



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.



Kurssi 1 – Pakkausratkaisujen uudet tuotantoprosessit (3 ECTS)

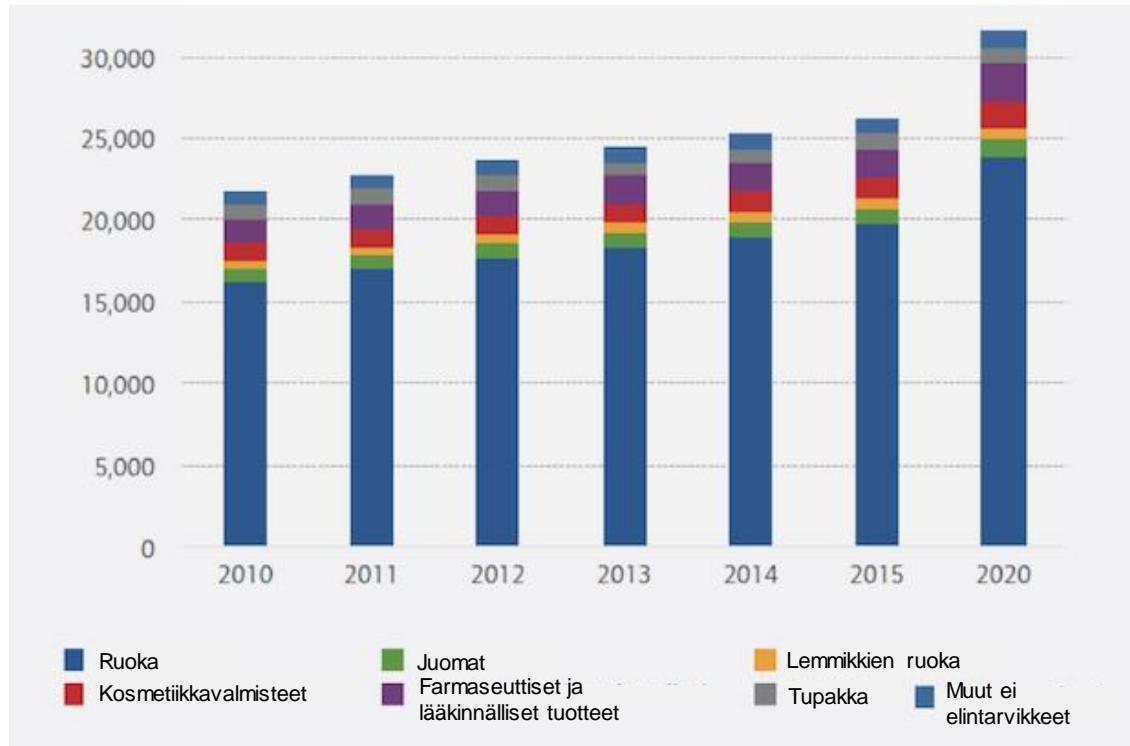
1. JOUSTOPAKKAUSTEN TUOTANTOPROSESSIT (0.6 ECTS)

- 1.1. Ekstruusioprosessin perusteet
- **1.2. Teolliset prosessit joustopakkausten valmistamiseksi**
 - 1.2.2. Kalvoekstruusio
 - *Prosessin kuvaus*
 - *Erilaisia kalvonvalupäitä ja suulakkeita*
 - *Henkarisuulake*
 - *Prosessointiparametrit: vetosuhde, jäähdytystelan lämpötila, suulake – jäähdytystela – etäisyys*
 - 1.2.1. Kalvopuhallus
 - *Prosessointiparametrit kalvopuhallusprosessissa*
 - *Vetosuhde ja puhallussuhde*
 - *Jäähtymisrajan korkeus*



Joustopakkaukset muodostavat suuren osan muovipakkausmarkkinoista, ja ne voidaan luokitella paksuutensa perusteella seuraaviin:

arkki → paksuus yli 0,25 mm
kalvo → paksuus alle 0,25 mm



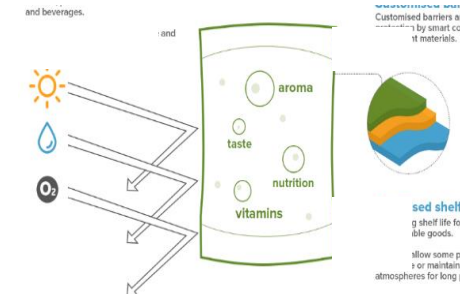
- ❑ Globaali joustopakkausten markkina-arvo kasvoi 4,4 %:n vuosivauhtia aikavälillä 2015–2020 ja saavutti \$114 biljoonaan arvon.
- ❑ **Ruoka kattoi yli $\frac{3}{4}$ globaalista joustopakkausten kulutuksesta 2020.** Liha, kala, ja siipikarja olivat suurin joustopakkausten käyttäjäsegmentti ruokapakkakusissa, minkä jälkeen tulivat makeiset ja leivonnaiset.



Joustopakkausten vahvuudet kiertotaloudessa

JOUSTOPAKKAUSTEN ERITYISPIIRTEITÄ:

- ❑ Mahdollistavat erinomaisen ja yksilöllisen tuotesuojan.
- ❑ Tarjoavat näyttävän visuaalisen vaikutelman ja erottautumisen hyllyssä.
- ❑ Parantavat asiakkaan käyttömukavuutta (annoskoon säätö, käytön ja säilytyksen helppous).



**PITÄÄ HYVÄN
SISÄLLÄ JA HUONOT
ASIAT ULKONA**

JOUSTOPAKKAUSTEN MERKITTÄVÄT KESTÄVYYSEDUT

- ❑ Parempi tuote-pakkaussuhde
- ❑ Pienenpi energian käyttö
- ❑ Pienempi tuotehävikki
- ❑ Vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä

ALHAINEN PAKKAUSSUHDE



VÄHEMMÄN KULJETUSENERGIAA



PIENI OSUUS HIILIJALANJÄLJESTÄ



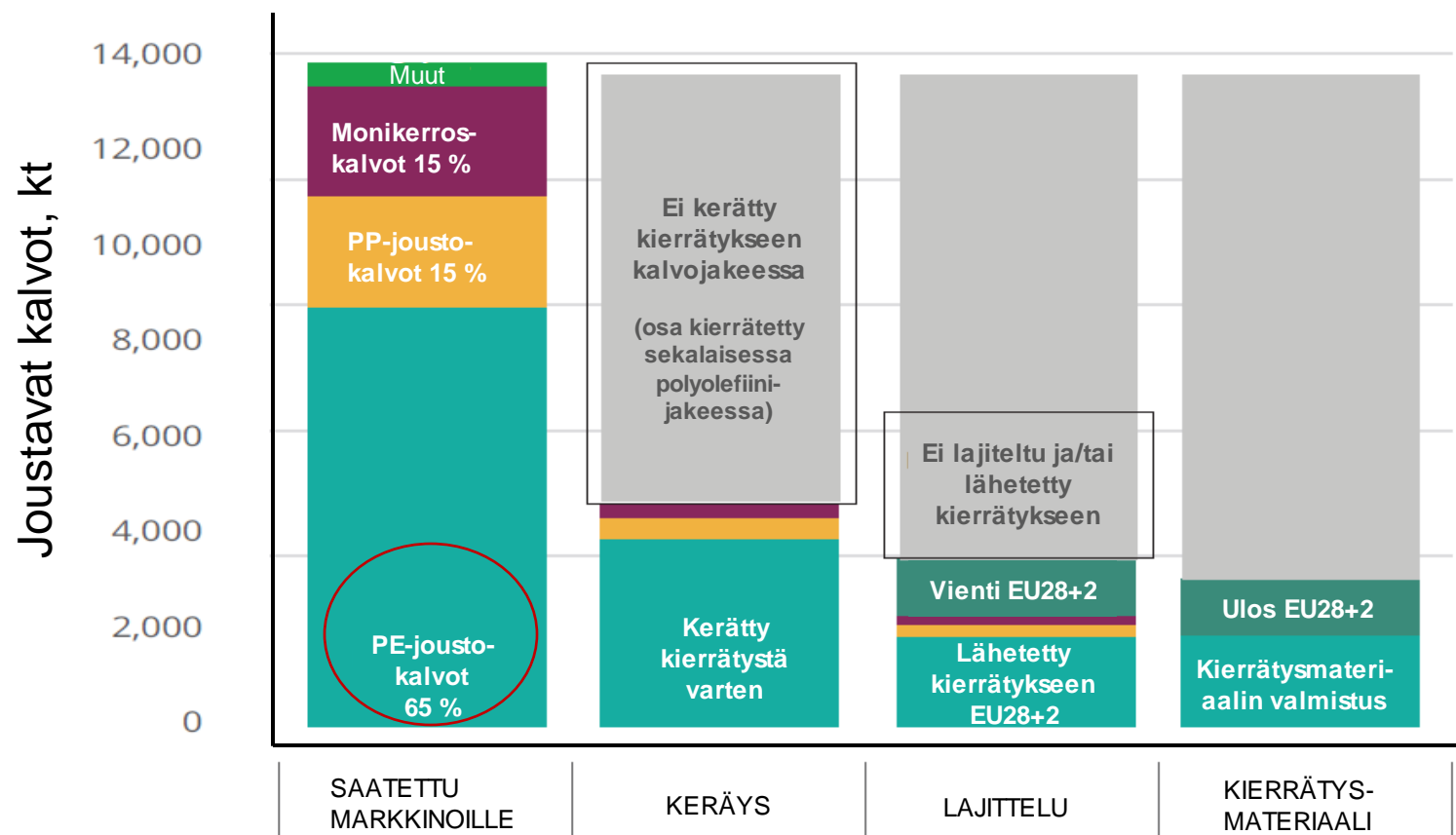
VÄHEMMÄN MATERIAALIA JA JÄTETTÄ



Yhteisrahoitettu
Euroopan unionin
Erasmus+ -ohjelmasta

Joustopakkausten heikkouksia kiertotaloudessa

Lähde: ”Flexible Films Market In Europe State of Play. Production, Collection and Recycling Data 2020” PRE



Euroopassa on **ALHAINEN** joustopakkausten **KIERRÄTYSASTE**: vain **23 % PE-kalvoista** ja **15 % kaikista joustokalvoista** kerättiin kierrätystä varten.

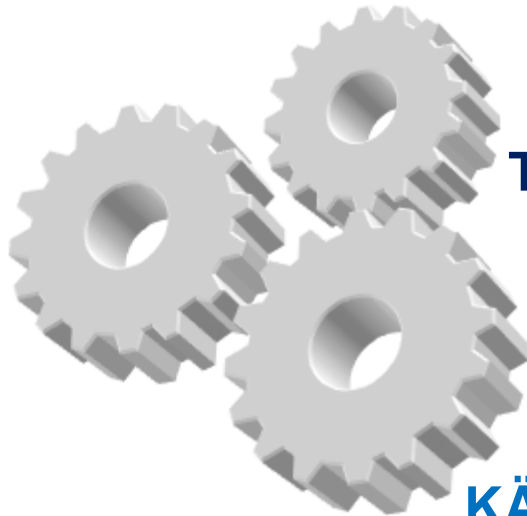


Prosessin, rakenteen ja ominaisuuksien suhde

PAKKAUSKALVOIHIN KOHDISTUVAT VAATIMUKSET:

- kaasu- ja höyry-barrier
- korkea jäykkyys ja mekaaninen lujuus
- hyvät optiset ominaisuudet (läpinäkyvyys, väri)
- koko ja pinnan tasalaatuisuus
- saumautuvuus
- painettavuus

MATERIAALIT



VALMISTUS-
TEKNOLOGIAT

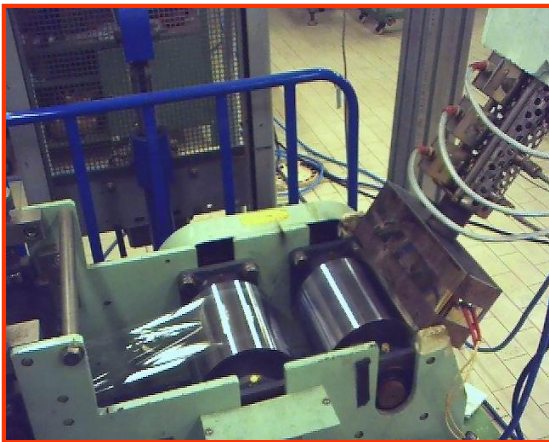
KÄYTTÖKOHTEET

Muokausprosessi ja parametrit on valittava raaka-aineen erityisominaisuudet ja joustokalvotuotteen halutut ominaisuudet huomioiden.

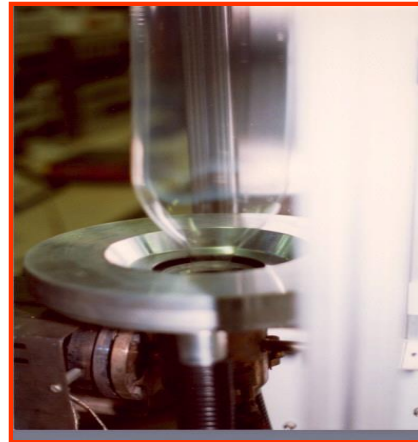


- VALETTU KALVO JA PUHALLUSKALVO
- ORIENTAATIOMENETELMÄT
- KOEKSTRUUSIO

VALETTU KALVO



PUHALLUSKALVO



KOEKSTRUUSIO



1. Ekstruusio
2. Kalvonmuodostus
3. Jäähdytys
4. Veto
5. Keräys

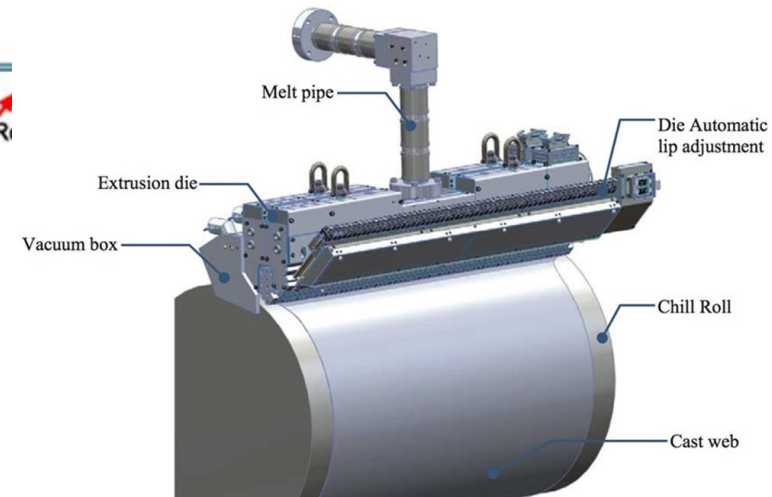
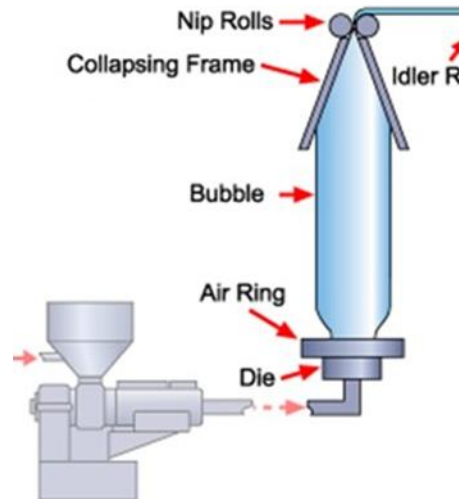
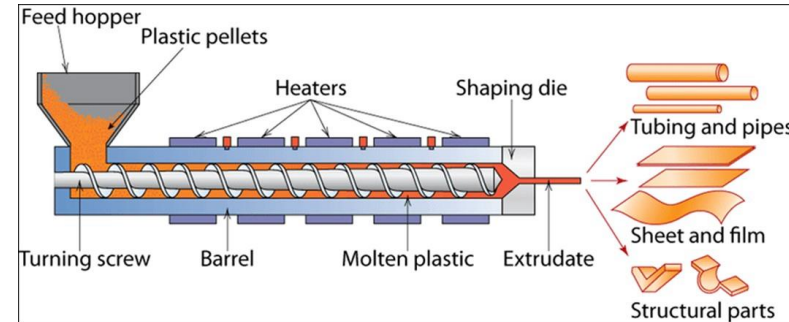


Figure 1. Typical monolayer cast film layout (Note: extruder is not shown)

Kurssi 1 – Pakkausratkaisujen uudet tuotantoprosessit (3 ECTS)

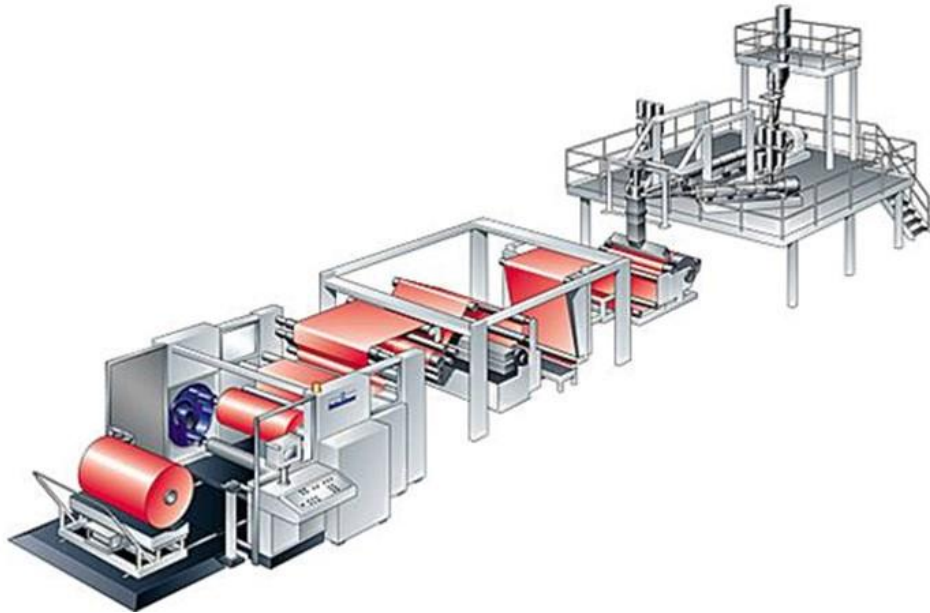
1. JOUSTOPAKKAUSTEN TUOTANTOPROSESSIT (0.6 ECTS)

- 1.1. Ekstruusioprosessin perusteet
- 1.2. Teolliset prosessit joustopakkausten valmistamiseksi
 - **1.2.2. Kalvoekstruusio**
 - *Prosessin kuvaus*
 - *Erilaisia kalvonvalupäitä ja suulakkeita*
 - *Henkarisuulake*
 - *Prosessointiparametrit: vetosuhde, jäähdytystelan lämpötila, suulake – jäähdytystela – etäisyys*
 - 1.2.1. Kalvonpuhallus
 - *Prosessointiparametrit kalvonpuhallusprosessissa*
 - *Vetosuhde ja puhallussuhde*
 - *Jäähtymisrajan korkeus*



Kalvojen valaminen

Valettu kalvo tuotetaan puristamalla sulaa polymeeriä tasosuuttimen läpi. Tasosuuttimen ulostulossa kalvo joutuu kosketuksiin jäähdytysrullan kanssa, mistä jäähdytysvaihe alkaa. Kiinteä kalvo ohjataan mittaussaseman, pintakäsittelyvyöhykkeen ja leikkausaseman läpi ja lopuksi se kääritään keloihin.

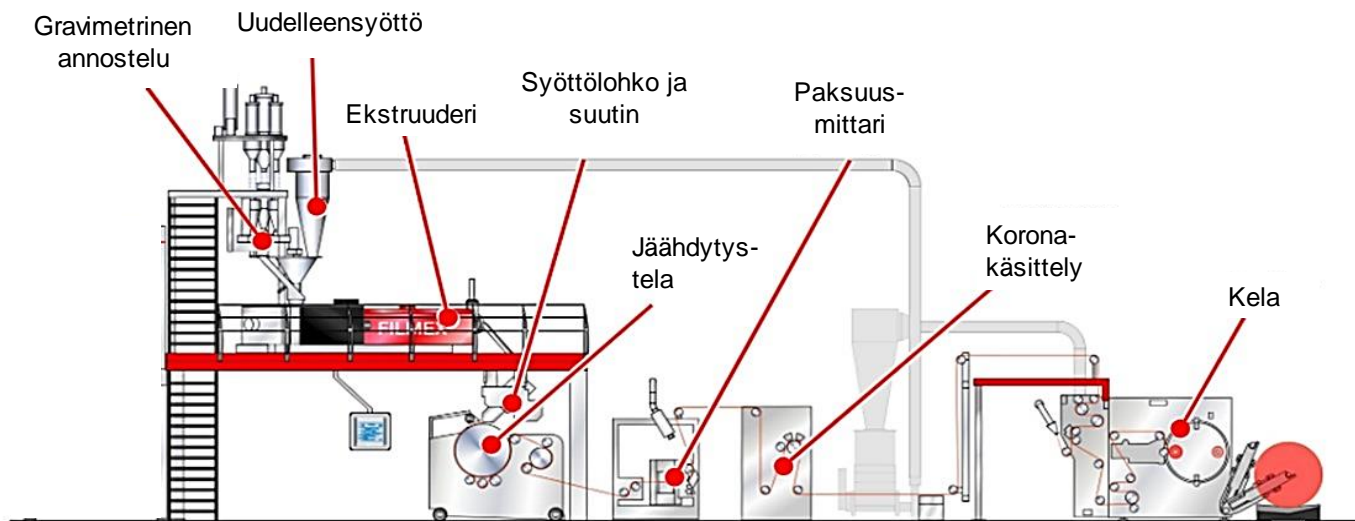


https://www.youtube.com/watch?v=ggqtl02N_U



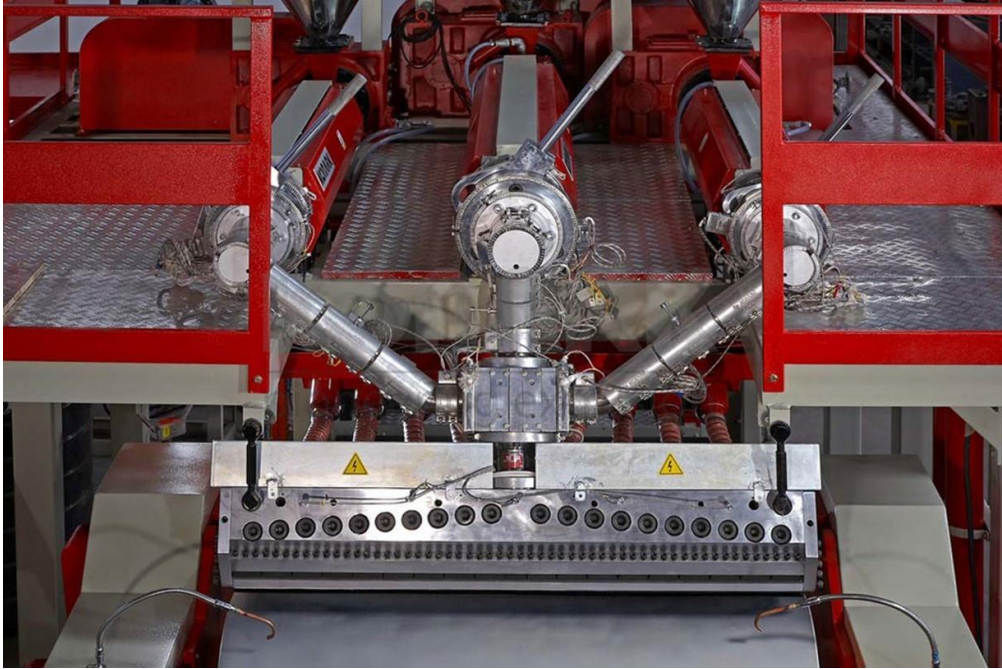
Yhteisrahoitettu
Euroopan unionin
Erasmus+ -ohjelmasta

Kalvojen valaminen



- ❑ **Joko yksi- tai kaksiruuviekstruuderit,** tasosuuttimella
- ❑ Kiillotetut kromitelat (**jäähdytystelat**) kalvon jäähdytystä ja kiillotusta varten
- ❑ **Vakuumi** ilmanpositioon kalvon alta ja avustamaan filmin asettumista telan pinnalle

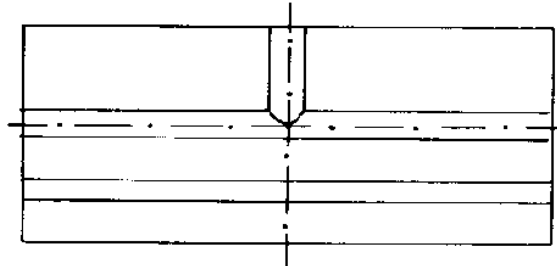
- ❑ **Vetotelat** vakiovedon ylläpitoon
- ❑ **Korona-, liekki- tai plasmakäsittelylaitteisto** parantaa painoväriin adheesiota
- ❑ **Pituusleikkuri**
- ❑ **Korkean nopeuden kiinnirullain** filmin keräämiseen



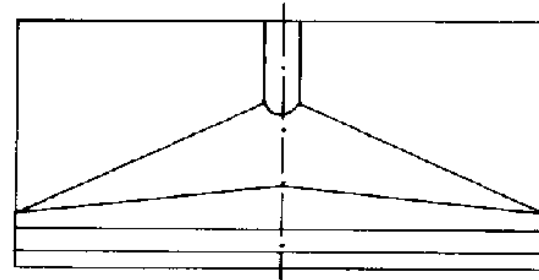
- ❑ **Kalvojen valamisessa käytetty suulake** koostuu suoraprofiilisesta litteästä raosta, johon sula jaetaan tasaisesti jakoputkien ja -kanavien avulla.
- ❑ Suulakkeessa polymeerisulassa tapahtuu leikkausmuodonmuutoksia.

Sula polymeeri virtaa suulakkeessa erilaisia reittejä, ja sen viskositeetti vaihtelee virtausnopeuden ja reitin poikkipinta-alan mukaan.

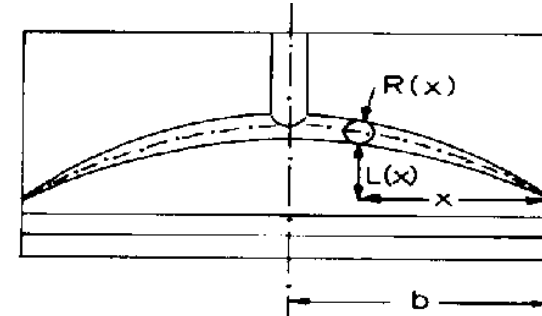
Kalvojen valaminen: suulakkeen muotoilu



T-suulake



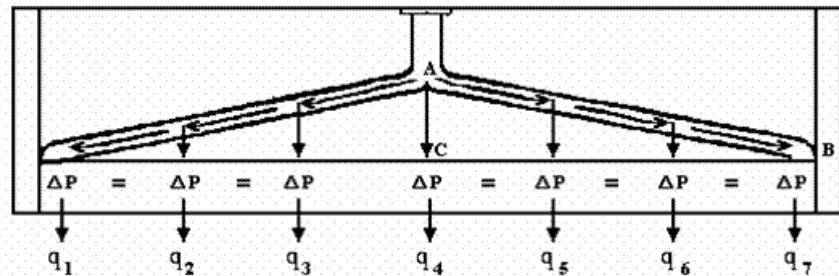
Kalanpyrstösuulake



Henkarisuulake

TÄRKEÄ HUOMIO:

Sulan reitti (suulakkeen poikkipinta-alalla) on mitoitettava siten, että haluttu määrä polymeeriä saavuttaa suulakkeen kunkin osan (koko suulakkeen leveydellä) samalla virtausnopeudella.



Jotta varmistetaan sama polymeerin virtaus kussakin ulostulokohtassa, virtausnopeuden (q) ja sisäänmenon ja ulostulon välisen paine-eron (ΔP) on oltava vakio koko suulakkeen leveydeltä.

Kalvonpaksuuden tasaisuus

Suuttimen huulien etäisyyttä toisistaan voidaan säätää koko suuttimen leveydeltä. Tällä tavoin voidaan säätää kalvon paksuutta ja poistaa mahdollisia epätasaisuuksia.

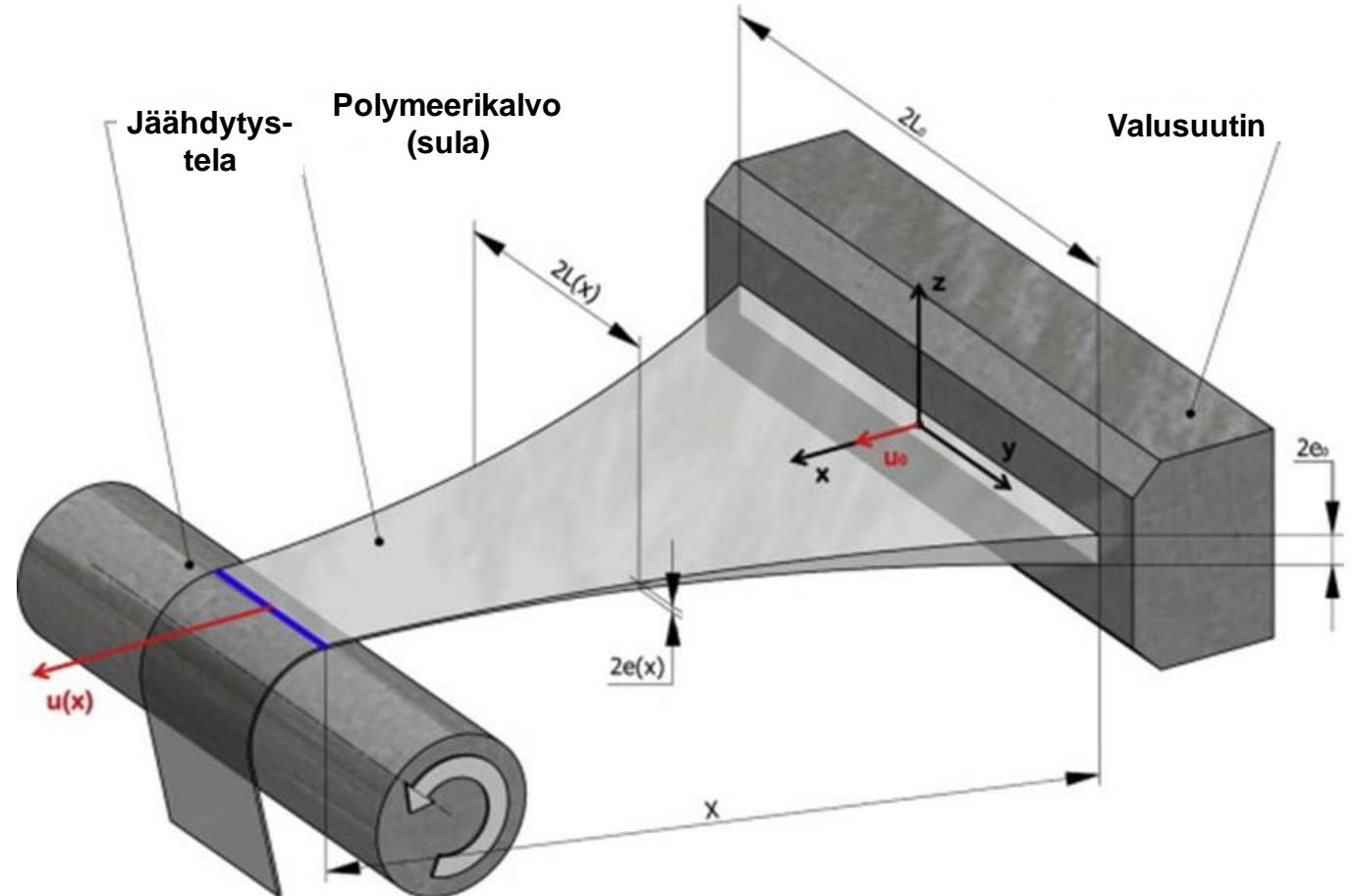
KALVON PAKSUUDEN TASAISUUTEEN VAIKUTTAVAT

- ✓ polymeerisulan lämpötilan tasaisuus
- ✓ suuttimen lämpötilan tasaisuus
- ✓ suuttimen puhdistus mahdollisista hajoamistuotteista.

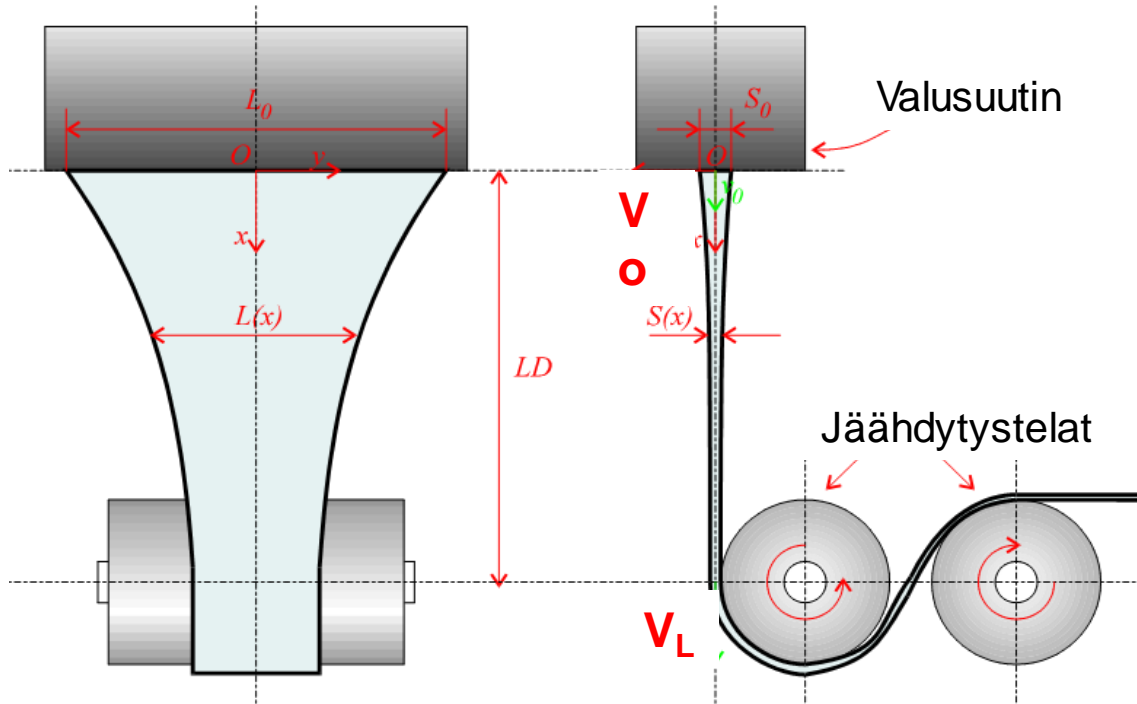
On mahdollista valmistaa 2 m leveitä kalvoja siten, että paksuuden tasaisuuden vaihtelu on alle 3 % kalvon leveyssuunnassa.



- EKSTRUUSIOLÄMPÖTILA
- JÄÄHDYTYSTELAN LÄMPÖTILA
- KERÄYSETÄISYYS (suuttimen ja jäähdytystelan välinen etäisyys)
- VETOSUHDE



Venytyks ja kalvon keräys



NOPEUSPROFILI MUUTTUU VENYTYKSEN
SUUNNASSA

Sulamuodonmuutokset:

Materiaalissa tapahtuu venytystä
jäähdytystelan ympärille käärittäessä.



vetosuhde:

$$DR = V_L / V_0$$

V_L = telan lineaarinen nopeus

V_0 = polymeerisulan ulostulonopeus

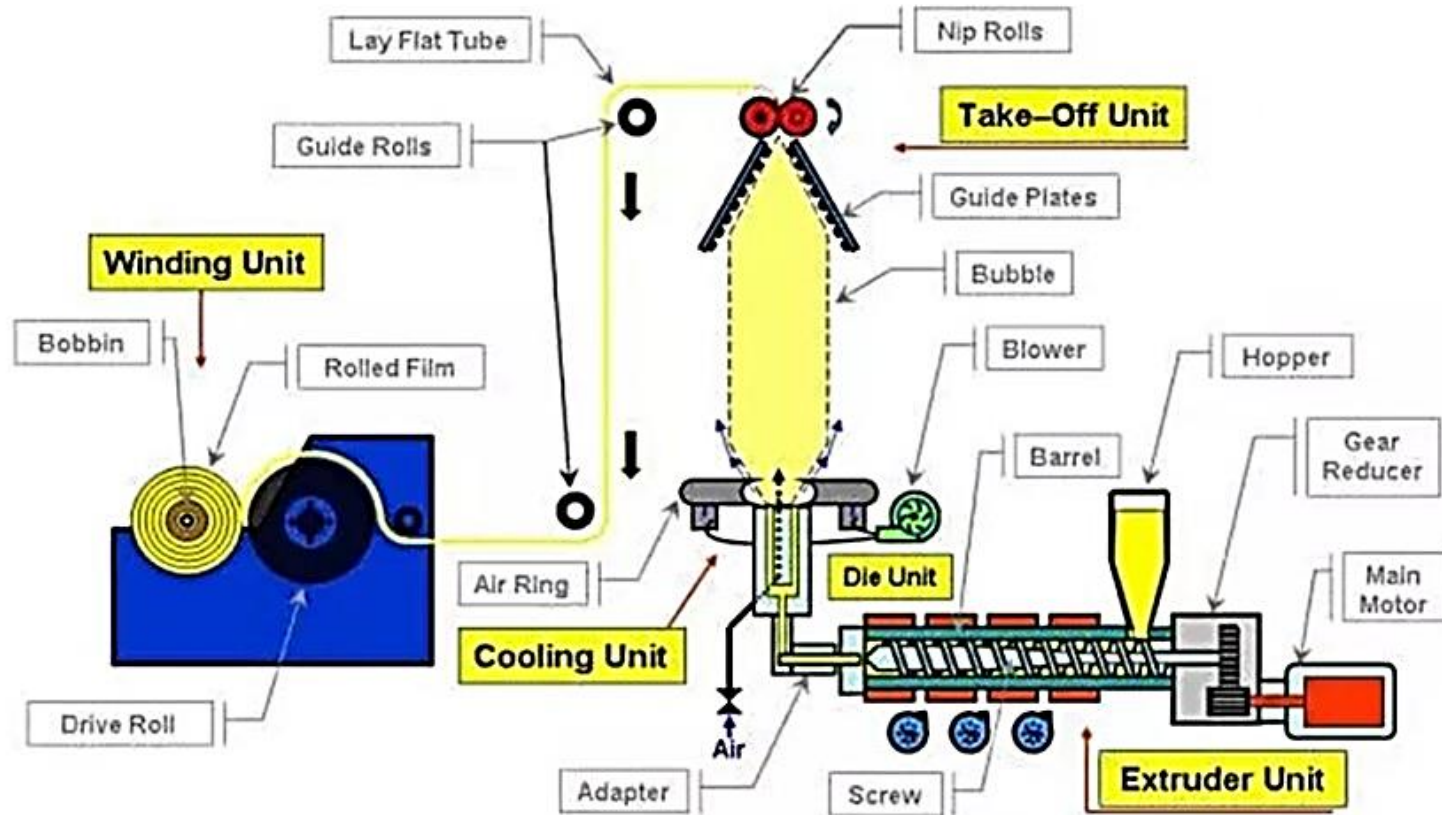
Kurssi 1 – Pakkausratkaisujen uudet tuotantoprosessit (3 ECTS)

1. **JOUSTOPAKKAUSTEN** TUOTANTOPROSESSIT (0.6 ECTS)

- 1.1. Ekstruusioprosessin perusteet
- 1.2. Teolliset prosessit joustopakkausten valmistamiseksi
 - 1.2.2. Kalvoekstruusio
 - *Prosessin kuvaus*
 - *Erilaisia kalvonvalupäitä ja suulakkeita*
 - *Henkarisuulake*
 - *Prosessointiparametrit: vetosuhde, jäähdytystelan lämpötila, suulake – jäähdytystela – etäisyys*
 - **1.2.1. Kalvopuhallus**
 - *Prosessointiparametrit kalvopuhallusprosessissa*
 - *Vetosuhde ja puhallussuhde*
 - *Jäähdytyskorkeus*



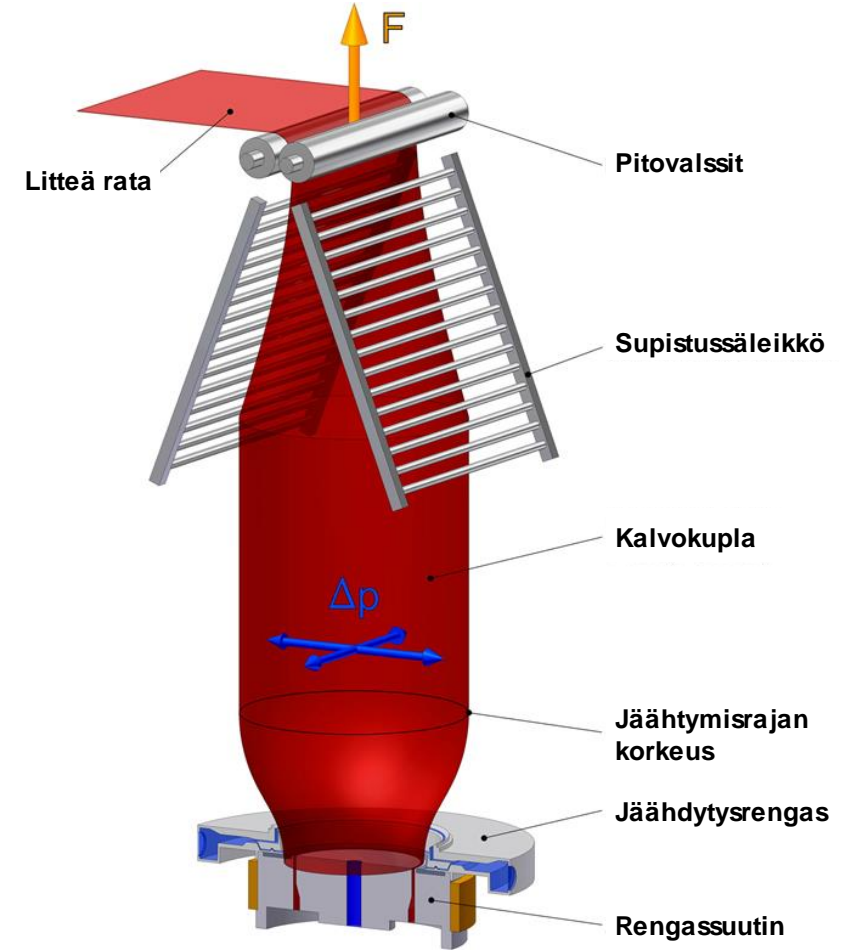
Kalvopuhallusekstruusio: linjan pääosat



Kalvopuhallusekstruusio: prosessin kuvaus

Suulakepuristin sulattaa hartsin ja pakottaa sen **rengassuuttimen** läpi. Sula virtaa putkimaisena ylöspäin pystysuoran "konesuuntaisen" voiman vaikutuksesta, joka tuotetaan valssiparin avulla jollakin etäisyydellä muotin yläpuolella.

Putki jäähdytetään "jäähdytysrenkaalla", joka ohjaa ilmaa sen ulkopinnalle. Ilmaa johdetaan myös putken sisäpuolelle muotissa olevan reiän läpi sulan polymeeriputken romahtamisen estämiseksi. Kun putki on kierretty valssitelojen väliin, siitä tulee ilmatiivis, ja syötetty lisäilma pullistaa kuplan jonkin matkaa suuttimen yläpuolella, jolloin se venyy säteittäiseen suuntaan ja muodostaa "kuplan".

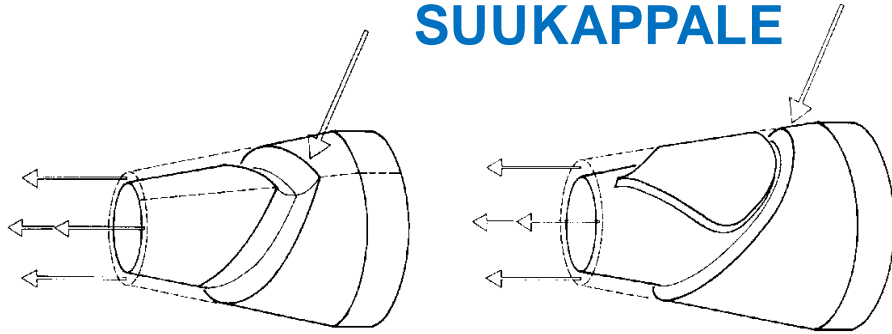


<https://www.youtube.com/watch?v=nNgVzqfesog>



Yhteisrahoitettu
Euroopan unionin
Erasmus+ -ohjelmasta

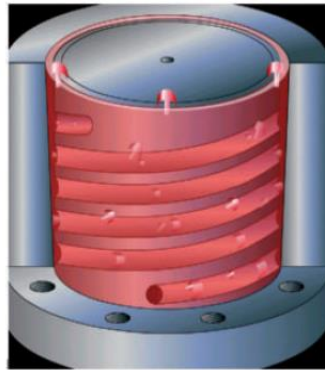
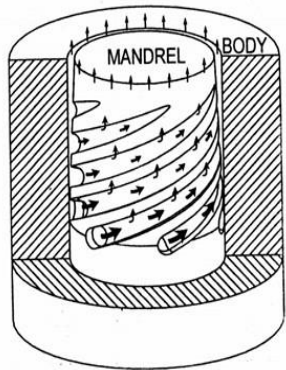
SIVULTA SYÖTETTÄVÄ SUUKAPPALE



Yksinkertainen ja edullisin suutintyyppi, jonka puutteita ovat

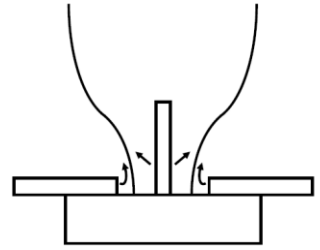
- hitsatut saumat
- vaikeus ylläpitää kalvon paksuuden tasaisuutta.

SUUTIN JOSSA ON SPIRAALIMAISET JÄTTÖKANAVAT



Kierteinen ja aksiaalinen liike tuottaa sekoitusvaikutuksen, joka suurelta osin välttää hitsauslinjoja ja mahdollistaa virtauksen jakautumisen tasaisesti jättökanavan ympärille, mikä johtaa tasaiseen nopeuteen muotin ulostulossa.

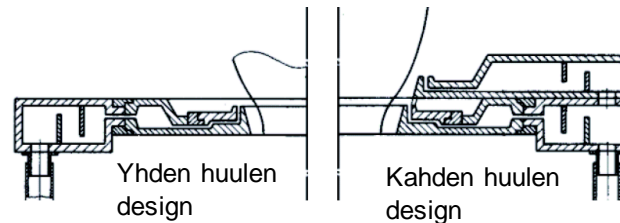
- ❑ Suoritetaan puhaltamalla kuplaa runsaalla ilmalla heti suuttimen jälkeen.
- ❑ Voidaan toteuttaa joko pelkästään kuplan ulkopuolelta tai sekä ulko- että sisäpuolelta.
- ❑ Jäähdytys on rajoittava tekijä tuotannon noston kannalta.



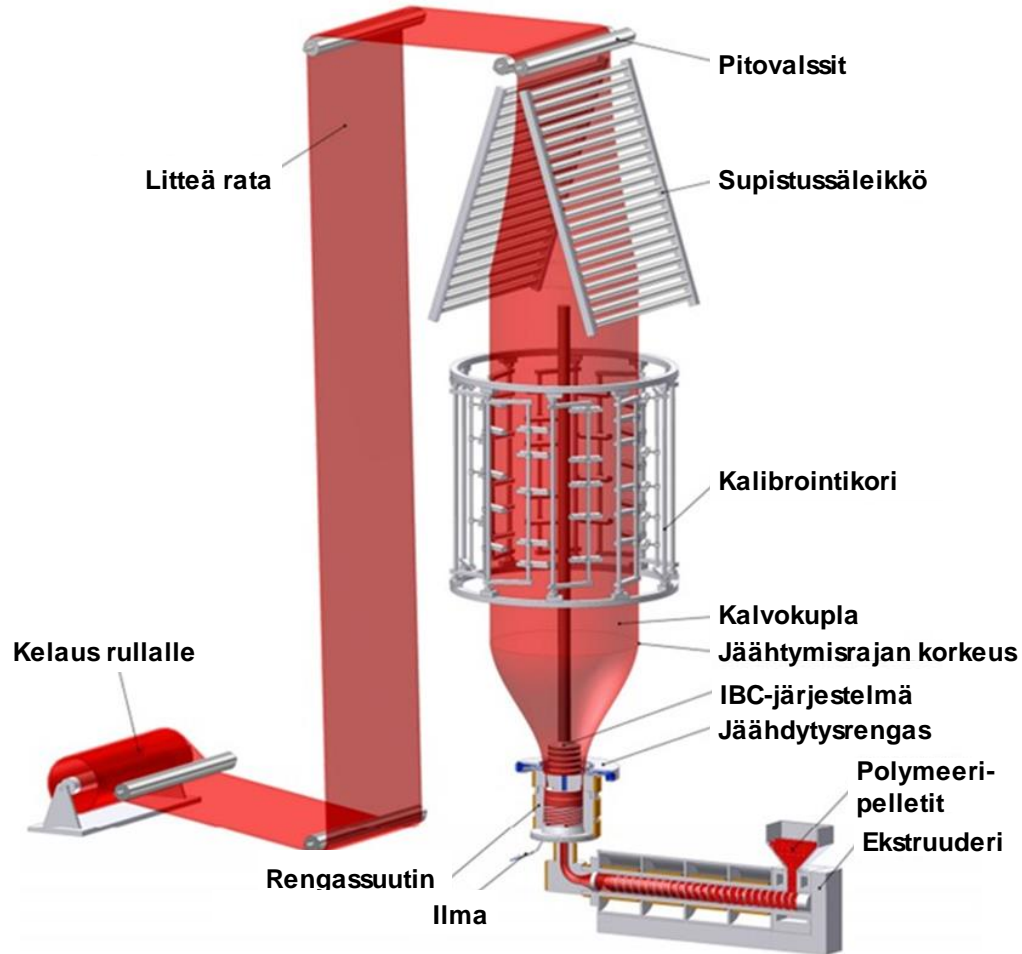
Kolme prosessin päämuuttujaa vastaa jäähdytyksen tehokkuudesta:

1. **Ilman nopeus** – suuremmalla nopeudella enemmän lämpöä siirtyy pois samassa aikayksikössä.
2. **Ilman lämpötila** – viileämpi ilma poistaa lämpöä tehokkaammin, mutta ilman jäähdytys lisää prosessoinnin kustannuksia ja toimiva tasapaino täytyy löytää.
3. **Ilmankosteus** - jos ympäröivää ilmaa käytetään, sen kosteus vaihtelee vuodenajan mukaan, mikä voi vaikuttaa jäähdytystehoon.

JÄÄHDYTYKSESTÄ VASTAA
JÄÄHDYTYSRENGAS.



Stabilointihäkki ja kokoava telasarja

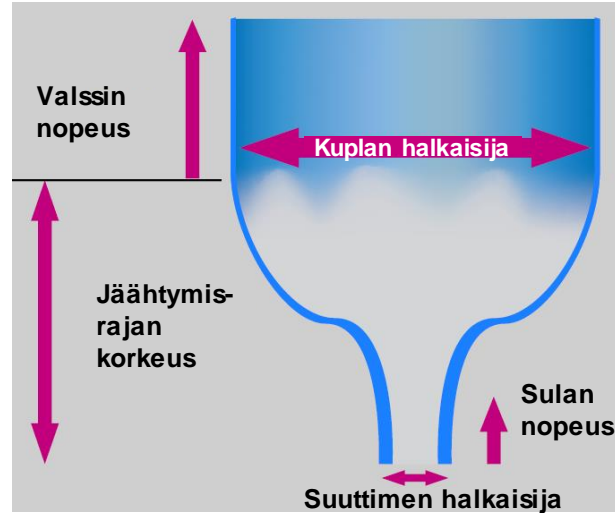


Kalvokupla stabiloidaan yleensä ulkoisen **KORIN** avulla, joka estää kuplaa siirtymästä, mikä voisi aiheuttaa epätasaista seinämäpaksuutta.

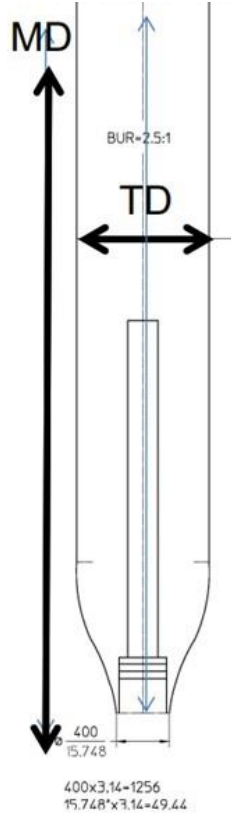
- ❑ Kun kupla kulkee ylöspäin koti telojen välistä nippiä, se “esilitistetään” **KOKOAVAN TELASARJAN** avulla. Tämä laite luo hallitun siirtymän pyöreästä putkesta litteään muotoon.
- ❑ Kokoava telasarja auttaa ehkäisemään laskoksia lopputuotteessa.

Kuplan geometriaa kuvataan useilla parametreilla:

- ❑ suuttimen halkaisija
- ❑ suuttimen rako
- ❑ jäähtymisrajan korkeus (FLH)
- ❑ kuplan halkaisija (D_b)
- ❑ kalvon paksuus
- ❑ litteän radan leveys (LF).



- ✓ "**JÄÄHTYMISRAJA**" kuvaa osaa kuplasta, jossa kalvon kirkkaus laskee äkisti merkkinä siirtymästä sulasta kiinteäksi. Perinteisesti se kertoo ensimmäisen kohdan, jossa kupla saavuttaa maksimihalkaisijansa, sillä tämän pisteen jälkeen ei enää tapahdu venytystä. Etäisyyttä suuttimesta jäähtymisrajaan kutsutaan **jäähtymisrajan korkeudeksi (frost-line height) (FLH)**.
- ✓ Kun kalvo on kulkenut valssitelojen välistä, litteää kalvoa kuvaa **litteän radan leveys (lay-flat width)**. Kaksi kertaa litteän radan leveys vastaa kuplan ympärysmittaa ($D_b = 2 LF/\pi$). Tämä yhtälö on käyttökelpoinen kuplan halkaisijan määrittämiseksi.

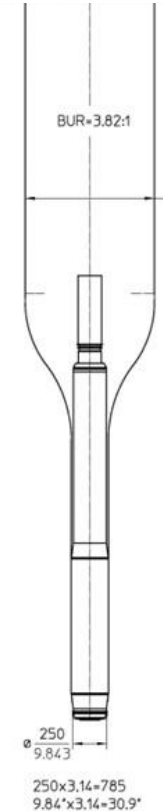


Lyhyt varsi

TASKUKUPLA

- Vähän tai ei lainkaan vartta, laajeneminen alkaa lähes välittömästi suuttimen yläpuolella.
- On yleensä melko vakaa, sillä jäähdytysilma mahdollistaa varhaisen jähmettymisen.

Tätä muotoa käytetään yleisimmin **LDPE**, **LLDPE**, ja **PP** -muovilaatujen työstössä.



Pitkä varsi

PITKÄVARTINEN KUPLA

- Poikkisuuntainen (TD) venytys viivästyy, kunnes polymeeri saavuttaa alhaisemman lämpötilan, mikä mahdollistaa vakaamman sulamisen ja suuremman venytyksenaikaisen rasituksen.

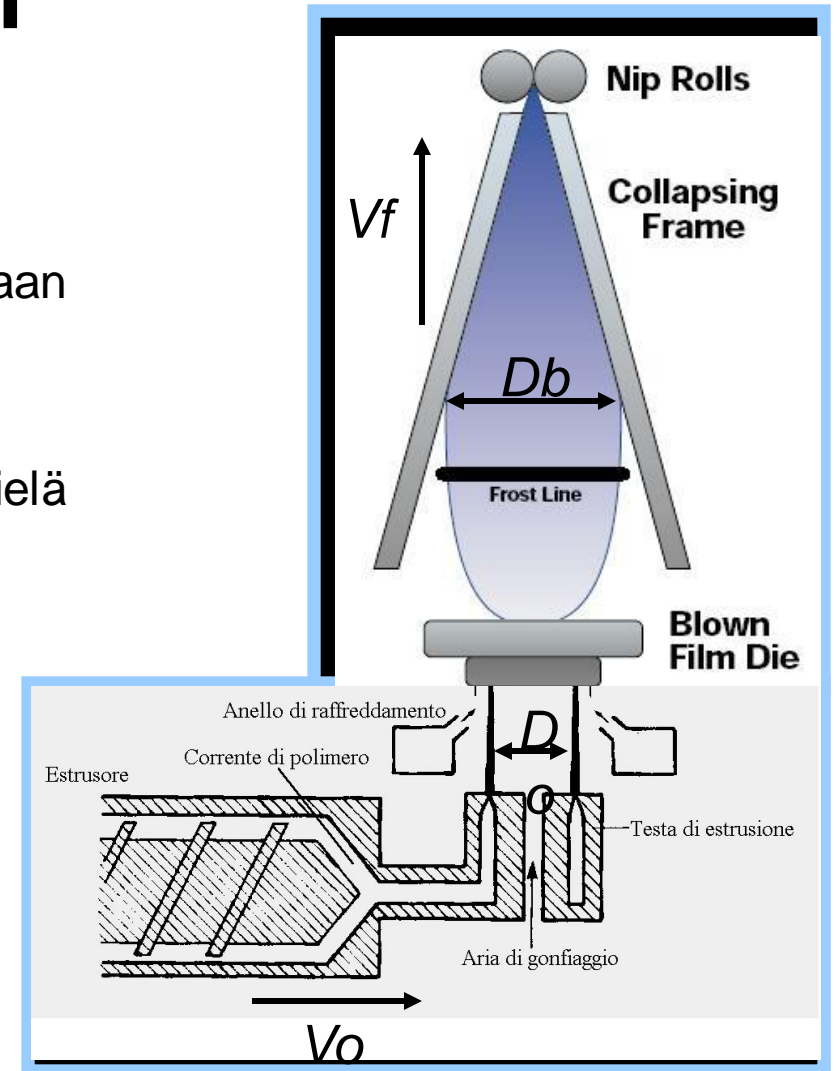
Tätä tyyppiä käytetään pääasiassa **HDPE**-laadulle sen suhteellisen alhaisen sulalajuuden takia.

Biaksiaalinen orientointi

- ❑ Puhalluskalvoekstruusion tärkein prosessointiominaisuus on sen kyky tuottaa **biaksiaalinen orientaatio**, mikä tarkoittaa, että polymeerimolekyylejä on suunnattu kalvon tasossa sekä koneen suuntaan (MD, kuplan pitkää akselia pitkin) että poikittaissuuntaan (TD, kuplan vanteen suunnassa).
- ❑ **Muodonmuutos tapahtuu ennen jäähtymisrajaa**, kun polymeeri on vielä nestemäistä. Tällä alueella valssitelojen vaikutus määrittää polymeeriketjujen venytyksen aksiaaliseen suuntaan, kun taas puhallusilma tuottaa polymeerin venymistä poikittaissuunnassa.

Orientaation kvantitointi

- $TUR = V_f / V_0$ (syöttösuhde)
- $BR = D_b / D_0$ (puhallussuhde)



Useat prosessimuuttajat yhdessä määräävät kuplan geometrian:

- ❑ **sulanopeus** (riippuvainen ruuvin nopeudesta, mutta ei sama kuin ruuvin nopeus)
- ❑ **nippinopeus**
- ❑ **kuplan tilavuus**
- ❑ **jäähdytysnopeus** (jäähdytysilman nopeus ja lämpötila).

On olemassa useita muita prosessimuuttajia, jotka vaikuttavat kuplageometriaan, kuten **prosessilämpötilat, suuttimen suunnittelu, syöttömateriaalin koostumus ja polymeerivirtauksen ominaisuudet**, mutta ne pysyvät yleensä vakioina tietyn ajan ajan.

Muuttuja, jota kasvatetaan	Kalvon paksuus	Kuplan halkaisija	Jäätymisrajan korkeus
Telan nopeus	↓*	↑	↑
Ruuvin nopeus	↑*	↑	↑
Jäähdytysnopeus	↑	↓	↓*
Kuplan tilavuus	↓	↑*	↓

* Pääasiallinen vaste

Lähde: Kirk Cantor, *Blown Film Extrusion, An Introduction*



Yhteisrahoitettu
Euroopan unionin
Erasmus+ -ohjelmasta



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.