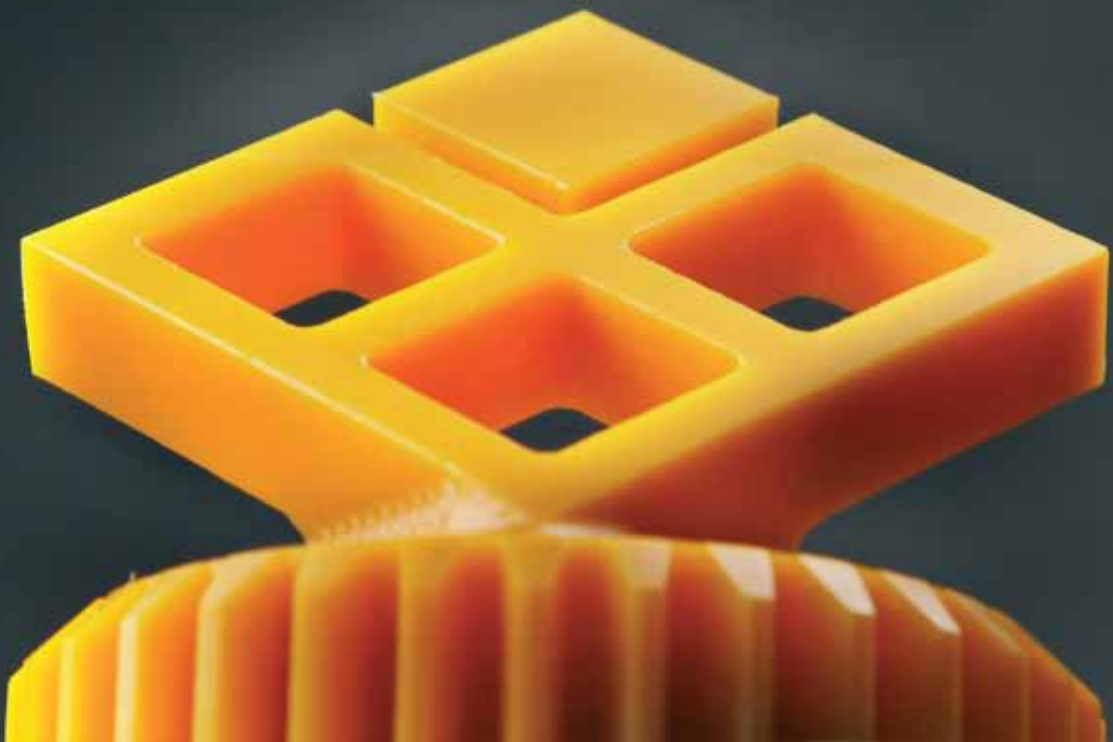


# **PA** Tekniset tiedot



# PA Tekniset tiedot

PA - polyamidi - amidimuovi - kehitettiin alun perin kuiduksi. Materiaalin tuotanto alkoi toisen maailmansodan aikaan. Sodan jälkeen huomattiin PA:n käyttömahdollisuudet myös teknisinä tuotteina ja 50-luvulla tulivat markkinoille puolivalmisteet. Materiaalia kehitettiin USA:ssa ja Saksassa, DuPontin tuotemerkistä "Nylon" tuli pian PA:n synonyymi.

PA valmistetaan polymerisaatiolla, jossa yksi tai kaksi perusaineen monomeeriä yhdistetään ketjumaiseksi molekyyliksi. Kaikkien polyamidilaatujen molekyyliketjussa on tunnusomainen amidi-ryhmä. PA:n perässä oleva luku kertoo hiiliatomien määrän molekyylirakenteessa. PA6:ssa, PA11:ssä sekä PA12:ssa on siis 6, 11 tai 12 hiiliatomeja. Vastaavasti PA66:ssa hiiliatomeja on 6+6.

Kaikki yllämainitut laadut ovat osittain kiteisiä kestumuoveja, niiden luonnollinen väri on joko opaalinvalkoinen tai kellertävä. Materiaalista on myös amorfisia laatuja, jotka ovat kaikki väriltään läpinäkyviä. Näiden laatuojen rakenteessa on bentseenirengas. PA-laaduissa käytetään myös monia eri seosaineita, jolloin materiaalin käyttöala laajenee. Puolivalmisteita on saatavilla pehmitettyinä sekä stabiloituna (lämpö, kosteus) ja mahdollisia seosaineita ovat esim. lasi, hiili, MoS<sub>2</sub>, öljy, polyeteeni ja erilaiset kiinteät voiteluaineet. Erilaisilla seosaineilla ja niiden yhdistelmillä parannetaan mm. liukuominaisuuksia ja iskunkestävyyttä.

## Käyttöala

PA on yksi monipuolisimmin käytetyistä muovimateriaaleista, sitä käytetään lähes kaikilla teollisuudenaloilla. Koneteollisuudessa PA:a käytetään laakereina, hammaspyörinä, kytkiminä ym. koneenosina, joissa vaaditaan hyvää kulutuskestävyyttä ja yleisesti hyviä mekaanisia ominaisuuksia. PA:n etuna on myös hyvä äänenvaimennuskyky. PA:sta tehty suuret koneenosat ovat suhteellisen kevyitä. Amorfisia PA-laatuja käytetään myös vedenkorkeus- ja virtausmittareissa ym. kohteissa, joissa muiden kirkkaiden materiaalien kemiallinen kestävyys ei ole riittävä.

## Ominaispiirteitä

- hyvä mekaaninen lujuus ja kemiallinen kestävyys
- kulutuskestävyys hyvä myös karkealla vastinpinnalla
- hyvä väsymislujuus - vaimentaa tärinää
- kestää useimpia hiilivetyjä (liuottimia) sekä emäksiä

materiaalia seostamalla ja lujittamalla voidaan:

- parantaa lujuutta ja jäykkyyttä
- parantaa lämmönkestävyyttä
- pienentää kitakerrointa

Huomattavaa

- veden imeytyminen jopa 10%
- UV-säteily vahingoittaa stabiloimatonta materiaalia
- PA ei kestä useimpia happoja

## Mekaaniset ominaisuudet

Seuraavassa käsittelemme ainoastaan osittain kiteisiä PA laatuja. PA:n veto- ja puristuslujuus ei ole kovin hyvä, myöskään lämmönkestävyys ei ole muovilaaduista parhaimpia. Huomattavaa on myös suuri veden imeytyminen, minkä vuoksi tarkkamittaiset osat on ensin kosteusvakioitava. Kosteus vaikuttaa myös materiaalin lujuusominaisuuksiin: vetolujuus pienenee, mutta vastaavasti iskusitkeys kasvaa. PA on erittäin sitkeä materiaali ja se soveltuu erinomaisesti kohteisiin, joissa materiaalista vaaditaan vaimennuskykyä. PA6:n ja PA66:n erityisominaisuuksia ovat erinomainen kulutuskestävyys, silloinkin kun vastinpinta on karkea. Kitakerroin on melko pieni, eikä voitelua tarvita. Raskaasti kuormitetuissa laakereissa voidaan käyttää myös itsevoiteluvia laatuja pienentämään kitkaa. Kitkalämpöä voidaan haluttaessa pienentää voitelulla.

## Lämpöominaisuudet

PA46:n lämmönkestävyys on PA laaduista paras, 150°C. PA6:n käyttölämpötila-alue on -40 - +80°C. Pitkäaikainen käyttö yli +80°C:ssa edellyttää materiaalin stabilointia. Kuitulujitettuja laatuja, joiden lämmönkestävyyttä on parannettu, voidaan käyttää jopa 200°C:een saakka. PA11 ja PA12 eivät yleensä kestä yli 90°C:n lämpötilaa. Lasittumislämpötilat ovat: PA11 / 190°C, PA6 / 223°C, PA66 / 265°C, PA46 / 295°C.

## Sähköiset ominaisuudet

Hyvien eristysominaisuuksiensa ansiosta PA soveltuu käytettäväksi erilaisina sähkökomponentteina. Huom! Kosteissa olosuhteissa eristyskyky heikkenee.

## Optiset ominaisuudet

Läpinäkyvien, amorfisten laatuojen valonläpäisykyky on n. 90%.

## Fysiologiset ominaisuudet

Puhdasta PA:a voidaan käyttää elintarvikkeiden pakkausmateriaalina sekä elintarviketeollisuuden koneenosina. PA täyttää BGA:n (Saksa) ja FDA:n (USA) vaatimukset.

## Kemiallinen kestävyys

PA:n kemiallinen kestävyys on hyvä, lukuun ottamatta useimpia happoja ja vahvoja emäksiä. PA kestää öljyjä, bensiiniä, rasvoja sekä liuotainaineita, kuten alkoholia ja ketoneita. Se kestää myös estereitä, eetteriä sekä kloorattuja hiilivetyjä. Muurahaishappo liuottaa PA6:ta sekä PA66:ta, fenoli PA11:tä.

Jännityskorroosio ei ole yleistä, mutta sinkkikloridiliuos on yksi jännityskorroosion aiheuttaja. Korkeissa lämpötiloissa myös ilman happi vahingoittaa materiaalia, mutta lämmönkestävyyttä voidaan parantaa stabilointiaineilla.

PA imee helposti vettä, ja veden imeytyminen on jopa 10%. Kosteissa olosuhteissa materiaalin ominaisuudet muuttuvat: tilavuus muuttuu, jäykkyys huononee ja materiaalista tulee sitkeämpi.

### Sään- ja UV-säteilyn kestävyys

UV-säteily vahingoittaa ohutta materiaalia.

### Palaminen

PA ei syty helposti ja se on itsesammuva. Syttymispiste on 420°C. PA palaa keltaisella liekillä, jonka ydin on sininen. Savun haju muistuttaa palavaa hiusta. Lisäaineilla palonkestävyyttä voidaan entisestään parantaa.

### Lastuava työstö

PA:a voidaan työstää tavanomaisilla työkaluilla. Teräskulmista ja työstöarvoista saa tarkempia tietoja Vinkiltä. Jäähdytykseen voi tarvittaessa käyttää paineilmaa.

### Lämpömuovaus

Sekä lämpötaivutus että -muovaus on mahdollista, mutta näitä menetelmiä käytetään harvoin materiaalin hapettumisen takia. Parhaan tuloksen saa käyttämällä erityistä tyhjömuovaukseen kehitettyä laatua.

### Liitosmenetelmät

Mekaaniset ruuviliitokset ovat yleisimmin käytetty PA:n liitosmenetelmä. PA:n ja teräksen erilaiset lämpölaajenemiskertoimet tulee huomioida näiden materiaalien välisissä asennuksissa. Myös itsekierteittävät ruuvit sekä kierreholkat ovat hyviä PA:n liitosmenetelmiä.

### Liimaus

Kun liimasaumaan kohdistuu kuormitusta, on esikäsitteily ja liimaus tehtävä erityisen huolellisesti. Pinta esikäsitellään esim. puhdistamalla pinta huolellisesti rasvasta ja liasta tai hiomalla. PA/PA liitoksiin voidaan käyttää monomeeriä sisältävää liuotiniimaa. Kun PA:a liimataan teräkseen, useimmin käytetty liima on kaksikomponenttiepoksiliima. Parhaan liimaustuloksen aikaansaamiseksi suosittelemme olemaan yhteydessä liima-aine valmistajiin.

### Hitsaus

PA:a voidaan hitsata erikoismenetelmillä. Paras ja kestävin sauma saadaan kuumaelementti- ja kitkahitsauksella. Ultraääni- ja kuumakaasuhi- sauksella lopputulos ei ole yhtä luja.

### Pintakäsittely

PA:a voidaan metalloida, painaa sekä lakata. Pysyvän jäljen varmistamiseksi tarvitaan kemiallista tai sähköistä esikäsitteilyä.

### Puolivalmisteet

PA:a on saatavilla levyinä, tankoina ja ainesputkina. Materiaalia voidaan valmistaa valamalla ja suulakepuristamalla. Valettujen laatu- ominaisuudet ovat suulakepuristettuja laatuja paremmat, sillä valettujen laatu- jen molekyylirakenne on tasaisempi ja sisäisiä jännityksiä esiintyy vähemmän. PA puolivalmisteiden kokovalikoima on erittäin laaja, erityisesti PA6:lla. Tavallisin väri on luonnonvalkoinen (kellertävä), mutta valettua PA6:a on saatavana useita eri värejä.

### Eri PA laatu- jen kuvaus

#### Polyamidi PA

Polyamidien ryhmään kuuluu useita erilaisia laatuja, erilaisine käyttöaloi- neen ja erityisominaisuuksineen. Yleisesti PA on kulutusta kestävä mate- riaali, jota voidaan käyttää myös silloin, kun käyttöympäristössä on pölyä, hiekkaa ja muita epäpuhtauksia. Kulutuskestävyys on erinomainen myös karkealla vastinpinnalla.

#### PA6

Suulakepuristettu standardilaatu, jonka käyttöala on erittäin laaja. Mate- riaalilla on monia hyviä ominaisuuksia: lujuus, jäykkyys, sitkeys sekä ku- lutuskestävyys. Pintapaine on suuri ja materiaali vaimentaa hyvin iskua ja tärinää.

#### PA6G

Valmistetaan valamalla. Valmistusmenetelmällä saadaan erittäin tasais- ti kiteytynyt rakenne, joten pintapaine ja kulutuskestävyys ovat parempia kuin vakiolaaduilla. Materiaali on muita laatuja kovempi ja siten sen vai- mennuskyky on huonompi.

#### PA66

Lujuusominaisuuksiltaan PA 66 vastaa PA6G:tä, mutta materiaali ei kestä yhtä korkeita lämpötiloja. Veden imeytyminen on vähäisempää kuin pe- ruslaadulla.

#### PA6G, lämpökäsitelty

Vastaa PA6G:tä, mutta materiaali on lämpöstabiloitu. Saatavilla vain mus- tana.

#### PA6G, öljyseosteinen

Valettu laatu, johon on lisätty voiteluainetta. Materiaalin kitkakerroin on alhainen. Materiaalia käytetään usein kohteissa, joissa voiteluaineiden käyttö ei ole mahdollista.

#### PA66GF30

Lisätty 30% lasikuitua, jonka ansiosta kimmomoduuli on suuri. Materiaa- lin mittapitvyys ja vetolujuus on hyvä.

#### PA46

Molekyylirakenne on symmetrinen, ja siksi PA46 on erittäin kiteinen mate- riaali. Soveltuu käytettäväksi suuressa lämpökuormituksessa.



## PA Fysikaaliset ominaisuudet

PA -Fysikaaliset ominaisuudet	Menetelmä	YKS.	PA6	PA6 GC	SUSTA VACU	PA6 ESD60	PA66
Ominaispaino <sup>1)</sup>	DIN EN ISO 1183-1	g/cm <sup>3</sup>	1,14	1,14	1,22	1,27	1,15
Veden imeytyminen <sup>1)</sup>	DIN EN ISO 62	%	3,0	3,0	2,5	-	2,8
Palavuus	UL94 (3mm / 6mm)		HB / HB	HB / HB	HB / HB	-	HB / V2
Säänkesto							
<b>Mekaaniset ominaisuudet</b>							
Vetolujuus	DIN EN ISO 527	MPa	80	80	105	72	85
Murtovenymä	DIN EN ISO 527	%	>50	>40	3	8	50
Kimmomoduuli (veto)	DIN EN ISO 527	MPa	3200	3200	5400	3700	3300
Lovi-iskulujuus (Charpy)	DIN EN ISO 179	kJ/m <sup>2</sup>	>3,0	>3,0	12	5,0	>3,0
Kovuus, kuulapaine	DIN EN ISO 2039-1	MPa	170	175	200	198	180
Kovuus, Shore	DIN EN ISO 868	D	82	82	83	87	83
<b>Lämpöominaisuudet</b>							
Kidesulamislämpötila	ISO 11357-3	°C	220	220	220	222	260
Lämmönjohtavuus	DIN 52612-2	W/(m·K)	0,23	0,23	-	-	0,23
Ominaislämpökapasiteetti	DIN 52612	kJ/(kg·K)	1,70	1,70	-	-	1,70
Lin. lämpölaajenemiskerroin	DIN 53752	10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	90	80	70	-	80
Lämmönkesto, jatkuva		°C	85	95	140	-	95
Lämmönkesto, lyhytaikainen		°C	160	160	180	-	170
Kylmänkesto, jatkuva		°C	-40	-40	-20	-	-30
Muodonmuutoslämpötila	DIN EN ISO 75 (A)	°C	75	95	190	-	100
<b>Sähköiset ominaisuudet</b>							
Dielektrisyysvakio	IEC 60250		3,90	3,90	-	-	3,80
Eristehäviökerroin	IEC 60250		0,020	0,020	-	-	0,015
Ominaisvastus	IEC 60093	Ω · cm	10 <sup>15</sup>	10 <sup>15</sup>	-	<10 <sup>4</sup>	10 <sup>15</sup>
Pintavastus	IEC 60093	Ω	10 <sup>13</sup>	10 <sup>13</sup>	-	-	10 <sup>13</sup>
CTI-arvo	IEC 60112		600	600	-	-	600
Läpilyöntilujuus	IEC 60243	kV/mm	20	20	-	-	25

Esitteessä annetut tekniset tiedot ovat ohjearvoja, eivätkä sido materiaalin toimittajaa.

### Suulakepuristetut

PA6	
PA6 GC	paremmat työstöominaisuudet
SUSTAVACU	lämpömuovattava
PA6 ESD60	sähköä johtava
PA66	
PA66 GF30	lasikuitulujitteinen
PA66 MO	MoS2-seos
PA12	
PA12 GF30	lasikuitulujitteinen

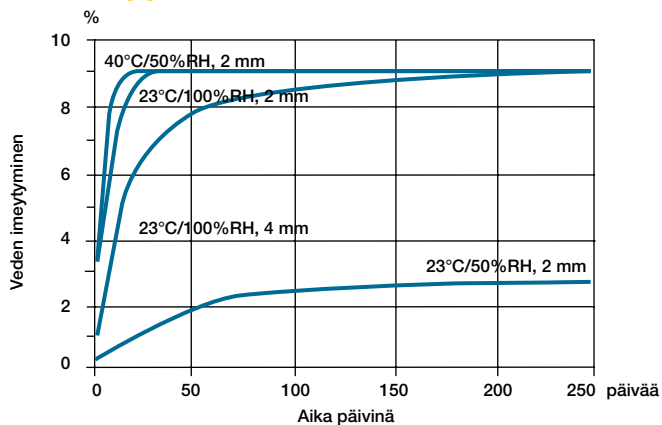
### Valetut

PA6G	
PA6G MO	MoS2-seos
PA6G M	suurempi MoS2-pitoisuus
PA6G OL	öljyseosteinen
PA6G PD120	iskutyynylaatu
PA6G HS	sis. antioksidanttia
PA6G GK	lasilujitteinen
PA6G ESD90	antistaattinen
SUSTAGLIDE	sis. voiteluainetta
SUSTAGLIDE plus	sis. voiteluainetta

PA66 GF30	PA12	PA12 GF30	PA6G	PA6G MO	PA6G M	PA6G OL	PA6G PD120	PA6G GHS	PA6G GK	PA6G ESD90	SUSTA GLIDE	SUSTA GLIDE PLUS
1,32	1,02	1,25	1,15	1,15	1,16	1,14	1,14	1,15	1,16	1,19	1,14	1,18
1,7	0,80	0,50	2,5	2,5	2,5	2,00	2,5	2,5	2,00	2,50	2,0	2,0
HB / HB	HB / HB	HB / HB	HB / V2	HB / HB	HB / HB	HB / HB	HB / HB	HB / V2	HB / V2	HB / HB	HB / HB	HB / HB
100	50	60	75	82	75	70	72	75	70	60	75	70
5	200	15	>45	>35	>30	>50	50	>15	>5	10	>35	>4
5000	1800	4200	3400	3500	3400	3300	3100	3700	4000	3000	3400	4000
6,0	20	5,0	>3,0	>2,5	>3,5	>4,0	3,5	>2,5	-	3,0	>3,5	>2,5
210	100	125	180	185	175	165	172	170	200	140	170	180
86	78	79	83	83	82	82	82	82	83	80	81	82
260	178	178	216	216	219	213	215	216	218	216	215	217
0,24	0,30	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,27	0,29	0,25	0,25
1,50	1,70	-	1,70	1,70	1,70	1,70	-	1,70	1,60	-	1,70	1,70
50	100	50	80	80	80	80	80	80	60	70	80	60
120	80	80	110	110	110	110	110	120	110	110	110	110
200	140	150	170	170	170	160	160	180	170	170	160	170
-20	-50	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
150	50	130	95	95	95	90	90	95	>100	100	90	100
-	3,80	4,10	3,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	0,040	0,0310	0,020	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	10 <sup>15</sup>	10 <sup>15</sup>	10 <sup>15</sup>	-	-	-	-	-	-	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>8</sup>	-	-
-	10 <sup>13</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>13</sup>	-	-	-	-	-	-	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>9</sup>	-	-
-	600	600	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	26	40	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-

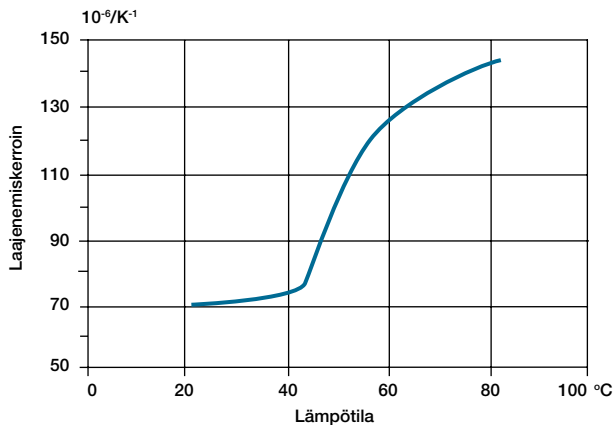
Esitteessä annetut tekniset tiedot ovat ohjearvoja, eivätkä sido materiaalin toimittajaa.

## Veden imeytyminen



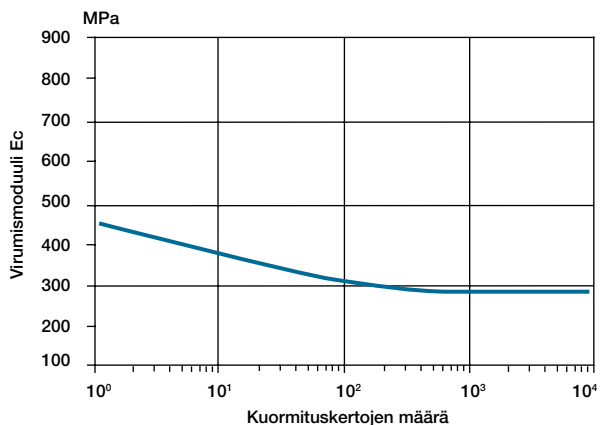
PA6:n veden imeytyminen suhteessa aikaan, ilmankosteuteen ja koekappaleen paksuuteen

## Terminen muotostabiiletti



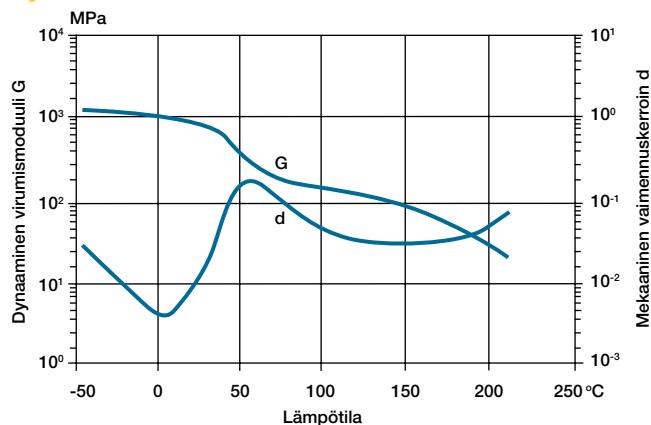
PA6:n lineaarinen lämpölaajeneminen lämpötilan suhteen

## Viruminen



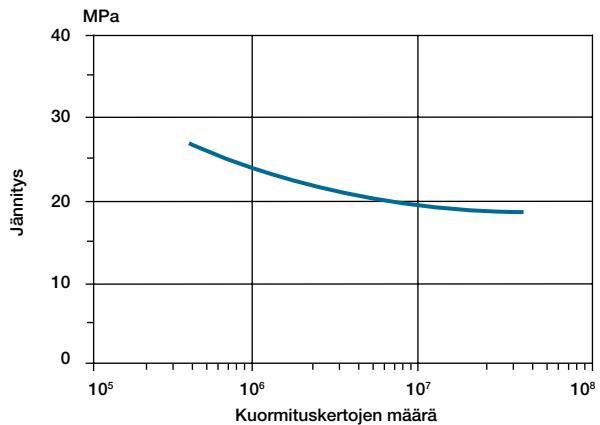
PA6:n virumismoduuli ajan suhteen, ilma 20°C/50%RH, kuormitus 13,7 MPa

## Dynaaminen virumismoduuli



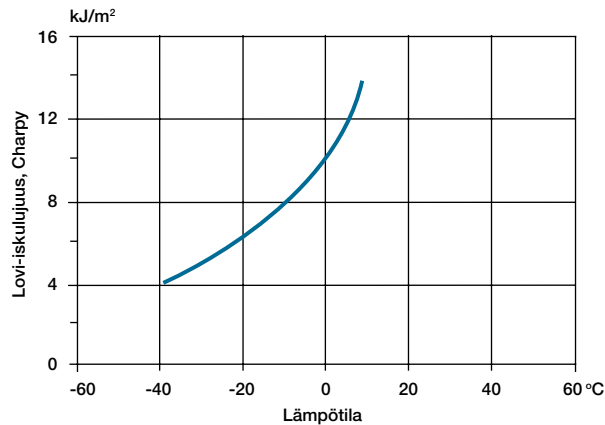
Virumismoduuli G ja mekaaninen vaimennuskerto d lämpötilan funktiona

## Wöhler-käyrä



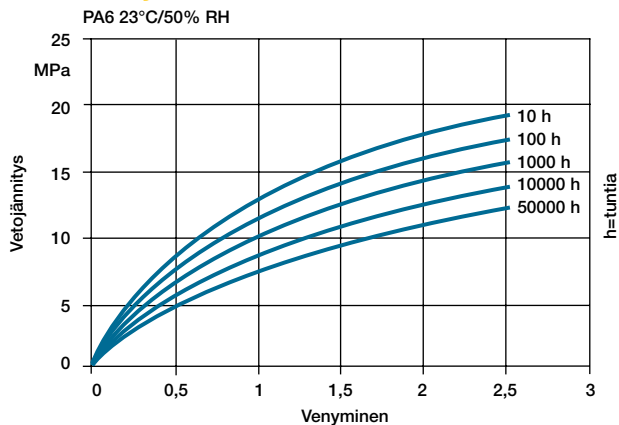
PA6:n Wöhler-käyrä, vaihtokuormitus (taivutus)

## Iskulujuus

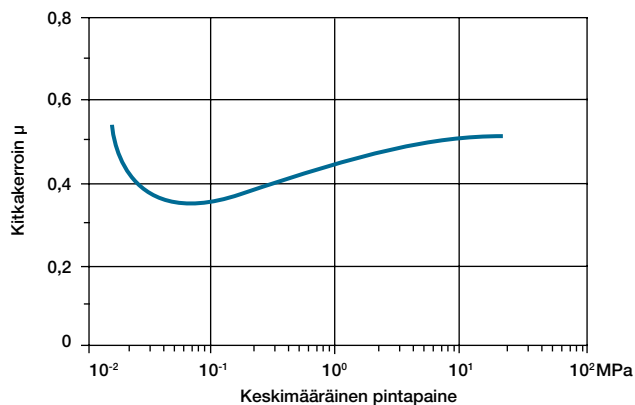


PA6:n lovi-iskualue lämpötilan suhteen

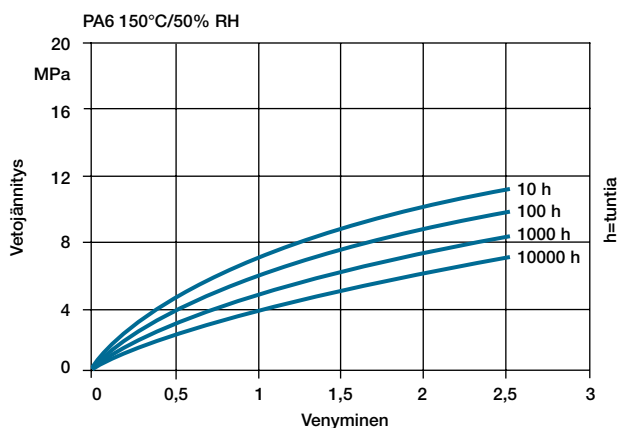
### Isochron-käyriä



### Kitkakerroin

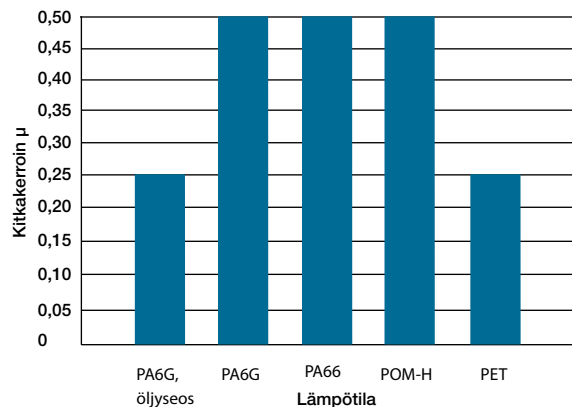


PA6:n kitkakerroin pintapaineen funktiona, vastinpinta HR=54, R=optimaalinen



Käyrät antavat materiaaliveikkoja staattisessa kuormituksessa. Lämpötilan ja kuormituksen lisäksi huomioidaan aika. Käyrästä näkyy sekä virumislujuus (vakiokuormitus) että relaksaatioalue (vakiovenymä).

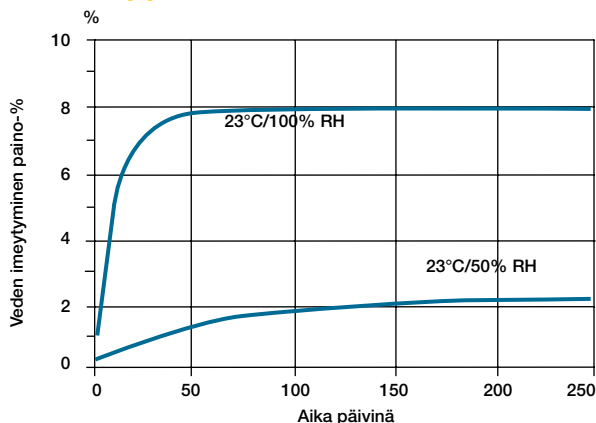
### Kitkakerroin



Eri materiaalien dynaaminen kitkakerroin, pintapaine = 9,5N/mm<sup>2</sup>, liukunopeus 0,22m/s ja liukumatka 6 km

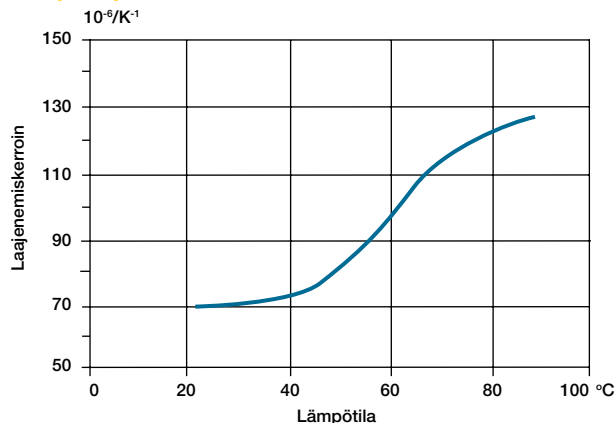


## Veden imeytyminen



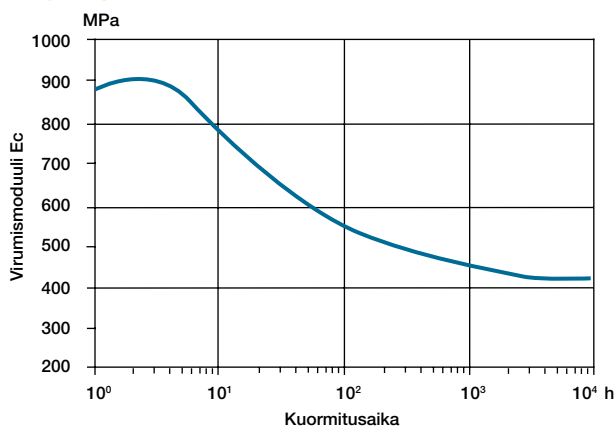
PA66:n veden imeytyminen suhteessa aikaan ja ilmankosteuteen, koekappaleen paksuus 2mm

## Lämpölaajeneminen



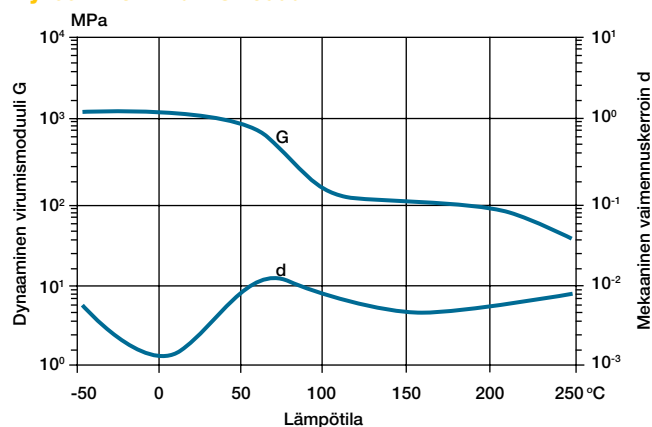
PA66:n lineaarinen lämpölaajeneminen lämpötilan funktiona

## Viruminen



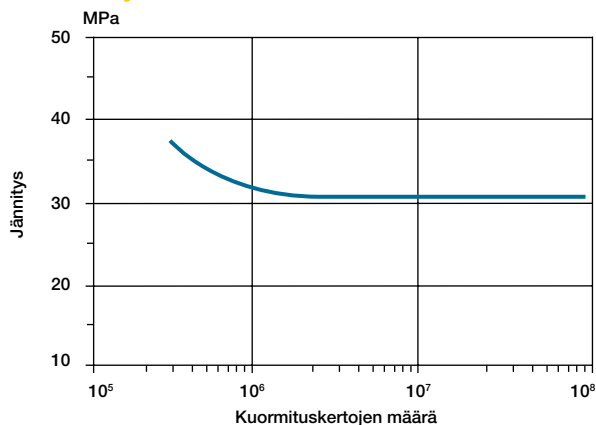
PA66:n virumismoduuli Ec ajan funktiona, kuormitus 13,7 MPa, ympäristö 20°C/50%RH

## Dynaaminen virumismoduuli



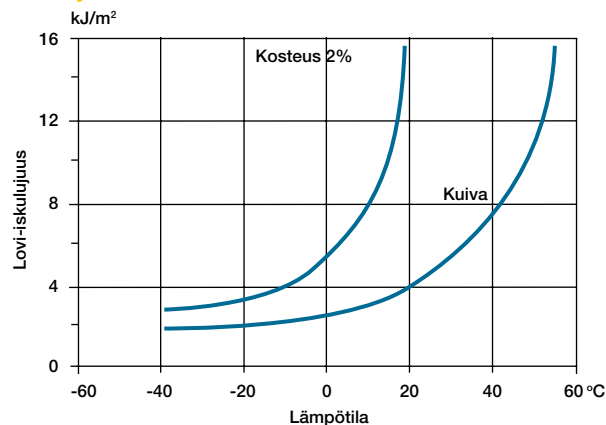
Virumismoduuli G ja mekaaninen vaimennuskertoim d lämpötilan funktiona

## Wöhler-käyrä



PA66:n Wöhler-käyrä, vaihtokuormitus

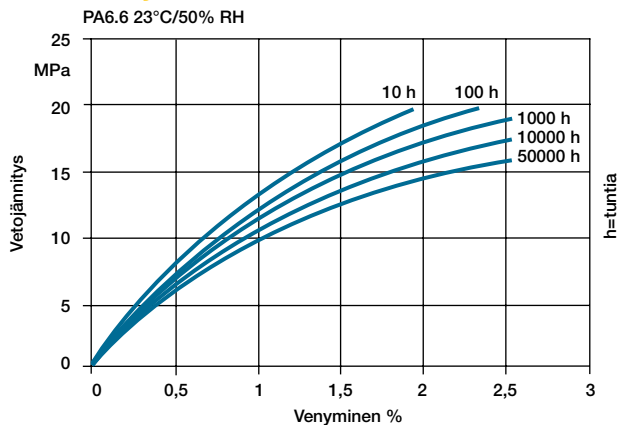
## Iskulujuus



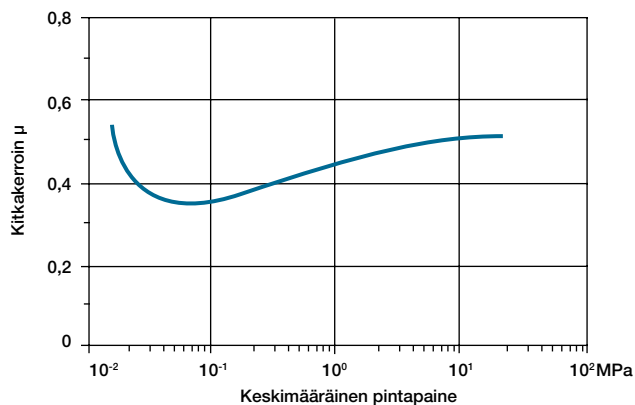
PA66:n lovi-iskulujuus lämpötilan funktiona



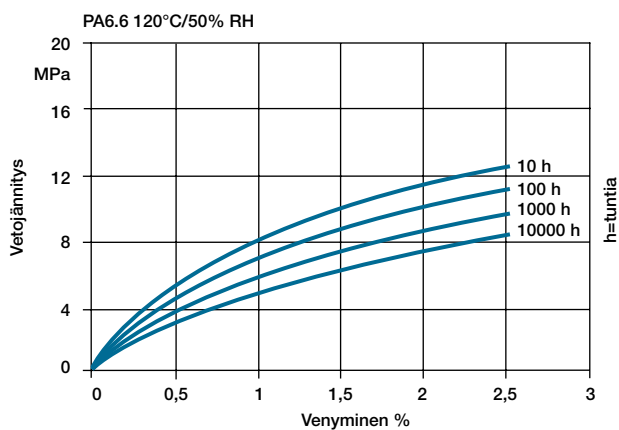
### Isochron-käyriä



### Kitkakerroin

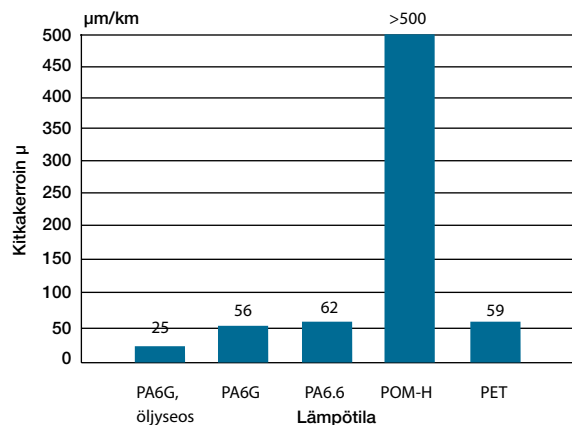


PA6.6:n kitkakerroin pintapaineen funktiona, vastinpinta HRC=54, R=optimaalinen



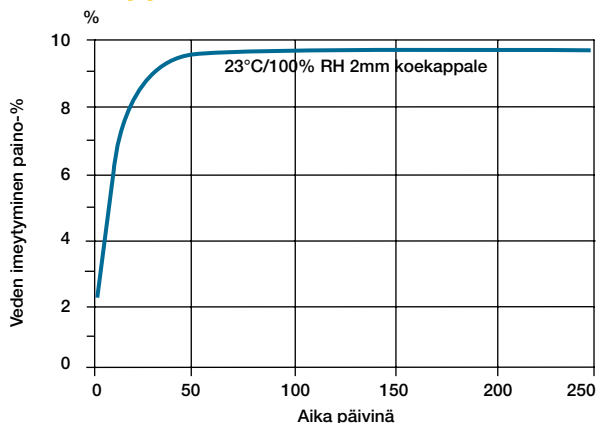
Käyrät antavat materiaalivakioita staattisessa kuormituksessa. Lämpötilan ja kuormituksen lisäksi huomioidaan aika. Käyrästä näkyy sekä virumislujuus (vakiokuormitus) että relaksaatioalue (vakiovenymä).

### Kuluminen



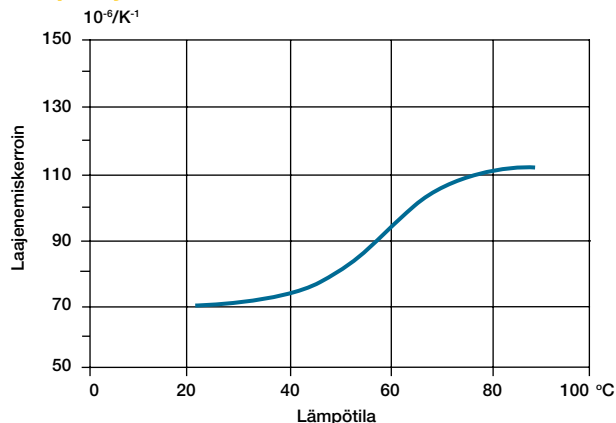
Eri materiaalien kuluminen, vastinpinta teräs, Rz03  $\mu\text{m}$ , pintapaine = 3,5N/mm<sup>2</sup>, liukunopeus 0,33m/s ja hankausmatka 27 km

## Veden imeytyminen



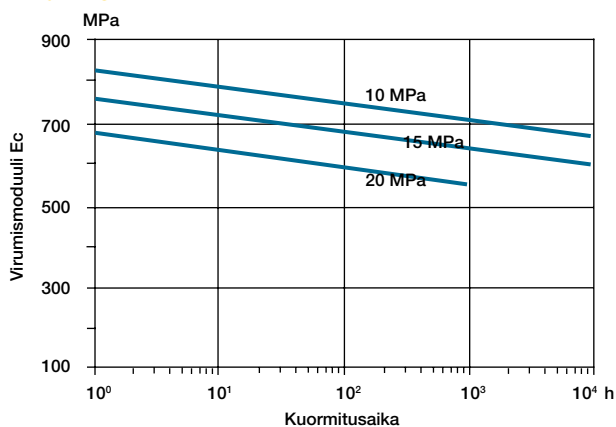
PA46:n veden imeytyminen ajan funktiona

## Lämpölaajeneminen



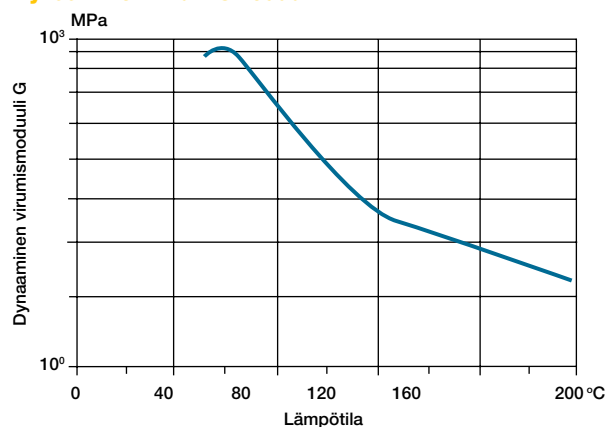
PA46:n lineaarinen lämpölaajenemiskerroin lämpötilan funktiona

## Viruminen



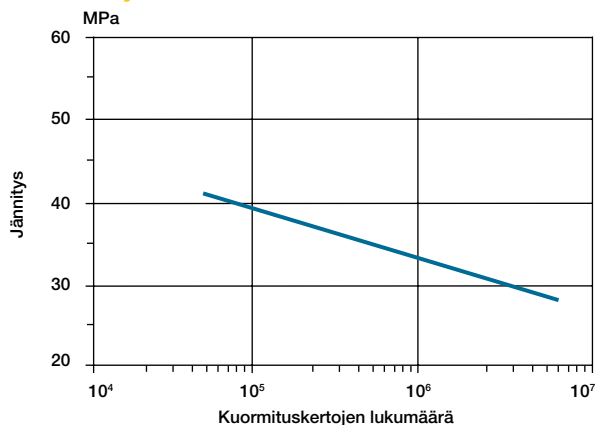
PA46:n virumismoduuli Ec ajan funktiona, eri kuormituksilla, ympäristö 23°C/50% RH

## Dynaaminen virumismoduuli



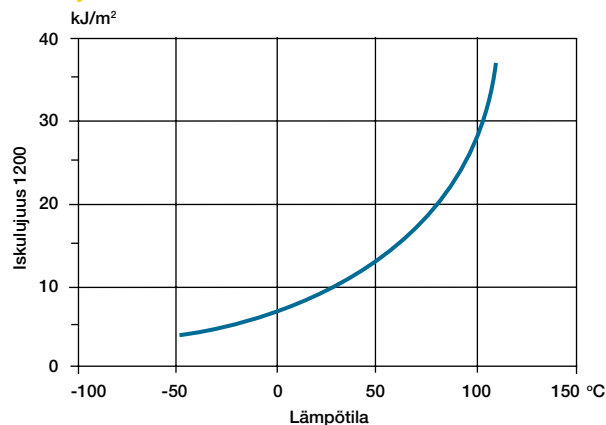
PA46:n virumismoduuli lämpötilan funktiona

## Wöhler-käyrä



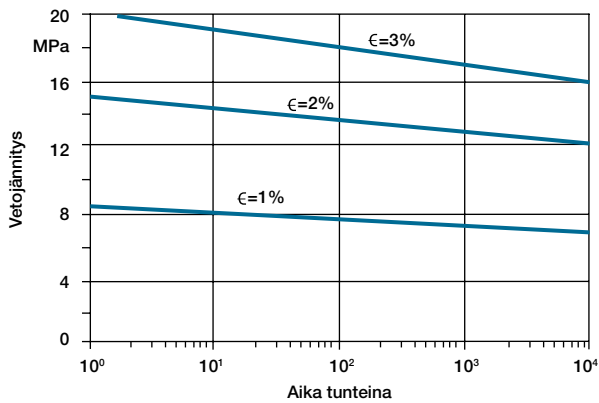
PA46:n Wöhler-käyrä, vaihtokuormitus ympäristön lämpötila 23°C, kuormitustaajuus 20 Hz

## Iskulujuus



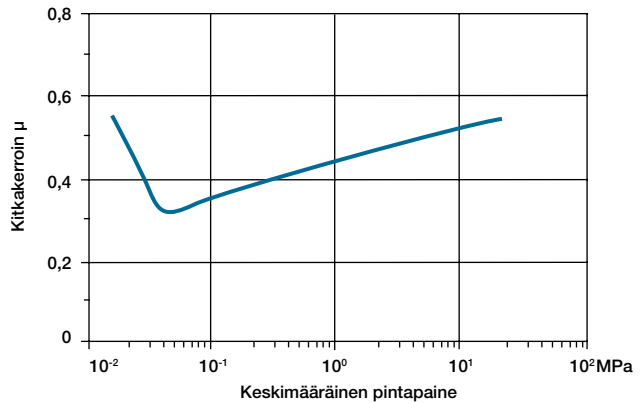
PA46:n iskulujuus lämpötilan funktiona

## Vetolujuus



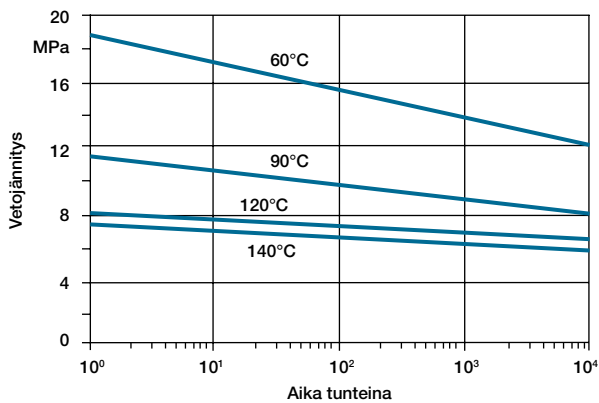
PA4.6:n vetolujuus (50% RH) ajan funktiona, erilaisilla venymäarvoilla mitattuna

## Kitkakerroin



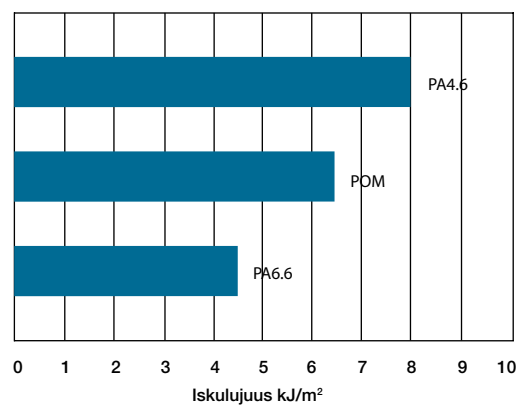
PA4.6:n kitkakerroin pintapaineen funktiona, vastinpinta HRc=54-56, R=optimaalinen

## Vetolujuus



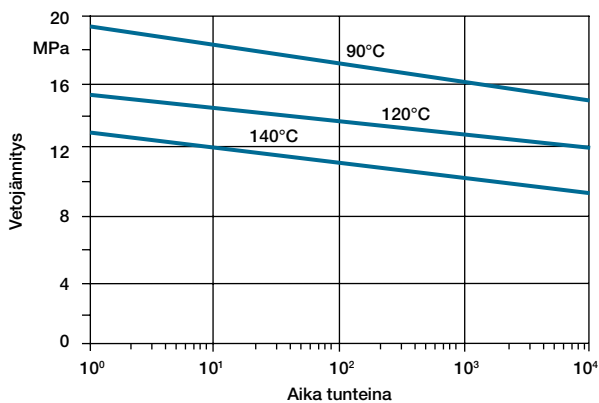
PA4.6:n (kuiva) vetolujuus ajan funktiona, eri lämpötiloissa venymä 1%

## Lovi-iskulujuus

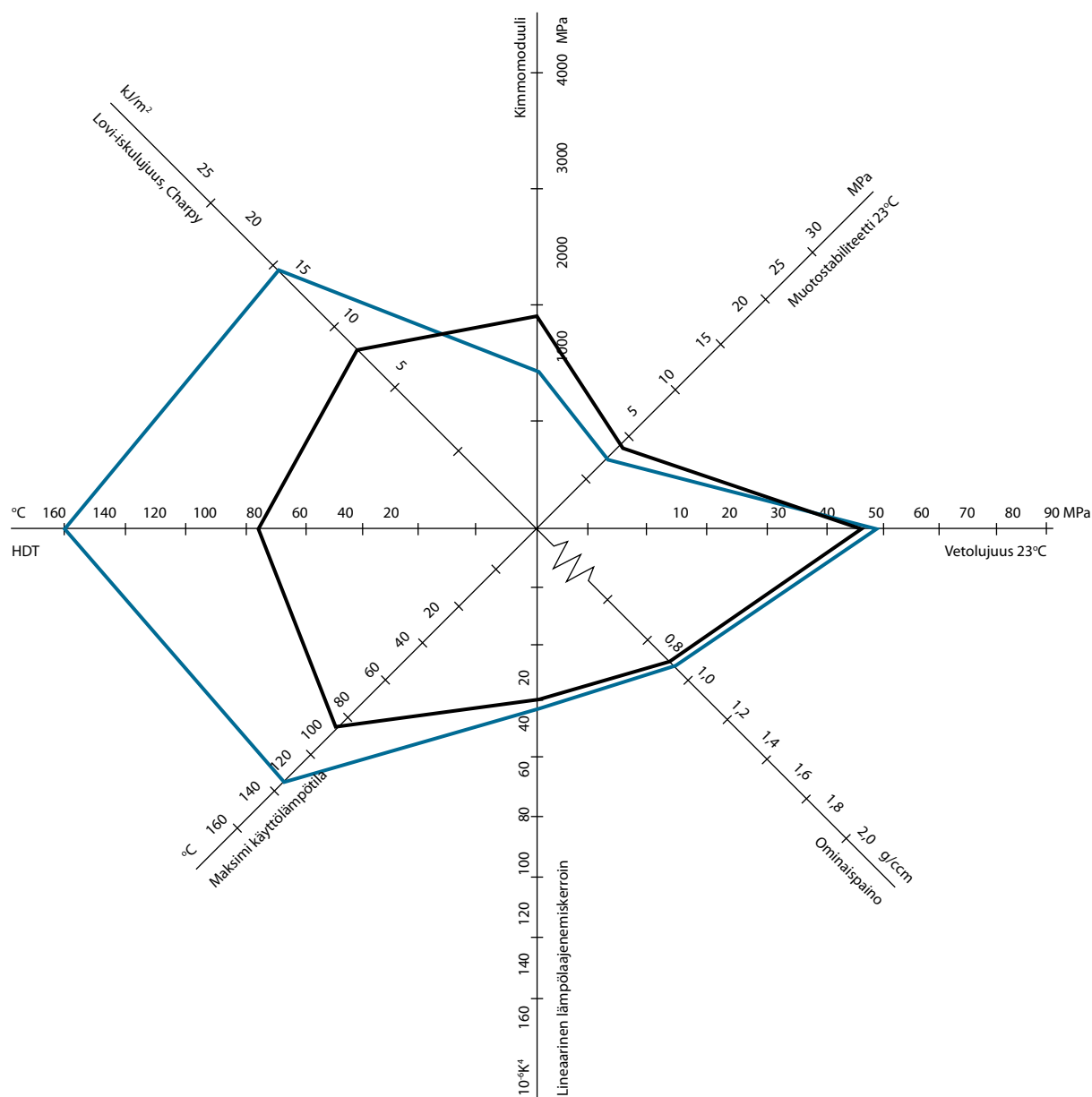


Eri materiaalien lovi-iskulujuus, izod-menetelmä, lämpötila 23°C, kuiva koekappale, loven pyöristys R=0,25mm

## Vetolujuus



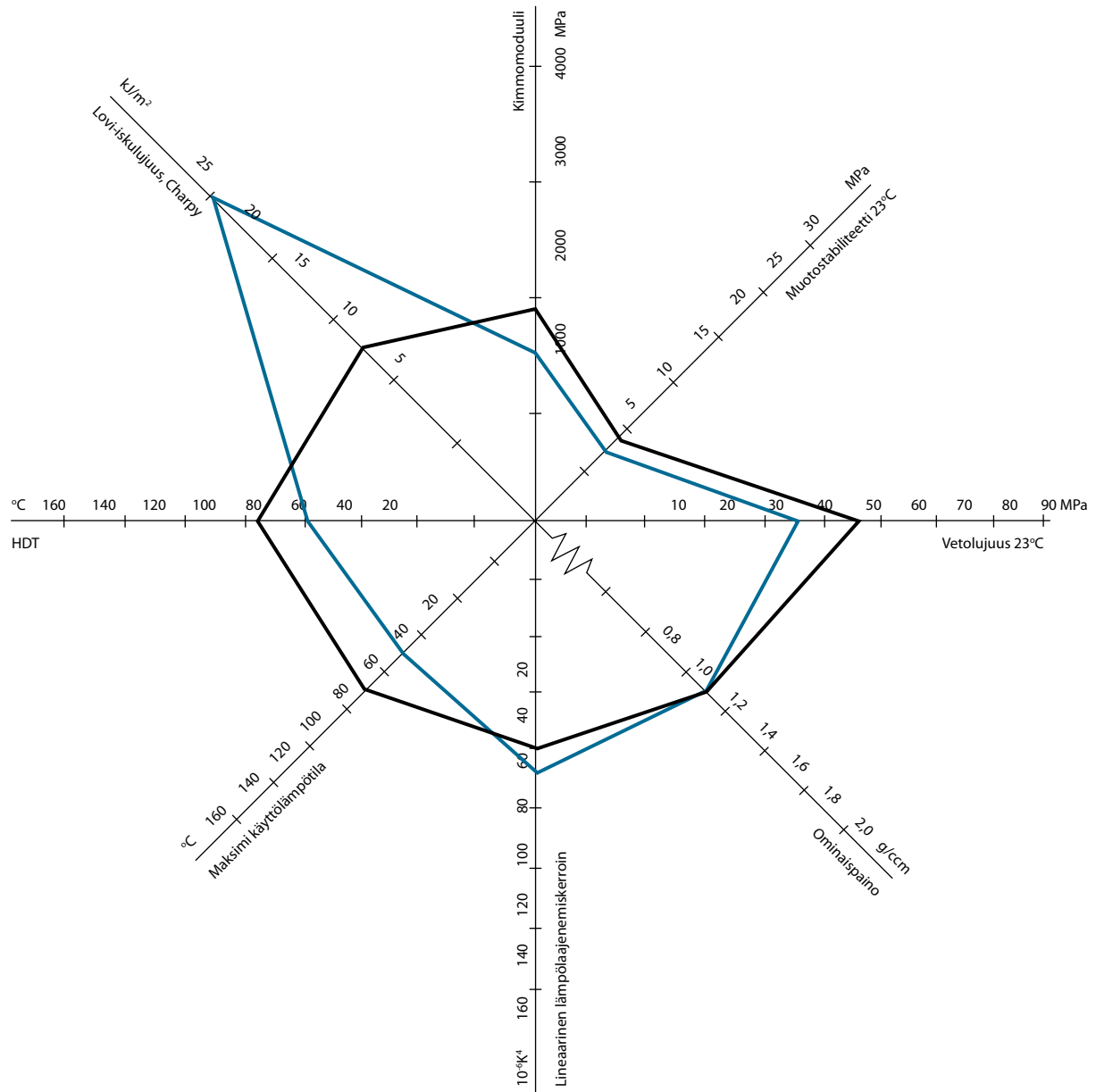
PA4.6:n (kuiva) vetolujuus ajan funktiona, eri lämpötiloissa venymä 2%



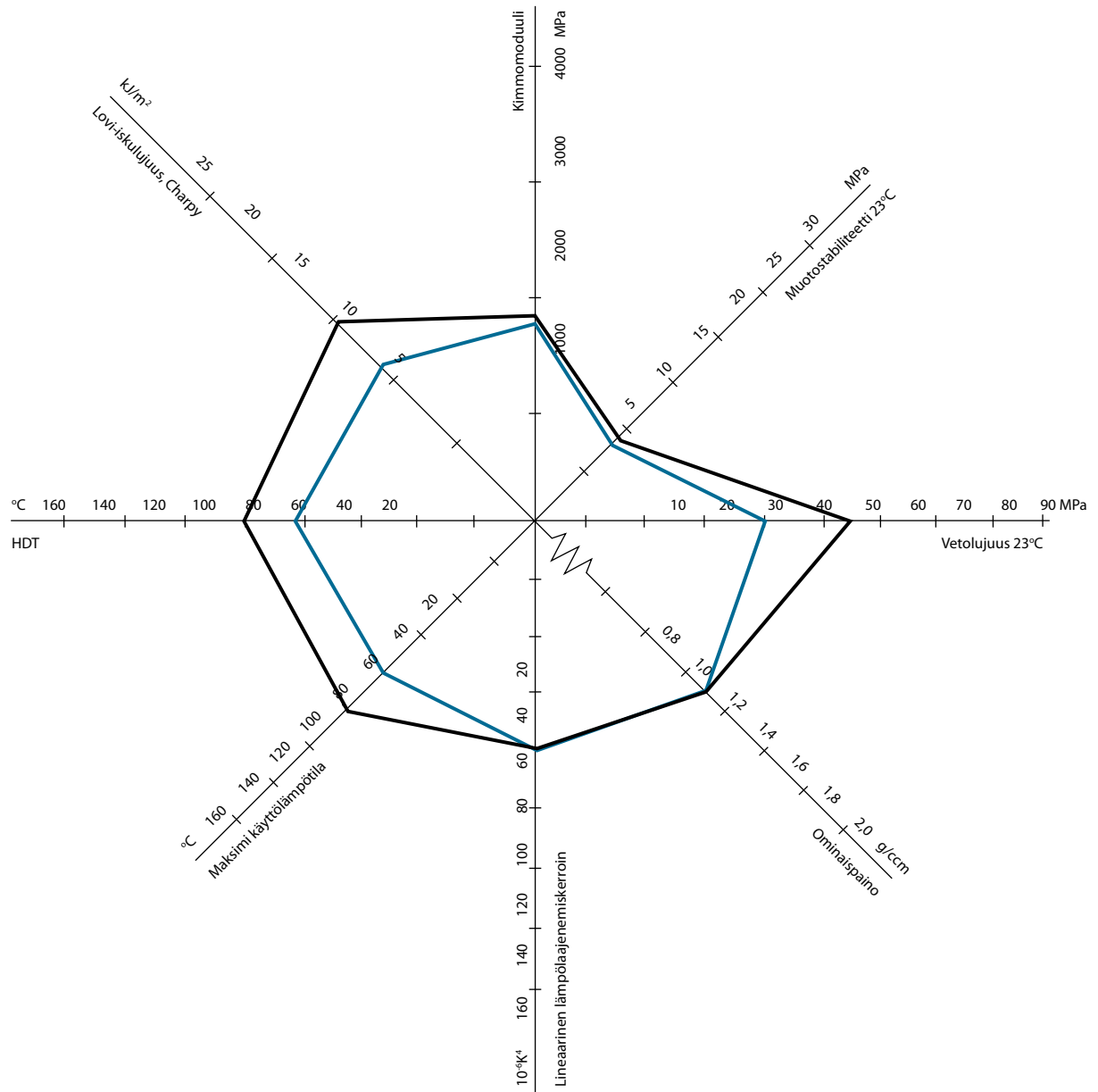
Esitteessä annetut tiedot ovat keskimääräisiä ohjearvoja, eivätkä sido materiaalin toimittajaa.

PA6

PA6G



Esitteessä annetut tiedot ovat keskimääräisiä ohjearvoja, eivätkä sido materiaalin toimittajaa.



Esitteessä annetut tiedot ovat keskimääräisiä ohjearvoja, eivätkä sido materiaalin toimittajaa.



