

# VÄRT ATT VETA OM PLAST

Grundläggande plastkunskap  
för gymnasiet sponsrad av:

**IKEM**

*Innovations- och kemiindustrierna i Sverige*

En handbok av Ulf Bruder

# Värt att veta om plast

*En plasthandbok för alla*

**Ulf Bruder**



Denna E-bok är ett utdrag ur den tryckta boken med samma namn.

På nästa sida framgår vilka kapitel ur den tryckta versionen som denna E-bok innehåller.

E-boken sponsras av branschorganisationen IKEM, Innovations- och kemiindustrierna i Sverige och får kopieras fritt inom svenskt skolväsende.

E-boken är producerad av Bruder Consulting AB i Karlskrona 2013.

ISBN 978-91-637-3182-2

**OBS! De gulmärkta kapitlen i originalboken passar bäst för grundläggande plastkunskap och ingår i denna E-bok**

## Innehållsförteckning

Förord	4
1. Polymerer och plaster	5
2. Volymplaster	9
3. Konstruktionsplaster	19
4. Avancerade plaster	27
5. Bioplaster	36
6. Plaster och miljön	42
7. Modifiering av plaster	46
8. Materialdata och mätmetoder	54
9. Materialdatabaser på Internet	60
10. Testmetoder för plastråvara och formgods	
11. Formsprutningsmetoder	62
12. Efterbearbetning av formgods	66
13. Olika typer av formverktyg	
14. Formverktygets uppbyggnad	
15. Verktygsutformning och produktkvalité	
16. Prototypverktyg och formfyllnadssimulering	
17. Friformframställning	
18. Kostnadsberäkning för formgods i plast	
19. Övrig bearbetning av termoplaster	70
20. Materialvalsmetodik	
21. Kravspecifikationer för plastprodukter	
22. Konstruktionsregler för termoplaster	
23. Sammanfogningsmetoder för formgods	76
24. Formsprutningsprocessen	
25. Formsprutningsparametrar för termoplaster	
26. Problemlösning och kvalitetsstyrning	
27. Formsprutningsfel - Orsaker och åtgärder	
28. Lean Production	
29. SPS – Statistisk processtyrning	
30. Internetlänkar, litteraturreferenser och sakregister	

**Beställ den kompletta boken här. [www.brucon.se](http://www.brucon.se)**

# IKEM

*Innovations- och kemiindustrierna i Sverige*

**IKEM** är branschorganisationen för tillverkare och leverantörer av kemikalier och plastprodukter i Sverige.

Våra medlemmar och deras produkter är viktiga för möjligheterna att uppnå hållbar utveckling och effektivare resursutnyttjande.

**IKEM** företräder medlemmarna i kontakt med myndigheter, departement och politiker. Vi är remissinstans och opinionsbildare. Vi arbetar aktivt med information till medlemmar, myndigheter och utredningar. Vi ger också medlemsföretagen konkret service.

## **Vi ökar kunskapen om plast och kemikalier**

Varje dag använder vi produkter och innovationer som inte hade kunnat massproduceras om inte plasterna funnits.

Nya läkemedel, tekniskt avancerade material, miljövänliga energilösningar, rent vatten och en effektiv livsmedelsproduktion är resultatet av kemisk forskning.

**IKEM** är måna om att bra människor med rätt utbildning ska kunna jobba i plast- och kemibranschen även i framtiden. Därför engagerar vi oss för skolan.

Läs mer om vårt arbete på  
[www.ikem.se](http://www.ikem.se)

**Se även vår app Plastguiden som finns för både iPhone och Android!**

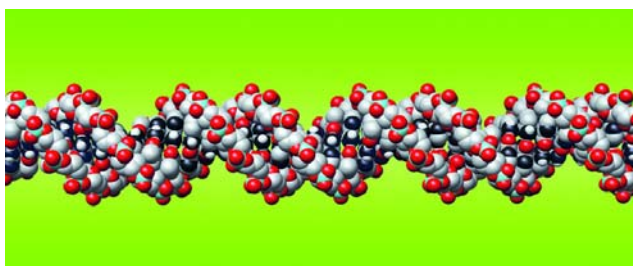


## Kapitel 1 - Polymerer och plaster

Ibland får man frågan: Vad är det för skillnad mellan polymer och plast? Svaret är enkelt: Det är ingen skillnad, det är samma sak. Ordet "polymer" kommer från grekiskan där "poly" betyder många och "mer" eller "meros" betyder enhet.

Om man använder uppslagsverket Wikipedia ([www.wikipedia.se](http://www.wikipedia.se)) på Internet kan man läsa följande: "Polymerer är kemiska föreningar som består av mycket långa kedjor uppbyggda av mindre repeterande enheter, monomerer. Polymerkedjor skiljer sig från andra kedjemolekyler inom den organiska kemin därför att de är mycket längre än exempelvis kedjorna i alkoholer eller organiska syror. Reaktionen som sker när monomererna blir en polymer kallas polymerisation. Polymerer i form av konstruktionsmaterial kallas i dagligt tal för plaster.

Med plaster menas emellertid konstruktionsmaterial som baseras på polymerer, i allmänhet med olika tillsatser för att ge materialet önskade egenskaper. Det kan till exempel vara färger eller mjukgörare. Polymera material brukar delas in i gummimaterial (elastomerer), hårdplaster och termoplaster."



**Fig 1. Polymerer är stora makromolekyler där monomermolekylerna binds till varandra i långa kedjor. Det kan vara flera tusen monomermolekyler i en enda polymerkedja.**

Man bör dock vara klara på att beskrivningen ovan gäller syntetiskt tillverkade polymerer. Det finns även naturliga polymerer, såsom naturgummi och bärnsten som använts av människan i tusentals år.

Andra naturliga polymerer är proteiner, nukleinsyror och DNA. Cellulosa som är den huvudsakliga beståndsdel i trä och papper är också naturliga polymerer.

Med andra ord så är plaster syntetiskt tillverkade material som består av monomermolekyler som binds till varandra i långa kedjor. Om polymerkedjan är uppbyggd enbart av en sorts monomer kallas polymeren för homopolymer.

Om det finns flera sorters monomerer i kedjan så kallas polymeren för sampolymer eller copolymer.

Ett exempel på en plast som kan förekomma både som homopolymer och copolymer är acetalplast. Acetalplast har beteckningen POM (polyoximetylen) och är till största delen uppbyggd av en monomer som på svenska kallas för formaldehyd.

Byggstenarna (atomerna) i formaldehyd består av kol, väte och syre.

De flesta plastmaterial är uppbyggda av organiska monomerer men kan i några fall även vara oorganiska. Ett exempel på en oorganisk polymer är silikonplast som består av polysiloxaner, där kedjan byggs upp av kisel- och syreatomer.

Kol och väte är annars de helt dominerande grundämnena i plaster. Förutom de nu nämnda grundämnena kol (C), väte (H), syre (O) och kisel (Si) finner man ytterligare fem stycken i plaster: Kväve (N), fluor (F), fosfor (P), svavel (S) och klor (Cl).



**Fig. 2 Bärnsten är en naturlig polymer.**

Myggan i denna sten fastnade i kådan på ett barrträd för kanske mer än 50 miljoner år sedan.

Något att tänka på när vi kommer till nedbrytning av vissa polymerer i naturen.

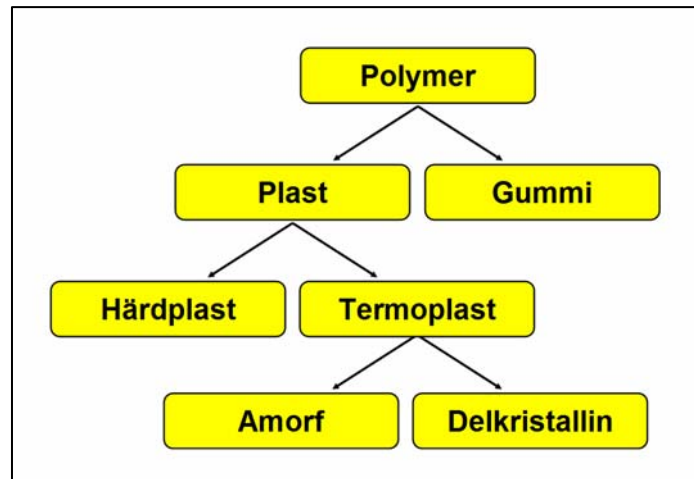


Fig 3. Ovan visas hur man brukar dela in syntetiska polymerer i gummi och plast med undergrupperna härdplast och termoplast. Termoplasterna delas i sin tur in i amorfa och delkristallina plaster.

Fig 4. Kautschuk eller naturgummi är en naturlig polymer som har använts av människan i tusentals år. 1839 uppfann amerikanen Charles Goodyear vulkaniseringsprocessen, en tvärbindningsprocess där naturgummi blandas med svavel varvid molekylkedjorna förnätas under värme och tryck. Denna process förändrade gummits egenskaper markant.

Det är ytterst sällan att man bearbetar en ren polymer. I regel tillsätter man olika tillsatsmedel (Eng. = *modifier*) för att påverka materialets egenskaper. Vanliga additiver är:

- Ytsmörjmedel (underlättar utstötning)
- Värmestabilisatorer (förbättrar processfönstret)
- Färgpigment
- Armeringstillsetser såsom glas- eller kolfibrer (ökar styvhet och styrka)
- Slagseghetstillsetser
- Utomhusstabilisatorer (UV)
- Brandskyddstillsetser
- Antistatmedel
- Jäsmedel (t.ex. i cellplast)

### Härdplast

I härdplaster liksom i gummi förekommer tvärbindningar mellan molekylkedjorna, vilket benämnes "förnätning". Dessa tvärbindningar är så starka att de inte bryts vid uppvärmning. Materialet kan därför inte smälta. "Härd" i härdplast kommer från ordet "härda" d.v.s. göra hård.



Fig 5. Plastic Padding eller s.k. tvåkomponentslim förekommer i många hem. Här blandas två komponenter med varandra, varvid en kemisk förnätningsreaktion startar och gör materialet hårt (det härdar). En av komponenterna kallas därför härdare. Reaktionen sker i detta fall vid atmosfärstryck och är en s.k. lågtrycksreaktion.



Fig 6. Polyuretan kan förekomma både som härdplast och termoplast. Den kan också vara styv eller mjuk som i den skummade cellplasten på bilden.

Härdplaster förekommer både i flytande och fast form och bearbetas i vissa fall med högtrycksmetoder. Några vanliga härdplaster är:

- Fenolplast i kastrullhandtag
- Melamin i plastlaminat
- Epoxi i tvåkomponentslim
- Omättad polyester i plastbåtar
- Vinylester i bilkarosser
- Polyuretan i skosulor eller skum

Många härdplaster har bra elektriska egenskaper och tål hög användningstemperatur. De kan fås oerhört styva och starka med glas-, kol- eller Kevlar®-fibrer. Nackdelar är lång bearbetningsprocess och svårighet med återvinning av antingen material eller energi.

### Termoplast

Termoplaster har den fördelen att de smälter när de värms upp. De är lätta att bearbeta med ett flertal metoder såsom:

- Formsprutning, den vanligaste bearbetningsmetoden för plastdetaljer
- Formblåsning av flaskor och ihåliga produkter
- Extrudering av rör och profiler
- Filmbåsning av t.ex. plastpåsar
- Rotationsgjutning av stora ihåliga produkter t.ex. tankar
- Varmformning av skivor eller film i takboxar eller förpackningar



Fig 7. Många hushåll sorterar numera sina sopor så att plastflaskor, påsar, film och andra plastprodukter kan återvinnas.



Fig 8. Insamlade uttjänta produkter i termoplast kan återanvändas. Dessa bullerskärmar från Polyplank AB är ett utmärkt exempel.

Foto: Polyplank AB

En termoplast kan smältas om flera gånger. Tyvärr bryts materialet ned i bearbetningsprocessen, av syre, UV-ljus och kemiska föroreningar varför man i praktiken nästan enbart återanvänder spill i produktionen. Det vanligaste är dock energiåtervinning vid förbränning eftersom de har mycket högt energiinnehåll. Det finns dock andra alternativ såsom kemisk återvinning, vilken ännu inte har slagit igenom i stor skala p.g.a. ogynnsam kostnadsbild i förhållande till tillverkning av nyvara.

### Amorfa och delkristallina plaster

Av figur 3 ovan framgår att man delar in plasterna i två huvudgrupper beroende på plastens struktur, d.v.s. i amorfa eller delkristallina plaster. Ett annat material i vår omgivning som är amorft är glas medan metaller har kristallin struktur.

En amorf plast mjuknar som glas om man höjer temperaturen och kan därför varmformas.

Amorfa material har ingen smältpunkt utan man anger istället den s.k. glastransitionstemperaturen ( $T_g$ ), där molekylkedjorna kan börja röra sig. En delkristallin plast mjuknar inte på samma sätt utan övergår från fast till flytande form i smältpunkten.



Fig. 9 Termoplastisk polyester PET är en plast som kan vara antingen amorf som i läskedrycksflaskorna eller delkristallin som i strykjärnet.

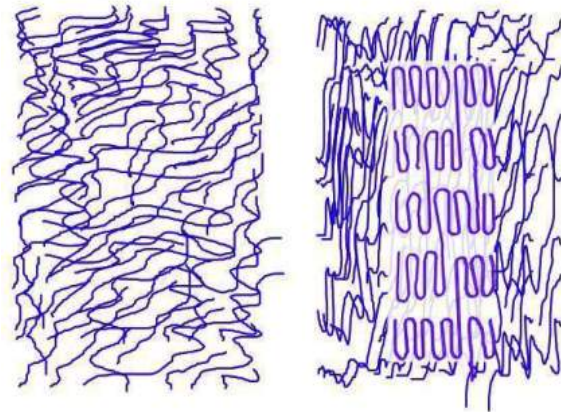


Fig. 10 Den amorfa strukturen är helt oordnad medan molekylkedjorna linjerar upp sig i den delkristallina plasten i ordnade lameller.

Delkristallina plaster klarar i regel belastningar vid förhöjd temperatur bättre än amorfa samt har bättre utmattningshållfasthet och kemikalieresistens. De är heller inte känsliga för s.k. spänningssprickbildning. De delkristallina plasterna liknar metaller mest och har bättre fjäderegenskaper än de amorfa plasterna. Amorfa plaster kan vara helt transparenta och kan varmformas. De har i regel mindre form- och efterkrymp och tendens till skevning än delkristallina plaster.

Det är viktigt att konstruktörer och bearbetare av plastprodukter är medvetna om vilken materialtyp som används eftersom amorfa och delkristallina material uppför sig olika vid uppvärmning och kräver annorlunda processparametrar.

#### Specifik volym

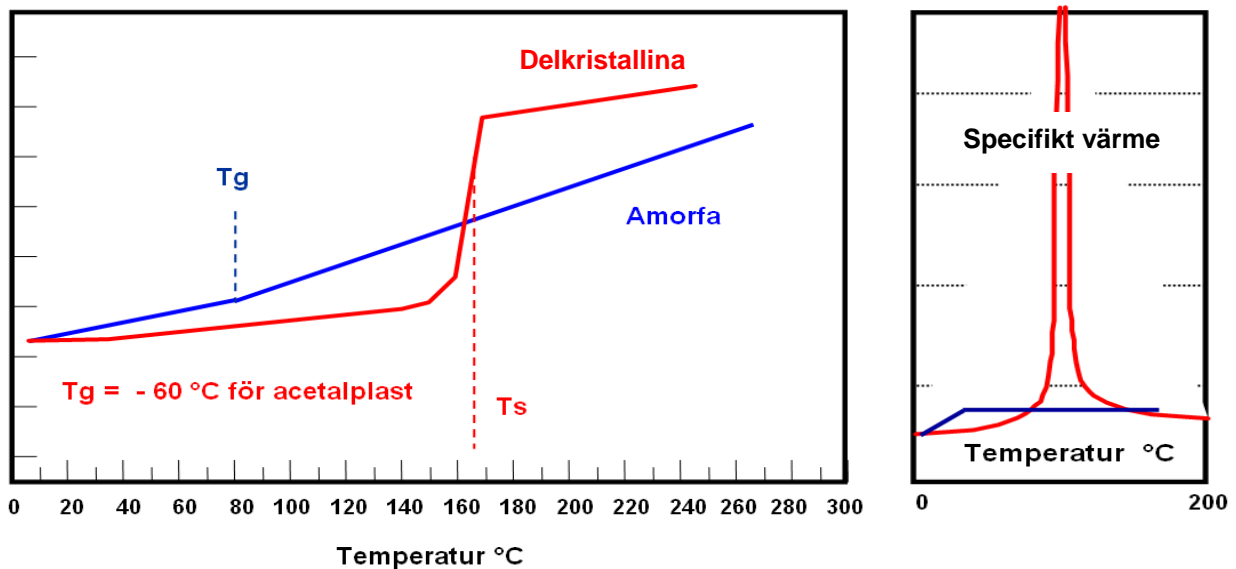


Fig 11 och 12. Vid uppvärmning stiger den specifika volymen linjärt både under och över glasomvandlingstemperaturen  $T_g$  för det amorfa materialet. Det delkristallina materialet har också en glasomvandlingstemperatur eftersom det inte finns några plaster med 100 % kristallinitet. Runt smältpunkten  $T_s$  ökar den specifika volymen markant. För acetalplast c:a 20 % vilket förklarar den höga formkrympen vid formsprutning. Amorfa material har ingen smältpunkt och betydligt mindre formkrymp. Energiåtgången för att öka temperaturen en grad är konstant ovanför  $T_g$  för de amorfa materialen vilket visas i den högra figuren. För de delkristallina materialen krävs en betydande ökning av energi i smältpunkten, det s.k. smältvärmnet för att få materialet att övergå från fast till flytande fas. Detta förorsakar problem för formsprutaren eftersom det krävs stor energitillförsel när delkristallina plaster fryser i formsprutans munstycke eller i varmkanalerna i formverktyget. Ibland får man ta till blåslampa för att smälta frusna pluggar i cylindermunstycket.



## Kapitel 2 - Volymplaster

### Polyeten

Polyeten är en delkristallin volymplast. Polyeten betecknas med PE (engelska: polyethylene eller polyethene). Det är den vanligaste plasten och den tillverkas i mer än 60 miljoner ton varje år över hela världen. I Sverige tillverkas den av Borealis i Stenungsund. "Low density" polyeten (LDPE) lanserades på marknaden av den engelska kemikonzern ICI år 1939.

#### Kemifakta:

Polyeten har en mycket enkel uppbyggnad och består endast av kol och väte. Den tillhör en kategori av plaster som kallas för olefiner. Dessa kännetecknas av att deras molekyler har en eller flera dubbelbindningar och att de är mycket reaktionsbenägna.

Den kemiska beteckningen för eten, monomeren i PE, är  $C_2H_4$  eller  $CH_2=CH_2$ , där "=" tecknet symboliserar dubbelbindningen. Grafiskt beskriver man Polyeten:

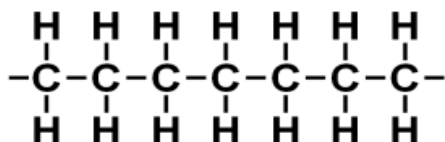


Fig 13. En anledning till att PE har blivit den största volymplasten är att det är den vanligaste förpackningsfilmen i plast. Plastpåsar tillverkas i LDPE.

#### Klassificering

Man klassificerar polyeten i olika grupper beroende på dess densitet och sidogrenar på polymerkedjorna:

- UHMWPE – Ultrahög molekylvikt (*Ultra high molecular weight*)
- HDPE – Hög densitet (*High density*)
- MDPE – Medeldensitet (*Medium density*)
- LLDPE – Linjär låg densitet (*Linear low density*)
- LDPE – Låg densitet (*Low density*)
- PEX - Tvärbunden (*Cross linked*)

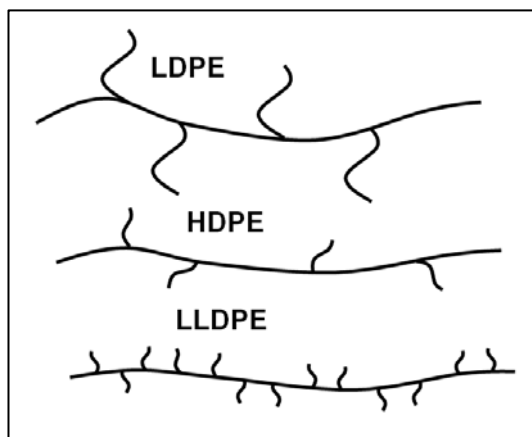


Fig 14. När man polymeriserar eten till polyeten har man olika processer så att man får mer eller mindre sidogrenar på molekylkedjorna. Mindre antal sidogrenar ger högre kristallinitet, molekylvikt och densitet, eftersom kedjorna då kan packas tätare.

HDPE saknar eller har få sidogrenar och kallas även linjär polyeten.

#### Egenskaper hos polyeten:

- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| + Lågt materialpris och densitet    | + Utmärkt nötningsbeständighet (för UHMWPE) |
| + Utmärkt kemikaliebeständighet     | + Lätt att infärga                          |
| + Försumbar fuktabsorption          | - Styvhet och draghållfasthet               |
| + Kan fås livsmedelsgodkänd         | - Klarar ej temperaturer > 80°C             |
| + Hög elasticitet ned till < - 50°C | - Svår att lackera                          |

De mekaniska egenskaperna beror till stor del på förekomsten av sidogrenar, kristallinitet och densitet d.v.s. typen av polyeten.

## Återvinning

Tyvärr är polyeten det plastmaterial som står för den mesta nedskräpningen i naturen trots att den är lätt att återvinna antingen som material i nya produkter eller som energi. Energiinnehållet är i klass med olja och polyeten är miljövänligt att bränna. När det gäller materialåtervinning använder man följande kodning:



HDPE



LDPE

## Användningsområden

1) UHMWPE bearbetas främst genom extrudering till rör, film eller skivor.



Fig 15. Glidlistor

UHMWPE har utmärkta friktions- och nötnings-egenskaper och används i krävande industri applikationer som denna vita glidlist för ett transportband i grå acetalplast.



Fig 16. Soptunnor

HDPE har lågt pris och är lätt att formspruta även i stora detaljer .

2) HDPE används vid både formsprutning, formblåsning, extrudering, filmblåsning och rotationsgjutning.



Fig 17. Burkar och flaskor

HDPE är lämpligt att formblåsa och kan också fås livsmedelsgodkänt.



Fig 18. Vattenslang

HDPE är lämpligt att extrudera. Vattenslangen är seg och stark, godkänd för dricksvatten och klarar trycket i kommunala vattenledningar under överskådlig tid.

En stor del av all polyeten som tillverkas används till filmblåsning. Om filmen är mjuk och flexibel är den antingen gjord i LDPE eller LLDPE. Om den prasslar som i gratispåsarna i livsmedelsbutiken är den troligen gjord i HDPE. LLDPE används även för att förbättra segheten hos LDPE-film.

3) LDPE används till filmbläsning och extrudering.



Fig 19. Sopsäckar

LDPE är utmärkt till filmbläsning och det vanligaste materialet i säckar, plastpåsar och byggfilm.



Fig 20. Kabelmantling

LDPE används vid extrudering av högspänningskablar.

4) PEX

Tvärbunden polyeten används främst vid extrudering av rör. Förnätningen ger förbättrad kryphållfasthet och bättre högttemperaturegenskaper.



Fig 21. Slangar i PEX klarar både höga temperaturer (120°C) och tryck och används vid varmvattensanslutning av disk- eller tvättmaskiner.

Man kan även sampolymerisera eten med polära monomerer och få allt ifrån klabbiga produkter (t.ex. smältlim) till seiga filmer eller slagseiga hårda skal (t.ex. golfbollar).

En vanligt förekommande sampolymer är EVA. EVA betyder: Eten-Vinyl-Acetat.

Genom att variera halten av vinylacetat (VA) från 2,5 – 95 % kan man styra egenskaperna och få fram en mängd olika typer. Ökad VA-halt medför högre transparens och seghet.

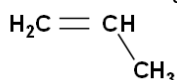
Lim, mattunderlag, kabelisolering, bärare till färgmasterbatcher, sträckfilm och beläggingsfilm för kartong och papper är typiska användningsområden för EVA.

## Polypropen

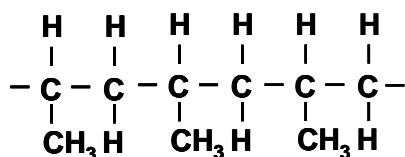
### Kemifakta:

Polypropen har en enkel uppbyggnad och består liksom PE endast av kol och väte. Den tillhör också kategorin av plaster som kallas för olefiner.

Polypropen är uppbyggd av en kedja av kolatomer, där varannan kolatom är bundet till två väteatomer och varannan till en väteatom och en metylgrupp. D.v.s. monomeren får beteckningen:



Grafiskt beskriver man polypropen:



Polypropen är en delkristallin volymplast. Polypropen betecknas med PP, vilken den också kallas i dagligt tal. På engelska kallas den "polypropylene". Det är den näst största plasten efter LDPE på marknaden.

Polymeren polypropen tillverkas av Borealis i Norge och flera svenska compounderare har polypropen i sitt sortiment.

Polypropen upptäcktes 1954, nästan samtidigt av de två oberoende forskarna Ziegler och Natta, som sedan fick dela Nobelpriset 1963.

Den italienska kemikonserten Montecatini lanserade materialet på marknaden 1957.

Vid polymerisering av polypropen kan man styra både kristallinitet och molkyelstorlek. Man kan också sampolymerisera polypropen med andra monomerer (t.ex. eten).

Polypropen förekommer som homopolymer, "random"- eller "block"- copolymer beroende på polymereringsmetod. Man kan också blanda polypropen med elastomerer (t.ex. EPDM), fylla den med talk (krita) eller armera den med glasfiber. På så sätt kan man få fram fler kvalitéer, med vitt skilda egenskaper, än hos någon annan plast. Vissa kvalitéer av polypropen klarar 140°C kortvarig topp- och 100°C kontinuerligt temperatur och kan därför klassas som konstruktionsplaster.

### Egenskaper hos polypropen:

- + Lågt materialpris och densitet
- + Utmärkt kemikaliebeständighet
- + Absorberar inte fukt
- + Kan fås livsmedelsgodkänd
- + Utmattningsbeständighet
- Dålig UV-beständighet
- Spröd i kyla (O-modifierad)
- Dålig reptålighet



Fig 22. Plastmöbler

Talk är det vanligaste fyllmedlet i PP. Det höjer materialets styvhet, kryphållfasthet och användningstemperatur. Ytan blir dock matt.



Fig 23. Bilbatteri

Polypropen har utmärkt kemikaliebeständighet och klarar starka syror varför det är ett utmärkt material i skalet på bilbatterier.



Fig 24. Ask med gångjärn

PP används mycket i askar, burkar och plastbackar. Gångjärn i PP är i det närmaste outslitliga.



Fig 25. Konsol till AC

Glasfiberarmerad PP har styvhet och styrka i klass med polyamid men saknar polyamidens temperaturbeständighet. Källa: Polykemi AB

### Återvinning

Polypropen är ett material som går utmärkt att återvinna och det kodas:



## Polyvinylklorid

Polyvinylklorid är en amorf volymplast. Polyvinylklorid betecknas med PVC, vilken den också kallas i dagligt tal. På engelska kallas den "polyvinyl chloride". Det är den tredje största plasten med mer än 20 miljoner ton/år. PVC tillverkas bl.a. av Ineos Sverige AB (f.d. Hydro Polymers) i Stenungsund.

PVC upptäcktes redan på 1800-talet, men kom inte i kommersiell tillverkning förrän 1936 då Union Carbide i USA lanserade materialet som ersättning av gummi vid kabeltillverkning.

Vid tillverkning av PVC kan man använda olika polymeriseringsmetoder och vid compoundingen kan materialets egenskaper påverkas mer än hos någon annan plast från mycket mjuk (t.ex. trädgårdsslang) till styv och hård (t.ex. avloppsrör). Vi skiljer vanligen mellan tre olika typer: Styv, mjukgjord eller latex PVC.

### Egenskaper hos PVC:

- + Lågt materialpris och densitet
- + Utmärkt kemikaliebeständighet
- + Absorberar inte fukt
- + Resistent mot mikroorganismer
- + Bra långtidshållfasthet
- + Kan fås livsmedelsgodkänd
- + Självslocknande (ej mjukgjord)
- + Bra UV-beständighet
- Saltsyra bildas vid termisk nedbrytning (brand)

### Miljöaspekter:

Polyvinylklorid har fått ett dåligt rykte p.g.a. att monomeren är cancerogen, ohälsosamma mjukgörare (t.ex. DOP) kan frigöras samt att dioxin och saltsyra kan frigöras vid förbränning. Ingen plast har studerats så noga som PVC och den senaste utvecklingen av PVC-compound har eliminerat en del av problemen. Miljöforskarna har numera även börjat ifrågasätta de första farhågorna om materialets negativa miljöpåverkan.

Utförlig information om PVC kan fås på: [www.pvc.se](http://www.pvc.se)

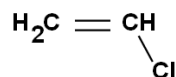


Fig 26. Avloppsrör

PVC har utmärkt kemikalie beständighet och långtidshållfasthet. Ca 50 % av all PVC används inom byggsektorn.

### Kemifakta:

PVC har en enkel uppbyggnad men skiljer sig från de andra basplasterna genom att den förutom kol och väte också är uppbyggd av klor. PVC är uppbyggd av en kedja av kolatomer, där varannan kolatom är bundet till två väteatomer och varannan till en väteatom och en kloratom. D.v.s. monomeren får beteckningen:



Grafiskt beskriver man PVC:

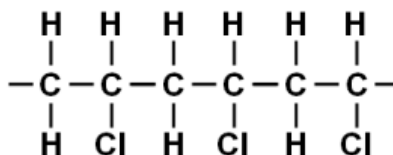


Fig 27. Påsar för blodtransfusion.

Många engångsprodukter inom hälsovård tillverkas av mjukgjord PVC.

## Återvinning

PVC är ett material som går utmärkt att återvinna. Materialåtervinning rekommenderas i första hand och energiåtervinning i andra hand. PVC kodas:



Fig 28. Kablar

Mjukgjord PVC är det helt dominerande materialet vid extrudering av mantling till kablar.



Fig 29. Skyddshandske

Skyddshandskar och regnkläder tillverkas ofta av PVC-latex.

## Polystyren

Polystyren är en glasklar amorf volymplast. Den betecknas med PS (engelska: "polystyrene"). Polystyren har traditionellt varit den billigaste plasten och fått stor användning i bl.a. engångsartiklar.

I Sverige tillverkas den av Ineos Nova i Trelleborg. Polystyren upptäcktes redan 1839 men började inte tillverkas i kommersiell skala förrän 1931 då den lanserades på marknaden av I. G. Farben i Tyskland.

1959 utvecklades expanderad styren som betecknas EPS. Frigolit är det mest kända varumärket på expanderad styren.

## Klassificering

Vid polymerisering av styren får man en transparent, styv och hård plast med hög ytglans. Tyvärr är den mycket spröd. Ger man avkall på transparensen och styvheten, så kan man blanda den med 5 - 10 % butadiengummi (BR) och får då det som benämns slagseg polystyren vilket betecknas HIPS. Slagsegheten för HIPS kan vara 5 gånger högre än för standardpolystyren.



**Kemifakta:**

Polystyren tillverkas av monomeren styren, ett flytande kolväte som tillverkas av olja. Den kemiska beteckningen för styren monomeren i PS är:

$$\text{H}_2\text{C} = \text{CH} \begin{array}{c} | \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$$

Där "=" är en dubbelbindning och sexkanten är en s.k. bensenring med sex kolatomer i ring.

Vid varje kolatom i ringen är också bundet en väteatom. Polystyren har en oregelbunden struktur eftersom bensenringarna är slumpmässigt fördelade. Grafiskt beskrivs polystyren:

$$\begin{array}{ccccccccc} & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} & \\ & | & & | & & | & & | & & | & \\ - & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} & - \\ & | & & | & & | & & | & & | & \\ & \text{H} & & \text{C}_6\text{H}_5 & & \text{H} & & \text{H} & & \text{C}_6\text{H}_5 & \end{array}$$

Fig 30. Bilden visar styrencellplast (EPS).

Detta material har c:a 80 gånger högre volym än vanlig polystyren och används som isoleringsmaterial i byggnadsindustrin eller i engångsmuggar, stötdämpande förpackningar för elektronikprodukter m.m. samt som flytkroppar.

Även expanderad folie kan extruderas av polystyren. Tjockare folie kan varmpräglas och användas till äggkartonger, kött- eller andra livsmedelsförpackningar.

Förutom att blanda polystyren med andra polymerer kan man också sampolymerisera styren med andra monomerer för att förbättra egenskaper såsom värmebeständighet, slagseghet, styvhet, processbarhet och kemikaliebeständighet. Några vanliga styrenplaster är:

- Styren-butadienplast (SB)
- Akrylnitril-styren-akrylat (ASA)
- Akrylnitril-butadien-styren (ABS)

### Egenskaper hos polystyren:

- |                            |                               |
|----------------------------|-------------------------------|
| + Lågt materialpris        | - Sprödhet                    |
| + Hög transparens (88 %)   | - Dålig kemikaliebeständighet |
| + Försumbar fuktabsorption | - Låg mjukningstemperatur     |
| + Livsmedelsgodkänd        | - Gulnar utomhus              |
| + Hög hårdhet och ytglans  |                               |

### Återvinning

Polystyren bryts inte ned av mikroorganismer i naturen utan bör återvinnas. Både "vanlig" och expanderad polystyren är lämplig för materialåtervinning och kan användas i enklare produkter.

Återvinningskoden för polystyren är:



### Användningsområden

Polystyren kan formsprutas och extruderas. Extruderade plattor kan vakuumformas.



**Fig 31. Engångsglas**  
Mycket engångsartiklar tillverkas i polystyren.



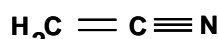
**Fig 32. CD-fodral**  
CD-fodral är en typisk produkt tillverkad i polystyren.

### ABS

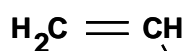
ABS är en amorf sampolymer. ABS är förkortning på akrylnitril-butadien-styren men i dagligt tal säger man alltid ABS, vilken den också kallas för på engelska. Det finns ingen tillverkas av ABS polymer i Norden men flera compounderare har den i sitt sortiment. ABS lanserade på marknaden 1948.

#### Kemifakta:

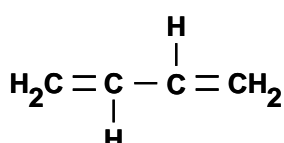
ABS är en sampolymer som är uppbyggd av monomererna:



Akrylnitril



Styren



Butadien

Polymeren ABS innehåller 15 – 30 % akrylnitril  
5 – 30 % butadien och 40 – 60 % styren.

Vid tillverkning av ABS sampolymeriseras akrylnitril och styren i närvaro av polybutadien (gummilatex). Högre halt av akrylnitril medför högre styrka och bättre kemikaliebeständighet men leder till mindre halt butadienpartiklar vilket ger lägre slagseghet.

Styrenet bidrar med hög ytglans, bra bearbetningsegenskaper och att ABS hamnar på attraktivt pris.

## ABS-blandningar


Förutom att man kan styra egenskaperna hos ABS genom att variera halten av monomera kan man även förbättra egenskaperna genom att blanda den med vissa konstruktionsplaster. Polykarbonat + ABS (PC/ABS) eller polyester + ABS (PBT/ABS) är vanliga blandningar, som på engelska kallas "plastic alloys". Dessa blandningar får ett lägre pris jämfört med ren polykarbonat eller polyester PBT och kan även flammskyddas.

PC/ABS blandningar kombinerar fördelarna hos båda plasterna och resulterar i ett material med bra flytbarhet och bättre temperatur- och UV-resistens än hos ren ABS. PBT/ABS-blandningar ger bättre kemikaliebeständighet (bl.a. bensin) och dimensionsstabilitet vid förhöjda temperaturer än hos ren ABS. Blandning av PBT/ABS ersätter bl.a. ABS, PP och PC/ABS i bilindustrin där den matta ytan erbjuder bättre replikering av textilytor än de andra plasterna vilket uppskattas i invändiga paneler m.m.

## Egenskaper hos ABS:

- + Kombinerar styvhet, styrka och seghet
- + Formstabil under belastning
- + Absorberar inte fukt
- + Bra ytglans
- + Lätt att infärga
- + Utmärkt att förkroma
- + Går att lackera
- + Bra elektrisk isolering
- + Kan fås transparent
- Värmebeständighet
- Spänningsprickbildning
- Dålig UV-beständighet
- Lösningemedelsbeständighet

## Återvinning

ABS är ett material som går utmärkt att materialåtervinna. Koden som används huvudsakligen för förpackningar är:  Eftersom det inte framgår av symbolen vilket material det är fråga om är det bättre att använda den tekniska koden: > ABS <

## Användningsområden

ABS kan formsprutas och extruderas. Extruderade plattor kan vakuumformas.

ABS är den lämpligaste plasten att förkroma. Under förkromningsprocessen etsar man bort de små nitrilpartiklarna i ytan varvid det bildas små kratrar. Kromet tränger sedan ned i kratrarna och man får en utmärkt vidhäftning mellan metallytan och ABS-ytan. Förutom det estetiska värdet blir reptåligheten mycket förbättrad. Även PC/ABS-blandningar kan förkromas. Bl.a. handtag till bildörrar tillverkas av förkromad PC/ABS-blandningar.



Fig 33. Förkromat duschhandtag

Många detaljer som tillverkats i förkromad ABS ser ut som om de vore tillverkade i metall.



Fig 34. Dörrpanel

Stora detaljer såsom dörrpaneler och instrumentbrädor till bilar tillverkas i ABS.





Fig 35. Kontorsmaskiner

ABS är ett vanligt material till höljen av kontorsmaskiner, datorer och TV-apparater.



Fig 36. Legoklossar

ABS används bl.a. i legoklossar och andra leksaker i glada färger.

## PMMA

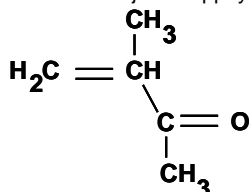
Gemene man känner i regel inte till beteckningen "PMMA" men om man säger "Plexiglas", som är det mest kända varunamnet så vet de flesta vad man menar. PMMA är en glasklar amorf akrylplast. Den lanserades som ersättning till glas år 1933 av Röhm & Haas i Tyskland under namnet "Plexiglas".

PMMA har en densitet på 1,15 - 1,19 g/cm<sup>3</sup>, vilket är mindre än hälften av glas och materialet fick ett genombrott under andra världskriget i flygplanshuvar.

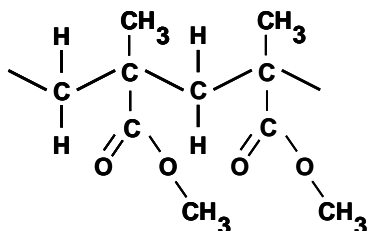
Det finns ingen tillverkare av PMMA polymer i Norden men flera compounderare har den i sitt sortiment.

### Kemifakta:

PMMA är uppbyggd av monomeren metylmetakrylat som i sin tur har följande uppbyggnad:



Grafiskt beskriver man PMMA:



Vanligtvis används inte PMMA i sin rena form utan man använder olika tillsatsmedel för att förbättra egenskaper såsom:

- Värmestabilitet och processbarhet
- Slagseghet
- Högre användningstemperatur
- UV-stabilitet

Jämfört med polystyren har PMMA bättre slagseghet och utomhusbeständighet. Jämfört med polykarbonat har PMMA sämre slagseghet men ett fördelaktigare pris. Jämfört med glas har PMMA lika hög transparens, lägre vikt, bättre slagseghet men sämre reptålighet.

PMMA levereras antingen som granulat för formsprutning eller extrudering som halvfabrikat i form av skivor, stänger eller rör.

### Egenskaper hos PMMA:

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Mycket hög transparens (98 %)</li> <li>+ Hög styvhet och ythårdhet</li> <li>+ Mycket bra UV-beständighet</li> <li>+ Bra optiska egenskaper</li> <li>+ Kan användas i implantat</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hög termisk utvidningskoefficient</li> <li>- Reptålighet</li> <li>- Spänningsprickbildning</li> <li>- Lösningsmedelsbeständighet</li> <li>- Trögflytande i smält tillstånd (svårt att fylla tunna väggar)</li> </ul> |
|--|---|

## Återvinning

PMMA är ett material som går utmärkt att återvinna. Materialåtervinning rekommenderas i första hand och energiåtervinning i andra hand.

Den lämpligaste återvinningskoden är den tekniska: > **PMMA** < eftersom förpackningskoden liksom för ABS bara anger siffran 7 vilket betyder "Övriga plaster".

## Användningsområden

PMMA kan formsprutas och extruderas. Halvfabrikat i PMMA kan bearbetas med konventionell skärande bearbetning. PMMA är överlägsen polykarbonat och polystyren vid laserbearbetning.



Fig 37. PMMA fungerar utmärkt i reflexer.



Fig 38. Raster till lysrör PMMA används mycket inom belysningsindustrin.

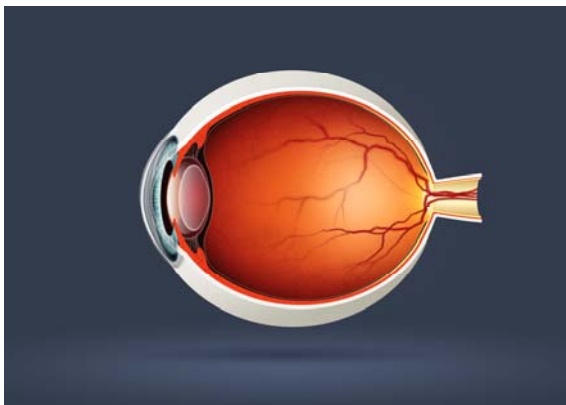


Fig 39. Ögonlins

PMMA har hög kompatibilitet med kroppsväskor och används därför som implantat. Tack vare de extremt goda optiska egenskaperna används PMMA i konstgjorda linser som opereras in i ögat.

Styva kontaktlinser som användes tidigare gjordes också i PMMA. Vid ortopediska operationer använder man PMMA för att limma ihop benbitar.



Fig 40. Skyddsglas till hockeyrink.

Skyddsglasat runt hockeyrinkar är i regel gjort av PMMA.

## Kapitel 3 - Konstruktionsplaster

### Polyamid eller Nylon

Polyamid är en delkristallin konstruktionsplast. Den betecknas med PA (eng: "polyamide"). Det finns flera olika typer av polyamid där PA6 och PA66 är de vanligaste typerna. Polyamid är den första konstruktionsplasten och är också den volymmässigt största eftersom den fått stor användning inom bilindustrin. Det finns ingen polymerisering av polyamid i Sverige. Polyamid uppfanns av DuPont i USA 1934 och lanserades först som fiber i fallskärmar och damstrumpor med varunamnet Nylon.

Några år senare kom de formsprutningsbara kvalitéerna. DuPont förlorade varunamnet, eftersom Nylon blev ett begrepp, och marknadsför idag sina polyamider under varunamnet Zytel®. Ultramid från BASF, Durethan från Lanxess och Akulon från DSM är andra kända varunamn på marknaden.

### Klassificering

Vid utveckling av polyamid har man eftersträvat att förbättra högttemperaturegenskaperna och minska vattenabsorptionen. Detta har lett till en mängd olika varianter där förutom PA6 och PA66 följande typer bör nämnas: PA666, PA46, PA11, PA12 och PA612.

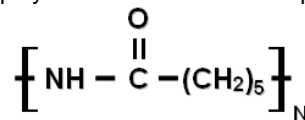
För ett 10-tal år sedan fick man fram aromatiska s.k. "high performance" polyamider. Dessa går vanligtvis under beteckningen PPA, som betyder polyphthalamide. Det allra senaste är "bio-polyamider" från förnyelsebara råvaror. DuPont lanserade t.ex. PA1010 förra året.



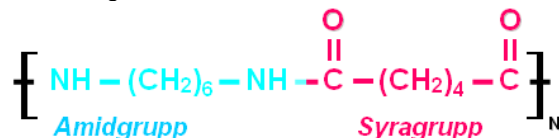
Fig 41. Polyamid har en utmärkt kombination av bra elektriska egenskaper, hög användningstemperatur och flamskyddsmöjlighet (upp till UL V-0 klassning). Materialet används därför mycket till elektriska komponenter såsom säkringar, brytare, transformator kåpor etc. Foto: DuPont

### Kemifakta:

Polyamid finns i en mängd olika varianter där sifferbeteckningen efter "PA", t.ex. PA66, anger antalet kolatomer i molekylerna som bygger upp monomeren. PA6 som är den vanligaste typen av polyamid har den enklaste uppbyggnaden:



PA66 har en monomer som är uppbyggd av två olika molekyler där vardera molekyl har sex kolatomer vilket framgår av nedan:



### Egenskaper hos polyamid:

- + Styvhet vid höga temperaturer (glasfiberarmerad)
- + Hög användningstemperatur 120°C kontinuerligt och 180°C kortvarig toppstemperatur
- + Bra elektriska egenskaper
- + Livsmedelsgodkända kvalitéter finns
- + Kan flamskyddas
- Absorberar mycket fukt ur luften vilket förändrar de mekaniska egenskaperna och dimensionsstabiliteten
- Spröd vid låga temperaturer om den inte har slagseghetsmodifierats

Mekaniska egenskaper	Okond.	Kond.	Enhet
Styvhet (dragmodul)	3100	1400	MPa
Dragspänning (vid töjgräns)	82	53	MPa
Töjning (vid töjgräns)	4,5	25	%
Charpy skårad slagseghet + 23°C	5,5	15	kJ/m <sup>2</sup>
Charpy skårad slagseghet - 30°C	4,5	3	kJ/m <sup>2</sup>

Fig 42. Tabellen visar de mekaniska egenskaperna för en standardkvalité av PA66 i torrt (Okonditionerat) tillstånd samt efter att materialet har absorberat 2,5 % fukt vid 23°C och 50 % rel. fuktighet (mättat tillstånd). Styvheten sjunker med 65 % och dragsegheten med 35 % medan segheten (töjningen) ökar 5 gånger. Slagsegheten vid rumstemperatur ökar tre gånger medan den vid kyla istället sjunker med 33 %.

Källa: DuPont

## Återvinning

Polyamid kan återanvändas både mekaniskt och kemiskt. Återvinningskoden för polyamid är PA inom klamrar. D.v.s. för en 30 % glasfiberarmerad PA66 anges koden på följande sätt:

>PA66 GF30<

## Användningsområden

Polyamid kan formsprutas, extruderas och formblåsas.

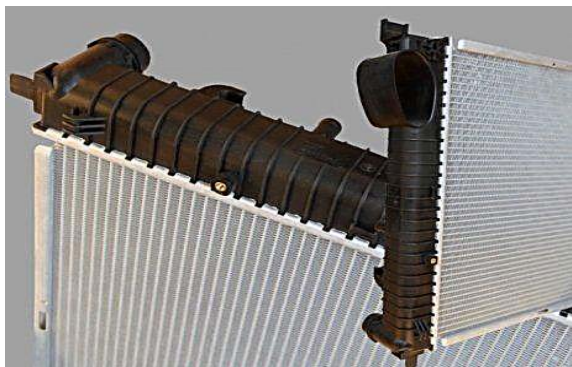


Fig 43. Gavlarna till bilkylare formsprutas i en speciellt hydrolysstabiliserad kvalitet av polyamid 66.  
Källa: Polykemi AB



Fig 44. Kåpor och bensintank till motorsågar tillverkas i slagseghetsmodifierad polyamid som tål tuff hantering vid låga temperaturer, bensin och oljor.  
Foto: Husqvarna



Fig 45. Bilindustrin är stora användare av polyamid. Bilden visar en modul i glasfiberarmerad Zytel<sup>®</sup> HTN PPA som ingår i det första kommersiella oljeträget i plast. Denna del sitter i den nya 4-cylindriga dieselmotorn i Mercedes C-klass. Daimler vann nyligen SPEs "Most Innovative Use of Plastics" första pris i drivlineklassen.  
Källa: DuPont



Fig 46. Elektriska handverktyg har nästan alltid kåpor i slagseghetsmodifierad polyamid eftersom materialet klarar hårdhänt behandling och har bra elektriska isoleringsegenskaper.  
Foto: DuPont



Fig 47. I pedalställ till bilar har slagseg glasfiberarmerad polyamid ersatt metall med stor viktbesparing som resultat.  
Foto: DuPont



Fig 48. Denna cykelhjälm med inbyggd backspegel tillverkas i Zytel<sup>®</sup> ST 801, superseg polyamid 66 från DuPont.  
Foto: DuPont



Fig 49. Det finns speciella formblåsningstekniker av polyamid. Denna ventilations slang är tillverkad på detta sätt i polyamid 66.  
Foto: DuPont

## Acetalplast

Acetalplast är det mest kristallina materialet av alla konstruktionsplaster. Den betecknas med POM som är förkortning av den kemiska beteckningen polyoximetylen. På engelska kallas den också för acetal. Det finns två varianter av acetalplast: acetal homopolymer och acetal copolymer. Acetal homopolymer uppfanns och lanserades på marknaden av DuPont i USA 1958. Två år senare kom Celanese i USA med acetal copolymer. Det är svårt att tillverka acetalplast så det finns bara några få tillverkare på världsmarknaden, varav Ticona med varunamnet Hostaform, DuPont med varunamnet Delrin® och BASF med varunamnet Ultraform är de tre ledande tillverkarna.

### Kemifakta:

Acetalplast är uppbyggd av monomeren polyoximetylen som på svenska kallas formaldehyd. Det finns c:a 1500 formaldehydmolekyler (markerat med rött) i homopolymerens kedja. Om man har acetal copolymer så finns c:a 2,5 % av en annan monomer i polymerkedjan (den s.k. copolymergruppen, här markerat med blått).

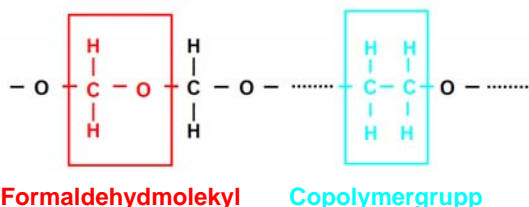


Fig 50. Hjulen på korgarna i diskmaskiner tillverkas i acetal copolymer eftersom varmvattenbeständigheten är bättre än för acetal homopolymer.

Homopolymeren har bättre mekaniska egenskaper jämfört med copolymeren, medan copolymeren har bättre beständighet mot varmvatten. Bearbetningsmässigt och prismässigt ligger de idag ungefär lika.

### Egenskaper hos acetalplast:

- + Den styvaste oarmerade konstruktionsplasten
- + De mekaniska egenskaperna påverkas obetydligt i temperaturområdet – 40°C till + 80°C
- + Hög seghet utan tillsatser
- + Hög utmattningshållfasthet
- + Bra krypresistens
- + Utmärkta fjäderegenskaper
- + Tar ej upp fukt utan har bra dimensionsstabilitet
- + Bra beständighet mot bensin och lösningsmedel
- + Utmärkta friktions och nötningsegenskaper
- + Kan fås livsmedelsgodkänd
- Max kontinuerlig användningstemperatur är endast 80°C och kortvarig topptemperatur är 120°C
- Gnisslar mot sig själv (kan elimineras med smörjmedel)
- Känslig för brottsanvisningar (d.v.s. skarpa hörn)

### Återvinning

Acetalplast kan återanvändas både mekaniskt och kemiskt. Vid kemisk återvinning bryter man ned materialet i dess beståndsdelar för att sedan polymerisera nyvara igen. Med dagens råoljepris är detta emellertid dyrare än att tillverka nyvara från olja.

Återvinningskoden för acetalplast är: >POM<

## Användningsområden för POM

Acetalplast kan formsprutas och extruderas. På senare tid har man utvecklat kvalitéer som går att lackera och förkroma.



Fig 51. Alpin skidbindning i Delrin®

Acetalplast är lämplig i skidbindningar eftersom de mekaniska egenskaperna påverkas obetydligt i det temperaturområde som bindningarna används. D.v.s. utlösningkraften blir i det närmaste konstant. Foto: DuPont

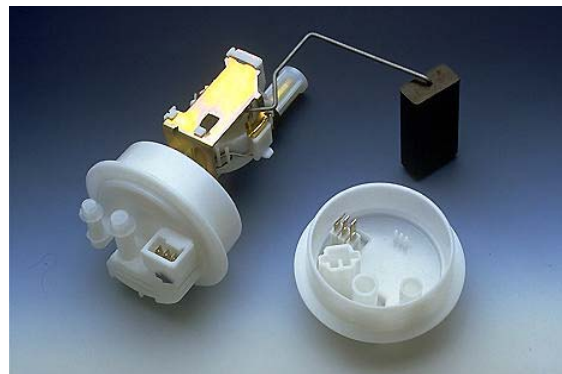


Fig 52. Nivåmätare till bensintank i Delrin®

Acetalplast har mycket god beständighet mot bensin med eller utan etanol och används mycket av bilindustrin till tanklock, påfyllningsrör, nivåmätare, bensinpumpar etc. Foto: DuPont



Fig 53. Kedjelänkar till transportör

Acetalplastens utmärkta friktions- och nötnings-egenskaper kommer väl till pass i denna typ av applikationer. Foto: Flexlink AB



Fig 54. Kugghjul

Acetalplast är det naturliga valet när man skall tillverka kugghjul i plast. Utmärkt utmattnings-hållfasthet i kombination med låg friktion och nötning.



Fig 55. Snäpplås

Tack vare att acetalplasten är den mest kristallina konstruktionsplasten har den de mest metallliknande egenskaperna. De utmärkta fjäderegenskaperna uppskattas vid konstruktion av olika typer av snäppen och snäpplås.



Fig 56. Medicinska tillämpningar i Delrin®

Det finns speciella kvalitéer av acetalplast som används till medicinska tillämpningar såsom inhalatorer och instrument. Acetalplast går att sterilisera. Foto: DuPont

## Polyester

Polyester är namnet på en grupp plaster som både kan vara av typen hårdplast eller termoplast. Termoplastisk polyester kan i sin tur vara antingen amorf eller kristallin. Bland de kristallina typerna återfinns vi konstruktionsplasterna PBT och PET men även mer avancerade plaster såsom PCT och LCP, som vi återkommer till i nästa artikel. I detta kapitel skall vi fokusera på de delkristallina termoplastiska polyestrarna PBT och PET. På engelska har dessa material samma namn som på svenska (thermoplastic polyester).

Polyestrarna kombinerar hög styvhet, hög temperaturbeständighet och bra elektriska egenskaper och används framför allt i el- och elektronikindustrin samt fordonsindustrin. Det är emellertid en mycket liten del av all polyester som används till formsprutning och extrudering eftersom den största användningen går till fibertillverkning, förpackningar och film.

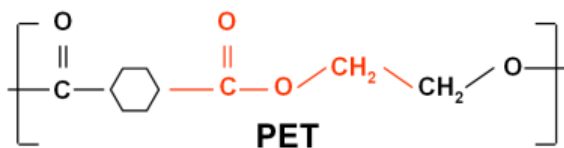
Det var Carothers, mannen som sedermera uppfann nylon, som först upptäckte polyester vid DuPonts laboratorier i USA i slutet av 1920-talet. DuPont lanserade dock inte materialet på marknaden utan det var tyska Agfa som lanserade det som fiber 1940. De första formsprutningsbara kvalitéerna lanserades i mitten på 1960-talet av Akzo i Holland men det verkliga genombrottet som konstruktionsplast kom först under 1980-talet.

Polyester PBT, där PBT står för den kemiska beteckningen polybutentereftalat, är den typ som är lättast att bearbeta (kräver inte lika extrem torkning som PET) och har därför blivit det volymmässigt största materialet av de två. PBT lanserades av Celanese i USA 1970. Ledande tillverkare av PBT är Sabic med varunamnet Valox, DuPont med Crastin<sup>®</sup>, Lanxess med Pocan, BASF med Ultradur och DSM med Arnite.

Polyester PET, där PET står för polyetentereftalat har bättre mekaniska och termiska egenskaper jämfört med PBT. Materialet blir dock väldigt sprött om det inte förtorkas till under 0,02 % fukthalt (PBT kräver 0,04 och polyamid 0,2 %), vilket ställde till en del problem då det lanserades, eftersom få formsprutare hade tillräckligt bra kunskap och utrustning att bearbeta ett så svårtorkat material. I dag har torkningstekniken kommit ifatt, så nu klarar de flesta formsprutare av att bearbeta PET. De ledande tillverkarna av formsprutningskvaliteter i PET är DuPont med varunamnet Rynite<sup>®</sup>, DSM med Arnite och Ticona med Impet.

### Kemifakta:

Polyester PET har den enklaste uppbyggnaden med nedanstående monomer. Molekylen som består av de atomer som har markerats med rött i nedanstående kemiska formler är den s.k. estergruppen som har gett polyestrarna dess namn.



PBTs monomer är uppbyggd på ett liknande sätt som PET, men här ingår ytterligare två kol och fyra väte.

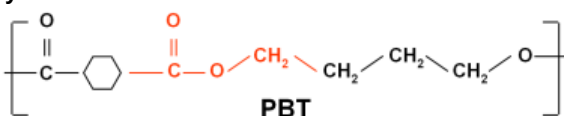



Fig 57. Polyester är ett material som kan förekomma i många olika varianter. På bilderna ovan ser vi flaskor i amorf PET och ett strykjärn i glasfiberarmerad delkristallin PET.

## Egenskaper hos polyester PBT och PET

- + Styvhet vid höga temperaturer (glasfiberarmerad)
- + Dimensionsstabil (absorberar inte fukt som polyamid)
- + Hög användningstemperatur 130°C resp. 180°C (kontinuerligt resp. kortvarig toppstemperatur) för PBT och 155°C respektive 200°C för PET
- + Bra elektriska egenskaper
- + Bra utomhusbeständighet (UV-ljus)
- + Kan flamskyddas
- + Hög ytglans
- + Kan fås i fina färger, lackeras och metalliseras
- Bryts ned av varmvatten över 80°C (hydrolys)
- Beständighet mot starka syror och baser, oxidanter och alkohol är dålig

## Återvinning

Polyestrarna kan återanvändas både mekaniskt och kemiskt. Återvinningskoden för PET när det gäller förpackningar och flaskor är:  eller > PET < när det gäller tekniskt formgods.

För PBT är koden: > PBT <

## Användningsområden

Polyester kan formsprutas, extruderas, film- och formblåsas. Skivor i amorf PET kan vakuumformas.



Fig 58. Ugnshandtag tillverkas i en speciellt färgstabiliserad typ av polyester PET som inte gulnar när den utsätts för hög temperatur. PBT är det vanligaste materialet i ugnsvred.



Fig 59. Tack vare att glasfiberarmerad PBT tål hög temperatur, är dimensionsstabil, har hög ytglans och går att metallisera har det blivit ett viktbesparande alternativ till metall i strålkastarinsatser.



Fig 60. Både PET och PBT används i strykjärn tack vare att de tål hög temperatur, kan fås i fina färger och har bra ytglans.



Fig 61. De orangerfärgade handtagen på Fiskars saxar tillverkas i färdiginfärgad PBT. De tål maskindisk och lösningsmedel.



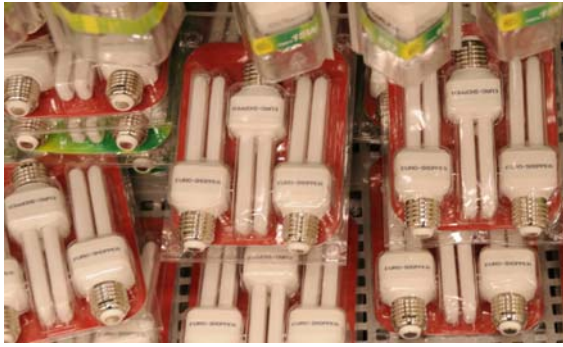


Fig 62. Elektronikretsarna i lågenergilampor är inkapslade i ett hölje av PBT. Förpackningarna till lamporna på bilden är gjorda av vakuumformade skivor av transparent amorf PET.

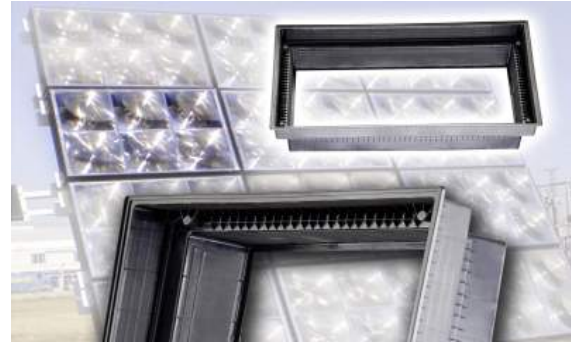


Fig 63. Både PET och PBT har mycket god beständighet mot solens UV-strålar och lämpar sig därför i utomhusapplikationer. Ramarna till solcellerna är c:a en meter långa och gjorda i Rynite® PET. Foto: DuPont



Fig 64. Både PBT och PET har bra elektriska isoleringsegenskaper. Kapsling och rotor till denna lilla elmotor är tillverkade i glasfiberarmerad PET. Foto: DuPont



Fig 65. Elkontakter både i fordons- och elindustrin tillverkas ofta i PBT. Både PBT och PET flyter väldigt lätt i formverktygen varför mycket tunnväggigt gods går att fylla utan problem. Foto: DuPont

## Polykarbonat

Polykarbonat är en glasklar mycket slagseg amorf konstruktionsplast. Den betecknas med PC som är en förkortning av det engelska kallas namnet "polycarbonate". Materialet uppfanns under 1950-talet och lanserades på marknaden av Bayer i Tyskland 1958. Bayer gav materialet varunamnet Makrolon. Andra stora tillverkare av polykarbonat är Sabic med varunamnet Lexan, Dow med Calibre och DSM med Xantar.

### Kemifakta:

Polykarbonat har en mycket komplex monomer med dubbla aromatiska grupper (s.k. bensenringar) vilket framgår av nedanstående kemiska formel:

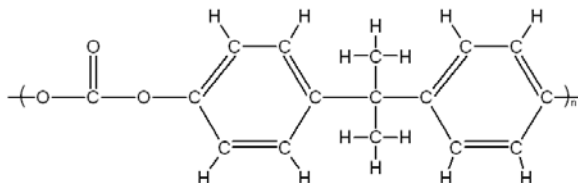


Fig 66. Cirka en tredjedel av all tillverkad PC används till PC-, DVD- och Blu-rayskivor.

Materialet har vuxit kraftigt på senare år tack vare den revolutionerande utvecklingen av CD- och DVD-skivor, slagsegt plastglas i bygnadsindustrin samt i bilstrålkastare. C:a 10 – 15 % av all polykarbonat används i legeringar med andra plaster för att få en bra kombination av egenskaper och pris. Exempel är: PC-ABS som används i skalet på mobiltelefoner, PC-PBT som bättre klarar ugnshårdning av lackerade detaljer i bilindustrin och PC-ASA som får bättre UV-beständighet än ren polykarbonat.

### Egenskaper hos polykarbonat:

- + Glasklar (ljusgenomsläpplighet 89 %)
- + Mycket hög slagseghet (ända ned till  $-40^{\circ}\text{C}$ )
- + Hög användningstemperatur ( $120^{\circ}\text{C}$  kontinuerligt och  $145^{\circ}\text{C}$  kortvarig toppbelastning)
- + Obetydlig fuktabsorption och bra dimensionsstabilitet
- + Lägre formkrympning än de flesta andra plaster
- + Bra elektriska egenskaper
- + Självslöcknande V-2 och kan fås V-0 med tillsatser
- + Livsmedelsgodkänd
- Hög tendens till spänningsprickbildning vid konstant belastning
- Lösningemedel utlöser sprickbildning
- Bryts ned av varmvatten  $> 60^{\circ}\text{C}$  men klarar maskindiskning

### Återvinning

Polykarbonat kan återanvändas både mekaniskt och kemiskt.

Återvinningskoden för polykarbonat är: **>PC<**

### Användningsområden

Polykarbonat kan formsprutas och extruderas både med och utan glasfibrer.

Plattor i PC kan vakuumformas



Fig 67. Polykarbonat har dålig kemikaliebeständighet, som framgår av salladsskålen ovan där sprickorna har utlösts av vinäger.



Fig 68. Extruderade rör i glasfiberarmerad polykarbonat blir både styva och starka och klarar tuff påkänning som stängen till paddeln i denna bild visar.



Fig 69. Glaset till bilstrålkastare tillverkas i polykarbonat och beläggs med ett tunt skikt av siloxan för att förbättra reptåligheten, UV-skyddet och skydda mot lösningemedel.



Fig 70. Polykarbonat är otroligt slagseg och lämpar sig därför mycket bra till motorcykelhjälmars eftersom materialet även går bra att lackera. Visiret liksom skyddsglasögon tillverkas också i polykarbonat.

## Kapitel 4 – Avancerade plaster

### Avancerade termoplaster

På engelska kallar man denna typ av material för "high performance" vilket fritt skulle kunna översätta till högpresterande plaster eller plaster med de bästa egenskaperna. Vilka egenskaper är det då som man har haft i åtanke när man har utvecklat materialen som tillhör denna kategori?

Nedan kan vi se den önskelista som forskarna kan ha haft när de utgick från konstruktionsplasternas egenskaper:

- Bättre möjlighet att kunna ersätta metaller
- Förbättrade mekaniska egenskaper såsom styvhet, draghållfasthet och slagseghet
- Förhöjd användningstemperatur
- Mindre påverkan av omgivande temperatur och luftfuktighet på de mekaniska egenskaperna
- Mindre tendens till kryp vid belastning
- Förbättrad kemikalieresistens (speciellt med tanke på de vätskor som förekommer i bilar d.v.s. bränsle, oljor, glykol, rengöringsmedel etc.)
- Förbättrade flamskyddsegenskaper
- Förbättrade elektriska isoleringsegenskaper
- Mindre friktion och nötningsbenägenhet
- Bättre barriäregenskaper (främst bränsle och syre)

Dessutom vill man ju alltid att nya material skall:

- Ha ett vettigt pris i relation till egenskaperna
- Vara lätta att bearbeta i vanlig maskinutrustning
- Enkla att återvinna

Avancerade armeringssystem med kol- och aramidfibrer eller beläggning med s.k. nanometaller används också i kombination med de avancerade polymererna för att uppnå ovanstående mål.

Plaster vars största målsättning är att ersätta metaller kallas ibland för "structural materials" i engelskspråkig litteratur. Då endast 4 % av applikationerna i metall hittills bedöms ha konverterats till plast, så förstår man att det finns stora möjligheter till att ersätta metall med plast i framtiden.

I detta avsnitt kommer vi att ge en översikt av följande delkristallina avancerade plaster:

1. Fluorplast (PTFE)
2. Högpresterande aromatisk nylon (PPA)
3. "Liquid crystal polymer" (LCP)
4. Polyfenylensulfid (PPS)
5. Polyetereterketon (PEEK)

samt följande amorfa plaster:

6. Polyeterimid (PEI)
7. Polysulfon (PSU)
8. Polyfenylsulfon (PPSU)

## Fluorplaster - PTFE

Det finns en mängd olika varianter i denna grupp av delkristallina plaster där PTFE (polytetrafluoreten) är den största volymmässigt på marknaden.

Detta material upptäcktes av en slump 1938 i DuPonts laboratorier i USA när man experimenterade med olika köldmedel. Man gav materialet varunamnet Teflon®.

Detta material har den lägsta kända friktionskoefficienten, den bästa kemikaliebeständigheten och de bästa elektriska isoleringsegenskaperna av alla plaster och kan användas i temperaturer upp till 260°C.



Fig 71. Teflon®-pannor är ett utmärkt exempel på en produkt där man drar nytta av PTFE:s överlägsna temperatur- och kemikalieresistens i kombination med låg friktion ("non-stick").

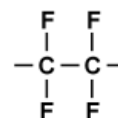
Andra material inom fluorplastfamiljen är PCTF, PVDF, PVF samt sampolymererna FEP, PFA, E/CTFE, E/TFE, THF m.m.

### Egenskaper hos PTFE

- + Extrem kemikaliebeständighet
- + Extremt låg friktionskoefficient
- + Extremt bra elektriska egenskaper
- + Tål extremt låga och höga användningstemperaturer (från -200°C till +260°C)
- + UV-resistent
- + Flamsäker
- + Kompatibel med mänsklig vävnad
- Dålig nötningshållfasthet
- Dåliga kryp- och kallflytningsegenskaper
- Hög densitet (upp till 2,3 g/cm<sup>3</sup>)
- Kan ej bearbetas med konventionella metoder

#### Kemifakta:

PTFE har en enkel uppbyggnad bestående av endast av kol- och fluoratomer i monomeren:



### Användningsområden

PTFE kan inte formsprutas eller extruderas utan bearbetas genom formpressning och strängsprutning för att sedan sintras. PTFE kan också dispergeras och användas för ytbeläggning och filmtillverkning. Tejp kan tillverkas med hjälp av kalandrering.

Sampolymeren FEP däremot går att formspruta, extrudera och formblåsa i speciella maskiner.

PTFE:s och andra fluorplasters unika egenskaper gör att man använder dessa material till rör, beläggningar och tätningar i extremt korrosiv miljö (kemisk industri). Man använder materialen när man vill ha låg friktion såsom i självmörjande glidlager och glidytor eller non-stick i husgeråd som stekpannor, bakformar m.m.

De extrema elektriska isoleringsegenskaperna tar man till vara på vid kabelisolering och annan isolering i elektronikindustrin. PTFE åldras obetydligt och används därför i medicinsk industri och som implantat.

## ”High performance” nylon - PPA

PPA är den kemiska beteckningen för polyftalamid och omfattar en grupp delkristallina aromatiska polyamider med klart förbättrade mekaniska, kemiska och temperaturegenskaper jämfört med polyamid 6 och 66. Dessa material tar också upp betydligt mindre fukt än PA6 och PA66 och är mera dimensionsstabila. Andra beteckningar på material i denna grupp, som återfinns i vissa databaser, är PA6T/6, PA6T/66, PA6T/PI och PA6T/XT.

De ledande tillverkarna på marknaden är DuPont med varunamnet Zytel® HTN, EMS med varunamnet Grivory och Solvay med varunamnet Amodel.

	Enhet	Zytel® PA66 35 % glas		Zytel® PA6 35 % glas		Zytel® HTN51 35 % glas	
		Okond.	Kond.	Okond.	Kond.	Okond.	Kond.
Styvhet	MPa	11200	8300	11100	7500	12500	12500
Draghållfasthet	MPa	210	140	190	130	220	210
Brottöjning	%	3,2	4,6	3	5	2,4	2,1

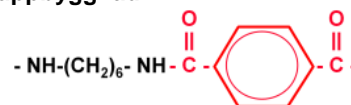
Fig 72. I tabellen ovan jämförs några mekaniska egenskaper mellan PA66, PA6 och PPA med 35 % glasfiberarmering. Som synes är det stor skillnad på egenskaperna om PA66 och 6 har tagit upp fukt (mättad vid 50 % relativ fuktighet) eller om de är okonditionerade (direkt från formsprutan). PPA påverkas däremot inte alls (styvhet) eller endast marginellt (draghållfasthet och töjning). Källa: DuPont

### Egenskaper hos PPA

- + Styvare, starkare och högre krypresistens än de flesta andra plaster gör PPA lämplig för ersättning av metall
- + Hög användningstemperatur (150°C kontinuerligt och 200°C kortvarig toppstemperatur)
- + Mycket lägre vattenabsorption jämfört med PA6, PA66 och PA46 och därmed bättre dimensionsstabilitet
- + Bättre kemikaliebeständighet än PA6 och PA66
- + Bra elektriska egenskaper
- + Kan fås flamsäker med halogenfria tillsatser
- Sämre slagseghet jämfört med PA6 och PA66

#### Kemifakta:

I PPA har man bytt ut syragruppen i PA66 mot en aromatisk grupp varför monomeren har följande uppbyggnad:



Den aromatiska gruppen är markerad med röd färg.

### Användningsområden

De allra flesta kvaliteter av PPA är glasfiberarmerade och används enbart till formsprutning.

De utmärkta mekaniska egenskaperna gör materialet till ett bra alt. för metallersättning.

De flesta tillämpningar finns i bilindustrin (motordelar) och el- och elektronikindustrin där kontakter och s.k. backbones i mobiltelefoner förbrukar mycket PPA.



Fig 73. AD-plast i Anderstorp vann Plastovationer 2008 (designtävling i Plastforum) med sin snäcka i PPA som ersätter zink. Snäckan används för att sätta ihop monteringsbara möbler och är med bibehållen dimension 1,5 gånger starkare än zink och väger 7 gånger mindre. Foto: AD-Plast

## ”Liquid crystal polymer” - LCP

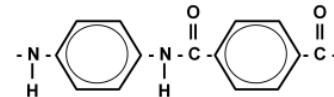
LCP-materialen är delkristallina och har självvarmerande egenskaper (bygger fiberstruktur liknande trä i flytriktningen när de formsprutas). Materialen kan antingen vara av typen aromatiska polyamider s.k. aramider (t.ex. DuPonts Kevlar®-fiber) eller aromatiska polyestrar.

De aromatiska polyestertyperna är termotropa (med en övergångsfas med flytande kristaller i smältan).

Ledande tillverkare av formsprutningsbara LCP-material är Ticona med varunamnet Vectra och Solvay med varunamnet Xydar. Ticona förvärvade DuPonts Zenite under 2010.

### Kemifakta:

Alla LCP-material har monomerer bestående av flera aromatiska grupper. Aramid (t.ex. DuPonts Kevlar®) har den enklaste uppbyggnaden med två aromatiska grupper:



## Egenskaper hos LCP

- + Bra balans mellan styvhet, styrka, seghet och utmärkt krypresistens gör LCP utmärkt till metallersättning
- + Extremt hög användningstemperatur (240°C kontinuerligt) gör att man kan löda elektronik blyfritt
- + Bibehåller egenskaperna vid förhöjd temperatur
- + Mycket lättflytande (lätt att fylla tunnväggigt gods)
- + Utmärkt kemikalieresistens
- + Flamsäker (V-0 klassad utan tillsatsmedel)
- + Utmärkta dielektriska egenskaper
- Svaga sammanflytningslinjer
- Dålig ytglans

## Användningsområden

De allra flesta kvalitéer av formsprutningsbara LCP är glasfiberarmerade. De används i regel till mindre komponenter som spolar och kontakter inom el- och elektronikindustrin, belysning, mobiltelefoner, tändsystem och sensorer till bilar, fiberoptiska kontakter m.m. Här kräver man hög användningstemperatur, bra elektriska egenskaper och flamskydd.

Materialen kan fås livsmedelsgodkända och används till stekgrytor för både mikrovågsugn och i vanlig ugn.



Fig 74. LCP har hög användningstemperatur och är självslocknande. Det används bl.a. till lamphållare i halogenlampor i både belysnings och bilindustrin där det ibland ersätter keramik.  
Foto: DuPont



Fig 75. Bilden ovan visar ugnsfasta kärl i Vectra LCP från Ticona. Materialet har ett mycket stort temperaturområde och delarna behåller formen från -196 to 280 °C.

Källa: Ticona

## Polyfenylensulfid - PPS

Glasfiberarmerad polyfenylensulfid är ett oerhört styvt material med E-modul över 20 GPa. Materialet tål hög temperatur och har den näst bästa kemikalibeständigheten efter PTFE.

Materialet känns lätt igen eftersom det har en metallisk klang när man slår på det. PPS lanserades av Chevron Phillips i USA 1968 under varunamnet Ryton som är det mest kända.

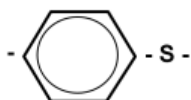
Förutom Chevron Phillips finns det andra tillverkare av PPS på marknaden och andra som marknadsförs i Sverige är Ticona med varunamnet Fortron och Albis med Tedur.

### Egenskaper hos PPS

- + Exceptionellt hög styvhet (med upp till 65 % glasfiber) och hög krypresistens
- + Mycket hög användningstemperatur (240°C kontinuerligt och 260°C topptemperatur)
- + Extremt bra kemikaliebeständighet (upp till 200°C)
- + Obetydlig fuktabsorption och bra varmvattenresistens
- + Utmärkt dimensionsstabilitet och obetydlig krymp
- + Flamsäker (UL V-0) utan tillsatsmedel
- + Bra elektriska egenskaper
- Låg brottöjning (< 2 %)

#### Kemifakta:

Polyfenylensulfid har en enkel uppbyggnad med en aromatisk grupp bunden till svavel:



### Användningsområden

De allra flesta kvaliteter av PPS är glasfiber/mineralarmerade och används till formsprutning, men det finns också oarmerade kvaliteter för extrudering.

En hel del PPS används i bilindustrin i bränsle- och tändningssystem, detaljer i el- och elektronikindustrin med krav på hög användningstemperatur och flamskydd samt i komponenter som kräver bra mekaniska egenskaper i kombination med extrem kemikalie- och korrosionsresistens.



Fig 76. PPS används i krävande varmvatten applikationer som i det svarta termostathuset till BMW eller den bruna kylargaveln. Man tillverkar också högprecisionsdetaljer som skall tåla hög temperatur som diodbryggan till höger eller kemikaliepåverkan som de små impellrarna till bränslepumpar mitt i bilden.

Foto: Mape Plastics AB



Fig 77. PPS är godkänt i drickvattensapplikationer, vilket var ett krav i vattenmätaren "AGAWA" ovan. Materialet i vattenmätaren, som förutom extremt bra kemikalie- och temperaturrestans också har hög styvhet och krypresistens egenskaper heter Fortron och tillverkas av Ticona.

Foto: Ticona

## Polyetereterketon - PEEK

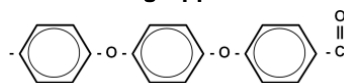
Polyetereterketon eller PEEK som man vanligtvis kallar denna polymer är delkristallin och har de bästa mekaniska egenskaperna och temperaturrestansen av alla termoplaster i kombination med utmärkt kemikalieresistens som även bibehålles vid extremt höga användningstemperaturer. Materialet utvecklades av ICI i England under 1970-talet och lanserades på marknaden 1980 under varunamnet Victrex. 1993 bildades ett separat företag med namnet Victrex PLC som har c:a 90 % av världsmarknaden på PEEK.

### Egenskaper hos PEEK

- + Mycket hög styvhet, styrka och utmattningshållfasthet
- + Extremt hög användnings- och mjukningstemperatur (260°C kontinuerligt och topptemperatur över 300°C)
- + Utmärkt kemikalieresistens även vid hög temperatur
- + Extremt bra friktions- och nötningsegenskaper
- + Flamsäker (V-0 klassad utan tillsatsmedel)
- + Bra elektriska egenskaper
- + Livsmedelsgodkänd och kan användas till implantat
- Mycket högt pris (800 – 1 000 kr/kg)

#### Kemifakta:

Monomeren i PEEK har tre aromatiska grupper:



### Användningsområden

PEEK kan formsprutas, extruderas och formlåsas och används till produkter med högt ställda krav t.ex. kullageringar, kolvar, ventiler. Det används i den kemiska processindustrin, bilindustrin, el- och elektronikindustrin, flyg- och rymdindustrin och inom den medicinska industrin där den används till bl.a. implantat.



Fig 78. Kullageringar, pumpdetaljer, kugghjul och även slangar där hög precision i kombination med bra mekaniska egenskaper, låg nötning, bra kemikaliebeständighet och extremt hög användningstemperatur krävs tillverkas i PEEK. Foto: Mape Plastics AB

## Polyeterimid - PEI

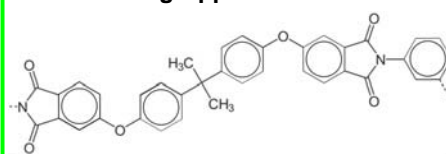
Polyeterimid är en amorf termoplast med utmärkt temperaturreständighet i kombination med bra mekaniska egenskaper, kemikalieresistens och flamskydd. Bland alla amorfa plaster har PEI den högsta resistensen mot spänningssprickbildning. Materialet introducerades på marknaden 1982 av General Electric under varunamnet Ultem.

### Egenskaper hos PEI

- + Hög användnings- och mjukningstemperatur (180°C kontinuerligt och mjukningstemp. på 217°C)
- + Bra kemikalieresistens
- + Bra resistens mot spänningssprickbildning
- + Flamsäker (V-0 klassad utan tillsatsmedel)
- + Mycket bra dimensionsstabilitet
- + Bra beständighet mot UV- och microvågsstrålning
- + Livsmedelsgodkänd och kan steriliseras
- + Intressant pris i förhållande till många andra avancerade plaster (c:a 250 kr/kg)
- Krypbeständighet (jämfört med delkristallina avancerade plaster)

#### Kemifakta:

Monomeren i PEI har fem aromatiska grupper:





## Användningsområden



PEI är lättarbetad och kan formsprutas, extruderas, formblåsas och vakuumformas. Det används till produkter inom el-, elektronik-, fordons- och verkstadsindustri med högt ställda krav på temperaturbeständighet, dimensionsstabilitet och flammskydd.

Fig 79. Bilden visar en produkt som kallas Ricordi Chamber. Det är en medicinsk behållare som används vid organtransplantation. Anledningen till att man valt Ultem PEI är att materialet klarar upprepade sterilisation. Källa: Erteco Rubber & Plastics

## Polysulfon - PSU

Polysulfon (engelska: "polysulphone") är den volymmässigt största av de amorfa sulfonplasterna.

Materialet lanserades 1965 av Union Carbide i USA under varunamnet Bakelite. Senare ändrade man namnet till Udel.



Union Carbide sålde polysulfontillverkningen till Amoco Performance Products. Idag tillverkas materialet av Solvay Advanced Polymers.

Polysulfon har goda mekaniska egenskaper i ett brett användningstemperaturområde.

Fig 80. PSU kan fås livsmedelsgodkänt och används bl.a. i detaljer till mjölkningsmaskiner. En fördel här är att produkterna är transparenta och att man kan ångsterilisera dem vid rengöring.

PSU kan legeras med andra plaster, t.ex. med ABS. Denna modifiering av PSU minskar risken för spänningssprickbildning samtidigt som man får ett fördelaktigare pris. Materialet får dock sämre mekaniska egenskaper vid hög temperatur jämfört med ren PSU. Ett vanligt varunamn här är Mindel, också från Solvay.

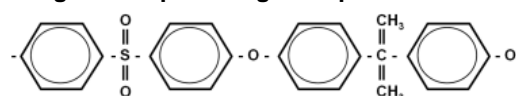
## Egenskaper hos PSU

- + Stort användningstemperaturområde (från - 100°C till 160°C kontinuerligt)
- + Obetydlig förändring av styvheten inom användningstemperaturområdet
- + Utmärkta hydrolysegenskaper (varmvatten)
- + Livsmedels- och läkemedelsgodkänt
- + Kan ång-, etenoxid- och gammastrålningsteriliseras
- + Kan fås i V-0 flamsäkerhetsklass
- Känslig för spänningssprickbildning i vissa lösningsmedel
- UV-beständighet (kan dock förbättras med tillsatser)
- Exceptionellt hög bearbetningstemperatur (upp till 390°C vid formsprutning)

### Kemifakta:

PSU har fyra aromatiska grupper i monomeren.

Det är denna uppbyggnad som bidrar till de goda temperaturegenskaperna:



## Användningsområden

PSU kan bearbetas med de flesta metoder för termoplaster. Det finns i halvfabrikat i form av stång, rör, profiler, skivor och film.

Man använder materialet när man behöver transparenta produkter som tål höga temperaturer och varmvatten eller med dessa egenskaper i kombination med livsmedel- eller medicinskt godkännande. Exempel är medicinska produkter där PSU ersätter glas, utrustning för heta drycker (t.ex. kaffebryggare), delar och kokkärl för mikrovågsugnar, hårtorkar och bilkomponenter.

## Polyfenylsulfon - PPSU

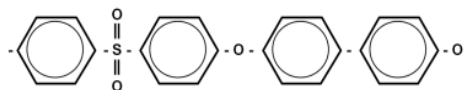
Polyfenylsulfon (engelska: polyphenylsulfone) påminner egenskapsmässigt mycket om PSU men har betydligt bättre slagseghet (10 gånger) och mindre risk för spänningsskorrosion. Den ledande tillverkaren på marknaden är Solvay Advanced Polymers med varunamnet Radel.

## Egenskaper hos PPSU

- + Hög användningstemperatur (190°C)
- + Exceptionellt hög slagseghet (även vid hög temperatur och efter värmeåldring)
- + Mycket hög brandklass (klarar FFA-krav för inredning i flygplan)
- + Bra resistens mot spänningssprickbildning
- + Går utmärkt att autoklavera
- Måste UV-stabiliseras för utomhusbruk

### Kemifakta:

Monomeren i PPSU påminner om den i PSU. Skillnaden är att  $-C(CH_3)_2-$  gruppen saknas:



## Användningsområden

PPSU kan liksom PSU bearbetas med de flesta metoder för termoplaster.

Man använder mycket PPSU inom sjukvårds- och medicinska produkter. Vissa kvalitéer kan autoklaveras mer än 1500 gånger och blir därför ett ekonomiskt alternativ till engångsprodukter. Man använder också materialet i el- och elektronikkomponenter eller röranslutningar där den höga temperaturbeständigheten i kombination med bra kemikalieresistens eller extremt bra flamskydd krävs. Produkter i flyg och rymdindustrin tillverkas också i PPSU.



Fig 81. PPSU har extremt bra flamskydd bland plastmaterial och används därför bl.a. till paneler i flygplan.



Fig 82. PPSU används i medicinsk utrustning där man har krav på upprepade autoklavering.

Foto: Stebro Plast AB

## Återvinning

Polysulfon har återvinningskoden > PSU < och Polyfenylsulfon har koden > PPSU <.

Båda materialen kan återanvändas men speciellt PPSU är olämpligt att förbränna eftersom materialet är självslocknande.

## Kapitel 4 – Avancerade plaster - tillägg

Tillägg i E-boken som saknas i den tryckta upplagan.

### Polyetersulfon - PES

Polyetersulfon är en glasklar amorf polymer med bra temperaturegenskaper. Den används bl.a. till produkter inom el-, elektronik-, fordons- och verkstadsindustri med högt ställda krav på temperaturbeständighet, dimensionsstabilitet och flammskydd.



Fig Nappflaskor i polyetersulfon är ett alternativ till de nappflaskor som tidigare tillverkades i polykarbonat men som numera är förbjudna p.g.a. att de innehåller Bisfenol A.

Ledande tillverkare av PES är Solvay Advanced Polymers med varunamnet Mindel

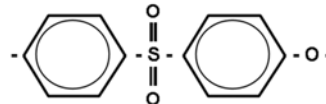
och BASF med varunamnet Ultrason E.

### Egenskaper hos PSU

- + Kontinuerlig användningstemperatur upp till 200 °C och topptemperatur på 260 °C
- + Transparent
- + Utmärkt dimensionsstabilitet
- + Extremt bra hydrolysisbeständighet
- + Kan fås livsmedels- och medicinskt godkänd
- + Kan steriliseras
- Mycket hög bearbetningstemperatur vid formsprutning
- Spänningssprickbildning i vissa lösningsmedel

#### Kemifakta:

PSU har dubbla aromatiske grupper i monomeren.



### Användningsområden

PES kan bearbetas med de flesta metoder för termoplast. Det finns i halvfabrikat i form av stång, rör, profiler, skivor och film.

Man använder materialet när man behöver transparenta produkter som tål höga temperaturer t.ex. skålar i moderna mikrovågsugnar som har både grill- och ugnsfunktion.

PES har låg termisk utvidningskoefficient, tål höga temperaturer och går att metallisera. Egenskaper som efterfrågas vid tillverkning av hus och reflektorer till dimljus och bilstrålkastare.

Skyddsfilm till mobiltelefoner tillverkas i glasklar extruderad film av PES. Filmen som är högljansig är i det närmaste spänningfri och har bra optiska egenskaper.

## Kapitel 5 – Bioplaster och biokompositer

### Definition

Frågar man branschfolk vad en bioplast är för något kan man få tre olika svar:

- 1) Det är en plast som tillverkas av biobaserade råvaror.
- 2) Det är en plast är biologiskt nedbrytbar, d.v.s. bryts ned av exempelvis mikroorganismer eller enzymer.
- 3) Det är en plast som innehåller naturfibrer.

Eftersom biobaserade plaster inte behöver vara biologiskt nedbrytbara och biologiskt nedbrytbara plaster inte behöver vara biobaserade, är det viktigt att vara tydlig med vad man egentligen menar. Hur stor andel förnyelsebara beståndsdelar som krävs för att en plast ska anses vara biobaserad har inte fastställts. Ledande bioplastleverantörer anses att minst 20 % bör ingå.

Plaster som innehåller naturfibrer kallas även för "biokompositer" och är i regel traditionella plaster som förstärkts eller blandats med naturfibrer såsom trä, lin, hampa eller cellulosa.

Förutom att man använder volymplaster som PE och PP som matris så förekommer även biopolyestrar, som PLA.



Fig 94. Några av de första termoplasterna tillverkades från cellulosa men de har idag liten kommersiell betydelse utom till viskosfibrer. Pingpongbollar har ursprungligen tillverkats av celluloid och görs fortfarande av cellulosaplast.

### Vad menar vi med bioplaster?

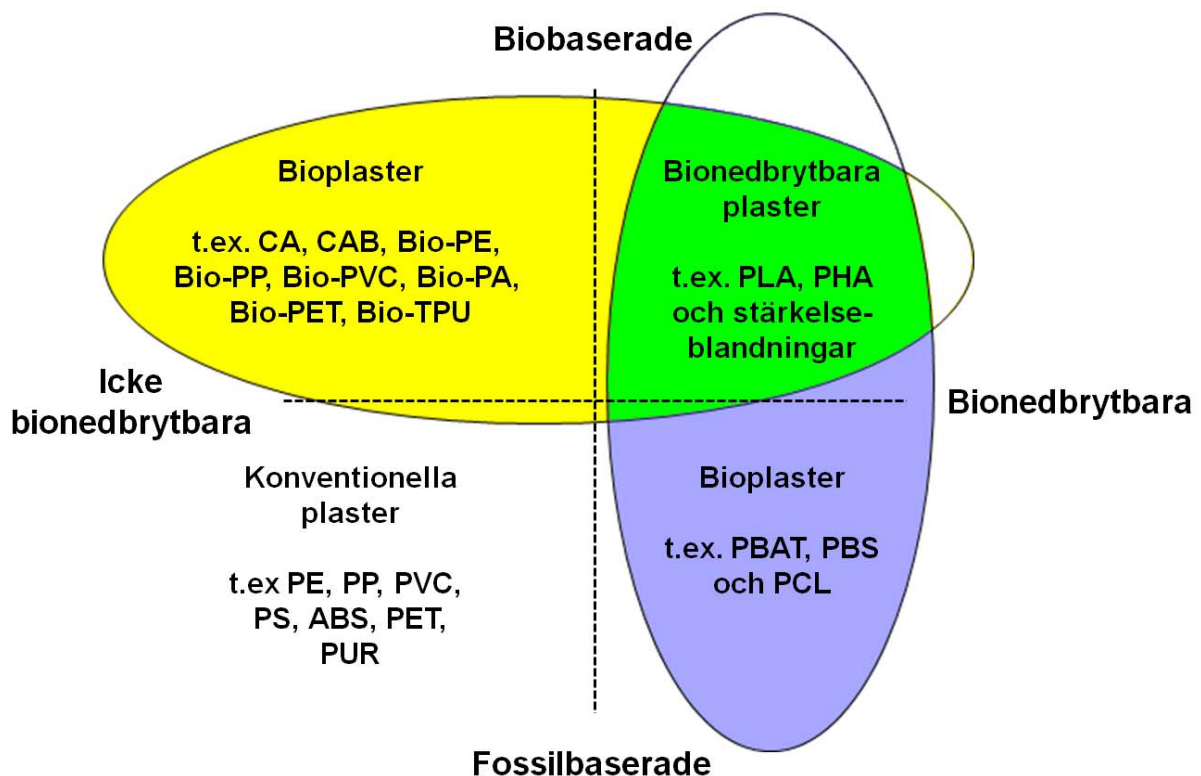


Fig 95. Bilden visar hur man kan dela in termoplasterna i konventionella fossilbaserade plaster och olika typer av bioplaster.

## Marknaden

Enligt organisationen European Bioplastics var årsproduktionen av bioplast (biobaserad + bionedbrytbar) 1,2 miljoner ton 2011 globalt sett. Jämfört med de runt 250 miljoner ton plast som producerades är marknadsandelen för bioplast ännu försvinnande liten. Dock är tillväxten stark och man bedömer att till år 2016 kommer produktionen av bioplast att vara uppe i nästan 6 miljoner ton (se figuren nedan). De flesta stora tillverkare av plastråvara på världsmarknaden arbetar med utveckling av bioplaster. Målet är att ersätta 5 – 10 % av de traditionella plasterna (PE och PVC baserat på bioetanol från sockerrör oräknat) med bioplaster. Tillverkning av PE baserat på bioetanol startade 2009 (Braskem i Brasilien). Man tror att > 50 % av biomaterialen kommer att tillverkas av socker inom en snar framtid.

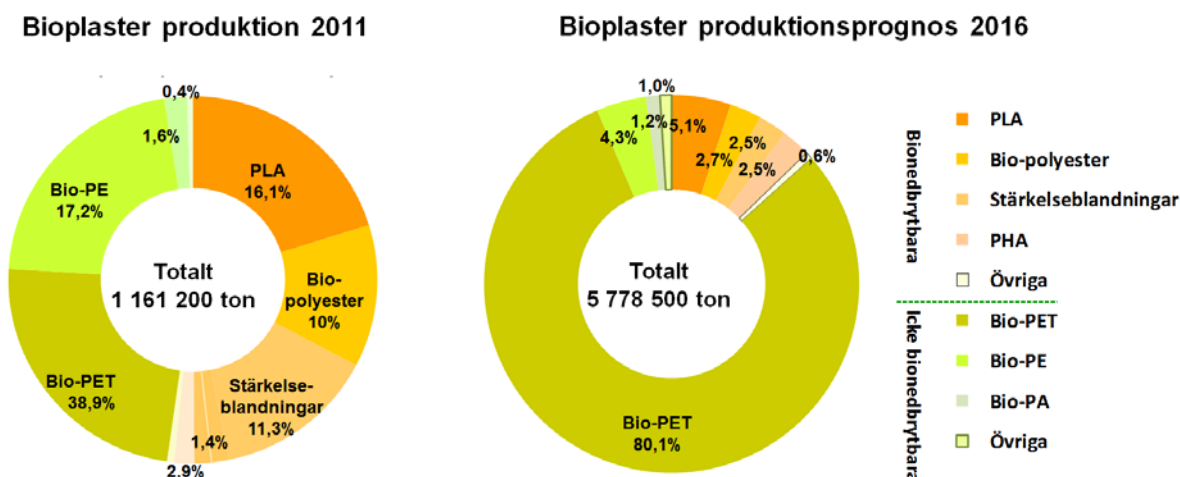


Fig 96. Bilden visar vilken dramatisk ökning man räknar med att Bio-PET kommer att få mellan år 2011 och 2016.  
Källa: European Bioplastics

Vilka är då motiven till att använda biobaserade plaster i Europa? Svaret kan vara:

1. Strategiskt – man tror att tillgången på fossila bränslen kommer att minska och priset att öka.
2. Regionalpolitiskt – man ger stöd till EUs bönder för att hitta nya och mer lönsamma avsettningsmöjligheter. Försäljningen av jordbruksprodukter till industriändamål är inte heller begränsade av världshandelsregler, de så kallade WTO-reglerna.
3. Miljömässigt – användningen av biobaserad råvara för plasttillverkningen kan bidra till att minska utsläppen av koldioxid. Om de biobaserade plasterna är bättre ur koldioxid-synpunkt än de fossila plasterna beror på ett antal faktorer såsom:
  - Energiåtgång från sådd via skörd och plastframställning samt källan till denna energi
  - Om egenskaperna är lika bra så att det inte går åt mer material för att uppnå samma funktion
  - Avfallshanteringen

## Bioplaster

Det finns olika möjligheter att tillverka bioplaster. Man kan använda:

- **Biopolymerer**, som är naturligt förekommande polymerer. De vanligaste biopolymererna är stärkelse och cellulosa. Varje år produceras runt sextusen miljarder ton biomassa och vi människor använder ungefär 3,5 % av denna. Nästan 2/3 äter vi upp och 1/3 används till energi, papper, möbler och kläder. Tillverkningen av biobaserade plaster står inte ens för en promille (0,0006%) av detta.
- **Biobaserade polymerer** där monomeren har tillverkats genom **fermentering** (= jäsnings). Ett exempel är mjölksyra, som sedan användas för att tillverka plasten polymjölksyra eller PLA..

- **Mikroorganismer** som producerar biobaserade polymerer. Ett exempel är plasten PHA.
- **Bioetanol eller biometanol** som tillverkas genom fermentering eller förgasning av biomassa. Dessa omvandlas sedan till monomererna eten respektive propen, som sedan används vid tillverkningen av volymlaster som PE, PP, PVC, PS m.fl..

När man tillverkar biokompositer använder man sig av:

- **Växtfibrer**, som bomull, lin och hampa.
- **Sågspån och trämjöl**

## Biopolymerer



Fig 97. Majs innehåller mycket stärkelse, som är en naturlig biopolymer. Majs används också vid fermentering av bioetanol som sedan ger biobaserade polymerer.

Fig 98. Bilden till vänster visar en film som används i jordbruket för att täcka marken och eliminera ogräs.

Den är tillverkad i Mater-Bi, ett material som tillverkas av stärkelse från majs, potatis eller andra stärkelsrika grödor. Denna film komposterbar. Efter användning plöjs den därför ned i jorden och försvinner efter en tid helt och hållet.

Bild: Novamont

**Cellulosa** har sedan länge använts till att framställa plaster t.ex. cellulosaacetat CA, CAB och CAP. Eftersom ren cellulosa är svår att bearbeta består dessa plaster av kemiskt modifierad cellulosa. Cellulosaplasterna är glasklara och mycket sega. Cellulosa utvinns bl.a. ur ved, varför Sverige bör ha stora förutsättningar att delta i utvecklingen på detta område. Om man blandar in trämjöl, lin, bomull eller hampa i en konventionell oljebaserad plast klassas även detta material som en bioplast eftersom en viss del av råvaran ju är förnyelsebar. I Sverige finns flera mindre företag som utvecklar dessa biokompositer samtidigt som de stora skogsbolagen satsar på forskning av helt cellulosa-baserade plaster.

**Stärkelse** utvinns ur majs, potatis, säd, sockerbetor, sockerrör, spannmål eller andra grödor som också används till livsmedel eller biobränslen.

Detta är konfliktladdat så flera forskningsprojekt arbetar med att försöka använda halmen eller bladen istället för de näringsrika delarna. Ren stärkelse är också svår att bearbeta varför den måste modifieras kemiskt eller genom tillsatser för att kunna formas till plastprodukter.

## Biobaserade polymerer: Biopolyestrar

iopolyestrar är gjorda av monomerer som framställts t.ex. genom fermentering av stärkelse eller socker. Exempel är Bio-PET, PLA och PTT. Även petroleumbaserade polyestrar som är komposterbara eller som har en viss andel av förnyelsebar råvara kallas också för biopolyestrar.

**Bio-PET** är den kommersiellt största av biopolyestrarna. Fossilbaserad PET har funnits i över 70 år. Dagens Bio-PET är tillverkad av 30 % förnyelsebar råvara, vanligtvis sockerrör.

**PLA** (polylactic acid eller polylactid) är en polyester som tillverkas av monomeren mjölksyra. Den framställs genom fermentering (jäsning) av enkla sockerarter, som det finns gott om i bl.a. sockerbetor, potatis, majs och vete. Därefter polymeriseras mjölksyran.

Genom att styra polymerisationsprocessen kan PLA tillverkas både som amorf eller delkristallin.

PLA är till 100 % tillverkat av biobaserade råvaror samt kan komposteras. Den är vattenbeständig och har bra barriäregenskaper. Däremot är den inte lika värmebeständig som PET (max 55 °C).



Fig 99. Fler och fler tillverkare av PET-flaskor använder en viss del bio-PET i sina flaskor.

### Kemifakta:

PLA tillverkas av monomeren mjölksyra som har följande uppbyggnad:

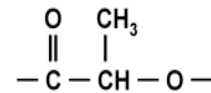


Fig 100. DuraPulp ett komposterbart material från skogskoncernen Södra. Det består av 70 % cellulosafibrer och 30 % PLA.

Fig 101. Bilden till höger visar en gravurna som formsprutats i Bio-Flex, förnyelsebar och komposterbar PLA från den tyska materialleverantören FkuR. Redan efter några månader kommer plasten att vara helt nerbruten när urnan har placerats i jorden. Källa: Tojosplast



**PTT** (Polytrimetylentereftalat) är en delkristallin polyester som kan framställas från förnyelsebara råvaror. PTT baserat på petroleum har varit känt sedan 1941 men under år 2000 lanserade DuPont Sorona, en fiber tillverkad genom jäsning av majssocker. Efter ytterligare utveckling lanserade DuPont termoplasten Sorona EP, som innehåller mellan 20 och 37 % förnyelsebar råvara. Detta material uppvisar prestanda och bearbetningsegenskaper liknande polyestern PBT.

## Biobaserade polymerer: Biopolyamider

**LCPA** (Long chain polyamid) är en ny grupp av polyamider med lång kedjestruktur som på senare år har lanserats på marknaden. De kallas också för biopolyamider eller gröna polyamider och omfattar följande typer: PA410, PA610, PA1010, PA10, PA11, PA612, PA1012. Dessa kan vara ett alternativ till fossilbaserad PA12.

I regel utgörs den förnyelsebara råvaran av ricinolja som utvinns ur bönor från ricinplantan, som växer i tropikerna.

Ledande tillverkare är DuPont med Zytel Long Chain och Zytel RS, BASF med Ultramid Balance, EMS med Grilamid, DSM med EcoPaXX, Arkema med Rilsan, Solvay med Technyl eXten och Evonik med Vestamid Terra.

Jämfört med vanliga polyamider såsom PA6 och PA66 har dessa material bättre dimensionsstabilitet, lägre vattenabsorption och bättre kemikaliebeständighet.



Fig 102. Bilden visar en ricinplanta med bönor.



Fig 103. Dessa gasledningar och kopplingar för gasrör tillverkas i Rilsan PA11 för att användas i tryckrör för naturgas med dimension upp till 100 mms diameter och arbetstryck upp till 14 bar. Detta material innehåller 100 % förnyelsebar råvara.  
Källa: Arkema



Fig 104. Dessa bilkylargavlar från DENSO Corp är tillverkade i Zytel RS PA610 med 60% förnyelsebar råvara. Den klarar både den höga temperaturen och den kemiskt aggressiva miljön i motorrummet, förutom att materialet också har låg vattenabsorption.  
Källa: DuPont

## Biobaserade polymerer från mikroorganismer

**PHA** (polyhydroxialkanoat) är en linjär delkristallin polyester som kan tillverkas genom bakteriell jäsnings av socker, glykos eller lipider d.v.s. en grupp ämnen bestående av fetter och fettliknande ämnen. Materialet utvecklades av ICI på 1980-talet och det finns ett fåtal producenter på marknaden. Materialet har god utomhusbeständighet och låg vattenpermeabilitet. I övrigt har det egenskaper liknande PP.



Fig 105. PHA används mycket i medicinska applikationer. Fibrer i PHA kan användas till suturtråd för att sy igen sår.



## Bioetanol eller biometanol

PE är en av de volymplaster som åter har börjat tillverkas av förnyelsebara biobaserade råvaror.

På 1970-talet gick en del av Indiens etanol till tillverkningen av PE, PVC och PS. På 1980-talet började företag i Brasilien att tillverka biobaserad PE och PVC. Detta upphörde emellertid när oljepriset sjönk i början av 90-talet. Nu byggs produktionen upp igen.

Idag är det brasilianska företaget Braskem världsledande inom biobaserad PE. Den kommersiella produktionen startade i september 2010. Råvaran är sockerrör. Av den framställer man bioetanol som sedan omvandlas till eten, som används i tillverkningen av PE.

Den totala produktionen ligger idag runt 200 000 ton och utgör 17 % av marknaden för bioplaster.

Bio-PE är inte komposterbar.

Det finns planer på att tillverka också PP och PVC från förnyelsebara råvaror.



Fig 106. Bilden visar en plastpåse tillverkad av Bio-PE. Foto: Hemköp

## Biokompositer

Konventionella fossilbaserade plaster såsom PE och PP som innehåller minst 20 % av **växtfibrer** som bomull, lin eller hampa räknas som bioplaster. Valet av plastmatris begränsas av bearbetningstemperaturen eftersom fibrerna förkolnar om temperaturen blir för hög. Istället för växtfibrer kan man använda sågspån eller trämjöl för att framställa en bioplast av konventionella fossilbaserade plaster.

Fig 107. På bilden visas dörrpanelen till bakdörren på en Volvo V70/S80 tillverkad i en biokomposit baserad på PP med 40% 0,4 mm stora träfibrer.

Källa: re8 Bioplastics AB



Fig 108. Bilden visar några toalettartiklar som alla är tillverkade i bioplaster från det tyska företaget FKUR. Underst visas bl.a. ett manikyrinstrument i Bioflex PLA med träfiberinblandning. Källa: Polymerfront AB



Fig 109. Bilden en extruderad list i HDPE med 50% träinblandning. Materialet är i naturfärg men går även att infärga med pigment. Källa: Talent Plastics AB

## Information om bioplaster

Förutom de bioplaster som har behandlats ovan finns det mycket information att hämta på Internet och i gratisappen Plastguiden för iPhone och Android. Se här: [www.plasticguide.se](http://www.plasticguide.se).

Ett par informativa hemsidor är: [www.european-bioplastics.org/](http://www.european-bioplastics.org/) och [www.plastkemiforetagen.se/plastinformation/Bioplast/](http://www.plastkemiforetagen.se/plastinformation/Bioplast/)

## Kapitel 6 – Plaster och miljön

Rubriken på detta kapitel kan ju vara tvetydig. Menar vi hur plasten påverkar vår miljö eller hur olika miljöfaktorer påverkar plaster?

Vi kommer att belysa båda dessa aspekter.

Användningen av plast ökar hela tiden. En viktig anledning är att plasterna bidrar till ökad resurshushållning, exempelvis att vi spar energi och minskar utsläpp. Plasterna bidrar också till teknisk utveckling.

Plastbranschen vill bidra till ett hållbart samhälle. Därför satsar man stora resurser på att få fram miljöanpassade material och resurssnåla processer.



Fig 110. Användningen av plast minskar klimatpåverkan genom energibesparing och minskade CO<sub>2</sub>-utsläpp.

### Plast är klimatsmart och spar energi

Att plast bromsar klimatförändringen genom att spara energi och minska utsläppet av växthusgaser kanske vi inte tänker på.

I en nyligen gjord undersökning, med titeln "Plastics Contribution to Climate Protection", har man kommit fram till att användningen av plast i EUs 27 medlemsländer plus Norge och Schweiz bidrar till följande miljönytta:

- Plastprodukter möjliggör energibesparingar motsvarande 50 miljoner ton råolja eller 194 mycket stora oljetankfartyg.
- Plastprodukter förhindrar utsläppen av 120 miljoner ton växthusgaser per år, vilket motsvarar dubbelt så mycket som Sveriges utsläpp eller 38 procent av EUs Kyotomål om minskning av utsläpp av växthusgaser.
- De koldioxidutsläpp som en genomsnittlig konsument orsakar uppgår till cirka 14 ton CO<sub>2</sub> per invånare. Endast 1,3 procent - eller 170 kg - härrör från plast.

I bil- och flygindustrin ökar användningen av plast för att spara vikt och därmed minska bränslekostnaderna.

Inom byggindustrin används allt bättre isoleringsmaterial i plast som ger en god inomhusmiljö och minskad energiförbrukning.

Fig 111. Plast står för c:a 12-15 % av en modern bils vikt, vilket innebär en årlig besparing av 12 miljoner ton olja i Europa och en minskning av CO<sub>2</sub>-utsläppen med 30 ton.

Karossen till sportbilen på bilden är tillverkad i kolfiberarmerad plast och här är nog andelen plast ännu högre än för vanliga bilar.

Foto: Koenigsegg



Utan plast skulle t.ex. detaljhandelns transporter öka med 50 %. I genomsnitt står plastförpackningen för mellan 1 till 4 % av vikten hos en paketerad produkt i plast. En plastfilm som väger 2 g förpackar t.ex. 200 g ost och en plastflaska som väger 35 g förpackar 1,5 liter dryck. Om man räknar med transportförpackningen ökar förpackningsandelen till 3,6 % i genomsnitt.

Fig 112. En 33 cl Coca-Colaflaske i glas väger 784 gram med dryck och 430 gram tom inkl. kork. D.v.s. 55% av vikten är förpackning. Motsvarande för halvlitersflaskan i PET är 554 gram med dryck och 24 gram tom inkl. kork. D.v.s. 4,3% av vikten är förpackning.



En hel del plast används också i klimatsmart energiproduktion där bl.a. vingarna till vindkraftverk görs i vinylester med invändigt PVC-skum, rören i solfångare i polyfenylsulfon och höljet till bränsleceller görs i polyeterimid.

## Miljöns påverkan på plaster

Alla plaster påverkas mer eller mindre av den miljö som de används i. Med tiden bryts de ned av olika miljöfaktorer såsom:

- 1) Solens UV-strålar
- 2) Luftens syre
- 3) Vatten eller vattenånga
- 4) Temperaturväxlingar
- 5) Mikroorganismer (t.ex. svampar och bakterier)
- 6) Olika kemiska lösningar



Fig 113. Solens strålar påverkar och bryter ned många plaster. I vissa fall sker det på några månader men för vissa plaster kan det ta långt mer än hundra år. Därför måste många plaster stabiliseras som skall användas utomhus.



Fig 114. Att gummi (som ju är en syntetisk polymer) självspricker i gummistövlar, cykel- eller bildäck känner väl de flesta till. Detta beror på att syre i luften, i form av ozon, bryter ned materialet. På bilden ser vi ozonsprickor på ett cykeldäck.



Fig 115. Några få plastmaterial löses upp av vatten andra absorberar vatten och spricker sönder p.g.a. temperaturväxlingar under fryspunkten. Plaster som hamnar i havet kan också sönderdelas i mindre bitar (ibland ned till nanostorlek) av vågornas erosion.



Fig 116. Det finns ett antal plaster som är komposterbara. För att få kallas komposterbar måste materialen brytas ned fullständigt på bara några månader av mikroorganismer i jorden i en fastställd miljö enligt Europastandard 13432. På bilden visas en s.k. Rigelloflaska som har legat i naturen i 40 år. Materialet lanserades på 1960-talet som nedbrytbart i naturen, men idag vet man bättre.

## Återvinning av plast

Intresset för att använda återvunnen plast i nya produkter ökar i takt med ökat miljömedvetande. Redan idag (2013) återvinns 6 miljoner ton plast till nya produkter inom EU. Detta motsvarar runt 13 % av tillverkningen av produkter från nya råvaror. Plastbranschen arbetar för att all plast skall återvinnas.

Fler företag tänker också på hur produkterna skall kunna återvinnas när de har tjänat ut, som att olika material är lätta att separera från varandra. Materialmärkning kan också vara viktig, t.ex. återvinningssymbolerna i figur 121.

### Sverige bland de bästa länderna

Sverige tillhör de bästa länderna i Europa när det gäller plaståtervinning. Runt 96 procent återvinns, 34 procent till nya produkter (materialåtervinning) och 62 procent till energi och värme (energiutvinning). Vi har ingen kemisk återvinning ännu.

Återvinningen av plastförpackningar står för en betydande del av den svenska återvinningen, och vi har ett av de bästa insamlingssystemen. 28 procent av plastförpackningarna samlas in och materialåtervinns, och 84 procent av PET-flaskorna. För att öka insamlingen ytterligare driver producenterna en informationskampanj för att informera om den nytta som återvinningen gör. Många vet inte att varje återlämnad plastförpackning är en stor vinst för miljön. Ett kilo minskar koldioxidutsläppen med upp till två. Eftersom förpackningen mals ned, tvättas och används som råvara sparar man in på olja, som är en begränsad naturresurs.

**Fig 117. Hushållen och andra förbrukare är skyldiga att sortera ut förpackningar från hushållsavfall och annat avfall och lämna dem i de insamlingssystem som producenterna eller kommunen tillhandahåller. Insamlad plast sorteras sedan och blir till nya produkter.**



### Plaståtervinningen i EU

Eftersom många plastprodukter har lång livslängd, som byggprodukter eller bilkomponenter, använder vi dubbelt så mycket plast jämfört med vad som blir till avfall på ett år. Inom EU går fortfarande runt 40 procent av plastavfallet på deponi, vilket är slöseri med jordens resurser. Därför arbetar plastbranschen för ett deponiförbud inom EU till år 2020. Många länder har redan ett sådant förbud bl.a. Sverige. Trenden är dock att allt mer plast återvinns. Idag materialåtervinns 25 % inom EU (+ Norge & Schweiz) och 34 % energiutvinns. Det är stor skillnad mellan medlemsländerna, framför allt vad gäller energiutvinningen. I snitt innehåller hushållsavfallet i EU ungefär 9 % plast men denna plast står för 30 % av energinnehållet.

**Fig 118. Bilden visar en stol där sitsen tillverkats av återvunna ketschupflaskor.**



Källa: Plastens hus i Perstorp

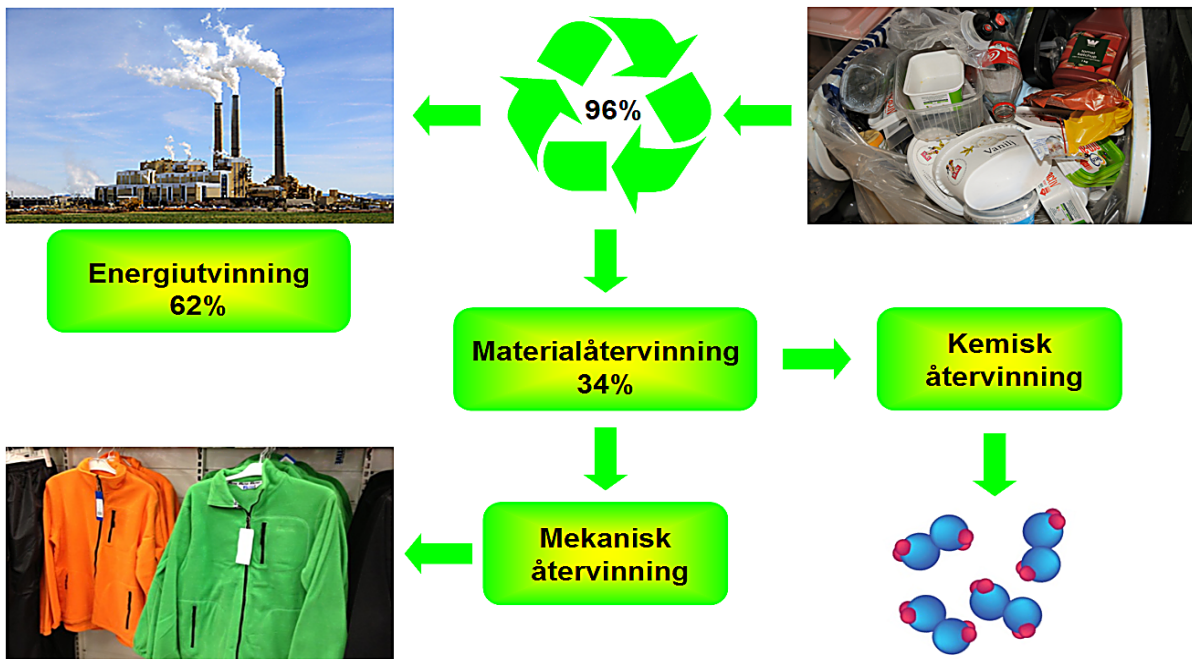


Fig 119. Det finns olika möjligheter att återvinna plast. Man kan tillverka nya produkter (materialåtervinning) eller utnyttja plasternas inneboende energi. Ett exempel på materialåtervinning är när uttjänta PET-flaskor blir till fleesjacker. Ett exempel är att kemiskt omvandla den till dess ursprungliga monomerer, som sedan blir till ny plast.

**De här plastförpackningarna lämnar du till återvinning:**

- Flaskor
- Burkar
- Dunkar
- Bärkassar
- Plastpåsar
- Refillpaket för t ex tvättmedel
- Hinkar för t ex sylt
- Plastfolie och plastfilm
- Frigolit
- Brickan för vaccumförpackat kött och fisk (ej *plastöverdraget*)
- Frukt- och grönsaksask
- Lock
- Tuber
- Kapsyler
- Schampoflaskor
- Fryspåsar
- Bubbelplast
- Saffflaskor
- Bag-in-box
- Gladpack
- Vacuumpack

Källa: Förpacknings- och tidningsinsamlingen ([www.ftiab.se](http://www.ftiab.se))

Fig 120. Nästan är alla plastförpackningar går att ta tillvara. En liten insats av dig blir ofta en stor insats för klimatet.



Fig 121. Ovan ses återvinningssymbolerna för plastförpackningar och vilka plaster som siffrorna står för.

## Kapitel 7 – Modifiering av plaster

I detta kapitel kommer vi att beskriva polymerisering av termoplaster samt vilka möjligheter man har att styra deras egenskaper med hjälp av olika tillsatsmedel s.k. additiver.



Fig 104.

95 % av alla plastmaterial som tillverkas är baserade på naturgas och olja. Övriga 5 % är baserad på växter.

Plaster utgjorde 2010 c:a 4 % av den totala oljeanvändningen och fördelade sig då på detta sätt:

• Uppvärmning	35 %
• Transport	29 %
• Energi	22 %
• Plastmaterial	4 %
• Gummimaterial	2 %
• Kemikalier och medicin	1 %
• Övrigt	7 %

### Polymerisering

Vid polymerisering av monomerer som fås vid crackning av olja eller naturgas skapar man polymerer (syntetiska material) som antingen kan vara plast eller gummi. Typen av monomer styr vilken typ av material man får medan själva polymerisationsprocessen kan skapa olika varianter av molekylkedjorna som t.ex. linjära eller förgrenade som bilden nedan visar.

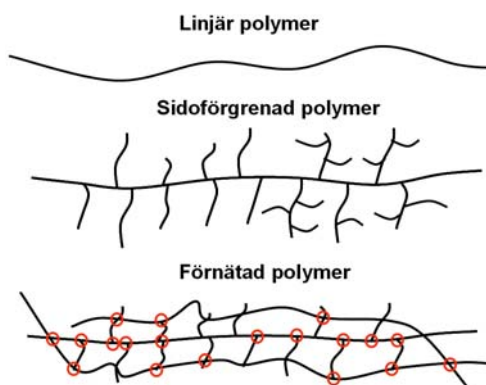


Fig 105. Vid polymerisering av eten kan man få olika varianter av polyeten. Överst ser vi en linjär kedja. LLD-PE är uppbyggd av kedjor av denna struktur. I mitten har vi en sidoförgrenad kedja. LDPE har denna struktur. Nederst ser vi förnätade kedjor. D.v.s. det finns molekylära bindningar mellan kedjorna. Förnätad polyeten kallas för PEX.

Om en polymer är uppbyggd av en enda typ av monomer kallas den homopolymer. Om det förekommer flera monomerer kallar man den sampolymer eller copolymer. Acetalplast och polypropen är plaster som förekommer i dessa olika varianter. Copolymergruppen (den andra monomeren) ligger i regel efter huvudmonomeren i kedjan. När det gäller acetalplast är ungefär var fyrtionde monomer en copolymergrupp. Copolymeren kan också förekomma som en sidogren på huvudkedjan. I detta fall kallar man det för ympsampolymer.

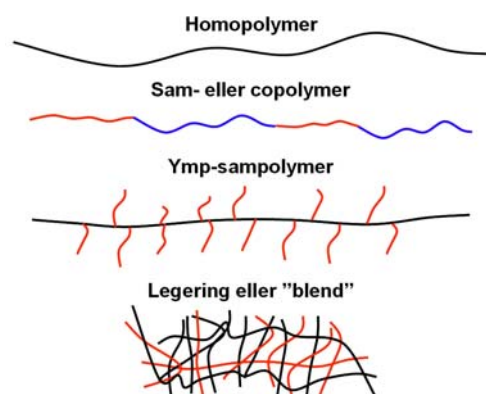


Fig 106. Överst ser vi den linjära kedjan hos en ren polymer, t.ex. polypropen. Genom att tillsätta eten till polypropen får man en polypropen copolymer med en segmentstruktur enl. den andra kedjan ovanifrån och ett material med bättre slagåtlighet än normal polypropen. Om man tillsätter EPDM (gummimonomer) får man en kedjestruktur enl. den tredje kedjan och ett material med extremt bra slagseghet. Man kan också skapa en copolymer genom att blanda granulat från olika polymerer. I detta fall kallar man materialet för legering eller blend. ABS + PC är exempel på denna typ av copolymer.

Ytterligare ett sätt att modifiera polymeren är att styra var olika molekyler hamnar i kedjan (se nedan).

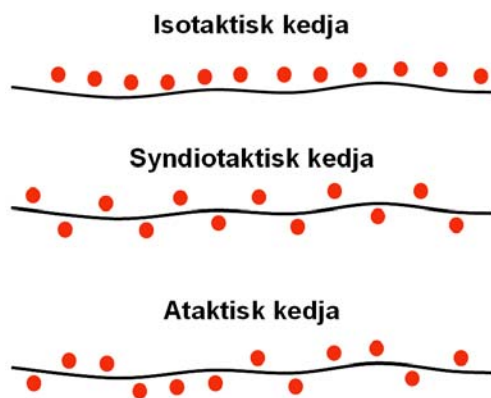


Fig 107. Man kan i viss mån styra egenskaperna hos en polymer genom att påverka hur en viss molekyl i kedjan är orienterad. De röda cirklarna i de två översta kedjorna symboliserar – CH<sub>3</sub> gruppen i polypropen. Om alla – CH<sub>3</sub> grupperna är orienterade åt samma håll kallar man orienteringen för isotaktisk. Med hjälp av så kallade metallocenkatalysatorer i polypropen kan man orientera grupperna jämt fördelade åt olika håll. I detta fall kallar man kedjan för syndiotaktisk.

I ett material som t.ex. polystyren förekommer en aromatisk molekyl med 6 kolatomer i ring (symboliserad av den röda cirkeln i den nedre kedjan). Denna molekyl hamnar fullständigt slumpmässigt både vad gäller orientering och fördelning i kedjan. En sådan molekylkedja kallas för ataktisk.

## Additiver

Polymera material används praktiskt taget aldrig utan att man har modifierat dem med olika tillsatsmedel. Termoplaster som används vid formsprutning modifierar man dels med en värmestabilisator, så att de inte ska brytas ned termiskt när de förekommer som smälta i formsprutningsmaskinens cylinder, dels med formsläppmedel så att den färdiga plastdetaljen skall gå lätt att stöta ut ur formen.

Förutom att förbättra bearbetningsegenskaperna använder man också olika additiver för att skraddarsy materialen när det gäller:

- Fysikaliska egenskaper
- Kemiska egenskaper
- Elektriska egenskaper
- Termiska egenskaper

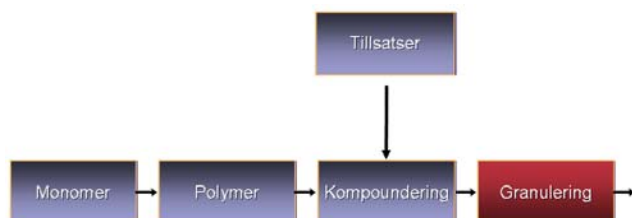


Fig 108. Tillsatsmedlen tillsätts efter att man har polymeriserat materialet i ett tillverkningssteg som kallas för kompounding. Efter att man har blandat i tillsatsmedlen tillverkar man i de flesta fall plastgranulat som sedan används vid tillverkning av plastdetaljer, profiler eller film.



Fig 109.



Fig 110.



Fig 111.

När man tillverkar granulat använder man sig av två olika granuleringmetoder. Om materialet har en relativt låg bearbetningstemperatur (t.ex. polyeten eller polypropen) använder man sig av ett roterande knivmunstycke (se vänstra bilden). Efter att granulaten, som i detta fall blir linsformade, har skurits loss får de falla fritt i en behållare och kyls av luften under fallet. Om materialet har hög bearbetningstemperatur (t.ex. nylon) extruderar man strängar, som kyls ned i vatten varefter de sedan skärs av i cylindriskt formade granulat. Trots att nylon är känsligt för fukt hinner det inte ta upp någon fukt vid själva granuleringen. Bilden till höger visar svarta granulat, som är tillverkade genom att man klipper dem från strängar (eng. **strand cut**) och vita granulat tillverkade med hjälp av ett roterande knivmunstycke (eng. **melt cut**).

## Mekaniska egenskaper

Med mekaniska egenskaper menar vi vanligtvis:

- Styvhet
- Hållfasthet (draghållfasthet)
- Ythårdhet
- Nötningsbeständighet
- Seghet (brottöjning eller slagseghet)

### Styvhet och draghållfasthet

För att öka styvhet och hållfasthet armerar man plaster med olika fibrer. Vanligast och billigast är glasfibrer. Bäst och dyrast är kolfibrer. Vill man ha både hög styvhet och nötningsbeständighet så är aramidfibrer (t.ex. Kevlar®) ett bra alternativ som prismässigt ligger mellan glas- och kolfiber.



Fig 112. Kevlar®-fibrer är oerhört starka och ger bra armeringseffekt i både polyamid och acetalplast. Kugghjulen till vänster är tillverkade i Kevlar®-armerad Delrin® acetalplast. Kevlar®-fiberns naturfärg är svagt gul vilket man kan se på bilden. Fördelen med att välja den betydligt dyrare Kevlar®-fibern istället för glasfiber är att man både sparar vikt och får mycket bra nötningssegenskaper.

### Ythårdhet

Även ythårdheten och reptåligheten förbättras vid tillsats av armeringsmaterial. Vill man undvika glasfiberarmeringens risk för skevning av detaljen kan man välja glaskulor eller mineralpartiklar (t.ex. aluminiumsilikat).

### Nötningsbeständighet

Förutom med Kevlar®-fibrer kan man också förbättra nötningen genom att tillsätta olika typer av ytsmörjmedel såsom molybdendisulfid, silikon och fluorplast (t.ex. Teflon®).

### Seghet

När vi talar om ett materials seghet menar vi antingen dess töjning vid töjgräns eller brottgräns eller dess slagseghet. När man armerar ett material sjunker dess töjning med slagsegheten (den energi som krävs för att slå av en provstav) kan öka.



Fig 113. Många material (t.ex. polypropen och polyamid) blir spröda när temperaturen sjunker under nollan. Genom att modifiera dem med olika slagseghetstillsatser såsom EPDM, som bl.a. används vid tillverkning av karosseridetaljer till bilar förbättras slagsegheten markant.



## Fysikaliska egenskaper

Med fysikaliska egenskaper menar vi vanligtvis:

- Utseende
- Kristallinitet
- Utomhusbeständighet
- Friktion
- Täthet

### Utseende

Med utseende menar vi ofta färg och yta.



Fig 114. Ett vanligt tillsatsmedel för att förbättra ett materials utseende är olika typer av färgpigment. Dessa kan tillsättas redan vid komponderingen eller efteråt vid bearbetningen i form av s.k. masterbatch.

Foto: Clariant

### Kristallinitet

Man kan påverka kristallisationshastigheten hos delkristallina plaster. Kabelband tillverkas i miljonserier och här betyder kort cykeltid mycket för tillverkningsekonomin. För att få nylonet att stelna (kristallisera) snabbare tillsätter man s.k. nukleeringstillsatser. Det är inte ovanligt att man tillverkar kabelband i stora flerfacksverktyg med total cykeltid mindre än 4 sekunder i nukleerad PA66.

### Utomhusbeständighet

Många plastmaterial bryts ned av solens UV-strålar. Först ser man detta som en färgförändring. Sedan ser man det genom att materialets hållfasthet sjunker. Vissa färgpigment (t.ex. kimrök, eng. = *carbon black*) har en skyddande effekt.

Det finns även transparenta UV-tillsatser.

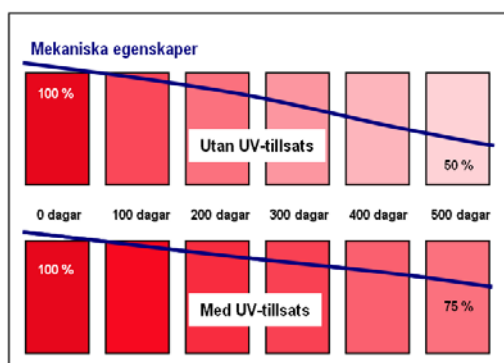


Fig 115. Bilden visar (överst) färgförändringen och hållfasthetsförsämringen på ett rött plastmaterial som exponerats utomhus i 500 dagar. Hållfastheten sjönk med 50 %.

Genom att tillsätta en s.k. UV-stabilisator har vi inte kunnat eliminera den negativa inverkan av solens UV-ljus men vi har lyckats fördröja både färgförändring och hållfasthetsförsämring. Nu har hållfastheten sjunkit med 25 % efter 500 dagar utomhus.

Bästa skyddet mot solens strålar ger i regel svarta pigment som innehåller kimrök.



Fig 116. Många plastdetaljer såsom denna lövrensare till ett stuprör skall hålla i åtskilliga år utomhus. För att hållfastheten inte skall försämrats väljer tillverkarna speciella UV-stabiliserade kvalitéer.

## Friktion

Fluorplast (t.ex. Teflon®) är materialet som har den allra lägsta friktionen. För att sänka friktionskoefficienten hos andra plaster kan man blanda in upp till ett par procent fluorplast. Fluorplast är dock ett dyrbart smörjmedel, så vill man förbättra friktionsegenskaperna så finns det även andra dock inte lika bra alternativ.



Fig 117. Länkar till transportkedjor tillverkas nästan uteslutande i acetalplast. För att minska friktionen, vilken i sin tur reducerar effektuttaget av drivmotorerna, och slitaget väljer man silikonolja eller fluorplast som tillsatsmedel.  
Foto: Flexlink AB

## Täthet eller densitet

Det är ytterst sällan som man tillsätter något för att med avsikt öka vikten på en produkt även om det kan förekomma (metallpartiklar). Oftast vill man istället få ner vikten och ett sätt att göra detta är att skumma materialet. Detta kan ske på olika sätt som att t.ex. spruta in gas i smältan eller genom att tillsätta ett skummedel som reagerar kemiskt vid uppvärmning. Det finns även skumningstillsatser som reagerar vid tillsats av en katalysator.



Fig 118. Frigolit® är skummad polystyren. Genom att tillsätta olika tillsatsmedel kan man kemiskt styra densiteten på termoplaster.

## Kemiska egenskaper

Med kemiska egenskaper menar vi vanligtvis:

- Permeabilitet eller barriäregenskaper
- Oxidationsbeständighet
- Hydrolysbeständighet

### Permeabilitet

Krav på bra permeabilitet kommer från myndigheterna när det gäller att stänga inne miljöskadliga ämnen och från livsmedelstillverkarna när det gäller bra förpackningar, t.ex. kolsyrade drycker i plastflaskor.



Fig 119. Myndigheter runt om i världen, med Kalifornien i spetsen, ställer allt högre krav på minskad emission av bensen från bilarnas plasttankar. Ett sätt att förbättra permeabiliteten i formblåsta polytetentankar är att tillsätta en speciell typ av polyamid, t.ex. DuPonts Selar®, som skapar flera täta skikt inuti polytetenväggen.

## Oxidationsresistens

Vissa termoplaster (t.ex. polyamid) är känsliga för kontakt med luftens syre vid förhöjd temperatur. För att de inte skall brytas ned för snabbt tillsätter man antioxidanter.



Fig 120. Bilden visar två järnvägsisolatorer i polyamid 66. Polyamid måste vara torrt när man processar det (fukthalt under 0,2 %) och förtorkas därför 2 – 4 timmar vid 80°C. I den vänstra isolatorn har materialet torkats på rätt sätt. I den högra, som har gulnat p.g.a. oxidation, har materialet legat för länge i torken eller torkats på för hög temperatur.

## Hydrolysbeständighet

Vissa termoplaster (t.ex. polyesterar) är känsliga för kontakt med vatten eller vattenånga vid förhöjd temperatur. En kemisk reaktion bryter ned materialen.

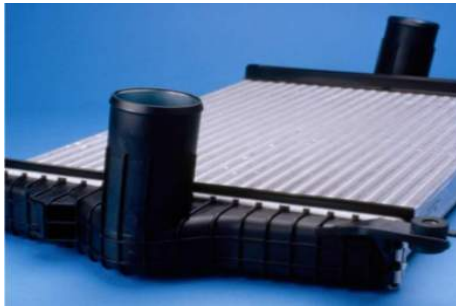


Fig 121. Polyamid är utmärkt i varmvatten när det gäller kemisk nedbrytning. Vill man ha extremt bra hydrolysbeständighet, som i kylargavlar till bilar, tillsätter man speciella hydrolysstabilisatorer. Foto: DuPont

## Elektriska egenskaper

Med elektriska egenskaper menar vi vanligtvis:

- Elektrisk isolering (inre resistivitet, genomslag)
- Resistens mot krypströmmar på ytan (ytresistivitet)
- Resistens mot statisk uppladdning
- Elektrisk ledningsförmåga

När det gäller resistens mot genomslag eller krypströmmar på detaljens yta är man beroende av vilken polymer man väljer. När det gäller elektrisk ledningsförmåga och statisk uppladdning kan man påverka detta med tillsatsmedel (t.ex. det svarta pigmentet kimrök).



Fig 122. Hjulen i audio- eller videokassetter tillverkas i ledande (antistatbehandlad) acetalplast för att minska risken för avmagnetisering av tapen.

## Termiska egenskaper

Med termiska egenskaper menar vi vanligtvis:

- Värmestabilisering av smältan
- Förhöjd användningstemperatur
- Formbeständighet vid förhöjd temperatur
- Brandskyddsegenskaper

### Värmestabilisering

De allra flesta termoplaster har någon typ av värmestabilisering för att motverka termisk nedbrytning i maskinens cylinder vid bearbetning. Förutom att det värmestabiliserade materialet klarar högre smälttemperatur klarar det även längre uppehållstid i smält tillstånd innan det börjar sönderdelas.

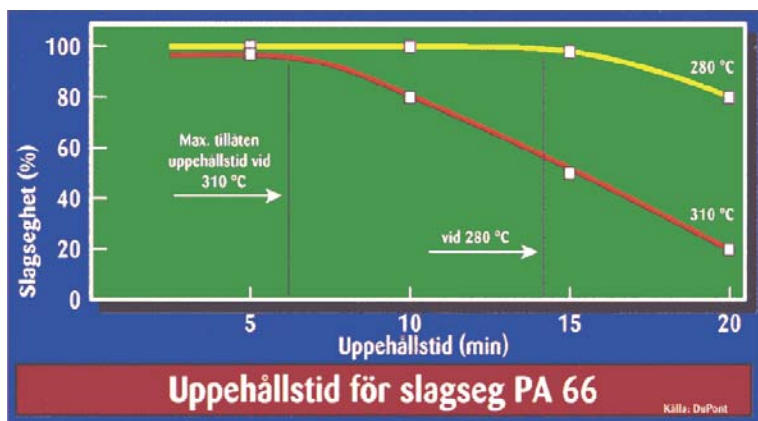


Fig 123. Slagseg polyamid 66 är känslig för uppehållstid längre än 15 minuter i cylindern vid den rekommenderade bearbetningstemperaturen 280°C. Vid förhöjd temperatur (310°C) börjar den brytas ned termiskt och förlorar slagseghet redan efter en uppehållstid av 7 minuter i cylindern. Källa: DuPont

Man kan i viss mån bevara en termoplasts mekaniska eller fysikaliska egenskaper vid förhöjd användningstemperatur med hjälp av speciella värme- eller färgstabilisatorer.



Fig 124.

Termoplastisk polyester PET används i strykjärn och ugns-handtag p.g.a. hög användningstemperatur. Med tiden gulnar dock materialet om man inte har tillsatt en speciell färgstabilisator.

## Formbeständighet

När man talar om formbeständighet vid förhöjd temperatur menar man oftast nedböjningstemperaturen HDT (eng. = *Heat Deflection Temperatur*) eller Vicat mjukningstemperatur .

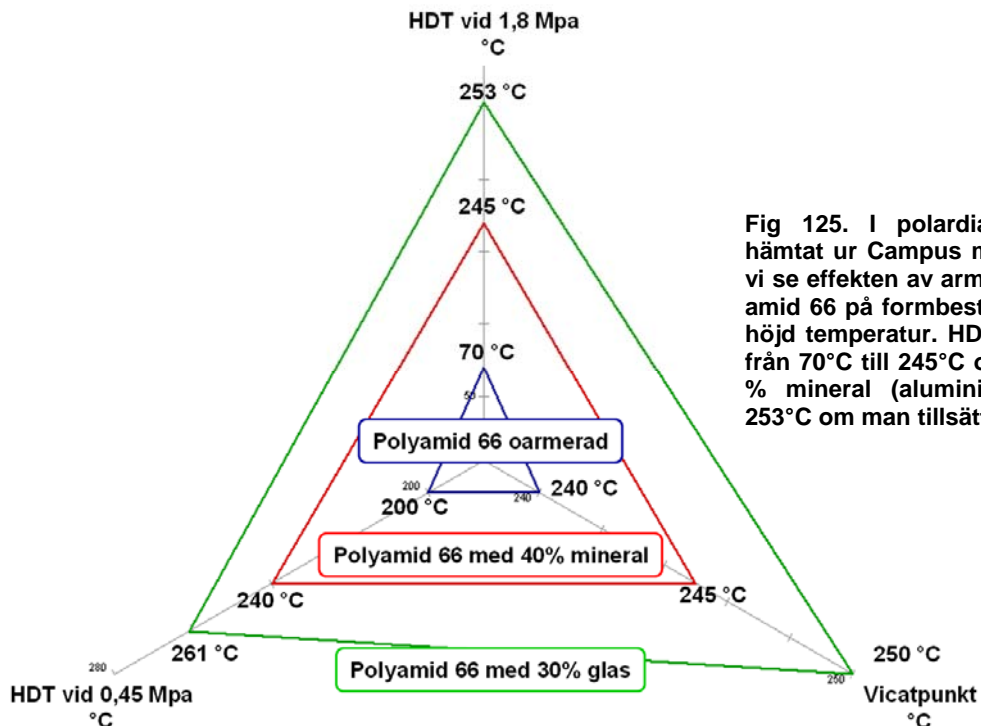


Fig 125. I polardiagrammet som är hämtat ur Campus materialdatabas kan vi se effekten av armeringsmedel i polyamid 66 på formbeständigheten vid förhöjd temperatur. HDT vid 1,8 MPa ökar från 70°C till 245°C om man tillsätter 40 % mineral (aluminiumsilikat) och till 253°C om man tillsätter 30 % glasfiber.

## Brandklassning

Många el- och elektronikprodukter i vår vardag är modifierade med flamskyddsmedel. I regel (år 2011) använder man miljöfarliga halogener (fosfor och brom) men trenden går sakta mot mer miljövänliga (halogenfria) alternativ. Enda sättet att öka takten på övergången till de miljövänliga alternativen som är dyrare är troligen internationell lagstiftning liknande kadmiumförbudet.



Fig 126. Många av de produkter som vi använder dagligen är modifierade för att klara olika krav på säkerhet. Brandklassning är ett av dessa krav.

## Materialpris

Vi kan påverka materialkostnaden i en plastprodukt om vi tillsätter nedanstående tillsatser, som kan påverka de mekaniska eller fysikaliska egenskaperna, i den s.k. nyvaran:

- Ommalt material (ingöt, kasserade detaljer)
- Jäsmedel



Fig 127. De flesta formsprutare mal om ingöt, ofyllda detaljer etc. Man brukar rekommendera upp till 30 % inblandning av ommalt material i nyvara eftersom detta endast påverkar de mekaniska egenskaperna marginellt. Har man flera olika färger av samma material brukar man tillsätta 1 – 2 % masterbatch och infärga materialet svart.

## Kapitel 8 - Materialdata och mätmetoder

I denna artikel kommer vi att gå igenom de egenskaper hos termoplaster som ofta efterfrågas av konstruktörer och produktutvecklare när de skall ta fram en ny produkt i plast eller när de skall uppfylla olika bransch- eller myndighetskrav såsom elektriska egenskaper eller brandklassning.

### Ofta efterfrågade materialdata

När en plastråvarutillverkare tar fram en ny plastkvalité så brukar han också publicera ett datablad över materialets egenskaper. Ibland sker detta i ett "Preliminärt datablad" med ett fåtal egenskaper för att sedan om man beslutar att produkten skall bli en standardkvalité i ett mer omfattande datablad. Många leverantörer publicerar sina materialkvaliteter i Campus eller Ides materialdatabaser på Internet, som kan användas kostnadsfritt (se nästa kapitel).

Campus t.ex. är mycket omfattande och kan beskriva ett material med över 60 olika data samtidigt som man kan få ut kurvor (t.ex. spännings/töjningsdiagram) och kemisk resistens mot ett flertal kemikalier.

De data som verkar mest efterfrågade när det gäller termoplaster och som i regel också förekommer även i preliminära datablad är (engelsk benämning i blått):

- Styvhet (drag- eller böjmodul) (*tensile eller flexural modulus*)
- Styrka (draghållfasthet) (*tensile strenght*)
- Seghet (töjning) (*elongation*)
- Slagseghet (*impact strenght*)
- Maximal användningstemperatur (*service temperature*)
- Brandklassning (*flame retardance*)
- Elektriska egenskaper (*electrical properties*)
- Reologi (flytbarhet i formverktyg) (*flow properties*)
- Formkrymp (*shrinkage*)
- Densitet (*density*)

### Draghållfasthet och styvhet

Styvhet, draghållfasthet och seghet i form av töjning får man ur kurvorna som erhålles vid dragprovning av s.k. provstavar.



Fig 129. Bilden visar en provstav i en dragprovare. Alla plastråvarutillverkare mäter de mekaniska egenskaperna på provstavar som tillverkas enligt olika ISO-standarder, vilket gör att man kan jämföra data mellan olika tillverkare.  
Foto: DuPont



Fig 128. Vilka olika krav från myndigheterna måste en så alldaglig produkt som ett eluttag uppfylla för att få säljas i Sverige, i övriga nordiska länder eller inom EU?

Product Information

**Delrin®**  
acetal resin

PRELIMINARY DATA

Delrin® 311DP NC010

Delrin® 311DP is an unreinforced, amorphous, isotactic, acetal resin with enhanced crystallinity for superior moldability. It has improved flammability, some isotropic properties, excellent dimensional stability, low warpage and lower costs.

Property	Test Method	Units	Value
Inherent Viscosity	ISO 527-1:2	dN	74
Yield Stress	ISO 527-1:2	%	13
Tensile Stress at Break	ISO 527-1:2	%	10
Tensile Modulus	ISO 527-1:2	MPa	1,000
Charpy Impact	ISO 179-1A	kJ/m <sup>2</sup>	9
Charpy Impact	ISO 179-1A	kJ/m <sup>2</sup>	10
Charpy Impact	ISO 179-1A	kJ/m <sup>2</sup>	130
Thermal Conductivity	ISO 75-1:2	°C	100
Thermal Conductivity	ISO 75-1:2	°C	100
Thermal Conductivity	ISO 75-1:2	°C	178
Thermal Conductivity	ISO 1131	g/10 mm	-

Start with DuPont Engineering Polymers - www.dupont.com/suggopolymers

Fig 130. I ett "Preliminärt datablad" anges endast ett fåtal data jämfört med de datablad som förekommer för s.k. standardkvaliteter eller i Campus materialdatabas på Internet. I databladet ovan som beskriver en acetal från DuPont anges 31 olika mätdata uppdelade i följande grupper:

- Mekaniska
- Termiska
- Reologiska
- Elektriska
- Brandklassning
- Övriga (t.ex. densitet och processdata).

Källa: DuPont

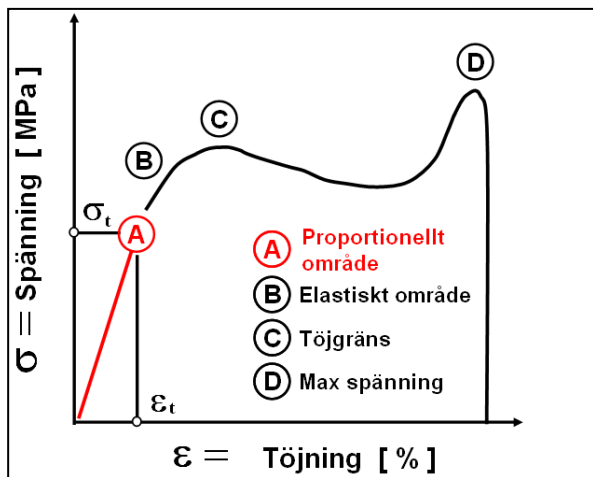


Fig 131. Bilden en typisk kurva för okonditionerad PA66 i ett spännings-/töjningsdiagram (*stress/stain curve*) som erhållits vid dragprovning. Kurvan kan delas in i följande segment:

- A) Linjärt eller proportionellt område (*linear*)
- B) Elastiskt område (*elastic*)
- C) Töjgräns (*yield*)
- D) Max spänning (*maximal stress*)

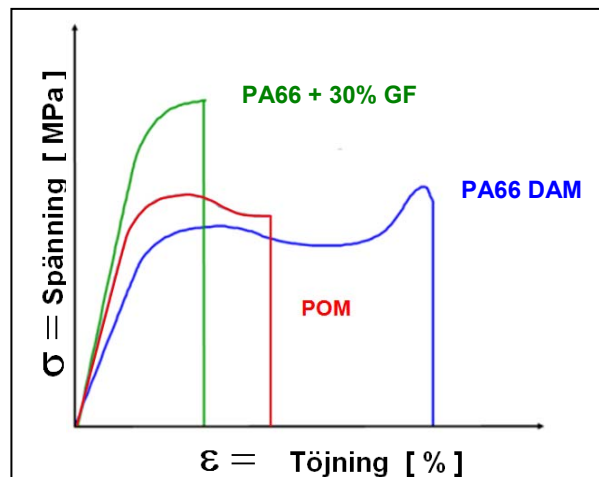


Fig 132. På bilden ovan ser vi dragkurvor för några olika plaster. Lägg märke till att brottspänningen för acetalkurvan (röd) är lägre än maxspänningen. Detta beror på midjebildningen. Att okonditionerad PA66 får en ökad spänning i slutet på kurvan beror på att molekylerna orienteras i midjan vilket ger en härdande effekt. I jämförelse mellan den gröna kurvan (PA66 med 30 % glasfiberarmering) och den blå (oarmerad PA66) kan man se armeringseffektens inverkan på spänning och töjning. Vi får ett betydligt starkare men sprödare material. Ju högre brotttöjning ju segare material.

I det linjära området är det enkelt att göra

hållfasthetsberäkningar eftersom Hooks lag gäller d.v.s. Spänningen  $\sigma = \frac{\text{Kraft}}{\text{Area}}$  Mpa



Fig 133. Så länge man befinner sig i område A) eller B) i kurvan i fig. 131 återtar en provstav sin ursprungliga form efter avlastning. När man kommer över den s.k. töjgränsen vid C) uppstår en midja som förlängs tills brottet uppstår vid D) (provstaven till höger).

Ur spännings-/töjningsdiagrammet ovan till vänster får man följande mekaniska data:

- 1) Spänning vid töjgräns  $\sigma_y$  (punkten C) i kurvan
- 2) Töjning vid töjgräns  $\epsilon_y$  (punkten C) i kurvan
- 3) Spänning vid brottgräns  $\sigma_B$  (punkten D) i kurvan
- 4) Töjning vid brottgräns  $\epsilon_B$  (punkten D) i kurvan
- 5) Materialets styvhet  $E_t$  som anges som dragmodul.  
 Dragmodulen  $E_t$  beräknas i det linjära området med följande ekvation:  $E_t = \sigma_t / \epsilon_t$   
 Om dragkurvan är olinjär gör man en approximation och räknar ut stället ut tangent eller sekantmodul.

Spänning anges i enheten MPa (Mega-Pascal) och töjning i procent. Figur 136 på nästa sida visar hur sambandet mellan olika enheter hänger ihop.

Förutom att man anger ett materials styvhet som dragmodul  $E_t$  kan man också ange den som böjmodul  $E_s$ . I dagens läge är dragmodul betydligt vanligare än böjmodul i råvaruleverantörernas datablad. Bilderna på nästa sida visar hur belastningsfallet och kurvan ser ut.

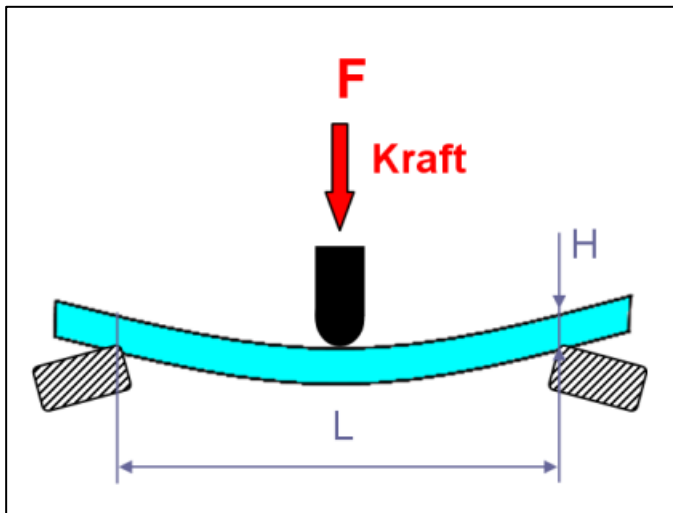


Fig 134. På bilden ovan visas att provstaven är upplagd horisontellt på två stöd och belastas i mitten.

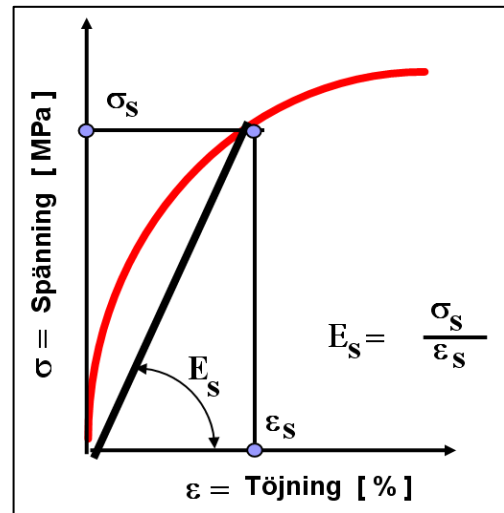


Fig 135. När man gör en böjbelastning blir kurvan olinjär. Man gör därför en approximation och drar en sekantlinje (diagonal), varefter man anger böjmodulen  $E_s = \sigma_s / \epsilon_s$ .

$$1 \text{ kg} \quad 10 \text{ N} \quad \rightarrow \quad 100 \text{ g} = 10^2 \text{ g} = 10^{-1} \text{ kg} = 1 \text{ N} \quad (F)$$

$$\frac{1 \text{ N}}{\text{mm}^2} = 1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar} = 10^{-3} \text{ GPa}$$

$$1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 1000 \text{ MPa} = 1 \text{ GPa}$$

$$\frac{1 \text{ kg}}{\text{cm}^2} = \frac{10 \text{ N}}{\text{cm}^2} = \frac{10 \text{ N}}{100 \text{ mm}^2} = \frac{0.1 \text{ N}}{\text{mm}^2} = 0.1 \text{ MPa} = 1 \text{ bar} \quad (P)$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Fig 136. Om man hänger en vikt på 1 kg i ett snöre så belastar denna vikt snöret med kraften  $F = 10 \text{ N}$  (Newton). Spänningen i snöret beror på snörets area  $A$  och anges som  $\sigma = F/A$  d.v.s. om vi hänger 1 kg i snöret och detta har arean  $1 \text{ mm}^2$  så blir spänningen  $10 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ MPa}$ . Man anger även tryck  $P$  i MPa. Tidigare angav man trycket i Bar.

Av sortomvandlingarna till vänster kan vi se att  $1 \text{ kg/cm}^2$  är lika med  $0,1 \text{ MPa}$  eller  $1 \text{ Bar}$ . Man anger ofta formsprutors låskraft i ton. Den korrekta enheten är emellertid MPa och man får då multiplicera med 10, d.v.s.  $1 \text{ ton} = 10 \text{ MPa}$ .

## Slagseghet

Den slagseghetsmetod som är dominerande idag är enligt "Charpy". Här fäster man provstaven i båda ändar i horisontellt läge och låter pendeln träffa den i mitten.

Måttenheten för Charpy är  $\text{kJ/m}^2$ . En tidigare mycket använd metod är enl. "Izod", där man fixerar halva provstaven i ett vertikalt läge och slår av den utstickande övre halvan. Måttenheten för Izod är  $\text{J/m}$ . Det finns ingen faktor som gör att man kan räkna om värden mellan metoderna.



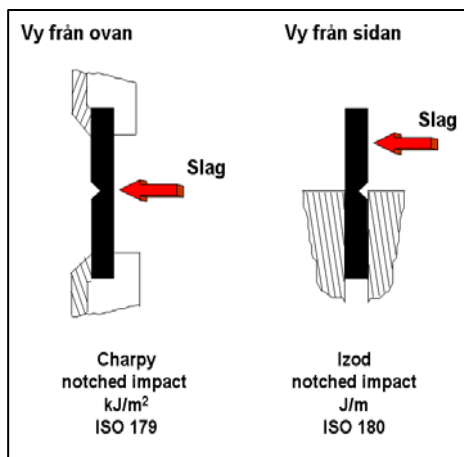
Fig 138.

Bilden visar en modern pendelslagprovare. Själva pendeln är låst i sitt utgångsläge ovanför den röda dekalen på slagprovaren. När den passerar och slår av provstaven förlorar den energi. Denna energiförlust anger materialets slagseghet. Normalt testas provstavar vid  $23^\circ\text{C}$  eller vid  $-30^\circ\text{C}$  med eller utan skåra.



Fig 137. Bilden ovan visar en provstav med fräst skåra avsedd för slagprovning.





Eftersom slagseghetsmätning är en känslig och bra kvalitetskontroll använder sig många formsprutare av hemmabygga fallviktsprovare. Man kan t.ex. borra hål med c:a 5 cm:s avstånd i ett vanligt 50 mm:s avloppsrör i plast. Svarva till en vikt (kulformad nertill) som sedan hissas upp i röret till en viss höjd och fixeras med en sprint. När man sedan drar ut sprinten faller vikten och slår till detaljen som man fixerat under röret. Klarar detaljen den fastställda höjden utan skador är kvalitén OK. Går den sönder är något fel med materialet eller processen.

Fig 139. Bilden visar infästning av provstavar enl. Charpy till vänster och Izod till höger.

## Maximal användningstemperatur

### UL Service Temperatur

Man kan lätt bli förvirrad när man försöker ta reda på ett materials maximala användningstemperatur eftersom denna anges på olika sätt. Ett stort internationellt testinstitut som kallas för Underwriters Laboratories har utarbetat ett sätt att ange den maximala kontinuerliga användningstemperaturen som kallas "*UL Service Temperatur*". För att fastställa denna så lägger man provstavar i ugnar med olika temperaturer och väntar 60 000 timmar (d.v.s. nästan 7 år). Man tar sedan ut provstavarna och testar dem och den temperatur som har påverkat provstavarna så mycket att de förlorat 50 % av ursprungliga värden anger man som maximal kontinuerlig användningstemperatur (*UL Service Temperatur*).

Man anger denna temperatur både för olika mekaniska och elektriska egenskaper.

### Nedböjningstemperatur

I de flesta datablad finner man värden på materialets nedböjningstemperatur vid olika belastningar. På engelska kallas denna metod för "*Heat deflection temperature*" och förkortas HDT.

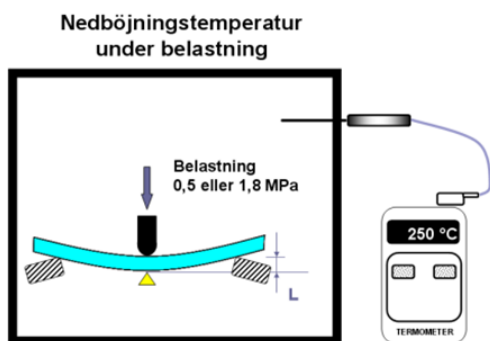


Fig 140.

När man skall mäta HDT fixerar man en provstav horisontellt i båda ändar. Och belastar den i en ugn med antingen 0,45 eller 1,8 MPa. Man låter temperaturen i ugnen stiga med 2°C per minut och anger den temperatur där provstaven har böjts ned 0,25 mm som HDT.

I tabellerna nedan, som hämtats från Campus materialdatabas visas HDT för ett antal termoplaster. OBS! Viss avvikelse från nedanstående tabellvärden förekommer beroende på viskositet och tillsatsmedel.

Polymertyp	HDT vid 0,45 MPa	HDT vid 1,8 MPa	Smält-punkt	Polymertyp	HDT vid 0,45 MPa	HDT vid 1,8 MPa	Smält-punkt
ABS	100	90	-	Polyester PBT	180	60	225
Acetal Copolymer	160	104	166	PBT + 30 % Glasfibrer	220	205	225
Acetal Homopolymer	160	95	178	Polyester PET	75	70	255
HDPE, Polyeten	75	44	130	PET + 30 % Glasfibrer	245	224	252
PA 6	160	55	221	PMMA (Akrylplast)	120	110	-
PA 6 + 30 % Glasfibrer	220	205	220	Polykarbonat	138	125	-
PA 66	200	70	262	Polystyren	90	80	-
PA 66 + 30 % Glasfibrer	250	260	263	PP, Polypropen	100	55	163
				PP + 30 % Glass Fiber	160	145	163

- OBS! De amorfa materialen saknar smältpunkt

## Brandklassning

Det internationella testinstitutet Underwriters Laboratories har utarbetat olika testmetoder för att ange ett materials brandklassning. Man utgår från provstavar med olika tjocklek som man tändar på antingen i horisontellt läge HB (*HB = horisontal burning*) eller V-2, V-1 eller V-0 (*V = vertikal burning*). För att material skall bli brandklassat måste det slockna av sig själv inom en viss sträcka (HB) och på en viss tid. När man testar ett material för V-0 till V-2 ger man också akt på om ev. droppar antänder bomull (se nedan).

### HB-klassning

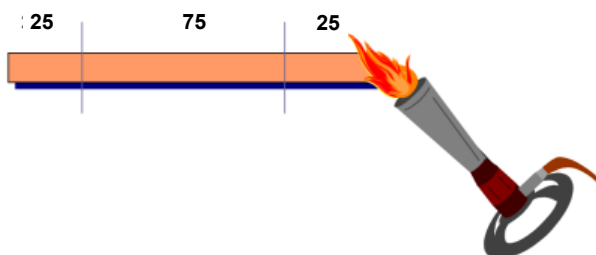


Fig 141. Lågan anbringas under 30 sekunder innan antändningshastigheten mätes. HB-klassificering erhålls om antändningshastigheten uppmätt mellan två punkter inte överskrider:

- 1) 40 mm/min för 3 - 13 mm:s provstavar
- 2) 75 mm/min för provstavar < 3 mm
- 3) Om lågan slocknar innan första markeringen

### V-klassning

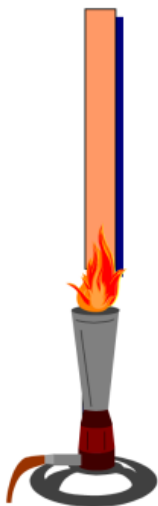


Fig 142. När man testar en provstav i vertikalt läge så anbringas lågan två gånger under vardera 10 sekunder. Den andra lågans anliggningstid börjar genast efter att den antända provstaven slocknar eller inte antänds.

Klassificering	UL V-0	UL V-1	UL V-2
Påverkan av låga	2 x 10 s	2 x 10 s	2 x 10 s
Max brinntid för enskild provstav	≤ 10 s	≤ 30 s	≤ 30 s
Max brinntid totalt för 5 st provstavar	≤ 50 s	≤ 250 s	≤ 250 s
Droppar får antända bomull	Nej	Nej	Ja
Efterglöd	≤ 30 s	≤ 60 s	≤ 60 s
Efterglöd får antända bomull	Nej	Nej	Nej

Fig 143. I tabellen till vänster anges de tider som måste uppfyllas för att testen skall godkännas. Under provstaven har man bomull och man ger också akt på om denna antänds av eventuella droppar. Slutligen ger man också akt på hur lång tid som eventuell efterglöd förekommer.

## Elektriska egenskaper

Det finns en mängd olika testmetoder för elektriska egenskaper hos plaster. Vanligtvis anger man materialets isolationsförmåga mot genomslag i godset eller mot krypströmmar på ytan.

Följande metoder förekommer i databladet:

- 1) Dielektrisk styrka (*dielectric strength*)
- 2) Volymresistivitet (*volume resistivity*)
- 3) Överslagsspänning (*arc resistance*)
- 4) Krypströmsmotstånd (*surface resistivity*)
- 5) "Tracking" motstånd CTI (*Comparative Tracking Index*)

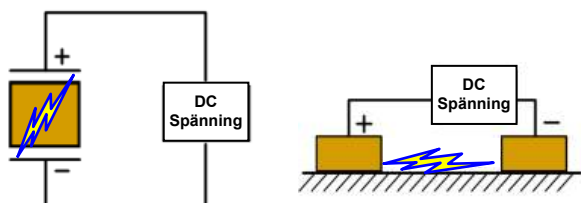


Fig 144. Provning enligt 1) till 3) sker i en testutrustning med samma princip som i figuren till vänster medan 4) och 5) sker enligt principen i figuren till höger.

Vill man fördjupa sig i elektriska provningsmetoder för plaster kan följande hemsida rekommenderas:

[www.ul.com](http://www.ul.com)

## Flytbarhet - smältindex

Man kan mäta smältans flytbarhet hos termoplaster med hjälp av en testmetod som heter smältindex (*MVR, melt volume rate* eller *MFI, melt flow index*). Nedan visas hur mätningen går till.

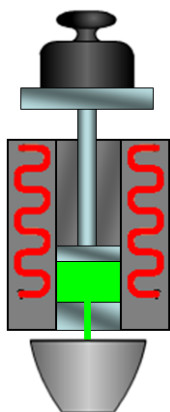


Fig 145.

När man testar flytbarheten hos en termoplast så värmer man upp granulat i en cylinder. Temperaturen är enl. standard och varierar mellan olika polymerer. När materialet har uppnått den specificerade temperaturen lägger man på en vikt (materialberoende) och registrerar den tid som det tar för materialet att rinna ur cylindern. Man anger MVR i enheten  $\text{cm}^3/10$  minuter. När man mäter MFI väger man materialet som har strömmat ut och anger det i enheten  $\text{g}/10$  minuter.

## Formkrymp

Formkrympen är skillnaden mellan formrummets dimensioner och den formsprutade detaljens dimension.

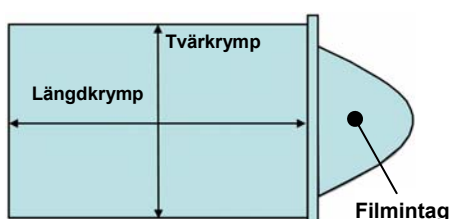


Fig 146. Man mäter formkrympen efter ett dygn (min. 16 timmar). För delkristallina material sker en efterkristallinering som kan pågå i månader beroende på omgivningstemperaturen varvid detaljen hela tiden krymper. Denna krymp kallas för efterkrymp. Den totala krympen = formkrymp + efterkrymp. Man brukar ange krympen både i detaljens längd- (flyt-) och tvärriktning.

## Kapitel 9 - Materialdatabaser på Internet

Ett bra sätt att söka information om olika materialkvaliteter är att besöka råvarutillverkarnas hemsidor eller besöka oberoende materialdatabaser på Internet. Vi beskriver här tre ledande globala databaser: Campus och Material Data Center från europeiska M-Base och Prosector Plastics Database från det amerikanska företaget Ides. Den stora fördelen med alla databaserna är att man kan jämföra materialdata oavsett vem som är tillverkare, eftersom alla material i databaserna är testade på exakt samma sätt.

### Campus

Ett 20-tal av de största plastråvarutillverkarna använder Campus för att informera sina kunder om dess produkter. Mjukvaran till Campus 5.2 (december 2010) erbjuds gratis av råvarutillverkarna och kan hämtas direkt via Internet: [www.campusplastics.com](http://www.campusplastics.com) Databasen uppdateras regelbundet och kan uppdateras via Campus hemsida. Detaljerad information om Campus finns i artikeln "Campusskolan" på författarens hemsida: [www.brucon.se](http://www.brucon.se) under fliken "Litteratur och länkar."

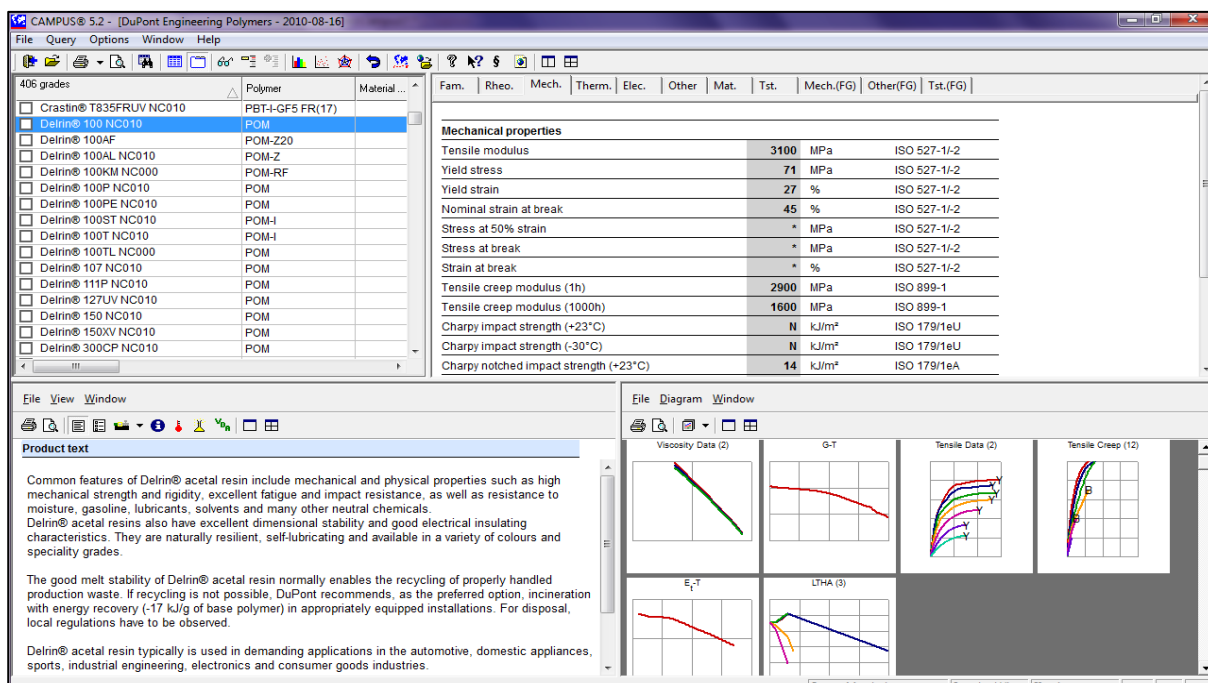


Fig 147. Campusfönstret är uppdelat i 4 mindre. Överst till vänster finns listan med alla material. Överst till höger finns egenskapsfönstret, som i detta fall visar de mekaniska egenskaperna för den markerade materialkvaliteten (Delrin® 100 från DuPont). Nederst till vänster visas informationsfönstret med information om Delrin® 100 och till höger ser vi olika kurvor för detta material i grafikfönstret.

### Egenskaper för Campus 5.2

- + Databasen är gratis och hämtas från Internet
- + Man kan sortera på egenskaper i tabeller
- + Man kan jämföra olika material i tabellform
- + Man kan jämföra olika material grafiskt
- + Man kan få materialens kemikaliebeständighet
- + Man kan printa ut "egna" datablad
- + Man kan söka efter material som uppfyller olika kriterier på egenskaper
- + Man kan få materialens processdata i "curve overlay"- och "polar"-diagram
- + Man kan få materialens flytbarhet (används vid formfyllnadssimulering)
- Man kan bara jämföra material från en leverantör i taget
- Databasen måste uppdateras manuellt

## Material Data Center

Denna databas innehåller mer än 28000 materialkvaliteter från 230 olika leverantörer. För att kunna nyttja Material Data Center måste man vara registrerad och betala en årlig avgift på €350 (februari 2012). Här är adressen till hemsidan: [www.materialdatacenter.com](http://www.materialdatacenter.com)

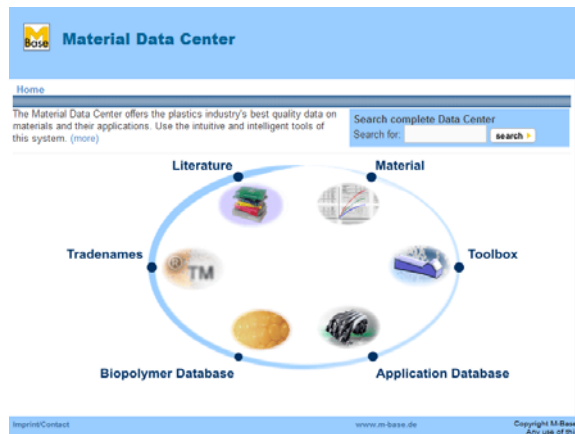


Fig 148. Startfönstret i Material Data Centret visar de olika funktionerna i databasen.

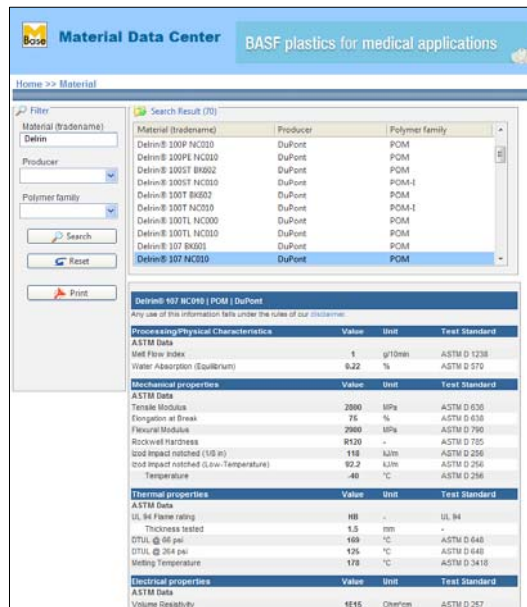


Fig 149. Fönstret till höger visar en del av tabellen för ett av de 34 500 materialen från en av de c:a 280 leverantörerna som ingår i databasen.

## Egenskaper för Material Data Center

- + Man kan printa ut "egna" datablad
- + Man kan sortera på egenskaper i tabeller
- + Man kan söka efter material som uppfyller olika kriterier på egenskaperna
- + Man kan jämföra olika material i tabellform från samtliga leverantörer samtidigt
- + Man kan jämföra olika material i "curve overlay"-diagram
- + Man får tillgång till speciella databaser med plastlitteratur, applikationer och biomaterial

## Prospector Plastics Database

Denna databas är den största och innehåller mer än 83000 materialkvaliteter från 800 olika leverantörer. Prospector innehåller både gratis och avgiftsbelagda funktioner. Här är adressen till hemsidan: [www.ides.com/prospector/](http://www.ides.com/prospector/)

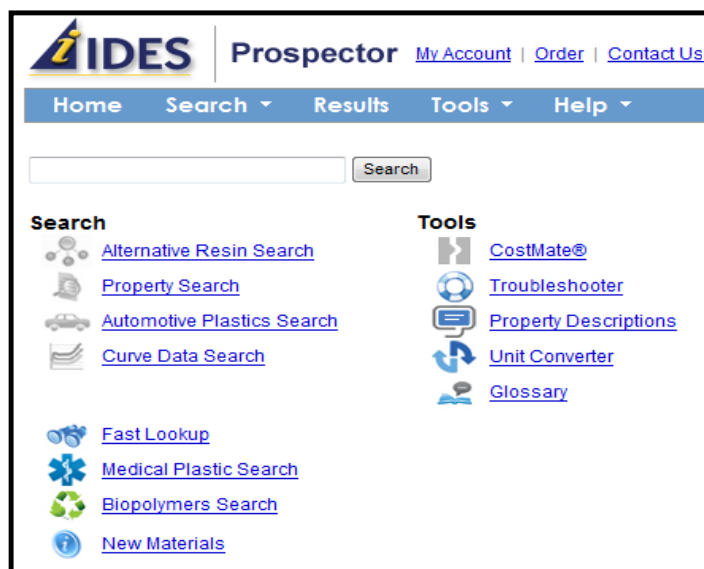


Fig 150. För att kunna använda gratisfunktionerna i Prospector måste man först registrera sig på Ides startside.

## Gratisfunktioner i Prospector

- Datablad för alla materialen inkl. processinformation
- Guide till formsprutningsfel
- Sökfunktion för nyckelord, materialnamn, polymerbeteckning, applikationer, bioplaster och medicinkvaliteter
- Beskrivning av olika testmetoder
- Plastteknisk ordlista
- Demonstration via videoklipp

## Betalfunktioner i Prospector

- Sökning på materialegenskaper
- Sökning efter alternativmaterial och godkända "bil-kvaliteter"
- Materialjämförelser i tabellform och s.k. "curve overlay"-diagram
- Kostnads kalkyl för formgods

# Kapitel 11 - Formsprutningsmetoder

## Historia

Formsprutning är den klart dominerande bearbetningsmetoden för plaster. Med denna metod kan man producera detaljer i både termoplaster och hårdplaster.

I detta kapitel skall vi dock fokusera på termoplaster.

Metoden patenterades redan år 1872 av bröderna Hyatt i USA som började tillverka biljardbollar i Celluloid. De första formsprutorna var s.k. kolvmaskiner där man fyllde plastmaterialet i en uppvärmd cylinder. När plasten sedan smälte pressades den in i formrummet med hjälp av en kolv. De första svenska plastbearbetarna, Celluloid (numera Placell), Orionplast, Bladhs Plast, Plastteknik och Konstruktionsbakelit m.fl. började alla sin formsprutning av termoplaster under 1940-talet med hjälp av kolvmaskiner. Först under 1950-talet kom de första skruvmaskinerna, d.v.s. den typ som vi använder idag. Från att ha varit en handfull pionjärer för mer än 60 år sedan räknar man med att det idag finns bortåt 500 formsprutare i Sverige.

Att formsprutning har blivit den mest populära bearbetningsprocessen för termoplaster idag beror på att den ger så stora kostnadsfördelar jämfört med konventionell skärande bearbetning eller annan gjutning. Processen har också genomgått stor utveckling under de senaste femtio åren och är idag helt datoriserad.

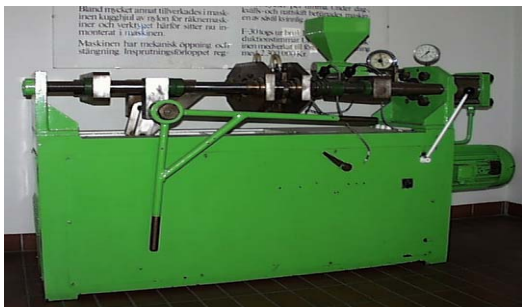


Fig 174. Bilden visar en formspruta som Plastteknik i Göteborg använde sig av under mitten av 1950-talet. Låsmekanismen var av s.k. knäledstyp, som är vanligt förekommande också idag, men själva låsnings- och öppningsrörelserna skedde med armkraft genom hävstänger.



Fig 175. Här ser vi bilden på en modern formspruta av fabrikat Engel. Denna maskin har en hydraulisk knäledslåsning. Det finns även "helelektriska" maskiner som är betydligt tystare än de hydrauliska.

## Egenskaper

Formsprutning är en helautomatisk cyklisk process där:

Man ofta framställer helt färdiga detaljer i varje skott

- + Detaljerna kan ha mycket komplex form utan krav på efterbearbetning
- + Man har mycket hög produktionstakt (i extrema fall med tunnväggiga förpackningar en cykeltid på bara 3 – 4 sekunder)
- + Man kan tillverka allt från millimeterstora precisionsdetaljer (t.ex. kugghjul i armbandsur upp till stora karosseridelar till lastbilar (med längder över 2 m)
- + Man kan tillverka tunna väggar med några tiondels mm upp till tjocka väggar över 20 mm
- + Man kan kombinera flera olika plastmaterial i samma skott (t.ex. ett mjukt grepp på ett styvt handtag)
- + Man kan överspruta metalldelar (se fig 176.)
- + Man kan få detaljer med allt från s.k. klass A-ytor (se fig. 177.), som lämpar sig att lacka eller förkroma till texturerade ytor med, som man ofta ser i bilinredningar
- + Man kan lätt robotisera processen om man önskar efterbearbetning t.ex. avlägsna ingöt, montera (t.ex. svetsa) eller ytbelägga detaljerna
- + Man kan återvinna ingöt eller kasserade detaljer direkt vid formsprutningsmaskinen

## Begränsningar

Om man skall försöka finna några nackdelar med formsprutning, så är det i så fall att processen kräver relativt dyrbar utrustning (maskiner och formverktyg), vilket i regel kräver stor seriestorlek (> 1 000 detaljer) för att metoden skall bli riktigt lönsam. Annat som kan ställa till problem är att detaljerna krymper jämfört med formrummets dimensioner, vilket kan förorsaka toleransproblem. Man måste också ha släppningsvinklar på 0,5 till 1° för att lättare kunna stöta ut detaljerna ur formverktyget.



Fig 176. Formsprutat bälteslås till säkerhetsbälte i bilar, där man har översprutat en stansad och förkromad stålplåt med en konstruktionsplast.



Fig 177. Formsprutad spoiler i PP med EPDM. Den har s.k. klass A-yta och är lackad med samma färg som karosseridelarna i plåt.

## Formsprutningsmaskinen

En formspruta består av två delar: Sprutenheten, där plastmaterialet fylls på och smälts och låsenheten, där formverktygets två halvkor är fixerade. Med hjälp av låsenheten stänger och öppnar man verktyget. Mitt på maskinen sitter den datoriserade kontrollpanelen där man ställer in och styr själva bearbetningsprocessen.

### Sprutenheten

Sprutenheten består av en trätt eller doseringsenhet i början på en cylinder som värms upp med hjälp av värmeband. Inuti cylindern finns en skruv som antingen roterar och doserar fram plastmaterialet till nästa skott eller som får en linjär rörelse och fungerar som en kolv när materialet sprutas in i formverktyget. I slutet på skruven sitter en spets i form av backströmsventil som förhindrar att materialet pressas bakåt när man fyller formverktyget. Cylindern övergår i munstycket som ligger an mot verktyget. Materialet flyter in i formrummet genom munstycket under insprutningsfasen.



Fig 178 och 179. Plastgranulaten kommer oftast i form av risgrönsstora korn (se bilden till vänster). Granulaten matas in i början på cylindern med hjälp av en doseringsenhet som suger upp materialet från en behållare eller materialtork. Doseringsenheten ersätter tratten, som var så vanlig förr.



Fig 180. Ovan visas en sprängskiss av en cylinder. Tratten sitter längst bak och munstycket längst fram. Inuti cylindern ligger skruven och utanpå sitter värmebanden som tillsammans med friktionsvärme från skruven smälter plastgranulaten.

Foto: DuPont

## Låsenheten

Formverktyget består i regel av två halvor (i undantagsfall av tre i s.k. etageverktyg). Den ena halvan, där ingötet finns, fixeras på maskinens fasta formbord och kallas för fast formhalva. Den andra, där utstötarpattan finns är monterad på maskinens rörliga formbord och kallas rörlig formhalva. Låsenheten är i regel en hydraulcylinder med en knäledsmekanism eller en kraftigare hydraulisk cylinder med direktlåsande kolv som ger det rörliga formbordet en fram- och tillbakarörelse som därmed öppnar eller stänger verktyget.

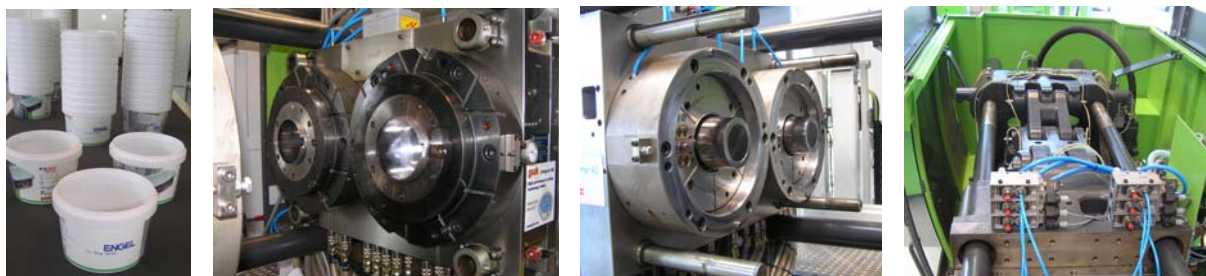


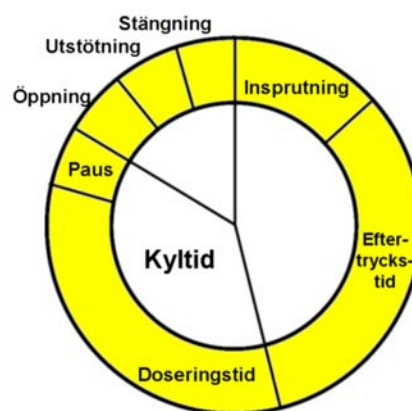
Fig 181 och 182. Ovan till vänster ser vi plastburkar i PP. Till höger ser vi den fasta verktygshalvan, där burkarna tillverkas. Verktyget är ett s.k. tvåfacksverktyg, vilket betyder att två burkar tillverkas samtidigt i varje skott. Ingöten sitter i mitten på burkarnas undersida.

Fig 183 och 184. Ovan till vänster ser vi den rörliga verktygshalvan till plastburkarna i fig 181. Oftast har man utstötarpinnar för att stöta ut produkterna ur formrummen. I detta fall har man en utstötarring. Ovan till höger ser vi knäledsmekanismen som öppnar eller stänger verktyget. Bilden är tagen ovanifrån.

## Formsprutningscykeln

Formsprutningscykeln börjar med att verktyget stängs varefter smält material sprutas in genom munstycket in i formrummen. Vi kallar detta för insprutningsfasen. Skruven roterar inte under denna fas utan styrs av hydraultryck, så att den får en linjär rörelse och fungerar därför som en kolv. En backströmsventil sitter längst fram på skruven och förhindrar att smältan framför skruven pressas tillbaka i cylindern.

Fig 185. Till höger visas formsprutningscykelns olika faser. Under insprutnings- och eftertrycksfasen roterar inte skruven, utan rör sig framåt, som en kolv med backströmsventilen stängd. Under doseringsfasen roterar skruven och pressas samtidigt bakåt av det tryck som byggs upp framför skruvspetsen av plastsmältan. Backströmsventilen är i detta läge öppen. Under paus, öppning, utstötning och stängning är skruven stillastående i bakre läget.



Under eftertrycksfasen roterar inte skruven men ligger under högt tryck (50 – 100 MPa). Den rör sig sakta några millimeter framåt när materialet i formrummet packas upp, vilket även benäms krympkompensering. Anledningen till att man måste ha en eftertrycksfas är att det är stor skillnad (upp till 20 %) mellan plastsmältans specifika volym och det stelade materialets specifika volym (framför allt när det gäller delkristallina plaster). Man måste därför kompensera volymskillnaden med att packa in mer material i formrummet under stelningförloppet för att undvika att sjunkmärken eller porer ska bildas.

Under doseringsfasen av kyltiden roterar skruven och matar fram ny plastsmälta framför skruvspetsen. Skruvvarvtalet måste anpassas till materialets smältaviskositet så att man inte får för hög skjuvning mellan skruvens flanker och cylinderväggen. Skjuvningen ger friktionsvärme och om denna blir för hög så sönderdelas materialet, vilket kallas för termisk nedbrytning. När doseringen är klar kan man i princip öppna verktyget om man formsprutar delkristallina plaster. Man brukar dock lägga på en liten säkerhetsmarginal (0,5 – 1 sek) för att kompensera för variationer av doseringstiden (d.v.s. paustid). För amorfa material brukar man ha en rejäl paustid utöver doseringstiden så att materialet skall hinna bli tillräckligt styvt för att inte deformeras vid utstötningen. Öppnings-, utstötning- och stängningsfasen brukar i regel gå på några sekunder även om man låter en robot hämta ut detaljerna från verktyget.



## Alternativa formsprutningsmetoder

Under de senaste årtiondena har man utvecklat formsprutningsprocessen så att man kan kombinera olika material i samma detalj eller göra tjockväggiga detaljer ihåliga eller skumma materialet inuti detaljväggen. Man kan även föra in folie i formrummet och få färdiga detaljer med tryck, textilyta eller träimitation.

### Flerkomponentsformsprutning

Vanligast är att man kombinerar två olika material i samma detalj även om fler än två material kan sprutas i samma skott. Vid flerkomponentsformsprutning har man specialmaskiner med en cylinder för varje material.

En vanlig metod vid tvåkomponentsformsprutning är att man har roterande verktyg. Dessa verktyg är relativt dyra men man sparar en hel del tid jämfört med en annan flerkomponentsmetod som kallas "robottransfer".

Fig 186 och 187. Roterande verktyg. I den vänstra bilden visas ett verktyg med roterande halva där man tillverkar en speciell provstav för att testa vidhäftningen mellan två olika material med ljus resp. svart färg. Man sprutar det ljusa materialet i två delar som separeras av en kärna i den fasta halvan. När verktygshalvan sedan har roterats saknas denna kärna i det andra formrummet i den fasta halvan. Här sprutar man istället in det svarta materialet.



Foto: DuPont

Fig 188. Robottransfer.

Bilden visar en skruvmejsel, där man först har lagt in stålmejseln i ett verktyg i en maskin. Mejseln har sedan översprutats med blå polypropen i detta verktyg. En robot kommer sedan att flytta den blå mejseln till ett annat verktyg i en annan maskin, där en svart termoplastisk elastomer kommer att sprutas ovanpå den blå kärnan.



### Gas- eller vatteninjicering

Man kan även göra ihåliga detaljer vid formsprutning. I detta fall måste man utrusta formsprutan, som kan vara av standardtyp, med ett speciellt aggregat som injicerar gas (oftast kväve eller koldioxid) eller vatten i slutet av fyllningsfasen. Man måste samtidigt ha ett s.k. avstängningsmunstycke så att gasen eller vattnet inte tränger in i cylindern.

Det finns olika metoder där man injicerar gasen eller vattnet antingen i ett specialmunstycke eller genom ventiler direkt in i formrummet. I vissa fall fyller man formrummet helt med plast, öppnar sedan s.k. överfyllnadsfickor och låter sedan gasen eller vattnet bilda en blåsa i mitten av formväggen och samtidigt pressa ut motsvarande plastvolym i överfyllnadsfickorna. Fördelen med vatteninjicering framför gasinjicering är att man får betydligt kortare cykeltid och bättre ytstruktur på insidan.

Med gasinjection kan man minska kravet på låskraft hos formsprutan eftersom man ersätter högt eftertryck med betydligt lägre gstryck. Detta påverkar dock ytfinishen på utsidan negativt.

Man kan även finfördela gasen i speciella munstycken och åstadkomma skum inuti formväggen.

Det finns flera olika metoder för detta av vilka Mucell är den mest kända.



Fig 189. Armstödet är tillverkat med gasinjicering. Man vinner vikt och cykeltid med denna metod, men får mycket varierande väggjocklek och dålig ytstruktur på insidan.

Foto: DuPont



Fig 190. Bilden visar ett rör till en VW-motor tillverkat med vatteninjicering. Här drar man nytta av fördelarna med kort cykeltid, jämn godstjocklek och fin ytstruktur på rörets insida.

Foto: DuPont

## Kapitel 12 – Efterbearbetning av formgods

### Ytbehandling av formgods

I regel får man helt färdiga detaljer när man formsprutar i plast. Detaljer i rätt färg och klara att genast användas som de är eller monteras ihop med andra komponenter. Det finns dock möjligheter att ytterligare förädla den formsprutade detaljen genom att ytbehandla den. Vanligtvis ytbehandlar man plast för att höja det estetiska värdet men ibland gör man det för att klara funktionskraven.



Fig 191. Strålkastarhus i polyester PBT.

På bilden ser man genom glaset (som tillverkas i polykarbonatplast) den förkromade reflektorn. Här har man gjort ytbeläggnings för att få de optiska egenskaperna samtidigt som man skyddar plastytan från den höga värmestrålningen från ljuskällan.

De ytbehandlingsmetoder för termoplaster som vi behandlar i detta avsnitt är:

- Tryckning/etikettering
- IMD – “*In mould decoration*”
- Lasermärkning
- Lackning
- Kromning eller metallisering

### Tryckning

Det finns många olika orsaker till att man vill trycka på plastprodukter. Ofta vill man ange en varubeteckning eller instruktion på produkten. De tryckmetoder som vi kommer att ta upp i detta kapitel är:

- Varmpräglning (*Hot stamp*)
- Tampongtryckning
- Screentryck



Fig 192.

Förpackningar med varubeteckning och instruktionsanvisningar.

På många förpackningar i plast finns en påklitrast etikett i papper eller plastfolie men det finns också olika metoder för att trycka direkt på plastytan.

## ”Hot stamp”- tryckning

Vid Varmprägling använder man sig av en folie. Denna folie kan ha en skinande metallyster (se linsskyddet på bilden nedan). Man trycker folien mot plastprodukten med hjälp av en uppvärmd graverad stämpel varvid trycket fastnar.



Fig 193. På bilden ser vi några produkter där man har använt varmprägling för att höja det estetiska intrycket av sitt varumärke eller för att skapa funktionssymboler som behövs vid användandet av produkten.

## Tampongtryckning

Vid tampongtryckning använder man sig av en mjuk (skumgummiliknande) silicontampong som man först trycker mot en bläckbelagd kliché för att sedan trycka på produkten.

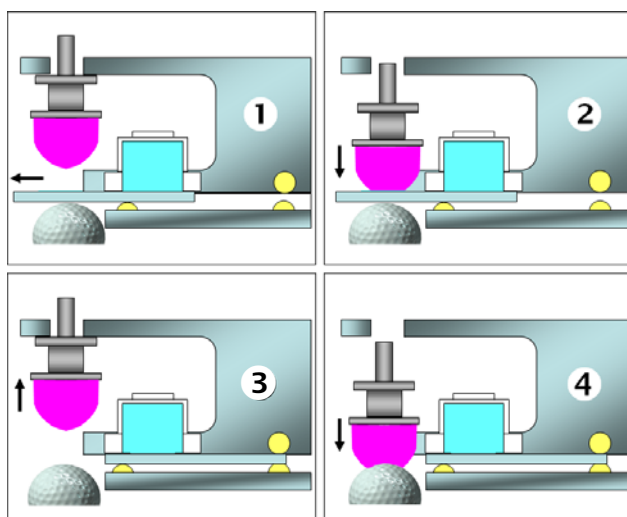


Fig 194. Bilden visar hur tampongtryckning av en golfboll går till.

I läge ❶ står tampongen (rosa) i utgångsläget. Under tampongen finns en etsad kliché med ett infärgat (turkos) mönster.

I läge ❷ överförs mönstret till tampongens yta.

I läge ❸ går tampongen upp och klichén dras tillbaka och infärgas med färgpasta från den turkosa behållaren.

I läge ❹ överförs mönstret från tampongen till golfbollen.

## Screntryckning

Screntryckning är en gammal tryckmetod, som uppfanns av kineserna för 2 000 år sedan. Denna metod som kan trycka både plana och cylindriska ytor används när storleken på tampongtryckning inte räcker till. Man använder sig av en stencil (med bild av det som skall tryckas) och en duk som impregnerats med färgpasta på så sätt att stencilen avbildats på duken. När man sedan trycker duken mot plastytan överförs färgpasta till ytan och man får ett tryck.



Fig 195.

Glassgubben på bilden är med största sannolikhet tillverkad av vakuumformade plattor i en amorf plast som man sedan har tryckt i glada färger med hjälp av screntryckning.

## IMD - In mould decoration

IMD är beteckningen för att man lägger in en folie eller väv direkt i formen vid formsprutning. Detta sker i regel med hjälp av en robot samtidigt som roboten plockar ut detaljen från föregående skott. Med denna metod kan man få estetiskt mycket fina detaljer. Se fig 196 och 197 nedan.



Fig 196.

Det som ser ut som valnötsinläggning i bilpaneler är vanligtvis en panel i ABS som man har belagt med en folie direkt i formverket.



Fig 197.

"In mould decoration" används vid massproduktion av förpackningar. Cykeltiden inklusive inläggning av folie i formverket och utplockning av två färdiga burkar av den typ som ses ovan tar inte ens fyra sekunder.

## Lasermärkning

Detta är en av de senaste metoderna för att märka plasttytor. För att denna metod skall fungera måste plastmaterialet ha ett speciellt pigment som ändrar färg när det belyses av en laserstråle.



Fig 198.

Bilden visar en lasermärkningsutrustning med s.k. Yag-laser på 1064 nm. Laserstrålens diameter är bara 0,05 mm i diameter. Den rör sig tvåaxligt över fixturen som håller plastdetaljerna samtidigt som den periodvis belyser deras yta.

Källa: [www.lasermarkning.se](http://www.lasermarkning.se)



Fig 199.

I 90 % av fallen när det gäller lasermärkta plastprodukter har man gjort det av funktionella snarare än av estetiska skäl. På bilden ser vi en automatsäkring där man har ritat ett kopplingsschema med hjälp av lasern. På lågenergilampan har man skrivit en informationstext. På lågenergilampan har man skrivit en informationstext. På lågenergilampan har man skrivit en informationstext. På lågenergilampan har man skrivit en informationstext. På lågenergilampan har man skrivit en informationstext. På lågenergilampan har man skrivit en informationstext.

## Lackering

I de flesta formsprutade detaljer har man färgat in materialet direkt vid tillverkningen. Orsaken till att man sedan behöver lackera plastdetaljen kan bero på att materialet har en sådan egenfärg att man inte kan uppnå det estetiska värde som man eftersträvar. Om detaljen skall monteras med lackade plåtdetaljer (t.ex. yttre backspeglar på en bil) så är det praktiskt taget omöjligt att få samma färg på en infärgad plastdetalj som på den lackade ytan. Ibland lackar man också en plastyta för att förbättra UV-ljusbeständigheten eller reptåligheten.



Fig 200.

Spoilers, yttre speglar etc. gjorda i plast måste lackeras med samma typ av lack som man använder för karosseridelarna i plåt för att få perfekt färgmatchning.

## Metallisering/kromning

Vill man höja det estetiska värdet på en plastdetalj och samtidigt ge intryck av att detaljen är gjord i metall så kan man för många plaster välja förkromning som en lämplig ytbehandling. Det bästa materialet att förkroma är ABS men även konstruktionsplaster såsom polyamid, acetalplast och termoplastisk polyester går att förkroma.

Andra orsaker till att metallisera eller förkroma plastdetaljer är att förbättra reptåligheten eller skydda plasten mot UV-ljus eller värmestrålning. Genom att belägga ytan med metall kan man också skärma av elektromagnetiska fält. Strålkastarreflektorn i fig. 191 är ett exempel på att man använder metallbeläggningen för att reflektera ljus.



Fig 201.

Bilden visar ett duschhandtag i förkrommad plast. Det är först när man håller det i handen och känner dess låga vikt som man förstår att det är gjort i plast och inte i metall.

Fig 202.

Bilden ovan till höger visar en spinnrulle tillverkad i plast. Här har materialet fått ett tunt skal av nanopartiklar i metall (vilka är mycket mindre än partiklarna vid konventionell metallisering). Detta är den allra senaste metalliseringstekniken för plast. Man får en mycket kraftig förbättring av styvheten jämfört med obehandlad plast. Metallskalet är bara några 100-dels millimeter tjockt så viktökningen blir marginell.

Foto: DuPont



# Kapitel 19 – Övrig bearbetning av termoplaster

## Formblåsning

Enl. sökning med hjälp av Google så finns det (2011) ett 20-tal företag i Sverige som sysslar med teknisk formblåsning. Därutöver finns det ett antal förpackningsföretag som blåser flaskor. Formblåsning är en helautomatisk process där man tillverkar ihåliga produkter i termoplast. Det finns två huvudvarianter av formblåsning. I det ena fallet extruderar man en slang, som ibland benämnes med det engelska namnet *parison*, in i ett formrum mellan två formhalvor. Se Fig. 302 nedan.

Vid den andra metoden använder man en formsprutad s.k. preform som hettas upp och blåses ut i formrummet. De flesta läskedrycksflaskor i PET tillverkas på detta sätt. Se Fig. 303 nedan.

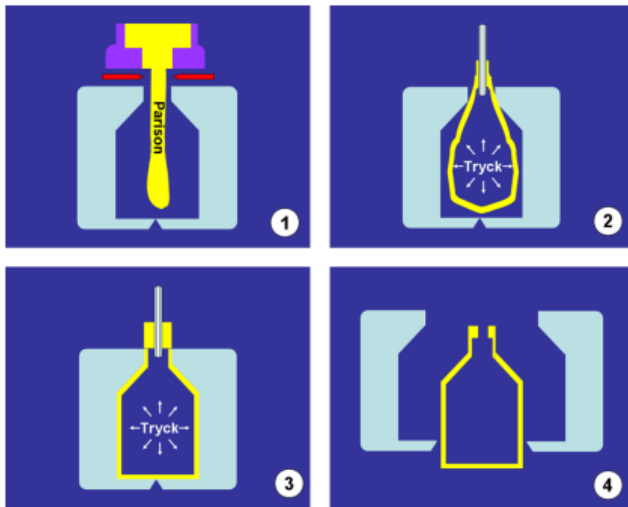


Fig 302. Formblåsning med parison.

På bild ① ser man den extruderade slangen komma ned ur extruderhuvudet in i formrummet.

På bild ② har man flyttat formen till nästa station, där slangen blåses ut mot väggarna i formrummet med hjälp av tryckluft.

På bild ③ har slangen pressats ut helt mot formrummets väggar varefter den kyls ned.

På bild ④ lämnar den färdiga detaljen formrummet.

Man använder i regel specialkvaliteter, som har relativt hög viskositet, för formblåsning.

Vanliga material är:

PE, PP, PVC, PET, PA och vissa termoplastiska elastomerer.

Man kan ha flera extrudrar för att få olika lager i parisonen, bl.a. för att förbättra barriäregenskaper hos produkten. Man kan också sekvensextrudera slangen i t.ex. mjuka segment varvade med styva för att bl.a. tillverka styva rör med integrerade mjuka bälgar.

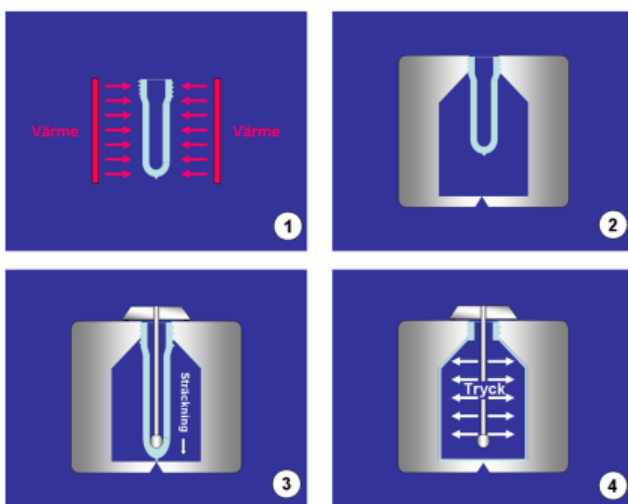


Fig 303. Formblåsning med preform.

På bild ① ser man den formsprutade preformen värmas upp med IR-element.

På bild ② har man placerat preformen i formrummet.

På bild ③ sträcks preformen mot formrummets botten av en stång med kula.

På bild ④ blåses preformen ut mot formrummets väggar med hjälp av tryckluft, varefter väggarna kyls ned så att produkten kan avformas.

## Fördelar (+) och begränsningar (-)

- + Stora produkter kan tillverkas
- + Produkter med komplex form kan tillverkas
- + Tunnväggigt gods kan tillverkas
- + Materialkombinationer kan göras
- Alla plaster kan inte formblåsas
- Hög maskin- och verktygskostnad kräver stora serier
- Relativt dålig ytfinish
- Svårt att hålla snäva toleranser



Fig 304. Tanken ovan rymmer c:a 1 m<sup>3</sup> och är exempel på formblåsning med parison.



Fig 305. Whiskyflaskan är tillverkad av en preform. Preformen hålls i handen till vänster i bilden.

## Extrudering

Tidigare kallade man denna metod för strängsprutning. Vid en sökning med hjälp av Google visade det sig att det finns ett 50-tal företag i Sverige (2011), som tillverkar profiler, plattor, rör eller slangar i plast. Till detta antal kommer också några få kabeltillverkare som belägger kablar med plasthölje.

Med extrudering kan man i princip tillverka ändlösa produkter i ett flertal termoplaster. Det som skiljer formsprutningskvalitéer från extruderingskvalitéer är att man inte tillsätter formsläppmedel till extruderingskvalitéerna eftersom skruven i extrudern i så fall skulle slira. Man behöver också ha relativt hög smältviskositet så att den extruderade profilen inte kollapsar innan den når kylbadet. De vanligaste materialen vid extrudering är: PE, PP, PVC, PA, PC och ett antal olika termoplastiska elastomerer.

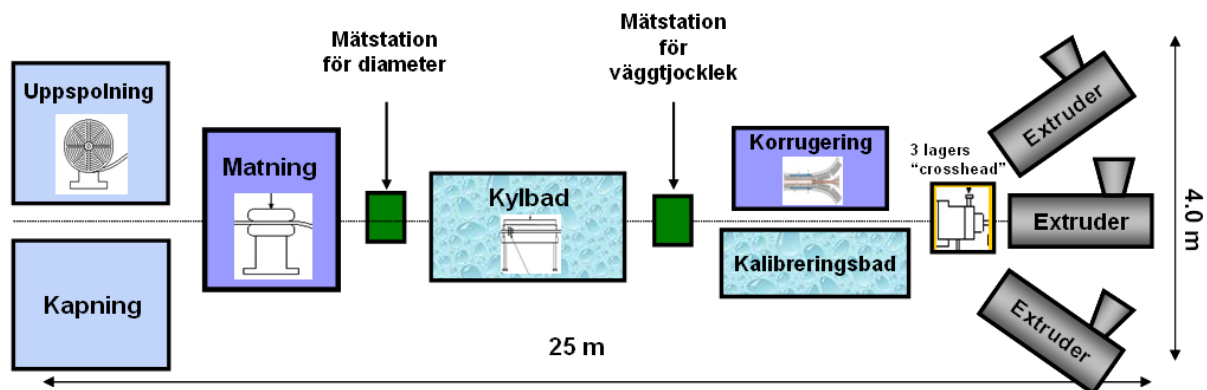


Fig 306. Bilden visar en typisk extruderingslinje som startar med extrudern och munstycket som formar profilen. I normala fall finjusteras profilen i kalibreringsbadet under vakuum. Vill man ha en korrugerad profil så ersätts kalibreringsbadet av en korrugeringsenhet. I nästa station kyls profilen ned så att den kan kapas i längder eller spolas upp på en trumma. I bland använder man flera extrudrar och ett s.k. multilagerhuvud för att spruta profiler i flera olika material samtidigt.

## Fördelar (+) och begränsningar (-)

- + "Ändlösa" rör och profiler kan tillverkas i ett stort urval av material i relativt billiga munstycken
- + S.k. multilager rör eller profiler kan tillverkas
- + Breda plattor kan tillverkas
- + Tunnväggiga produkter (t.ex. folier) kan tillverkas
- + Inre kärna av skum kan erhållas
- + Metallkärnor kan beläggas (t.ex. elkablar & wire)
- + Spiralformade profiler kan erhållas
- + Korrugerade rör kan erhållas
- + Snäva toleranser (0,01 mm) kan erhållas
- + Bra ytfinish kan erhållas
- Utrymmeskrävande produktionslinjer
- Återvinning av "multilager" rör eller profiler



Fig 307. Bilden visar en korrugerad slang som är tillverkad med ett multilagerhuvud i två olika material. Det vita materialet har bra barriäregenskaper och den svarta manteln är tillverkad i ett nötningsbeständigt material. Foto: DuPont



Fig 308. Bilden visar extruderingshallen hos Talent Plastics Göteborg AB (f.d. Profilspecialisten) i Källered, en av Sveriges största och ledande extruderare av profiler. Bredden och längden för en typisk extruderingslinje är c:a 4 x 25 meter.

## Fimblåsning

Enl. Google finns det ett 20-tal företag (2011), som sysslar med fimblåsning i Sverige. Metoden bygger på att man efter extrudern har ett rörformat huvud där man extruderar en tunn folieslang som sedan blåses ut och kyls ned varefter man klämmer ihop den med hjälp av valsar.

Vid slutstationen kan man sedan välja att trycka direkt på filmen innan man spolar upp den på rullar, skär till den i ark eller svetsa och stansa ut plastpåsar. För att den smälta folieslangen inte ska klibba på blåshuvudet håller man den på avstånd med hjälp av en luftspalt. Man ändrar tjockleken på filmen genom att variera spalten i blåshuvudet, bredden på filmen genom luftbubblans storlek (lufttrycket) och orienteringen (biaxiell) genom hastigheten på valsarna. Detta ger mycket kort utvecklingstid till låga kostnader.



Fig 309. Bilden visar fimblåsning i den fimblåsningsanläggning som DuPont har i sitt tekniska center i Genève. Foto: DuPont



De plastmaterial som vanligtvis förekommer vid filmblåsning är: PE, PP, PET, PA, EVA, EBA och EMA.

#### Fördelar (+) och begränsningar (-)

- + Helautomatisk massproduktion av lågkostnadsprodukter såsom plastpåsar och hushållsfil
- + Mycket tunnväggiga produkter kan tillverkas
- + Många material är livsmedelgodkända
- Begränsat materialval (högviskösa material)
- Hög investeringskostnad och utrymmeskrav (på höjden) för filmblåsningsanläggningar



Fig 310. Bilden visar ett 7-skikt multi-lagerhuvud. Extrudrarna står i ring runt blåshuvudet, som mannen böjer sig över.

Detta är c:a 75 centimeter i diameter.

Foto: DuPont



Fig 311. Bilden visar ensilagerullar i PE-film.

## Rotationsgjutning

Rotationsgjutning är den minst kända av alla plastbearbetningsmetoder. Man räknar med att det finns c:a 1 500 rotationsgjutare i världen varav troligen mindre än 10 i Sverige. Den största produkten är leksaker (c:a 40 %) följd av tankar och behållare (c:a 30 %). Metoden är till viss del manuell.

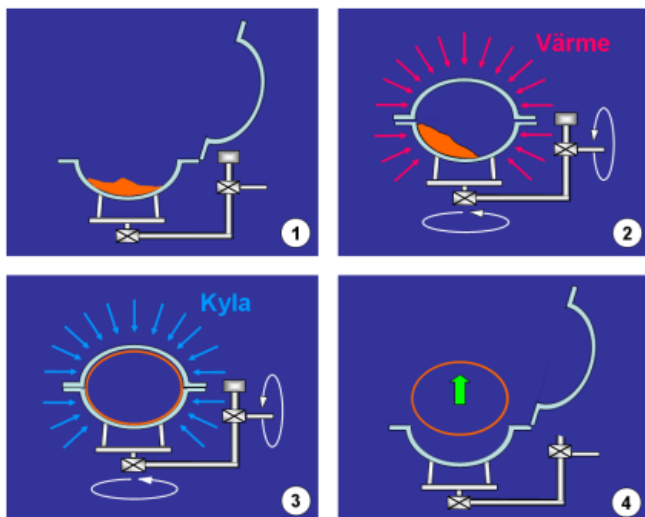


Fig 312.

Bild ① visar den öppna formen, som är fäst på en vertikal axel, som i sin tur är fäst på en horisontell axel. Man doserar plastmaterialet (orange färg), som är i pulverform, i formen.

På bild ② har man stängt formen och startat rotationen tredimensionellt, så att pulvret fördelar sig över formens inneryta samtidigt som man värmer upp formen i en ugn.

På bild ③ är materialet smält och jämt fördelat i formen. Man kylar nu ned formen med fläktar eller tryckluft samtidigt som man fortsätter att rotera den.

På bild ④ har materialet stelnat, formen öppnats och den färdiga detaljen avlägsnats.

De vanligaste materialen vid denna process är olika typer av polyeten där LLDPE är det dominerande (c:a 60 %) följd av HDPE (c:a 10 %). Det näst största materialet är PVC (c:a 15 %). Andra material som används är PP, EVA och PA12.

### Fördelar (+) och begränsningar (-)

- + Kort utvecklingstid
- + Låga verktygskostnader
- + Mycket stora produkter kan tillverkas (upp till 20 m<sup>3</sup>)
- + Lönsam även för små serier (> 100 detaljer)
- + Flera olika detaljer (med samma vägg tjocklek) kan tillverkas samtidigt i samma rigg
- + Detaljerna blir spänningsfria
- Lång cykeltid (30 – 60 min)
- Begränsat materialval



Fig 313. Rotationsplast AB i Munka-Ljungby tillverkar bl.a. sjömärken och bojar i PE. Man använder sig av en alternativ metod till den ovan beskrivna, som kallas "Rock n' Roll". Här låter man hela ugnen vaggas upp och ned samtidigt som en rigg med olika former roterar inuti denna. När materialet har smält tar man ut riggen som hela tiden roterar horisontellt och låter formarna svalna i ett separat kylrum med fläktar under samma rörelsemönster.

## Vakuumformning

En variant av denna metod kallas för varmformning.

Enl. Google finns det c:a 50 st företag i Sverige (2011) som vakuumformar plastskivor eller folier. Denna metod används nästan uteslutande för amorfa plaster och är mycket vanlig inom förpackningsindustrin där man blisterförpackar allt från piller till avancerade elektroniska artiklar. I figuren nedan visas metoden.

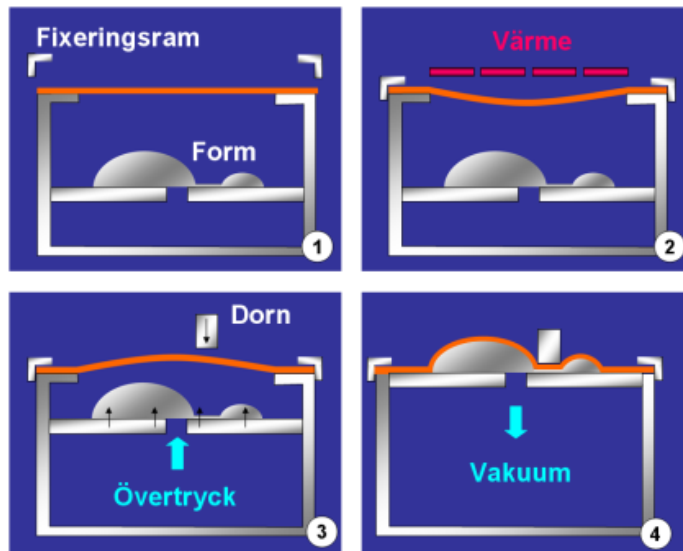


Fig 314. Bild ❶ visar plastskivan (orange färg) just som den placerats ovanpå maskinen. Formen (halvklot) är i nedre läget.

På bild ❷ har skivan fixerats mot maskinen av en ram så att den sluter tätt. Skivan värms nu upp av IR-element.

På bild ❸ börjar formen röra sig uppåt samtidigt som man skapar ett övertryck underifrån med tryckluft. En dorn kommer samtidigt uppifrån.

På bild ❹ har formen pressats upp mot skivan som samtidigt sugts ned med hjälp av vakuum. Dornen hjälper till att forma skivan uppifrån. Man kyler sedan ned skivan med hjälp av fläktar, blåser loss den från formen och tar den till nästa station där den halvklotformade produkten stansas eller fräses loss från skivan. Det blir i regel mycket spill, som dock kan återvinnas och användas vid produktion av nya skivor.

De vanligaste materialen som används vid vakuumformning är: PC, ABS, SAN, PS, PET, PVC och PMMA.



Fig 315. Bilden visar en mängd konsumentprodukter som har blisterförpackats. Det är även vanligt att livsmedel förpackas i vakuumformade förpackningar i PET. Cocktailtomater förpackas t.ex. på detta sätt i genomskinliga PET-förpackningar.



Fig 316. Bilden visar en antennkupol till lyxjakter som tillverkas i mindre serier av Sematron AB i Malmö.

### Fördelar (+) och begränsningar (-)

- + Kort utvecklingstid
- + Låga verktygskostnader (träformar kan användas)
- + Mycket tunnväggiga produkter kan tillverkas
- + Lönsam även för små serier (> 10 detaljer)
- Relativt lång cykeltid (flera minuter)
- Begränsat materialval

## Kapitel 23 – Sammanfogningsmetoder för plast

De flesta konstruktörer av plastprodukter eftersträvar att göra detaljen så enkel som möjligt samtidigt som alla funktioner skall integreras. Helst skall produkten komma ut helt klar från formsprutan men ibland kan det av funktions- eller kostnadsskäl vara nödvändigt att göra detaljen i två eller flera delar som sedan sammanfogas.

Det finns flera sammanfogningsmetoder för produkter i termoplast och vi skall här behandla de flesta av dem.

Till att börja med brukar man dela in dem i demonterbara sammanfogningsmetoder där man har möjlighet att ta isär och sätta ihop detaljerna flera gånger (t.ex. skruvförband) eller permanenta sammanfogningsmetoder där man monterar ihop detaljerna en gång för alltid (t.ex. svetsning).

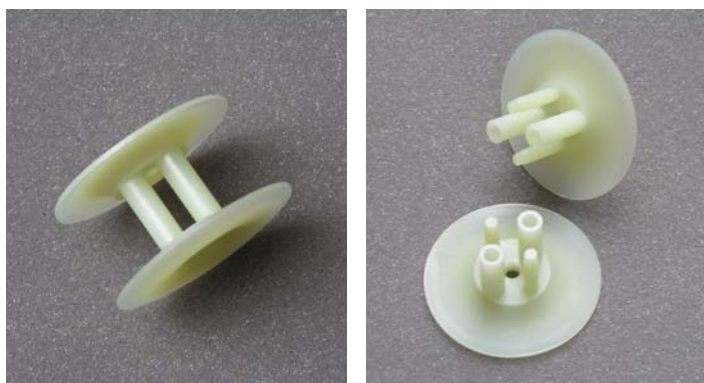


Fig 401 och 402. Till vänster visas en spole som tillverkas av två identiska halvor i ett enfacksverktyg med enkelt delningsplan. Halvorna vrids 90° i förhållande till varandra för att sedan sammanfogas med hjälp av den demonteringsbara metoden presspassning.

### Demonterbara sammanfogningsmetoder

Bland de demonterbara metoderna brukar man använda sig av följande när det gäller plastdetaljer:

- Självgängande skruv
- Gängade insatser
- Skruvförband (integrerade gängor i plasten)
- Snäppförband (speciellt utformat för att kunna demonteras)



Fig 403. Om man skall ha ett bra skruvförband med självgängande skruv bör plastmaterialet ha en styvhet lägre än 2 800 MPa (d.v.s. samma som för oarmerad POM). För styvare material t.ex. glasfiberarmerade rekommenderas ett gängat hål (med gängtapp) eller gängade insatser. Man bör också välja en skruv som är speciellt utvecklad för plastmaterial.



Fig 404 och 405. Ovan till vänster ser vi en gängad mässingbussning i väggen på en detalj tillverkad i glasfiberarmerad polyamid 66. Bussningen kan antingen övergjutas eller pressas in i plastväggen.

Ovan till höger ser vi plastkapsyler på plastflaskor eller plastdunkar. Dessa är typiska exempel på skruvförband med integrerade gängor.

## Integrerade snäppen

Snäppen i plast kan utformas till att användas både vid demonterbar och permanent sammanfogning.

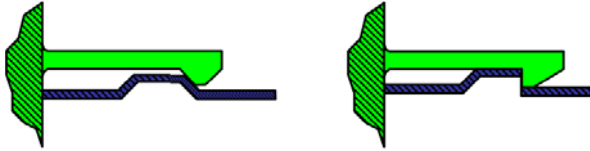


Fig 406. Snäppet ovan till vänster är demonterbart eftersom det vid dragbelastning från vänster kan klättra över den svarta plåten. Snäppet till höger är permanent eftersom det har 90° vinkel och inte går att dra isär.



Fig 407. Det är ofta en stor fördel för användaren att se i vilken riktning som snäppet skall öppnas, som i fallet ovan där pilen visar riktningen.

## Permanent sammanfogning

Nedan visas en lista på de vanligaste permanenta sammanfogningsmetoderna förutom snäppet ovan:

- Ultraljudsvetsning
- Vibrationssvetsning
- Rotationssvetsning
- Spegelsvetsning
- IR-svetsning
- Lasersvetsning
- Nitning
- Limning

### Ultraljudsvetsning

Ultraljudsvetsning är en snabb och relativt billig metod som används för sammanfogning av mindre detaljer. Den är mycket vanligt förekommande hos svenska formsprutare.

### Fördelar (+) och begränsningar (-)

- + Snabb (normal svets tid < 1 sekund)
- + Enkel att automatisera
- + Läckagefria fogar
- + Ekonomisk vid massproduktion
- Detaljstorlek max 80 mm x 80 mm (> 80 mm kräver i regel flera horn)
- Olika polymerer kan inte svetsas ihop (samma material med olika armering kan dock svetsas ihop med varandra)
- Hygroskopiska material (t.ex. polyamid får ej ha tagit upp fukt innan svetsningen)
- Högfrekvent (obehagligt) ljud

Fig 409. BIC-tändaren till höger är ett exempel på en ultraljudsvetsad produkt. Den vita bottenovalen svetsas tillsammans med den gröna gasbehållaren och man har stora krav på att svetsfogen skall vara läckagefri.

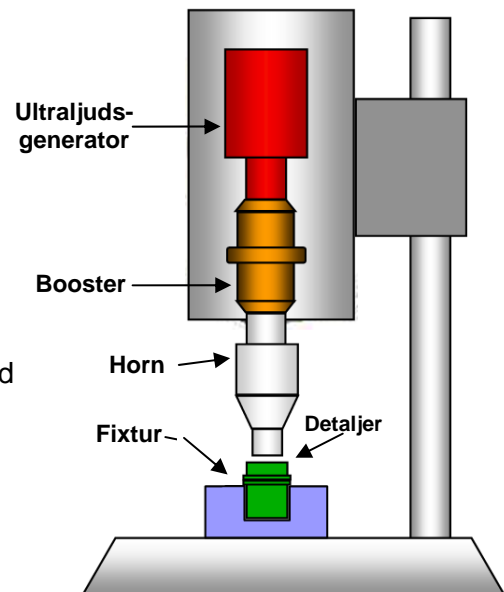


Fig 408. Ovan visas en ultraljudsvets. En elektromagnetisk signal förstärks i boostern för att sedan överförs till hornet som pressas mot plastdetaljen (grön färg). Hornet vibrerar med hög frekvens och överför rörelsen till den övre delen så att det uppstår friktionsvärme mellan plastdetaljens båda halvor.



## Vibrationssvetsning

Vibrationssvetsning är en metod som framförallt används vid svetsning av större plastdetaljer. Precis som vid ultraljudssvetsning överför man en rörelseenergi till ytan mellan plastdelarna, varvid de smälter ihop av friktionsvärmen. Svetstiden är ungefär 1 till 4 sekunder.



Fig 410. Ovan visas den vibrationssvets som finns hos Stebro Plast AB i Laholm. Man behöver en svets av denna storlek för att svetsa tankhalvorna som visas på bilden till höger. Foto: Stebro Plast AB

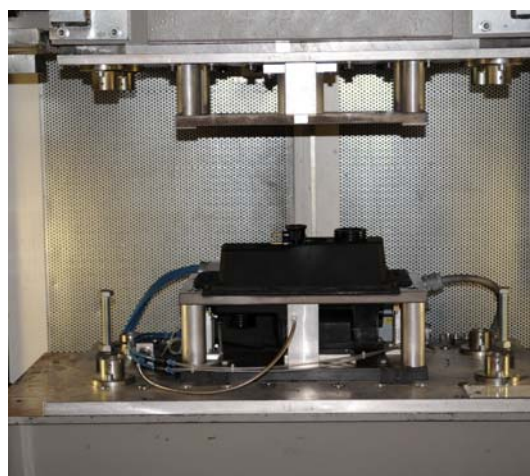


Fig 411. Ovan visas en vibrationssvetsad tank. Tankhalvorna är tillverkade i slagseg polyamid 6 och det är viktigt att de svetsas direkt efter formsprutningen innan de har hunnit ta upp fukt ur omgivande luft. Foto: Stebro Plast AB

## Fördelar (+) och begränsningar (-)

- + Fungerar med mycket stora detaljer
- + Fungerar för detaljer med sammanfogningsytor i flera plan
- + Flera detaljer kan läggas i en fixtur och svetsas samtidigt
- + Läckagefria fogar
- Mycket dyrbar svetsutrustning
- Olika polymerer kan inte svetsas ihop (samma material med olika armering kan dock svetsas ihop med varandra)
- Detaljerna måste kunna röra sig upp till 3,5 mm i förhållande till varandra under svetsförloppet

## Rotationssvetsning

Denna metod är snabb och billig men kräver att svetsfogen är cirkulär. Vid denna metod har man den undre detaljen fast i en fixtur medan den övre roterar i en svängkropp. Svängkroppen frigörs och pressas ned mot den undre halvan. Rörelseenergin överförs då till friktionsvärme varvid delarna smälter ihop.

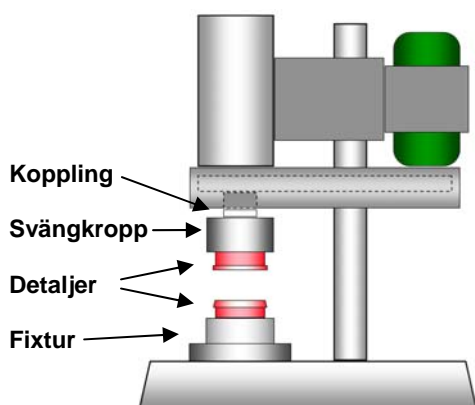


Fig 412. Ovan visas utrustning för rotationssvetsning.



Fig 413. Ovan visas en kulformad flottör tillverkad i glasfiberarmerad polyamid som har svetsats med hjälp av rotationssvetsning.

## Fördelar (+) och begränsningar (-) med rotationssvetsning

- + Snabb metod med svetsstider under 1 sekund
- + Låg investering vid framtagning av prototyper
- + Läckagefria fogar
- Endast cirkulära detaljer kan svetsas
- Orientering av delarna i förhållande till varandra är mycket komplicerat att åstadkomma

## Spegelsvetsning

Spegelsvetsning är en annan metod som klarar av att svetsa stora detaljer. Metoden är speciellt lämplig för amorfa plaster eller mjuka material. I figuren nedan visas principen för denna metod.

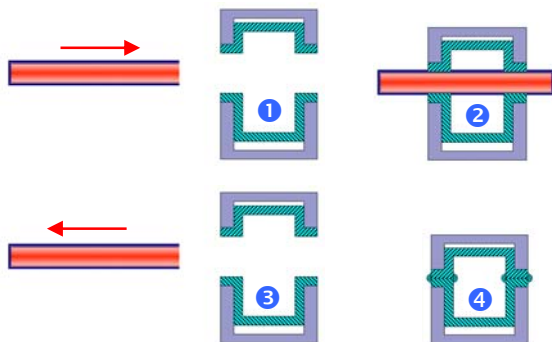


Fig 414. Detaljerna som skall svetsas ihop sitter i var sin fixtur. En uppvärmd metallplatta, som kallas för spegel förs in mellan detaljerna i läge ①.

I läge ② pressas detaljerna mot den varma spegeln, som kan vara 300°C om man svetsar nylon. Ytorna kommer härmed att börja smälta.

I läge ③ separerar man detaljerna och drar undan spegeln.

I läge ④ pressar man ihop detaljerna, varvid ytorna smälter ihop.

För att plastmaterialet inte skall kladda på metall-spegeln så är denna oftast teflonbelagd.

## Fördelar (+) och begränsningar (-)

- + Klarar fogar i olika plan
- + Klarar mycket stora detaljer
- + Klarar samtidigt svetsning av flera detaljer
- + Läckagefria fogar
- Nylonmaterial kan vara svåra att svetsa p.g.a. oxidation
- Spegelsvetsning tar relativt lång tid (20 – 45 sek)
- Enbart material av samma slag kan svetsas
- Klibbning till spegeln
- Stora krav på planhet av detaljerna
- Stora grader på sidan av svetsfogen

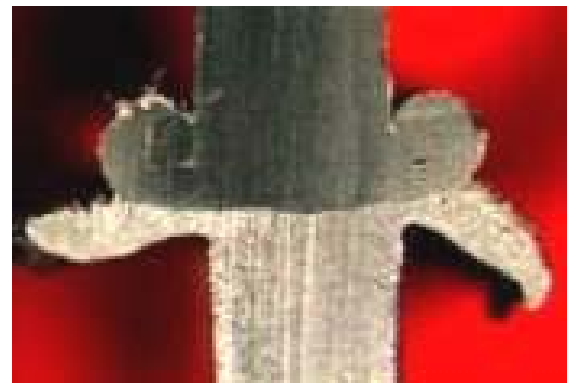


Fig 415. Av bilden ovan kan man se att det blir stora grader i svetsfogen vid spegelsvetsning.

Foto: DuPont

## IR-svetsning

Denna metod påminner mycket om spegelsvetsning men istället för att föra in en metall-spegel för man in en stark IR-ljuskälla som får plastytorna att börja smälta.

Smälttemperaturen bestäms av distansen till elementen och uppvärmningstiden.

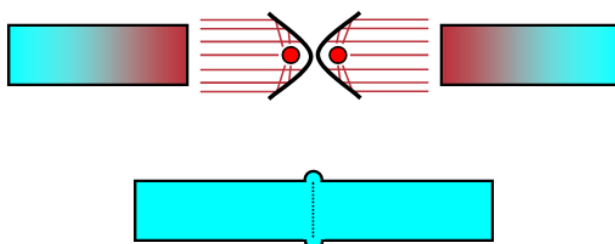


Fig 416. I bilden till vänster kan man se IR-ljuskällan (röda punkter i reflektorerna) som ersätter spegeln som man använder vid spegelsvetsning.

## Lasersvetsning

Detta är den senaste svetsmetoden. För att man skall kunna använda denna metod måste plastmaterialet i den övre delen (gul) vara transparent för laserstrålarna medan materialet i den undre delen (blå) skall absorbera laserljusets energi, varvid ytorna smälter ihop.

### Fördelar (+) och begränsningar (-)

- + Inga synliga märken eller skador på utsidan av fogen
- + Inga vibrationskador inuti detaljen
- + Liten värmealstring vid svetsningen d.v.s. liten temperaturpåverkan och skevning
- + Kan svetsa olika färger mot varandra genom tillsats av osynligt laserabsorberande pigment
- + Inga grader erhålles
- Kräver material med olika absorptionsegenskaper för den valda våglängden för laserljuset
- Alla polymerer är inte "lasertransparenta"
- Perfekt passning av mötande ytor krävs d.v.s. ingen skevning tillåtes
- Speciella fixturer som måste vara lasertransparenta krävs i vissa fall
- Bäst resultat uppnås med tunnväggigt gods
- Svetsning i olika plan är mycket svårt
- Eftersom metoden är relativt ny kan det vara svårt att finna tillverkare i Sverige som använder denna metod

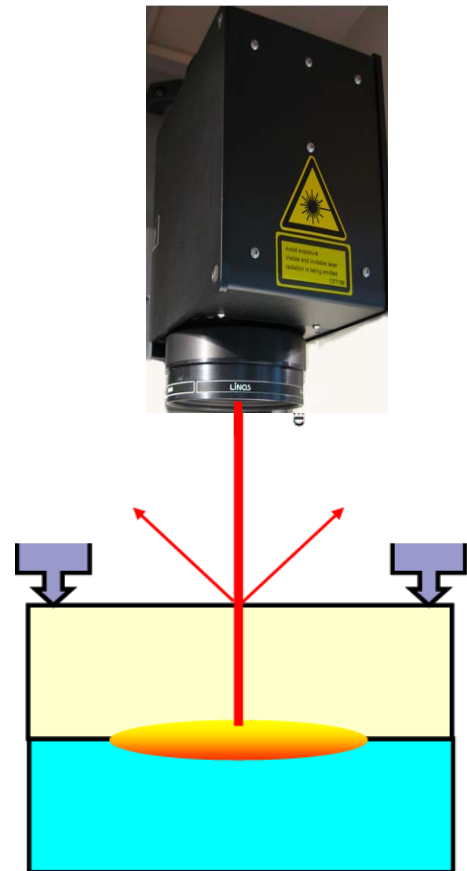


Fig 417. Bilden visar principen för lasersvetsning. De blå pilarna symboliserar att detaljerna pressas mot varandra och den gulorangea ovalen att laserstrålen absorberas i ytan av den undre delen och även får ytan i den övre delen att smälta.

Alla plaster går inte att lasersvetsa eftersom den övre delen måste vara transparent för laserstrålarna. För att få den undre delen att absorbera laserljusets energi kan man tillsätta speciella pigment.



Fig 418. Bilden visar ett filter där man har lasersvetsat den vita lasertransparenta överdelen med den laserabsorberande blå underdelen.

Källa: Arta Plast

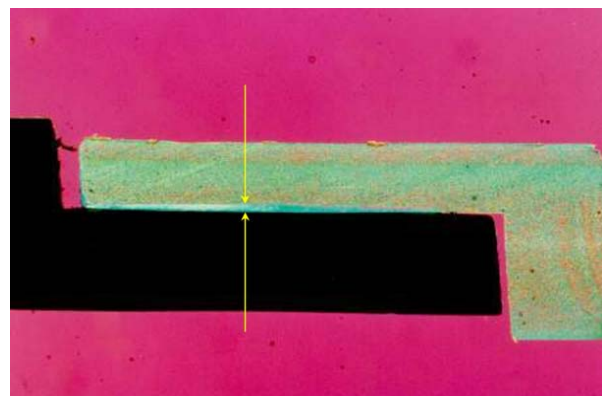


Fig 419. Bilden visar att helt gradfria fogar kan erhållas vid lasersvetsning. Foto: DuPont



## Nitning

Vid denna metod använder man en stans som stukar niten i plast (grön färg nedan). Stansen kan vara antingen kall, varm eller överföra ultraljudsenergi.

### Fördelar (+) och begränsningar (-)

- + Stark permanent sammanfogning
- + Tillåter sammanfogning av olika material (t.ex. plåt - plast)
- + Snabb och ekonomisk
- Hygrokopiska material t.ex. nylon måste konditioneras eller slagseghetsmodifieras

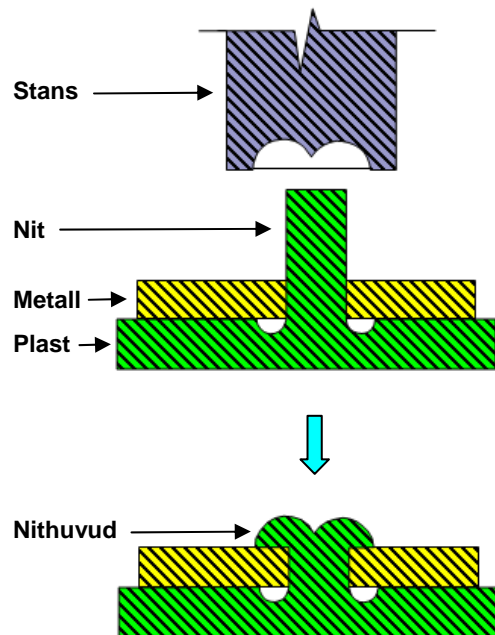


Fig 420. Bilden till höger visar principen för nitning av plast.



Fig 421 och 422. Ovan visas en bälteshållare till en mobiltelefon där man har värmenitat ihop halvorna.



Fig 423. Ovan visas kedjelänkar i acetalplast till ett transportband där man har förbättrat nötningsbeständigheten genom att nita fast en stålplåt på översidan.

## Limning

Denna metod är inte så vanlig vid storskalig serieproduktion utan används mest vid prototyp-tillverkning. Den stora fördelen är att man kan limma de flesta material såsom metall, glas, tyg, trä eller andra plaster mot sin detalj.

### Fördelar (+) och begränsningar (-)

- + Tillåter sammanfogning av olika material
- + Lämplig för stora eller komplicerade ytor
- + Lämplig för låg volym och prototyper
- Arbetskrävande och dyrbar
- Alla plaster kan vanligtvis ej limmas (t.ex. olefiner och fluorplaster)



Fig 424. Olika typer av polymerer kräver olika typer av lim, vilket de flesta större limleverantörer kan upplysa om.



**Ulf Bruder, författaren till denna bok har varit verksam i plastbranschen i nästan 40 år efter sin högskoleutbildning. Han har varit verksam i olika ledande tekniska befattningar både i Sverige och på den globala marknaden. I Sverige är han mest känd för sina artiklar i tidskriften Plastforum och för alla sina uppskattade kurser i plastbranschen och på de tekniska högskolorna.**

**Många faktaböcker om plast är alltför teoretiska och svårlästa. När planerna på att skriva en bok började ta form var det att erbjuda något helt annorlunda. Boken skulle vara praktisk och lättläst. Målsättningen var också att erbjuda en bok som kan användas både på gymnasie- och högskolenivå, i kursverksamhet i industrin samt för självstudier.**

**Detta har åstadkommit genom att varva texten med mer än 450 färgbilder. I boken är många begrepp översatta till engelska och ett omfattande sakregister underlättar därför sökning på Internet. Till boken hör också ett antal datorbaserade verktyg som kan nedladdas från författarens hemsida.**

**Denna bok belyser både material, bearbetningsmetoder, formverktyg, kostnadsberäkning, materialvalsmetodik, kravspecifikationer, konstruktionsregler, sammanfogningsmetoder, processoptimering och problemlösning varför den troligen är den mest mångsidiga plashandbok som någonsin gjorts på svenska.**