



# PACKALL

PackAlliance:  
European alliance for innovation training  
& collaboration towards future packaging

Korkeakoulut ja yritykset yhdessä.

## Koulutuksen moduulit:

- Uudet materiaalit ja biomateriaalit
- **Ekologinen suunnittelu ja uudet valmistusprosessit**
  - Jätteen hallinta ja kierrätys
- Kansalaisten ja kuluttajien osallistaminen



Yhteisrahoitettu  
Euroopan unionin  
Erasmus+ -ohjelmasta

Hanke on rahoitettu Euroopan komission tuella.  
Tästä julkaisusta [tiedotteesta] vastaa ainoastaan sen laatija, eikä komissio ole vastuussa siihen sisältyvien tietojen mahdollisesta käytöstä.



## SISÄLLYSLUETTELO

### 2.2 Puhallusmuovaus

*2.2.1 Erityyppisten prosessien kuvaukset*

*2.2.2 Ekstruusiopuhallusmuovaus ja ruiskuvalupuhallusmuovaus*

### 2.3 Lämpömuovaus

### 2.4 Vaahdotus

*2.4.1 Kuvaus polymeerimateriaalin vaahdotusprosesseista*

*2.4.2 Puhalluksen apuaineet*

*2.4.3 Kemialliset ja fysikaaliset puhalluksen apuaineet*

*2.4.4 Vaahdotusprosessit ekstruusiossa ja ruiskuvalussa*



## Puhallus

Prosessi, jossa tuotannossa ontto kappale tai pullo puhalletaan täyteen ilmaa, joko **preformiin (ruiskuvalussa)** tai aihioon (**ekstruusiassa**).

Puhallusmuovaus rajoittuu termoplastisiin muoveihin.

Yleisimmin käytettyjä muoveja ovat PET, PC, HDPE, LDPE, PP, ABS ja PVC.

Kaksi menetelmää:

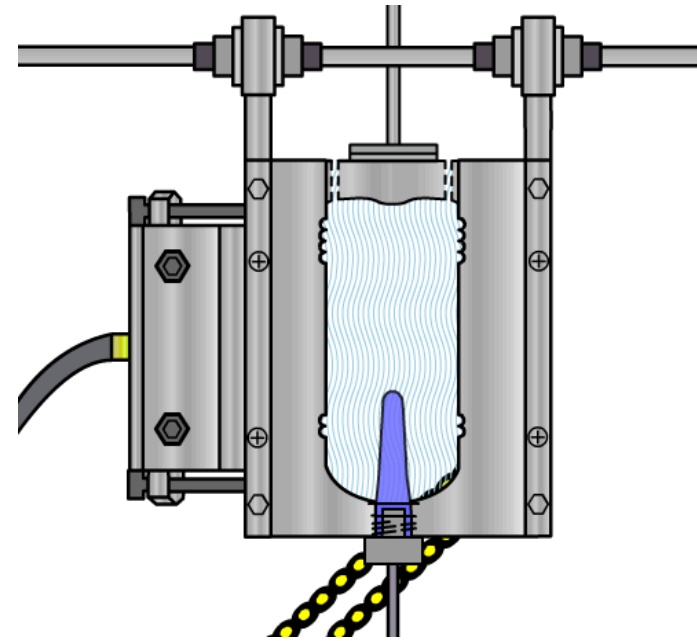
- ✓ muovaus **ruiskuttamalla (IBM)**
- ✓ muovaus **ekstruusiolla (EBM)**.



## Puhallusmuovaus ruiskuttamalla (IBM)

Puhallusmuovausta ruiskuttamalla käytetään, kun valmistetaan ohutseinäisiä pulloja ja onttoja kappaleita.

1. Syötetään muottiin ”preformi” eli kappaleen aihio.
2. Puhalletaan preformi muotin mukaiseksi paineilmalla.
3. Jäähdytetään pullo.
4. Avataan muotti ja poistetaan kappale muotista.



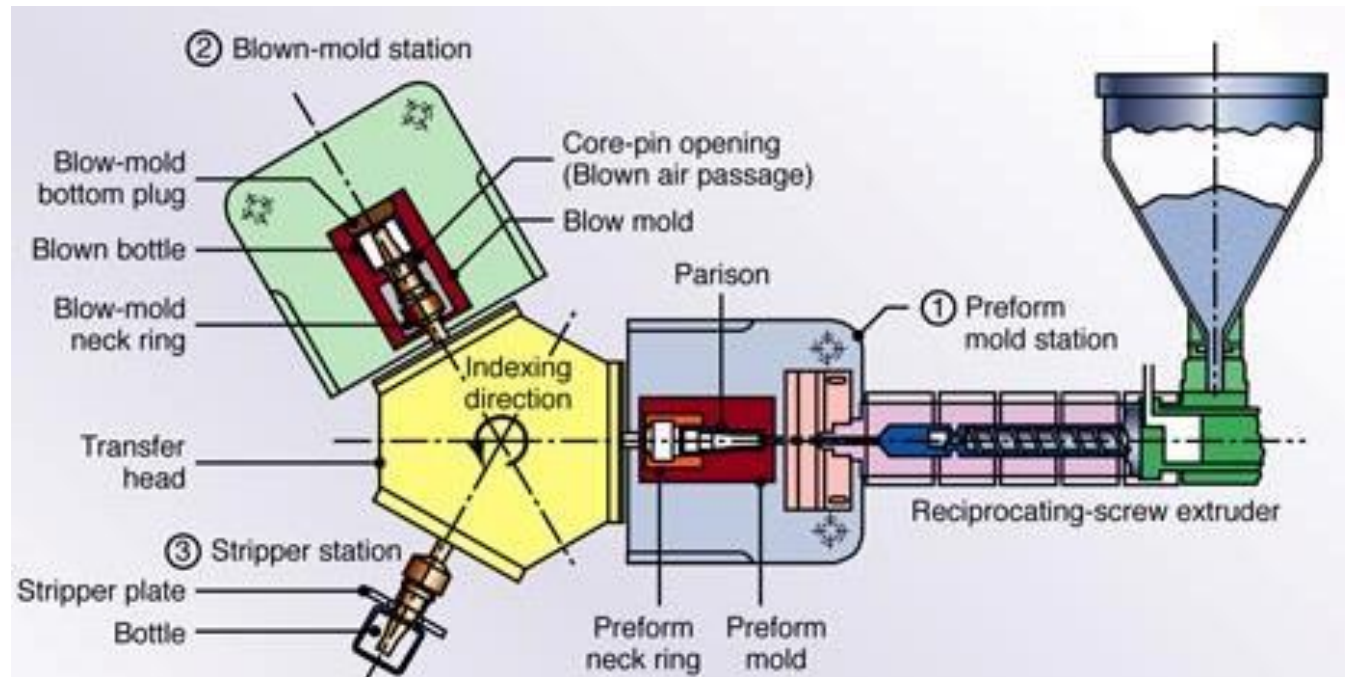
<http://www.bpf.co.uk/data/iframe/injectionstretchblowmoulding.html>



Yhteisrahoitettu  
Euroopan unionin  
Erasmus+ -ohjelmasta

## Yksivaiheinen puhallus

Yksivaiheinen puhallus on saanut nimensä siitä, että sama laitteisto valmistaa preformin sekä venyttää ja muovaa lopullisen kappaleen ennen jäähdystä.

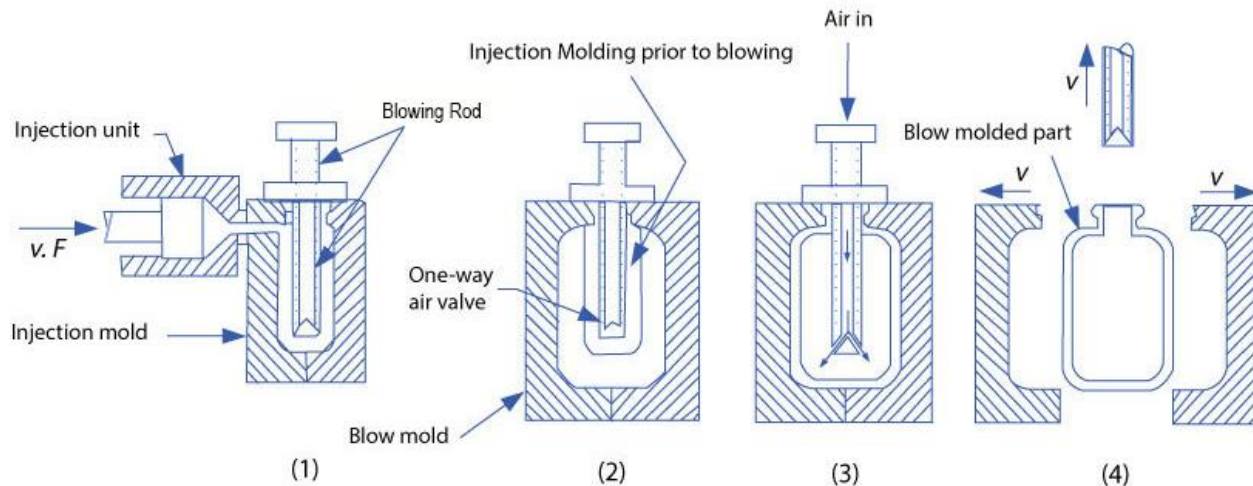




## Kaksivaiheinen puhallus

Yleisimmin käytetään kaksivaiheista puhallustekniikkaa, jossa prosessiin käytetään kahta eri konetta. Nämä ovat ruiskuvalukone sekä venytys- ja puhallusmuovauskone.

Ensimmäisessä koneessa muovataan täysin jäähdytetty preformi, joka siirretään sen jälkeen toiseen koneeseen.

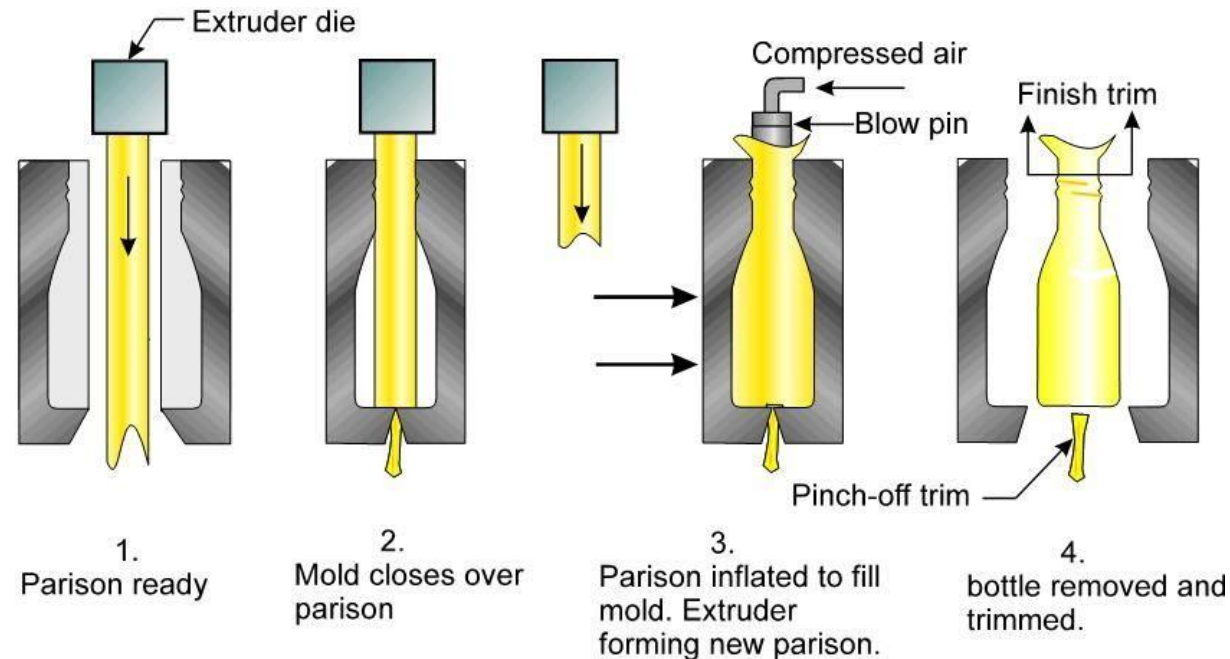


<https://www.youtube.com/watch?v=so9OyGGICv4>



## Ekstruusiopuhallusmuovaus (EBM)

Ekstruusiopuhallusmuovauksessa (EBM) muovi sulatetaan ja ekstruoidaan ontoksi putkeksi (aihio). Aihio kiinnitetään sulkemalla metallinen muotti. Aihioon puhalletaan ilma, joka pullistaa pullon, säiliön tai osan muotin mukaiseksi. Kun kappale on jäähtynyt riittävästi, muotti avataan ja kappale poistetaan.



# The **Blow molding** process

Combining continuous extrusion and molding



**Puhallusmuovaus-  
prosessi**



Yhteisrahoitettu  
Euroopan unionin  
Erasmus+ -ohjelmasta



## Puhallus

- Ruiskutuspuhallusmuovauksessa putkimainen kappale (preformi) saadaan aikaan ruiskuvalamalla.
- **Puhallusekstruusioon** verrattuna **puhallusmuovaus** mahdollistaa paremman kontrollin lopullisen kappaleen painon ja seinämäpaksuuden suhteen. Se myös mahdollistaa suuremman mittatarkkuuden alueilla, joihin ei kohdistu puhallusta (ruiskuvaletut kaula-alueet, joihin esimerkiksi korkki tai muu suljin kiinnitetään).
- Prosessissa, jossa vaaditaan **venymistä puhalluksen aikana**, työstölämpötilat tulee valita siten, että makromolekyylin orientaatio on mahdollinen ja parantaa kappaleen ominaisuuksia.
- Se sallii erilaisten onttojen kappaleiden valmistamisen ohuilla seinämäpaksuuksilla, jotka mahdollistavat onttojen kappaleiden täyttämisen kaasuilla ja nesteillä. Kustannukset ovat erittäin korkeita ja rajoittavat massatuotantoa. Tyypillisesti menetelmällä valmistetaan kierteellisiä muovisia pulloja ja onttoja astioita.
- **Monikerrospuhallusmuovausta** käytetään tyypillisesti, jos komponenttien pitää olla sekä kaasutiiviitä että kaasun kestäviä. Barrier-kerrokset ovat tyypillisesti sisällä, jolloin uloin kerros antaa sitkeys- ja iskulujuusominaisuuksia sekä mahdollistaa tekstin tai kuvan painamisen kappaleen pintaan.



## Ekstruusiopuhallusmuovaus



[https://www.youtube.com/watch?v=8QI4H40TX\\_c](https://www.youtube.com/watch?v=8QI4H40TX_c)

## Ruiskutuspuhallusmuovaus



<https://www.youtube.com/watch?v=NE4c1gwzPb4>



## Lämpömuovaus

Lämpömuovaus on yksi laajimmalle levinnyt ja vanhin menetelmä muovimateriaalien muovaamiseen. Sitä käytetään erityisesti elintarvikepakkaamisessa.

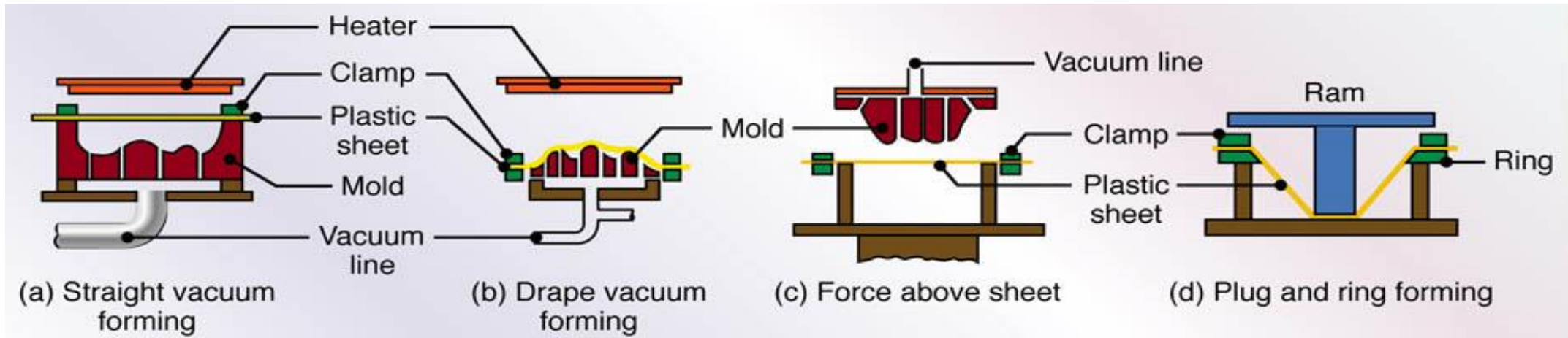
Tässä prosessissa käytetään **termoplastisia muoveja**, joista yleisimmin käytettyjä ovat PP, PE ja PS.



## Lämpömuovaus

Lämpömuovaus on **lämmön avulla tapahtuva muodonmuutosprosessi** kalvoille ja arkeille, jotka on aiemmin muodostettu ekstruusiolla. Ne läpikäyvät "muokkauksen".

Materiaalit asetetaan uuniin, jossa polymeeri saavuttaa pehmenemislämpötilan, minkä jälkeen se muovataan haluttuun muotoon muotissa.



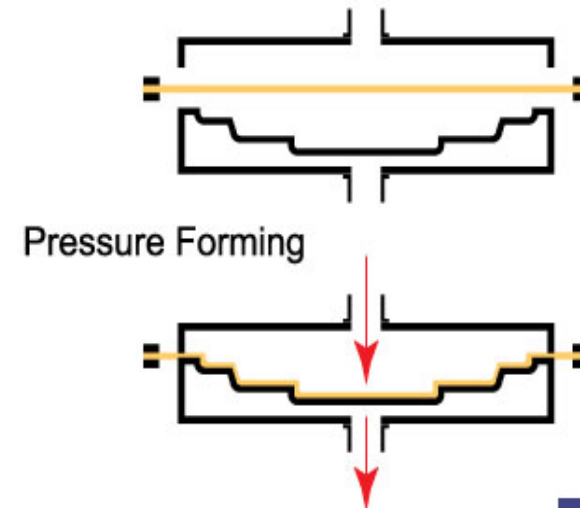
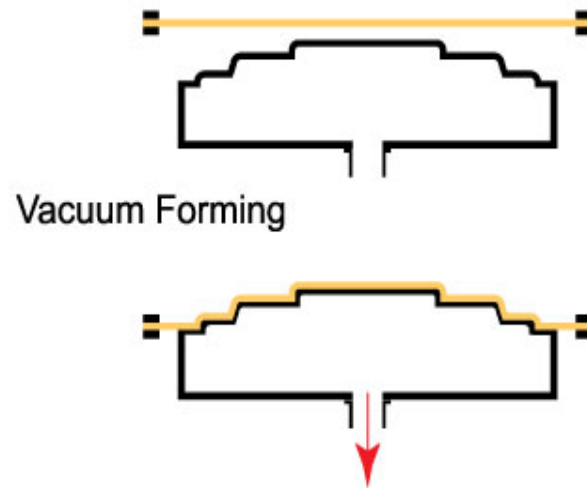
<http://www.bpf.co.uk/data/iframe/vacuumform1.html>



## Lämpömuovaus

Vaihtoehdot:

1. **TYHJIÖ** → Imemällä kalvon ja muovin väliin jäävä ilma muottiin saadaan luotua vakuumi eli alipaine (~ 0,5 mbar lopullisesta paineesta), jolloin kalvo muovautuu muotin mukaiseksi.
2. **Paineenmuodostus** → Mahdollistaa paineilman lisäämisen (10 bariin asti). Mahdollistaa yksityiskohtien paremman pysyvyyden muovauksen jälkeen.





## Muovien vaahdotus

Vaahdotus on materiaalit, jotka sisältävät kaasutaskuja ympäröivän materiaalin sisällä matriisissa.

Vaahdotus käytetään laajasti monenlaisissa sovelluksissa: eristeissä, tyynyissä ja patjoissa, imevissä materiaaleissa jne.

Vaahdotetuissa sovelluksissa käytetään monia eri polymeerimateriaaleja, esim. polyuretaania (PU), polystyreeniä (PS), polyeteeniä (PE), polypropeeniä (PP), polyvinyylidikloridia (PVC), polykarbonaattia (PC) jne.

Polyuretaani on käytetyin materiaali; sen markkinaosuus on 53 % kokonaiskulutuksesta. Polystyreenin osuus on toiseksi suurin (26 %).



## Vaahdotettu polymeeri – hyödyt/haitat



- ✓ Alhaisempi tiheys, joten materiaalit ovat kevyitä.
- ✓ Osalla polymeerivaahdoista on alhainen lämmön ja äänen johtavuus, mikä tekee niistä erinomaisia eristeitä.
- ✓ Monet ovat joustavia ja pehmeitä, jolloin ne toimivat hyvin pehmusteena.



- ✓ Alhainen sisäinen mekaaninen lujuus
- ✓ Alhainen lämmönkesto ja mittapysyvyys

## Polymeerivaahdot – määritelmä

Polymeerivaahdot voidaan määritellä joko **avoimen tai suljetun solun vaahdoksi**.

**Suljetun solun vaahdoissa** solut ovat erillään toisistaan ja luolat erottuvat toisistaan erillisillä soluseinämillä.

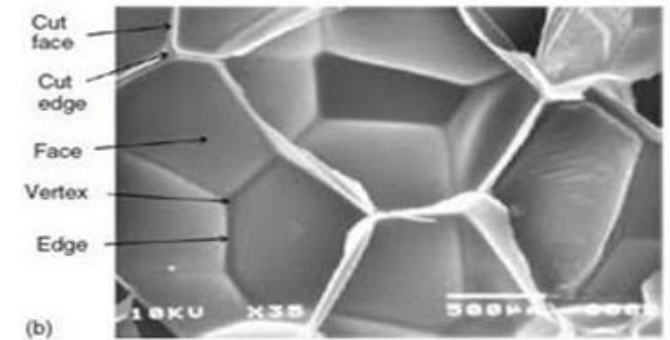
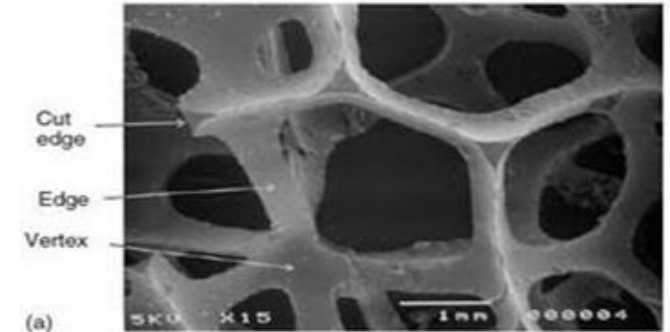
Yleensä suljetun solun vaahdoilla on alhaisempi läpäisevyys, joka johtaa parempiin eristysominaisuuksiin. Ne myös absorboivat ääniaaltoja, varsinkin bassotaajuuksia.

Suljetun solun vaahdot tyypillisesti määritellään niiden haurauden ja lujuuden perusteella.

**Avoimen solun vaihdoissa** solut ovat yhteydessä toisiinsa. Ne ovat pehmeämpiä, ja niillä on sienimäisempi olemus. Avoimen solun vaahdot ovat erinomaisia äänieristeitä normaalitaajuuksiselle melulle. Lisäksi ne tarjoavat paremmat absorbtio-ominaisuudet.

Suljetun solun edut verrattuna avoimeen solumuotoon ovat sen lujuus ja parempi kyky estää ilman ja veden haihtuminen.

Haasteena on, että se on tiiviimpää ja vaatii enemmän materiaalia, joten se on kalliimpaa.

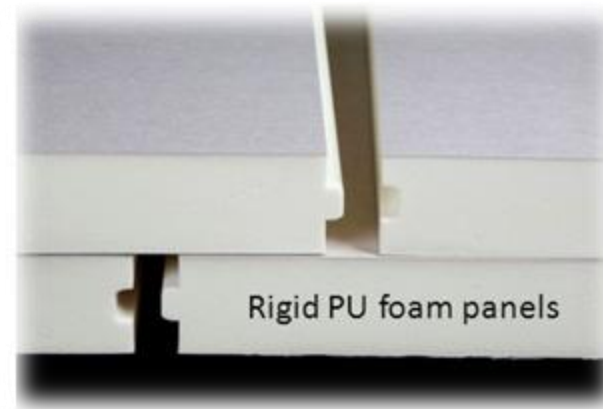


SEM photograph of (a) PU open-cell foam of density  $28 \text{ kg m}^{-3}$ ; and (b) closed-cell low density polyethylene (LDPE) foam of density  $24 \text{ kg m}^{-3}$ .

## Polymeerivaahdot – polymeerivaahdon määritelmä

Polymeerivaahdot voidaan luokitella **jäykiksi** tai **joustaviksi** vaahdoiksi.

**Jäykkiä vaahtoja** käytetään laajasti erilaisissa sovelluksissa, kuten rakennusten eristeissä, kodinkoneissa, kuljetuksessa, pakkauksissa, huonekaluissa sekä ruoka- ja juoma-astioissa.



**Joustavia vaahtoja** käytetään huonekaluissa, kuljetuksessa, vuodevaatteissa, mattojen alustoina, tekstiileissä, urheiluvälineissä sekä isku- ja äänieristeinä.



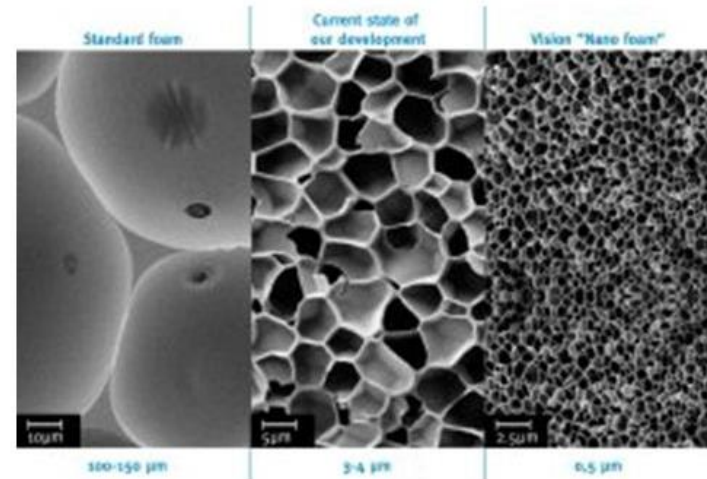
## Polymeerivaahdot – määritelmä

Polymeerivaahdot voidaan määritellä seuraavasti vaahdon solukoon mukaan:

- ✓ makrokennot ( $>100 \mu\text{m}$ ),
- ✓ mikrokennot ( $1-100 \mu\text{m}$ ),
- ✓ ultramikrokennot ( $0,1-1 \mu\text{m}$ )
- ✓ nanokennot ( $0,1-100 \text{nm}$ ).

Jäykkien polyuretaanivaahtojen lämmöneristysominaisuudet riippuvat pääasiassa vaahdon solukoosta. Mitä pienempi solun halkaisija, sitä alempi terminen johtavuus ja sitä parempi eristysominaisuus.

Nykyisenkaltaiset jäykät polyuretaanivaahdot ovat tyypillisesti solukokoa  $150 \mu\text{m}$ , joka voi saavuttaa tulevaisuudessa nanosolun solukoon kertoimella 1,000.





## Vaahdotusprosessi

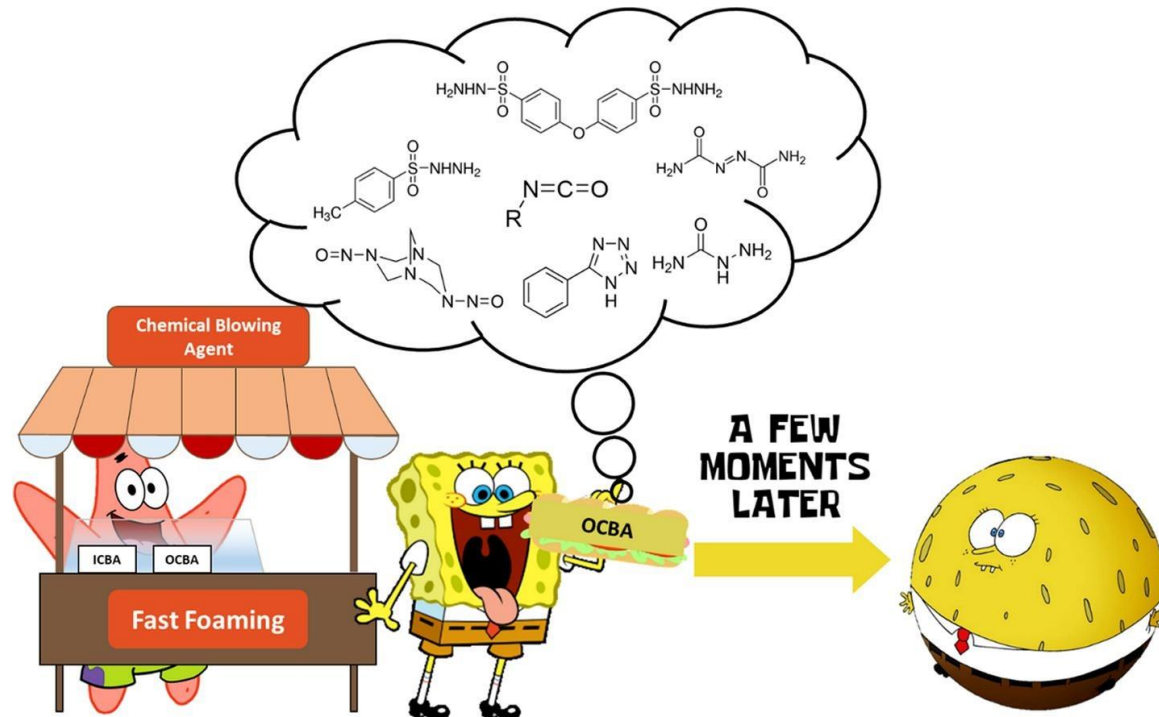
Vaahdotusprosessiin kuuluvat vaiheet 1) polymeerin kyllästäminen tai täyttö vaahdotuslisäaineella, jolloin saavutetaan ylikylläinen polymeerikaasuseos joko äkillisen lämpötilan kasvattamisen tai paineen laskemisen seurauksena, ja 2) solun kasvu ja 3) stabilointi.

Termoplastisessa vaahdotusprosessissa on tärkeää saavuttaa suljettu solun rakenne, jossa ohuet polymeerin seinämät peittävät toisensa. Jotta tällainen rakenne saavutetaan, pitää solun kasvua kontrolloida prosessissa. Lämpötilarajat ovat kriittiset, jotta voidaan saavuttaa mikrosoluinen rakenne. Jos lämpötila on huomattavasti korkeampi kuin polymeerisulan lujuus, se voi johtaa solurakenteen sisäisiin murtumiin. Toisaalta, jos lämpötila on liian alhainen, se johtaa pidempiin vaahdotusaikoihin ja polymeerin viskositeetin kasvuun. Tästä syystä solunkasvu rajoittuu ja muodostuu epätäydellisesti vaahdottuneita tuotteita. Siksi prosessiparametrit ovat erittäin tärkeitä solujen muodostumiselle polymeerivaahdoissa. Tunnetuimmat termoplastiset vaahdotusprosessit ovat **ekstruusiovaahdotus** ja **vaahdotusruiskuvalu**.



## Paisutusaine

Paisutusaine on raaka-aine, joka pystyy muodostamaan vaahdotusprosessissa kennorakenteen usealle materiaalille, kuten polymeereille, muoveille ja metalleille, käymällä läpi kovettumisen tai faasimuutoksen. Paisutusaine lisätään yleensä siinä vaiheessa, kun materiaali on nestemäisessä muodossa. Kennomainen rakenne laskee tiheyttä sekä lisää termistä ja akustista eristystä, samalla kun se kasvattaa alkuperäisen polymeerin suhteellista jäykkyyttä.



Paisutusaine  
<https://www.youtube.com/watch?v=ldlu4uRhuBY>



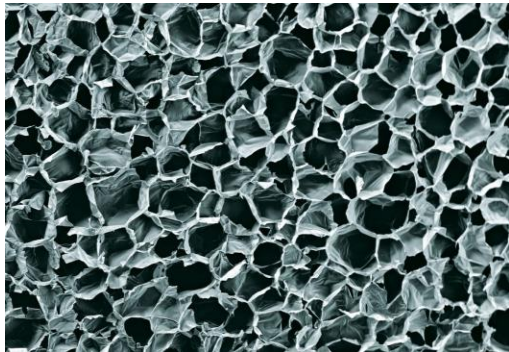
## Vaahdotus

### *Kemiallinen vaahdotusaine* (Kemiallinen vaahdotusaine CFA)

Kennorakenne syntyy kemiallisen reaktion ja lämmön avulla plastisointiprosessin aikana.

Kaasu, jota käytetään, on yleensä  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  tai yhdistelmä, jota käytetään korkean tiheyden ja keskitiheyden vaahdoille.

$\text{N}_2$  ja/tai  $\text{CO}_2$

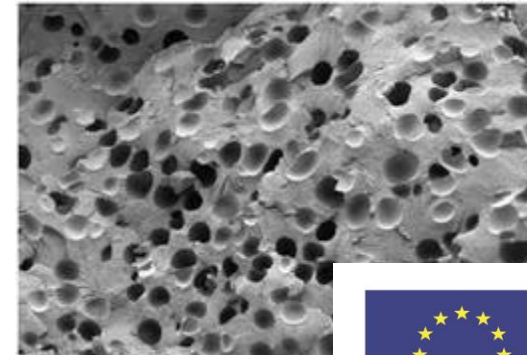


### *Fyysiset vaahdotusaineet* (Kaasun ruiskutus)

Kennomainen rakenne saavutetaan ruiskuttamalla kaasua erittäin kriittisessä vaiheessa suoraan säiliöön erityislaitteiston läpi.

Korkean tiheyden ja keskitiheyden vaahdoille yleisimmin käytettävät kaasut ovat  $\text{N}_2$  tai  $\text{CO}_2$ .

$\text{N}_2$  tai  $\text{CO}_2$

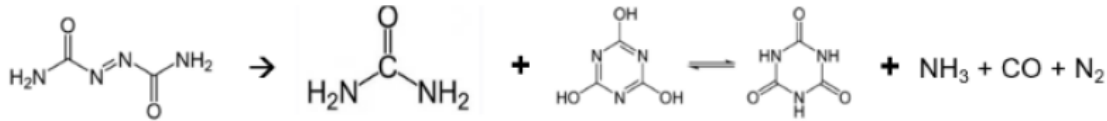


## Vaahdotus – kemiallinen reaktio



### Eksoterminen

Azodikarbonaattiamidi (ADC): Synnyttää typpeä ja ammoniakkia sekä lämpöä yhdistyessään. Tyypillisesti paras PVC- ja ABS-seoksille. Lämmittää systeemiä. Tekee isompia kennoja olefiineistä ja styreeneistä. Sopii parhaiten ekstruusiolla valmistetuille muovi-/puukomposiiteille.



- ✓ Ollut käytössä 50 vuotta muoveille ja kumeille
- ✓ Hidas kaasun haihtumisaste
- ✓ Positiivinen joissain sovelluksissa ja negatiivinen toisissa
- ✓ Nopea ja vakaa kaasun laajentuminen
- ✓ N<sub>2</sub> ei ole yhtä liukeneva olefiineille ja styreenille kuin CO<sub>2</sub>



### Endoterminen

Karbonaatti/happoseokset (SAFOAM® Endothermic): Synnyttää CO<sub>2</sub>:a ja vettä sekä sitoo lämpöä. Suurin osa FDA-hyväksytyistä, jäähdyttää systeemiä. Synnyttää yleensä parhaat rakenteet (paljon pieniä soluja, valkoinen).



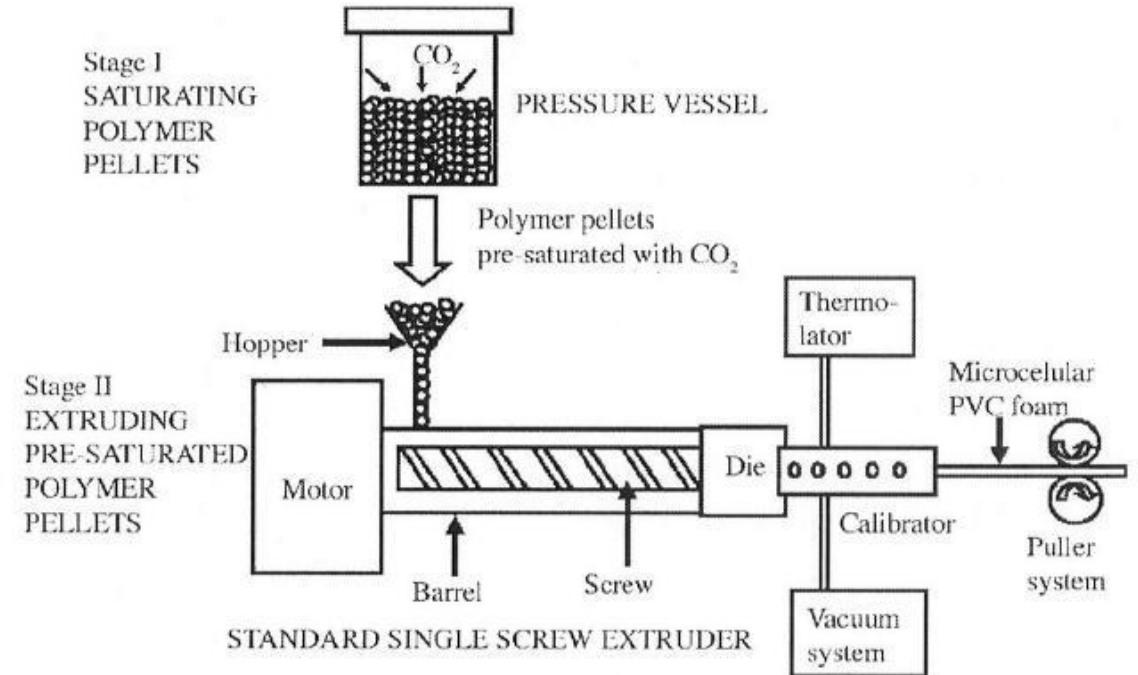
(natriumvetykarbonaatti) + (sitruunahappo) → (natriumsitraatti) + (hiilidioksidi) + (vesi)

- ✓ Käytetty 30 vuotta termoplastisille materiaaleille
- ✓ Itseydintyvä
- ✓ Nopea kaasun haihtumisaste
- ✓ Nopea kiteytymisaika johtuen CO<sub>2</sub>:sta
- ✓ Hidas, kontrolloitu kaasun vapautuminen (vähemmän painetta)
- ✓ CO<sub>2</sub> on liukenevampi muovisulaan kuin N<sub>2</sub>



## Jatkuva vaahdotus ekstruusiolla

Yleisimmin käytetty teknologia vaahdotettujen tuotteiden teollisuudessa. Sekä mono- että kaksiruuviekstrudereita oivaan käyttää muovin vaahdottamiseen. Tyypillisessä ekstruusiovaahdotusprosessissa vaahtoutuva kaasu ruiskutetaan säiliöön ja sekoitetaan polymeerin kanssa homogeeniseksi seokseksi. Kun homogeeninen polymeeri/kaasuseos läpäisee suuttimen, nopea paineenlasku johtaa kaasun erottumiseen ja solujen ydintymiseen. Paine laskee, ja erityisesti paineen laskun suhde on pääasiallinen käynnistävä voima solujen ydintymiselle. Lisänä muotoileva suulake, jota käytetään tuotteen muodon kontrollointiin sekä vaahdon laajentamiseen. Vaahdotettu materiaali jatkaa laajentumista, kunnes kappaleen lämpötila on alempi kuin  $T_g$  ja vaahdotettu tuote on lasittunut.

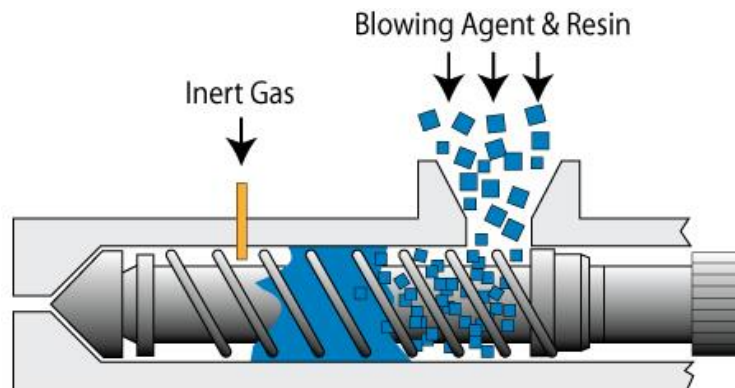




## Vaahdotus – muottitekнологia

Käytössä on kaksi erilaista muottitekнологiaa:

1. Alipaine-prosessissa muotti täytetään 80–95-prosenttisesti sulalla polymeerikaasuseoksella. Kammion täyttämisen (80–95 %) sekä muotissa vallitsevan paineen laskemisen seurauksena sula pääsee laajentumaan ja täyttymään muotin koko tilavuudeltaan. Tätä kutsutaan alipaine-prosessiksi, koska kammion paine pysyy suhteellisen alhaisena. Vaahdotusaste on 5–20 %.
2. Korkeapaine-prosessissa (tunnetaan myös nimillä ”muotin täsmäavaus” tai ”hengittävän muotin tekniikka”) rakenteelliset vaahdot, joilla on alhainen tiheys, voidaan tuottaa muoteilla, joissa on muuttuvia kammioita. Muotin kammio täytetään kokonaan polymeerisulalla, ja sen jälkeen kammio avataan välittömästi muutaman millimetrin verran. Tämä kammion avaaminen aiheuttaa paineenlaskun kammiossa ja sula vaahdotuu. Avaaminen tapahtuu vetämällä muottiyksikköä takaisinpäin (”runko taakse”).



<https://www.youtube.com/watch?v=rnQHbBIe6AE>



Yhteisrahoitettu  
Euroopan unionin  
Erasmus+ -ohjelmasta

## Vaahdotus – miksi käyttää kemiallista vaahdotusta?

- Laskee kustannuksia  
Vähemmän materiaalin kulutusta.
- Vähentää painoa
- Eliminoi vajoamia  
Parempi painettavuus tasaisille pinnoille
- Korkeampi tuotantotehokkuus  
Alhaisemmat prosessilämmöt  
Nopeammat sykliajat  
Vähentää koneen energiankulutusta
- Parantaa lämmöneristystä
- Parantaa äänieristystä
- Helposti skaalattavissa  
Stabiili ja toistettava  
Yksinkertainen prosessi, helppo syöttö
- Alhaiset aloituskustannukset  
Helppo käyttää lisäaineita  
Lisälaitteita eikä muutoksia ei tarvita  
Sulkusuuttimet ovat hyödyksi ruiskuvalussa

## Haitat

Haihtumattomat sivutuotteet kantajapolymeerissä (masterbatch), jotka jäävät tuotteeseen. Tällöin mekaaninen lujuus voi alentua ja komponentissa voi ilmentyä pysyviä virheitä.





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI SALERNO



**Esitetyt mielipiteet ovat kirjoittajien omia, eivätkä ne välttämättä edusta Euroopan komission kantaa. Euroopan komissio tai sen puolesta toimivat henkilöt eivät ole vastuussa siitä, miten tämän julkaisun sisältämiä tietoja käytetään.**



Yhteisrahoitettu  
Euroopan unionin  
Erasmus+ -ohjelmasta



# PACKALL

PackAlliance:  
European alliance for innovation training  
& collaboration towards future packaging



## Korkeakoulut ja yritykset yhdessä.



CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE  
OF THE EBRO VALLEY



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI SALERNO



El poder de la colaboración



PLASTICS INNOVATION POLE

**Tekijänoikeus:** CC BY-NC-SA 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Tämä lisenssi sallii muiden levittää ja muokata teosta ja luoda sen pohjalta uusia teoksia, mutta ei kaupalliseen käyttöön.

**Kuitenkin vain seuraavilla ehdoilla:**

**Nimeä** — Sinun on asianmukaisesti mainittava alkuperäinen tekijä, annettava linkki lisenssiin ja ilmoitettava, onko muutoksia tehty. Voit tehdä sen millä tahansa kohtuullisella tavalla, mutta et millään tavalla, joka viittaa siihen, että lisenssinantaja tukee sinua tai käyttöäsi.

**EiKaupallinen** — Et saa käyttää materiaalia kaupallisiin tarkoituksiin.

**JaaSamoin** — Jos muunnat tai luot materiaalin pohjalta uutta materiaalia, sinun on jaettava tuotoksesi samalla lisenssillä kuin alkuperäinen.

**Ei lisärajoituksia** — Et saa soveltaa laillisia ehtoja tai teknisiä toimenpiteitä, jotka laillisesti estävät muita tekemästä mitään, mitä lisenssi sallii.



Yhteisrahoitettu  
Euroopan unionin  
Erasmus+ -ohjelmasta

Hanke on rahoitettu Euroopan komission tuella.  
Tästä julkaisusta [tiedotteesta] vastaa ainoastaan sen laatija, eikä komissio ole vastuussa siihen sisältyvien tietojen mahdollisesta käytöstä.