

# Polymetyylimetakrylaatti (PMMA)

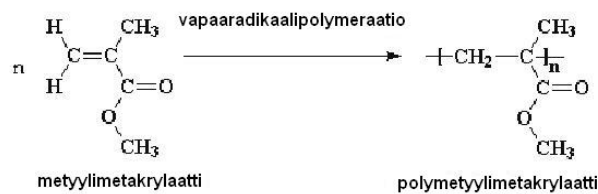
Technical University of Gabrovo – Milena Koleva

Kääntänyt: Sanna Nykänen – Tampereen teknillinen yliopisto

Polymetakrylaatit ovat metakrylaattihappojen estereitä. Yleisin näistä on polymetyylimetakrylaatti (PMMA). Polymetyylimetakrylaatti on metyylimetakrylaattimonomeereistä muodostuva polymeeri, jonka kemiallinen kaava on  $(C_5H_8O_2)_n$ . Se on kirkasta ja väritöntä polymeeriä. Sitä kutsutaan myös akryyliksi.

## Valmistus

Polymetyylimetakrylaattia valmistetaan vapaaradikaalipolymeraatiolla metyylimetakrylaattista massa- tai suspensiopolymeraatiolla kuvan 1. reaktion mukaisesti.



Kuva 1: Polymetyylimetakrylaatin polymeraatioreaktio

## Fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet

PMMA on lineaarinen kestämuovi. PMMA:n tärkeimmät fysikaaliset ominaisuudet on esitetty taulukossa 1.

PMMA:lla on hyvä mekaaninen kestävyys, korkea kimmokerroin ja pieni murtovenymä. Se on yksi kovimmista kestämuoveista ja sillä on erinomainen naarmuuntumisenkestävyys. Sillä on pieni veden absorptio ja kosteuden imeytyminen, joten siitä valmistetuilla tuotteilla on hyvä mittapysyvyys. Molemmat edellä mainituista ominaisuuksista paranevat lämpötilan noustessa. Taulukossa 2. on esitetty PMMA:n mekaanisia ominaisuuksia.

Taulukko 1. PMMA:n fysikaalisia ominaisuuksia.

Ominaisuus	PMMA
Tiheys (g/cm <sup>3</sup> )	1,15 – 1,19
Veden absorptio (%)	0,3 – 2
Kosteuden imeytyminen (%)	0,3 – 0,33
Lineaarinen muottikutistuma (cm/cm)	0,003 – 0,0065
Sulavirta (g/10min)	0,9 – 27

Ruiskuvalettaessa PMMA:ta sen lujuusominaisuudet eroavat huomattavasti pitkittäisessä ja poikittaisessa suunnassa orientaatioilmiön vuoksi. Kuten muillakin kestonuoveilla, PMMA:n mekaaniset ominaisuudet vaihtelevat lämpötilan vaihdella. PMMA:lla on taipumus virumiseen. Se ei ole sopiva materiaali käytettäväksi sovelluksissa, jotka joutuvat dynaamiseen kuormitukseen.

PMMA on yksi parhaiten suoraa auringonvaloa kestävästä muoveista. Sen lujuusominaisuudet muuttuvat vain vähän UV-säteilyn ja otsonin vaikutuksesta. Tämän vuoksi PMMA on erittäin soveltuva materiaali käytettäväksi tuotteissa, jotka joutuvat olemaan ulkoilmassa pitkään.

Taulukko 2. PMMA:n mekaanisia ominaisuuksia.

Ominaisuus	PMMA
Kovuus, Rockwell M	63 - 97
Kovuus, Rockwell R	104 - 120
Vetomurtolujuus (MPa)	47 - 79
Vetolujuus (MPa)	55 - 85
Murtovenymä (%)	1 - 30
Myötövenymä (%)	4 - 5
Vetokerroin (GPa)	2,2 - 3,8
Taivutuskerroin (GPa)	3 - 3,5
Taivutuslujuus (MPa)	81 - 138
Puristuslujuus (MPa)	100 - 117
Leikkausmoduuli (GPa)	1,4
Poissonin luku	0,33
Iskulujuus, Izod, lovettu (J/cm)	0,12 - 0,2
Iskulujuus, Izod, loveamaton (J/cm)	1,1
Virumiskerroin (1h), (MPa)	1800 - 2700
Virumiskerroin (1000h), (MPa)	1200 - 1800

### Sähköiset ominaisuudet

PMMA on sopiva materiaali sähkötekniikan sovelluksiin, koska sillä on alhainen veden absorptio. Sen dielektriset ominaisuudet ovat erittäin hyvät, mutteivät pärjää esim. polystyreenin ja matalatiheyspolyeteenin vastaaville. Dielektrinen vakio ja hukkakerroin ovat riippuvaisia lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta ja taajuudesta. Taulukossa 3. on esitetty PMMA:n sähköisiä ominaisuuksia.

Taulukko 3. PMMA:n sähköisiä ominaisuuksia

Ominaisuus	PMMA
Resistiivisyys ( $\Omega\text{cm}$ )	1014 - 1015
Pintaresistanssi ( $\Omega$ )	1014 - 1016
Hukkakerroin, 20°C, 100Hz, 60% RH	0,04
Dielektrinen vakio	2,8 – 4
Dielektrinen vakio, matala taajuus	3 - 4
Läpilyöntikestävyys (kV/mm)	17,7 – 60
Häviökerroin	0,03 – 0,55

### Termiset ominaisuudet

Normaali PMMA kestää vain + 65 °C lämpötiloja. Lämpöstabiloitunut lajikkeet voivat kestää + 100 °C lämpötiloja. PMMA kestää kylmää jopa -70 °C lämpötilaan saakka. Sen lämpötilan vaihtelukestävyys on erittäin hyvä. Taulukossa 4. on esitetty PMMA:n termisiä ominaisuuksia.

PMMA on palava materiaali, joka jatkaa palamista vaikka liekki on poistettu. Palamisessa vapautuvat tuotteet ovat haitallisia.

Taulukko 4. PMMA:n termisiä ominaisuuksia.

Ominaisuus	PMMA
Lineaarinen lämpölaajenemiskerroin (+ 20 °C) ( $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ )	60 -130
Vastakkaissuuntainen lämpölaajenemiskerroin (+ 20 °C) ( $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ )	70 -90
Ominaislämpökapasiteetti (J/g°C)	1,46 – 1,47
Lämmönjohtavuus (W/mK)	0,19 – 0,24
Ylin käyttölämpötila (°C)	41 - 103
Sulamispiste (°C)	130
Taipumislämpötila, (0,46MPa) (°C)	80 -103
Taipumislämpötila, (1,8 MPa) (°C)	41 -100
Vicat pehmenemislämpötila (°C)	47 - 117
Lasittumislämpötila (°C)	100 - 105
Happi – indeksi (%)	18

## Optiset ominaisuudet

PMMA:lla on erittäin hyvät optiset ominaisuudet; se läpäisee valoa enemmän kuin lasi (jopa 93 % näkyvää valoa). Sitä voidaan käyttää esim. piilolinseissä, sillä hyvän läpäisevyytensä lisäksi se on ihmiskudoksen kanssa yhteensopiva. Toisinkuin lasi, PMMA ei suodata UV-valoa. Se transmittoi UV-valoa 300 nm asti ja infrapunasäteilyä 2800 nm. Taulukossa 5. on esitetty PMMA:n optisia ominaisuuksia.

Taulukko 5. PMMA:n optiset ominaisuudet.

Ominaisuus	PMMA
Sameus (%)	1 -96
Läpäisevyys, näkyvä (%)	80 – 93
Taitekerroin	1,49 – 1,498

## Kemiallinen kestävyys

Akryylit kestävät useimpia kemikaaliliuoksia, kuten pesuaineita, puhdistimia, laimennettuja epäorgaanisia happoja, alkaaleita ja alifaattisia hiilivetyjä. Ne kestävät heikosti kloorattuja ja aromaattisia hiilivetyjä, estereitä ja ketoneita. Ne liukenevat täydellisesti kloroformiin ja di- ja trikloorieteeniin. Niiden kemiallinen kestävyys vaihtelee riippuen altistusajasta, jännitystasosta, lämpötilasta ja reagen-teista.

PMMA on fysiologisesti harmiton materiaali. Koska sen kosteudenabsorptio on vähäistä, siihen eivät vaikuta entsyymit tai homeet.

## Prosessointi

PMMA:ta voidaan prosessoida mm. ruiskuvalamalla, ekstruusiolla, ekstruusiopuhallumuovauksella (vain iskumodifioidut akryylit), lämpömuovauksella sekä valamalla. Eri prosessointimenetelmissä käytetään eri sulavirtaindeksin omaavia materiaaleja:

- matalan sulavirtaindeksin omaavat (0,8 – 2,5): ekstruusio
- keskimääräisen sulavirtaindeksin omaavat (2,5 -10): normaali PMMA
- korkean sulavirtaindeksin omaavat (> 10): monimutkaiset ruiskuvalukappaleet

Ekstruusiossa käytettävät lämpötilat ovat välillä + 180 – 250 °C. Suhteellisen suuren moolimassan omaavia laatuja käytetään kalvojen ja profiilien ekstruusiossa. Liian korkeiden lämpötilojen käyttö aiheuttaa PMMA:n hajoamisen, jolloin vapautuu metyylietakrylaattia tai muita matalamoolimassaisia hajoamistuotteita. PMMA:n termofysikaalisten ominaisuuksien tunteminen onkin tärkeää sitä prosessoitaessa etenkin korkeimmissa lämpötiloissa (220 - 250 °C).

PMMA:ta on helppo sahata, porata, jyrsiä, kaivertaa ja viimeistellä teräväkärkisillä työkaluilla. Leikattuja pintoja on helppo kiillottaa ja hioa. PMMA- kappaleet ovat helposti lämpömuovattavissa matalissa lämpötiloissa ja liuosliimauksella saadaan aikaan kestävä ja näkymätön sauma. PMMA:ta voidaan myös hitsata esim. ultraäänellä, kuumakaasu- ja kuumalevyhitsauksella.

**Ruiskuvalu.** Muottilämpötilan on oltava + 40 – 80 °C ja massalämpötilan + 200 – 250 °C riippuen PMMA-lajikkeesta. Usein tarvitaan suuret ruiskutusaineet, johtuen materiaalin heikosta virtaavuudesta. Tämä on erityisen tärkeää optisten tuotteiden ruiskuvalussa, sillä näkyviä yhtymäsaumoja voi muodostua, jos oikeanlaisia ruiskuvaluparametrejä ei käytetä. Ruiskuvalussa syntyy usein sisäisiä jännityksiä, joita voidaan poistaa lämmittämällä kappaleita + 80 °C lämpötilassa (tempererointi).

PMMA-tuotteita ruiskuvaltaessa on kiinnitettävä huomiota muotin suuttimeen. Suuttimen portin koko on riippuvainen valmistettavan kappaleen koosta ja muodosta. PMMA:sta valmistetut kappaleet ovat pääasiassa läpinäkyviä sekä kirkkaita ja onkin tärkeää, ettei niissä ole naarmuja. Tämän vuoksi on suositeltavaa käyttää vähintään 1° päästökulmaa, mieluummin 2°. Koska PMMA on melko korkeaviskootista materiaalia, on muotissa oltava suhteellisen syvät kaasunpoistokanavat, 0,04 – 0,08 mm.

### Käyttökohteet

PMMA on edullinen ja monikäyttöinen materiaali. Sitä on saatavilla mm. ekstrudoituna ja valettuna levynä ja putkena. PMMA:n eri käyttökohteita ovat mm.

- **Optiikka:** hifitarvikkeiden pölysuojukset, aurinkolasit, kellotaulut, linssit, suurennuslasit
- **Ajoneuvot:** ajovalot, mittareiden linssit, varoituskolmiot
- **Sähköteollisuus:** lamppujen suojat, kytkinten osat, valintalevyt, säätönapulat
- **Konttoritarvikkeet:** kirjoitus- ja piirtovälineet, kynät
- **Lääketiede:** pilleripakkaukset, kapselit, peräpuikot, virtsa-astiat, sterilisoitavat välineet
- **Muuta:** mainoslehtien jakelutelineet, rikkoutumisen estävät pinnoitteet, suihkukopit, läpinäkyvät putkilinjat, lelut

### Kauppanimiä

- Lucite®L (Lucite International, Inc, USA)
- Plexiglas® (Altuglas International)
- Acrylite® GP (Piedmont Plastics, CYRO Industries, USA)

### Lähteet

1. Harper, Charles A., Handbook of Plastic Processes, John Wiley & Sons, 2005
2. Harper, Charles A., Edward M. Petrie. Plastics Materials and Processes John Wiley & Sons, 2003
3. Stevens, Malcolm P. Polymer Chemistry: An Introduction. Oxford University Press, USA, 1998
4. Van Krevelen, D.W. Properties of polymers, ELSEVIER, 2003
5. Crawford, R. J. Plastics engineering. Butterworth Heinemann, 1998
6. Järvelä P. et al., Ruiskuvalu, Plastdata, 2000.