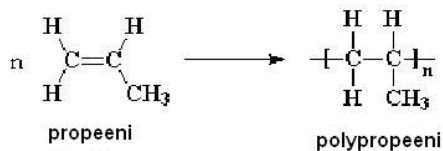


Polypropeeni (PP)

Technical University of Gabrovo – Milena Koleva

Käännös: Sanna Nykänen – Tampereen teknillinen yliopisto

Polypropeeni on kestopuovi, joka muodostuu propeenimonomeereistä (kuva 1.). Sen moolimassa vaihtelee 80 000 – 200 000 g/mol välillä.



Kuva 1: Propeenin reaktio polypropeeniksi.

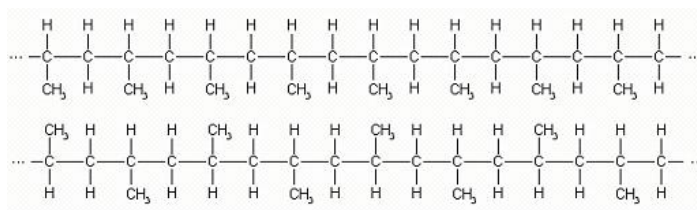
Valmistus

Polypropeenia valmistetaan stereospesifisellä polymeraatiolla, matalassa paineessa, käyttäen Ziegler- Natta – katalyyttiä. Katalyytin valinnalla voidaan vaikuttaa onko syntyvä polypropeeni isotaktista, syndiotaktista, ataktista vai näiden yhdistelmää. Useimmat kaupalliset polypropeenilaadut on valmistettu käyttäen titaanikloridikaatalyyttiä, jolloin muodostuu pääasiassa isotaktista polypropeenia. Metyyliiryhmän sijaitessa ketjun toisella puolella, molekyyleillä on taipumus kiertyä kierremäiseen muotoon. Nämä kierteet muodostavat rivin toinen toistensa viereen synnyttääkseen kiteitä, joista kaupallisen polypropeenin lujuus johtuu. Metalloseenikatalyytit tarjoavat paremman mahdollisuuden säädellä polypropeenin konfiguraatiota. Niissä orgaaniset ryhmät kontrolloivat lisättyjä monomeerejä. Tämän kvalitatiivisen säätelyn johdosta syntyy myös parempi kvantitatiivinen säätely, jolloin saadaan aikaisempi suurempi määrä haluttua taktisuutta kuin Ziegler- Natta- katalyyteillä. Metalloseenikatalyyteillä saadaan myös korkeamoolimassaisempaa polypropeenia kuin tavallisilla katalyyteillä ja näin polypropeenia, jolla on paremmat ominaisuudet.

Myös kumimaista polypropeenia voidaan valmistaa erityisellä valmistusmenetelmällä. Sen valmistuksessa käytetään katalyyttiä, joka tuottaa isotaktista polypropeenia. Muodostuneella polypropeenilla on kuitenkin heikoilla sidoksilla kiinnittyviä orgaanisia ryhmiä, jotka vaikuttavat sen taktisuuteen. Kun katalyytti on muodostanut lyhyen ketjun polymeeriä, joka pystyy kiteytymään, kohdistetaan siihen sopivan taajuista valoa, joka katkaisee muodostuneet heikot sidokset. Se myös poistaa katalyytin selektiivisyyden, joten tämän jälkeen muodostuvasta ketjusta tulee ataktista. Näin saadaan usein amorfista materiaalia, jossa on joukossa pieniä kiteitä. Koska jokaisen ketjun toinen pää on muodostunut kiteistä ja loppuosa on pehmeää ja amorfista materiaalia, toimivat kiteet samalla tavalla kuin kumin vulkanisaatio. Toisin kuin normaalia kumia, kumimaista PP:tä voidaan sulattaa ja kiteyttää uudelleen, jolloin se siis on termoplastinen elastomeeri.

Rakenne

Polypropeenilla voi olla isotaktinen rakenne (metyyliryhmät sijaitsevat vain ketjun toisella puolella), syndiotaktinen rakenne (metyyliryhmät sijaitsevat vuorotellen ketjun eri puolilla) tai ataktinen rakenne (metyyliryhmät sijaitsevat epäjärjestyksessä ketjun molemmiin puolin). Kuvassa 2. on esitetty isotaktisen ja syndiotaktisen polypropeenin rakenteet. Stereoblokkipolymeerillä on sekä isotaktisia että taktisia segmenttejä. Kaupallinen polypropeeni on useimmiten sekoitus eri konformaattorakenteita omaavia molekyyliketjuja, joiden keskinäisen suhde määräytyy polymeraatioprosessissa. Isotaktinen polypropeeni, jossa on minimimäärä (5 – 20 %) ataktista rakennetta, on paras polypropeenin muoto käytännön sovelluksiin. Prosessoinnin aikana (+ 75 – 80 °C) isotaktinen polypropeeni kiteytyy, joka lisää sen hyvien ominaisuuksien määrää.



Kuva 2: Isotaktisen (yllä) ja syndiotaktisen (alla) polypropeenin rakenteet.

Fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet

Polypropeenin kiteisyysaste on pientiheyspolyeteenin (LDPE) ja korkeatiheyspolyeteenin (HDPE) kiteisyysasteiden välistä. Polypropeeni ei ole niin sitkeä materiaali kuin HDPE eikä niin joustava kuin LDPE ja on huomattavasti hauraampi kuin HDPE. Sen vetokäyttäytyminen on enemmän riippuvainen kuormituksen nopeudesta ja lämpötilasta kuin polyeteenin. Mitä hitaampi vetonopeus on, sitä paremmat sen mekaanisten ominaisuuksien arvot ovat. Sen kimmokertoimen arvo on LDPE:n ja HDPE:n kimmokertoimien välistä.

Polypropeeni on kestävä, usein muita muoveja jäykempi materiaali. Sillä on hyvä väsymiskestävyys. Taulukossa 1. on esitetty polypropeenin fysikaalisia ominaisuuksia.

Taulukko 1. Polypropeenin fysikaalisia ominaisuuksia.

Ominaisuus	PP
Tiheys (g/cm ³)	0,9 -1,24
Veden absorptio (%)	0,01 - 0,1
Kosteuden imeytyminen (%)	0,1
Jännityssäroilyn kesto (h)	1000
Sulavirta (g/10min)	0,5 - 136
Lineaarinen muottikutistuma (cm/cm)	> 0,006

Polypropeenin fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet ovat jossain määrin polyeteenin vastaavia parempia. Polypropeenin mekaanisia ominaisuuksia on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Polypropeenin mekaanisia ominaisuuksia.

Ominaisuus	PP
Kovuus, Rockwell M	70 -113
Kovuus, Rockwell R	104 – 120
Vetomurtolujuus (MPa)	17,9 – 70
Vetolujuus (MPa)	25 – 69
Murtovenymä (%)	1 – 45
Myötövenymä (%)	1,5 – 2,2
Vetokerroin (GPa)	1,79 – 3,38
Taivutuskerroin (GPa)	2 – 3,3
Taivutuslujuus (MPa)	54 – 103,1
Puristuslujuus (MPa)	90
Iskulujuus, Izod (lovettu) (J/cm)	0,107 – 1,27
Iskulujuus, Charpy (loveamaton) (J/cm)	0,8 – 2,8
Virumiskerroin (1h) (MPa)	2300 – 3000
Virumiskerroin (1000h) (MPa)	2200 - 2600

Termiset ominaisuudet

Polypropeenilla on polyeteeniä korkeampi sulamis- ja hajoamispiste. Sillä on myös parempi lämmönkestävyys kuin polyeteenillä, jolloin sen käyttölämpötila-alue on myös laajempi, jopa + 110 °C – 130 °C lämpötiloihin asti. Sen kylmänkestävyys on kuitenkin polyeteeniä huonompi. Polypropeenista valmistetut tuotteet kestävät lämpökäsittelyä kiehumispisteen yläpuolella ja niitä voidaankin steriloida. Polypropeenin haurastumislämpötila (ja näin ollen sen kylmänkestävyys) on – 5 ÷ - 15 °C. Polypropeenin pääasialliset termiset ominaisuudet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Polypropeenin termisiä ominaisuuksia.

Ominaisuus	PP
Lineaarinen lämpölaajenemiskerroin (+20 °C) ($\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$)	25 -185
Lämpökapasiteetti (J/g°C)	2
Lämmönjohtavuus (°C)	0,1 – 0,13
Ylin käyttölämpötila (°C)	44 – 148
Sulamispiste (°C)	130 – 168
Taipumislämpötila (0,46MPa) (°C)	13 – 238
Taipumislämpötila (1,8 MPa) (°C)	37 – 148
Vicat pehmenemispiste (°C)	35 – 148
Lasittumislämpötila (°C)	100 – 105
Happi-indeksi (%)	18

Sähköiset ominaisuudet

Taulukossa 4. on esitetty polypropeenin sähköisiä ominaisuuksia.

Taulukko 4. Polypropeenin sähköisiä ominaisuuksia.

Ominaisuus	PP
Resistiivisyys (Ωcm)	1014 – 1017
Pintaresistanssi (Ω)	1010 - 1014
Dielektrinen vakio	2,2 - 2,3
Dielektrinen vakio, matala taajuus	2,3
Läpilyöntikestävyys (kV/mm)	22 -140
Häviökerroin	0,0002 – 0,002
Häviökerroin, matala taajuus	0,0007 – 0,00081

Kemiallinen kestävyys

Polypropeenilla on hyvä kemiallinen kestävyys. Hapettimilla, kuten klooririkkihapolla, väkevöidyllä typpihapolla ja rikkihapolla, on kuitenkin vaikutusta siihen. Jatkuva altistuminen hapettimille yli + 60 °C lämpötilassa aiheuttaa polypropeenin hajoamisen. Huoneenlämpötilassa polypropeeni turpoaa hieman orgaanisten liuottimien vaikutuksesta. Yli + 100 °C lämpötilassa se liukenee aromaattisiin hiilivetyihin (bentseeni, tolueni). Polypropeenilla on pieni veden absorptio.

Polypropeenin ketjussa olevien tertiääristen hiilien vuoksi, se on herkkä hapelle, etenkin korotetuissa lämpötiloissa. Sillä on myös polyeteenejä voimakkaampi vanhenemistaipumus. Vanheneminen alkaa hyvin nopeasti ja vaikuttaa äkkiä huonontavasti sen mekaanisiin ominaisuuksiin. Tämän takia polypropeenissa on käytettävä stabilaattoreita.

Polyeteeniin verrattuna polypropeenin jännityssäröily ympäristön vaikutuksesta on pienempää.

Prosessointi

Polypropeenaa prosessoidaan pääasiassa ruiskuvalulla, ekstruusiolla, puhallusmuovauksella, lämpömuovauksella, tyhjiövalulla ja rotaatiovalulla. Sitä voidaan porata, hitsata ja sorvata. Sitä voidaan myös käyttää täytettynä tai komposiittimateriaalina. Lasikuitulujitetulla polypropeenilla on parantunut mittapysyvyys, vääntyilykestävyys, jäykkyys ja lujuus. Lasikuitulujitettu polypropeeni, jossa on käytetty kemiallista kytkeäainetta, omaa huomattavasti parantuneet veto- ja taivutuslujuudet verrattuna lasikuitulujitettuun polypropeeniin ilman kytkeäainetta. Yleisesti kemiallista kytkeäainetta sisältävällä polypropeenilla on parantuneet lujuusominaisuudet ilman, että moduuli, lämmönkesto, sähköiset ominaisuudet tai kovuus muuttuvat. Talkilla täytetyllä polypropeenilla on parantunut jäykkyys, kovuus ja lämmönkestävyys verrattuna täyttämättömään polypropeeniin.

Ruiskuvalu. Taulukossa 5. on esitetty polypropeenin tärkeimmät ruiskuvaluparametrit.

Taulukko 5. Polypropeenin ruiskuvaluparametreja.

Ominaisuus	PP
Prosessointilämpötila (°C)	202 – 252
Takasynterilämpötila (°C)	220
Keskisynterilämpötila (°C)	220
Etusynterilämpötila (°C)	220
Suuttimen lämpötila (°C)	220
Muottilämpötila (°C)	35 – 49
Kuivauslämpötila (°C)	82

Suosittelun päästökulman minimiarvo on 0,7°. Jos käytetään tätä pienempää päästökulmaa, on käytettävä laajoja ulostyöntöpintoja. Kaasunpoistokanavien syvyyden on oltava matala, polypropeenityypistä riippuen 0,01 – 0,02 mm.

Käyttökohteet

Matalamman tiheyden polypropeenä käytetään esim. lääketieteen tarvikkeissa, elintarvikepakkauksissa, kosmetiikka- ja lääketarvikkeissa, kotitaloustuotteissa ja leluissa. Se soveltuu hyvin edellä mainittuihin kohteisiin, koska sillä on hyvät lujuusominaisuudet, se on fysiologisesti vaaraton ja sterilisoitavissa.

Muoviset ämpärit, auton akut, roskakorit ja lautaset ovat esim. hyvin usein valmistettu joko polypropeenista tai HDPE:stä. Polypropeenä käytetään myös putkissa, kemian ja sähköteollisuuden tarvikkeissa, kuiduissa ja kokoonpanoissa. Polypropeenä voidaan myös metallisoida.

Kauppanimiä

- Hostalen PP (Basell, NL)
- Marlex (Chevron Phillips Chemicals, USA)
- Moplen (Basell, NL)
- Ultralen (Lonza-Werke, DE)

Lähteet

1. Harper, Charles A., Edward M. Petrie. *Plastics Materials and Processes*, John Wiley & Sons, 2003.
2. Stevens, M.P. *Polymer Chemistry: An Introduction*. Oxford University Press, 1998
3. White, J. L., D. D. Ghoi. *Polyolefins: Processing, Structure Development and Properties*, Hanser Gardner Publications, 2004.
4. Chabot, J. F., *The Development of Plastics Processing Machinery and Methods*, John Wiley & Sons, 1992.
5. Järvelä P. et al., *Ruiskuvalu*, Plastdata 2000.