-mittakaavassa olevasta prosessivaiheesta. Laboratoriossa prosessia voidaan ohjata valssauksen aikana tarvittavalla tavalla muun muassa säätämällä valssin lämpötilaa ja valssivälystä sekä muokkaamalla käsin muoviseosta. Tuotantotasolla ei edellä mainittuja säätötoimenpiteitä voida tehdä, koska vasteajat ovat liian pitkät eikä muoviseokseen voi koskea käsin. Toimivan muoviseoksen ominaisuuksia ovat hy-vä täyteaineen sitominen, sopiva tarttuvuus valssin pintaan, muovattavuus ja sula-lujuus. Tällöin sekoitusvalssilta saadaan leikattua eteenpäin sileäpintainen ja yhte-näinen muovinauha, josta muotoutuu kalanterilla levymäinen muovirata.



Kuva 13 Laboratorion Troester-merkkinen sekoitusvalssi

6.4.2 Sulaindeksi

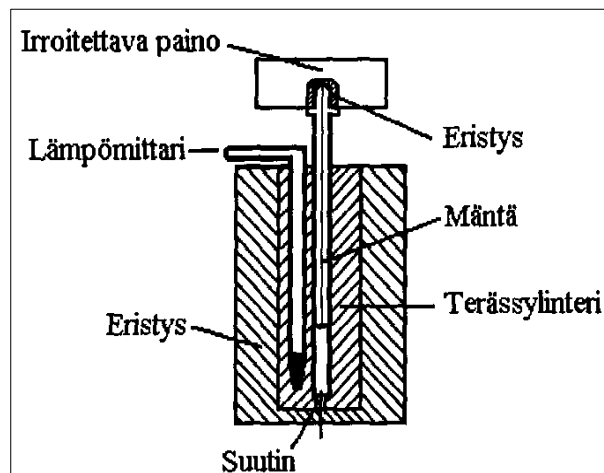
Eri resepteillä valmistettujen muovimassojen sulaindeksit mitattiin standardoidulla testimenetelmällä. Testatut näytteet koostuivat reseptienmukaisesti erilaisista polymeerilaaduista ja täyteaineesta. Mitattu sulaindeksiluku antoi tietoa sulatilaisen muovimassan prosessoitavuudesta. Liian juokseva muovisula (suuri sulaindeksiluku) on todennäköisesti sekoitusvalssilla liian tahmainen, se tarttuu tiukasti valssin pintaan eikä sitä saada kulkemaan eteenpäin tuotantolinjalla. Liian jäykkä muovisula (pieni sulaindeksiluku) on todennäköisesti sekoitusvalssilla tuntumaltaan liian kuiva ja kova, se ei sido täyteainetta hyvin, kupruilee ja saattaa pudota kokonaan pois valssilta.

Muovin prosessoijan on hyödyllistä tietää raaka-aineen virtausominaisuuksista eli sen reologiasta. Muovien virtausominaisuuksia kuvataan tavallisimmin suurella sulamassavirta eli sulaindeksi ja sen arvo on tietyssä lämpötilassa tietyllä leikkausnopeudella saatu reologisista ominaisuuksista kertova arvo. Se ilmaisee muoviraaka-aineen moolimassan suuruusluokan ja muovauksen helppouden. Menetelmä perustuu sulan polymeerin juoksevuuden mittaukseen kuvissa 14 ja 15 esitetyllä laitteella. Laitteessa on lämpöhauteen ympäröimä putki, johon ryynimäinen raaka-aine sijoitetaan. Lämpötila putkessa on 190 °C ja kun aine on sulanut, siihen kohdistetaan painavan männän (2,160 kg) vaikutus. Sula aine puristuu ulos putken alapääs-

sä olevasta aukosta, jonka halkaisija on 2,095 mm. Sulamassavirraksi tai sulaindeksiluvuksi (melt flow rate, MFR) kutsutaan sitä grammamäärää polymeeriä, joka on valunut ulos putkesta 10 minuutin aikana. Mitä pienempi sulaindeksiluku on, sitä jäykempi on sula ollut ja sitä suurempia ovat polymeerimolekyylit olleet. Sulamassavirran suuruus riippuu molekyylien koon lisäksi myös niiden haarautuneisuudesta ja moolimassajakaumasta. /7/



Kuva 14 Laboratorion sulaindeksin mittauslaite



Kuva 15 Sulaindeksin määrittäminen /7/

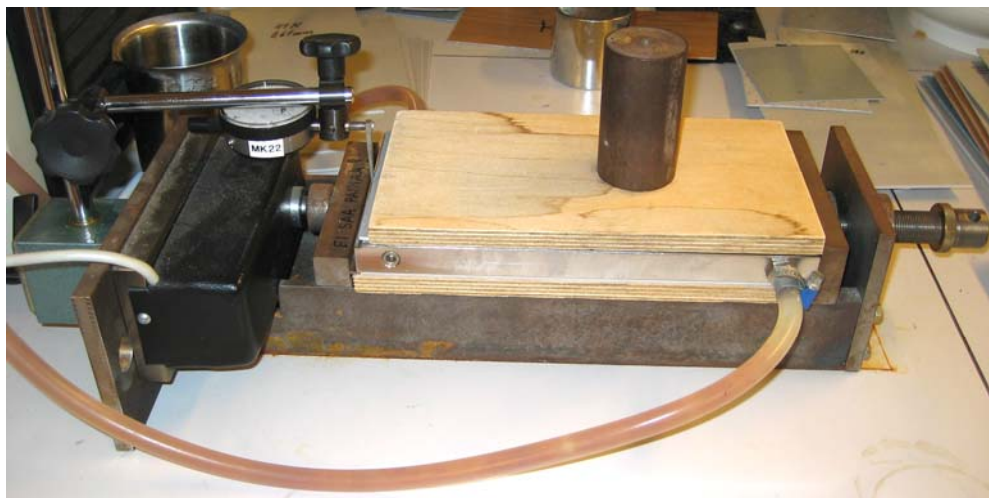
6.4.3 Lämpölaajenemisominaisuudet

Muovisten lattianpäällysteiden lämpölaajenemisominaisuudet ovat tärkeitä liimausten ja saumauksen pitävyyden ja saamaamattomien reunojen tasaisuuden kannalta. Tilassa, johon lattianpäällyste on asennettu, lämpötila voi vaihdella jopa useita kymmeniä asteita. Tämän vuoksi lattianpäällysteen lämpölaajenemisen aiheuttaman voiman ja mittamuutoksen on oltava riittävän vähäisiä. Tällöin ehkäistään asennetun lattianpäällysteen kupruilu ja liimauksesta irtoaminen.

Lattianpäällysteiden lämpölaajenemisominaisuuksien tutkimiseksi Upofloor Oy on kehittänyt oman testausmenetelmän ja -laitteiston (kuva 16). Testiä varten leikataan kaksi noin 2,0 mm paksuista näytelevyä, joiden koot ovat 12,0 cm x 25,0 cm ja 13,0 cm x 25 cm. Testissä käytetään Lauda RC 25 CP -allastermostaattia, jossa nesteen avulla siirretään energiaa termostoitavaan kohteeseen. Nestettä (tässä tapa-

uksessa vettä) kierrätetään pumpun avulla ulkoiseen lämmönvaihtimeen, jonka pinnan läpi lämpöenergia johtuu näytteeseen, jolloin se saadaan termостоitua haluttuun lämpötilaan. Mittalaitteistolla mitataan lämpölaajenemisesta aiheutuvaa voimaa näytteen päädyistä pituussuuntaisesti. Näyte tuetaan siten, ettei lämpölaajenemisvoima aiheuta näytteen lommahdusta, ja näytteeseen kohdistetaan pieni pituussuuntainen esikuorma (puristusvoima). Tämän jälkeen näytteeseen tuodaan lämpöä lämmönvaihtimen avulla. Tehdyissä kokeissa alkulämpötila oli 15 °C, josta sitä lähdettiin nostamaan tasaisesti 50 °C loppulämpötilaan. Näytteen päätyyn kiinnitetyn voima-anturin avulla mitattiin lämpötilannousun aiheuttama lämpölaajenemisvoima kullakin ajanhetkellä, ja data tallentui kuvaajana piirturin paperille. Toinen näytelevy asetettiin tuetusti lämmönvaihtimen toiselle puolelle ja siitä mitattiin pituuden kasvu mittakellon avulla. Molemmista suureista merkittiin muistiin testissä saavutettu maksimiarvo. Testi on kohtuullisen herkkä mittausrvojen vaihteluille, koska esivalmistusvaiheiden (esimerkiksi esikiristys) suorittamisnopeus ja -tapa riippuvat testin suorittajasta. Johtuen testimenetelmän standardoimattomuudesta sekä edellä mainituista syistä mittaustuloksia voidaan pitää lähinnä keskenään vertailukelpoisina virhemarginaalin ollessa arviolta ± 5 N.

Lämpötilan noustessa polymeerit laajenevat enemmän kuin puu ja metallit. Lämpölaajenemisen mittaaminen perustuu mittamuutoksen tarkkaan havaitsemiseen lämpötilan funktiona. Täyteainelisäykset vähentävät muovien lämpölaajenemista. /7/



Kuva 16 Laboratorion mittauslaite lämpölaajenemisen ja sen aiheuttaman voiman mittaamiseen

6.4.4 Lämmön vaikutus mittastabiilisuuteen

Altistettaessa muovinen lattianpäällyste määrätyn ajaksi korkealle lämpötilalle sen dimensioissa tapahtuu yleensä kutistumista ja mahdollisen pintakulutuskerroksen kutistuminen puolestaan aiheuttaa päällysteen reunannousua. Dimensiomuutosten ja reunannousujen on oltava riittävän vähäisiä, jotta lattianpäällysteen liimaukset ja saumat olisivat kestäviä ja saumaamattomat reunat olisivat tasaisia. Euroopan standardi (EN 434) määrittelee menetelmän lattianpäällysteen mittastabiilisuuden ja reunannousun mittaamiseksi lämpökäsittelyn jälkeen. Muovisesta lattianpäällysteestä leikataan kolme 250 mm x 250 mm kokoista näytekappaletta, joista mitataan kulmista ja keskikohdista reunannousun alkuarvot sekä leveyden ja pituuden alkuarvot. Sitten näytteet laitetaan 360 minuutiksi uuniin, jossa lämpötila on 80 °C. Näytteet otetaan pois uunista ja annetaan jäähtyä 24 tuntia, jonka jälkeen näytekappaleista mitataan kulmista ja keskikohdista reunannousut sekä kappaleiden uudet pituus- ja leveysarvot. Reunannousut mitataan luupin (suurennuslasi, jossa on mitta-asteikko) avulla. Dimensiomuutokset mitataan testiä varten rakennetulla mittalaitteella, niin sanotulla jigillä (kuva 17), jossa on kaksi kiinteää sivua ja kahdelle muulle sivulle on kiinnitetty pituus- ja leveysmittoja mittaavia mittakelloja (mittatarkkuus $\pm 0,01$ mm). Kunkin kolmen näytepalan mittamuutokset ja reunannousut mitataan tällä tavalla, joista lasketaan keskiarvot. Mittamuutoksen ja reunannousun keskiarvo ilmoitetaan 0,5 mm tarkkuudella.



Kuva 17 Laboratorion mittauslaite, ns. jigi, dimensiomuutosten mittaamiseen

6.4.5 Jäännöspainuma

Pysyvien painumien muodostuminen lattianpäällysteeseen on ei-toivottu ilmiö, jonka aiheuttajina voivat olla muun muassa huonekalujen jalat ja muut painavat kappaleet, joista kohdistuu suuri paine lattiapintaa vasten. Lattianpäällysteen rakenteen on oltava riittävän elastinen ja luja, jotta siihen ei muodostuisi pysyviä painumia. Sen on pystyttävä vastustamaan painuman aiheuttavaa voimaa ja palaututtava muotoonsa, jos painuma pääsee syntymään.

Euroopan standardi (EN 433) määrittelee menetelmän muovisen lattianpäällysteen jäännöspainuman mitaamiseksi. Jäännöspainuma on lattianpäällysteen lähtöpaksuuden ja loppupaksuuden erotus, kun vakiopainon on annettu vaikuttaa siihen 150 minuuttia. Testiä varten leikataan kolme vähintään 3500 mm² kokoista näytepalaa, joista mitataan merkitystä kohdasta lähtöpaksuus. Näytepalaan kohdistetaan 500 N voima 100 mm² kokoiselle alueelle (5 MPa paine). Voiman annetaan vaikuttaa 150 minuuttia, jonka jälkeen kirjataan laitteen ilmoittama painuman syvyys. Näytepalaan annetaan levätä 150 minuuttia, jonka jälkeen mitataan sen loppupaksuus. Kunkin kolmen näytepalaan jäännöspainuma mitataan tällä tavalla, lasketaan mittaustulosten keskiarvo ja ilmoitetaan tulos 0,01 mm tarkkuudella. Testissä käytetään kuvassa 18 esitettyjä laitteita.



Kuva 18 Oikealla laite, jolla näytteeseen tehdään painuma ja vasemmalla paksuusmittari

7 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

vain tilaajan kappaleessa

7.1 Laboratorionäytteiden testitulokset

vain tilaajan kappaleessa

7.2 Tuotantonäytteiden testitulokset

vain tilaajan kappaleessa

7.3 Jatkotestin tulokset

vain tilaajan kappaleessa

8 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli kartoittaa ja testata LifeLine-laattaan sopivia vaihtoehtoisia raaka-aineita, joista valmistettava lopputuote olisi sekä teknisesti toimiva että kustannuksiltaan edullisempi kuin nykyinen. Useammalle nykyisessä LifeLine-laatassa käytössä olevalle raaka-aineelle on vain yksi valmistaja, jolloin riippuvaisuus yhdestä toimittajasta muodostaa jonkinasteisen riskin toiminnalle ja vaikuttaa myös olennaisesti raaka-aineiden hintatasoon. Tuotteen toimitusvarmuus asiakkaalle kasvaa, kun on olemassa yksi tai useampi vaihtoehtoinen toimiva raaka-aineresepti sekä vaihtoehtoinen raaka-ainetoimittaja. Löydettäessä halvempia ja tekniset vaatimukset täyttäviä raaka-aineita nykyisten tilalle, saavutetaan säästöjä raaka-ainekustannuksissa.

Työ suoritettiin Upofloor Oy:n tutkimus- ja tuotekehitysosaston laboratoriossa olevilla laitteilla ja testausmenetelmillä. Näitä resursseja on käytetty myös tähänastiseen LifeLine-tuotteiden tuotekehitykseen ja -testaukseen. Laboratoriossa testiraaka-aineista valmistetut näyteseokset olivat koostumukseltaan verrattavissa tuotannossa valmistetun LifeLine-laatan pintamateriaalikerrokseen, joka oli siis kehitystyön kohteena. Laboratoriotutkimukseen käytettiin aluksi Upofloor Oy:n aiemmin hankkimia polymeeriraaka-aineita ja työn edetessä testeihin tilattiin myös uusia polymeerilaatuja eri valmistajilta. Tutkimuksen keskeisimpiä testattuja polymeerejä olivat eteenin kopolymeerit. Laboratoriotutkimusten jälkeen tehtiin tuotantokoesuunnitelma, joka sisälsi laboratorio-olosuhteissa lupaavia tuloksia antaneita LifeLine -laattaan soveltuvia raaka-ainepolymeerejä. Niiden pohjalta suunniteltiin kaksi uutta reseptiä tuotantokoeajoihin. Tuotantotestien jälkeen laboratoriossa suoritettiin jatkotutkimus toisen koereseptin kehittämiseksi, tarkoituksena vähentää sen koeajossa havaittuja prosessointiongelmia.

Kaikille tutkimuksessa valmistetuille näytteille suoritettiin tarvittava määrä pääosin standardoituja testejä, joilla tutkittiin tuotteen tärkeimpiä teknisiä ominaisuuksia. Laboratoriossa testireseptien mukaan valmistetuista muoviseoksista arvioitiin ensimmäisenä niiden prosessoitavuus sekoitusvalssilla. Valssatuista ja puristetuista näytteistä mitattiin sulaindeksi sekä lämpölaajenema ja sen aiheuttama voima. Tuotantolinjalla valmistetuille näytelaatoille suoritettiin lisäksi kaksi testiä: lämmön vaikutus mittastabiilisuuteen ja jäännöspainuma, jotka soveltuvat valmiille monikerroksisen rakenteen omaaville lattianpäällysteille.

Tuotantotestissä toinen koeajoreseptin mukainen muovimassa ja siitä valmistettu lattianpäällystetuote todettiin tuotannollisesti ja teknisiltä ominaisuuksiltaan toimivaksi pieniä prosessoitavuusongelmia lukuunottamatta. Reseptin sisältämät raaka-ainepolymeerit olivat peräisin uusilta valmistajilta, joten tavoite vaihtoehdoisen toimittajan löytymisestä täyttyi. Tätä raaka-ainereseptiä on tarkoitus jatkotestata ja -kehittää sekä pyrkiä löytämään sille optimaaliset prosessiparametrit. Jatkokehityksen tuottaessa hyviä tuloksia, on mahdollista, että reseptiä tullaan käyttämään vaihtoehtona nykyisen rinnalla LifeLine-laatassa, mikä oli yksi työn tavoitteista. Kolmas tavoite oli vähentää LifeLine-laatan raaka-aineena käytettävän ionomeerin määrää. Tätä tavoitetta ei saavutettu, mikä johtunee ionomeeri-polymeerin erikois-

ominaisuuksista, joita ovat sulatilan hyvät lujuusominaisuudet ja erinomaiset adheesio-ominaisuudet. Näin ollen vastaavien ominaisuuksien omaavan polymeerilaadun löytäminen osoittautui vaikeaksi.

Jatkokehitysehdotuksia

vain tilaajan kappaleessa

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

1. Andersen, Petri – Jaakkola, Risto – Järvelä, Pentti. Polypropeenikalvon ja -levyn kalanterointi ja ekstruusio. Raportti 07/01. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Materiaaliopin laitos. Muovitekniikka. Tampere 2001.
2. Baker, Anne-Marie – Mead, Joey. Thermoplastics. Teoksessa Harper, Charles (toim.) Handbook of Plastics, Elastomers and Composites. The McGraw-Hill Companies Inc. USA 2002. 884 s.
3. Coran, Aubert. Elastomers. Teoksessa Harper, Charles (toim.) Handbook of Plastics Technologies. The McGraw-Hill Companies Inc. USA 2006.
4. Mustonen, Jenni – Järvelä, Pentti – Karttunen, Mikko. Styreeniset termoplastiset elastomeerit. Raportti 15/99. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Materiaaliopin laitos. Muovitekniikka. Tampere 1999.
5. Mustonen, Jenni – Järvelä, Pentti – Karttunen, Mikko. Termoplastiset elastomeerit. Raportti 14/99. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Materiaaliopin laitos. Muovitekniikka. Tampere 1999.
6. Mäkeläinen, Pentti. RIL 127. Muovit rakentamisessa. RIL ry. Helsinki 1985. 350 s.
7. Seppälä, Jukka. Polymeeriteknologian perusteet. 5. tarkastettu ja korjattu painos. Otatieto. Helsinki 2005. 346 s.
8. Stevens, E. S. Green plastics: an introduction to the new science of biodegradable plastics. Princeton University Press. New Jersey 2002. 238 s.
9. Strong, Brent. Plastics: materials and processing. Pearson Prentice Hall. USA 2006. 917 s.
10. Tammela, Viljo. Polymeeritiede ja muovitekniologia. Osa III. Otatieto. Helsinki 1989. 431 s.
11. Vesanto, Heli – Järvelä, Pentti - Tervala, Outi. Polymeerien rakenne ja ominaisuudet: prosessoinnin vaikutus ominaisuuksiin. Raportti 4/2000. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Materiaaliopin laitos. Muovitekniikka. Tampere 2000.

Painamattomat lähteet

12. Löytönen, Samuli (DI), tuotekehityspäällikkö. Keskustelut 2007 – 2008. Upofloor Oy. Nokia

Sähköiset lähteet

13. LifeLine™. [www-sivu]. [viitattu 15.1.2008] Saatavissa: <http://www.lifelinefloors.com/fi>
14. Schilling-Knobel GmbH. [www-sivu]. [viitattu 2.3.2008] Saatavissa: <http://www.schilling-knobel.de/parse.php?b=2&p=0&s=0&l=1>
15. The Resilient Floor Covering Institute (RFCI). [www-sivu]. [viitattu 26.2.2008] Saatavissa: http://www.rfci.com/int_AboutResFloor.htm
16. The University of Southern Mississippi. Department of Polymer Science. [www-sivu]. [viitattu 11.2.2008] Saatavissa: <http://www.pslc.ws/mactest/maindir.htm>
17. TPS TechnoPartner Samtronic GmbH. [www-sivu]. [viitattu 2.3.2008] Saatavissa: http://www.tps-technopartner.de/english/index.php?Double_belt_presses:Heterogeneous_floorings
18. Upofloor Oy. [www-sivu]. [viitattu 9.1.2008] Saatavissa: <http://www.upofloor.fi>

LIITTEET

liitteet vain tilaajan kappaleessa