



# 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**

- **1.1.1 Ekstruusioprosessi: kuvaus ja laitteet**

- 1.1.2 Yksiruuviextruusion periaate

- 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*

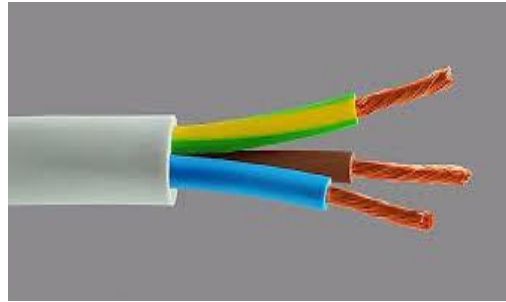
- *Vetosuhde ja puhallussuhde*

- *Jäähdytyskorkeus*



# Ekstruusioprosessi

Ekstruusio on **yksi tärkeimmistä polymeerien työstömenetelmistä**. Se on jatkuva prosessi, joka sallii jatkuvien kappaleiden valmistamisen, monimutkaisiakin geometrioita ja pitkien kappaleiden kuten putkien, kalvojen, tankojen, kuitujen ym. valmistuksen.



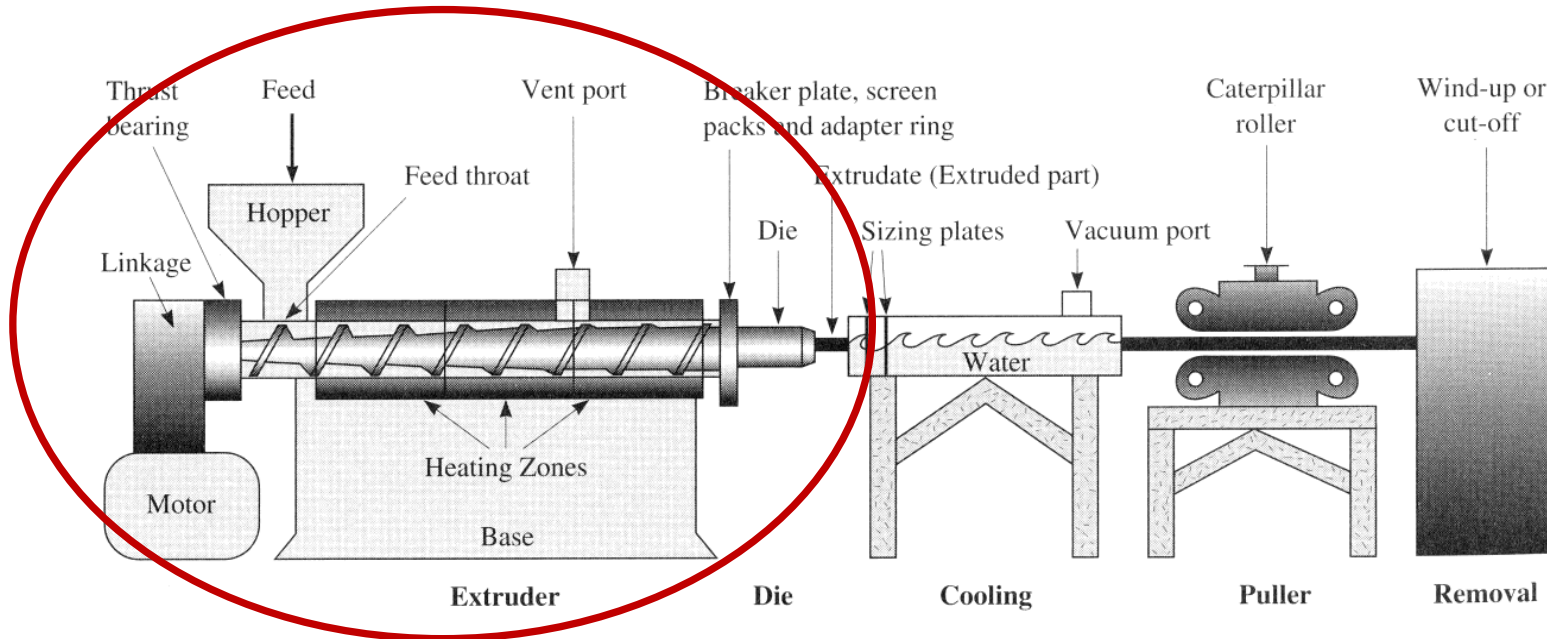
Ekstruusioprosessi koostuu kiinteään granulaattimuotoisen polymeerin konvergoinnista viskoottiseksi nesteeksi, sen paineistamisesta ja puristamisesta suulakkeen läpi, joka tuottaa kappaleelle halutun muodon.

Tämä prosessi suoritetaan **ekstruuderilla**, joka on polymeeristen termoplastisten materiaalien perustyöstöväline.



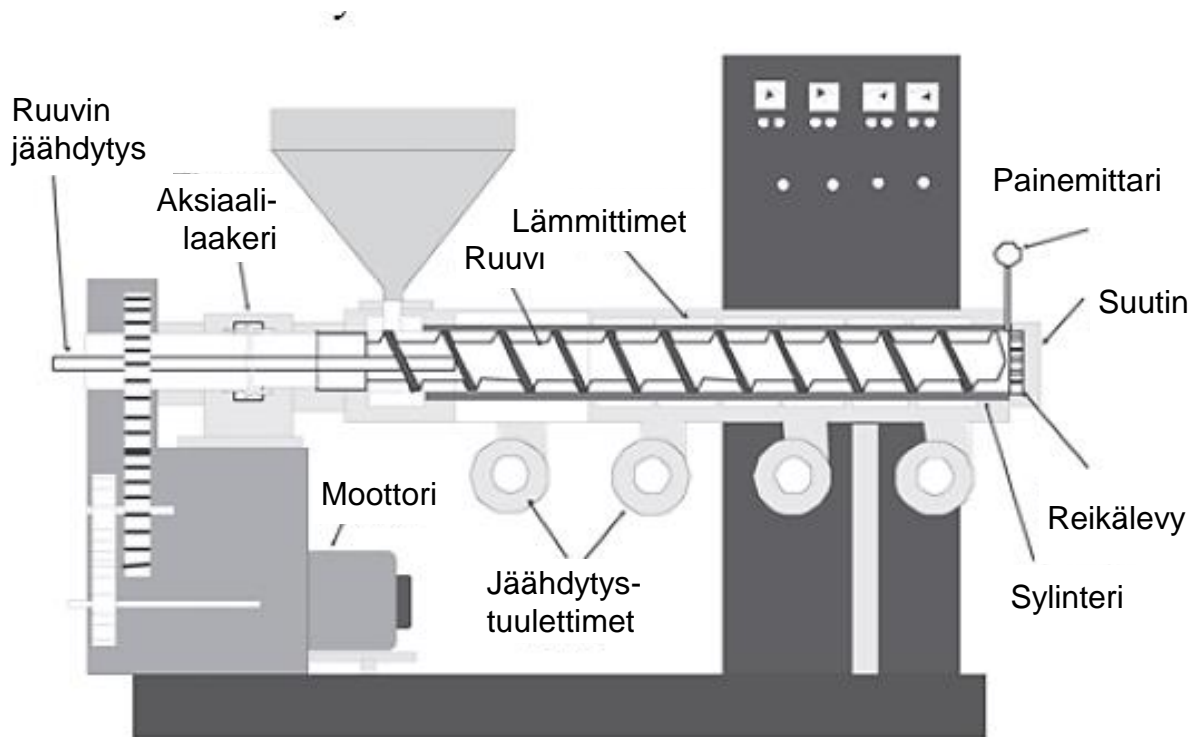
# Ekstruusiolinjan periaatekuva jäähdytyksellä ja vetolaitteella

Viimeistellyn teollisen tai kuluttajatuotteen valmistus muovisulasta ekstruusiolla on integroitu prosessi, jonka keskiössä on **ekstruuder**.



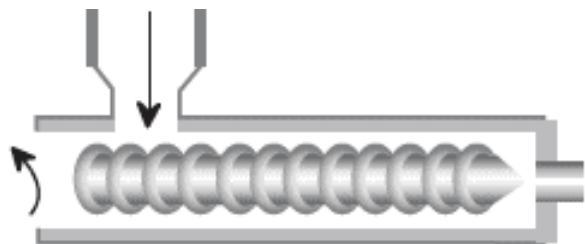
# Yksiruuviekstruuder

Ekstruuder on **pumppu**, joka on suunniteltu **sulattamaan**, **kuljettamaan** ja **paineistamaan** korkeaviskootisia nesteitä.

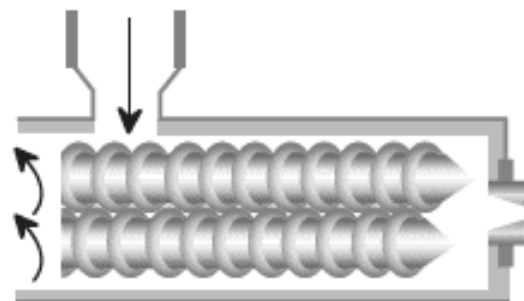


Standardiekstruuder on yksiruuvinen. Se koostuu lämmitetystä **sylinteristä** (barrel), jonka sisällä pyörii **ruuvi** (screw). Sylinteri lämmitetään tyypillisesti sähkövastuksilla. Tämä lämpöenergia sulattaa työskentävän materiaalin, joka syötetään ekstruuderiin kiinteänä granulaattina tai jauheena syöttösuppilosta eli **hopperista**.

Yksiruuviekstruudereri

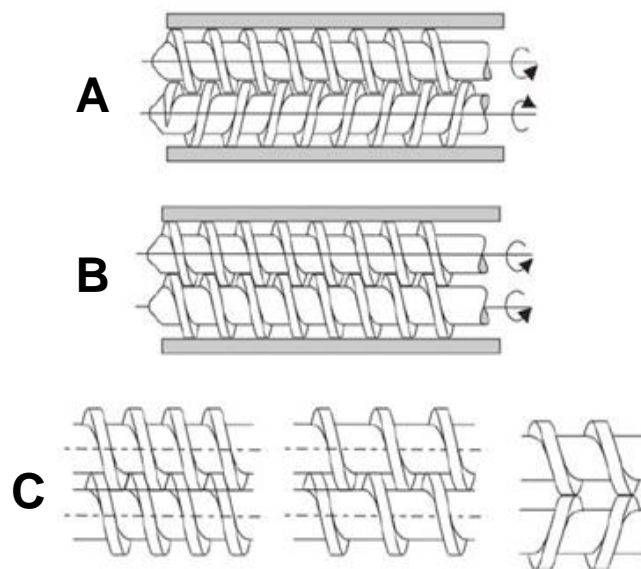


Kaksiruuviekstruudereri



## KAKSIRUUVIEKSTRUUDERIT:

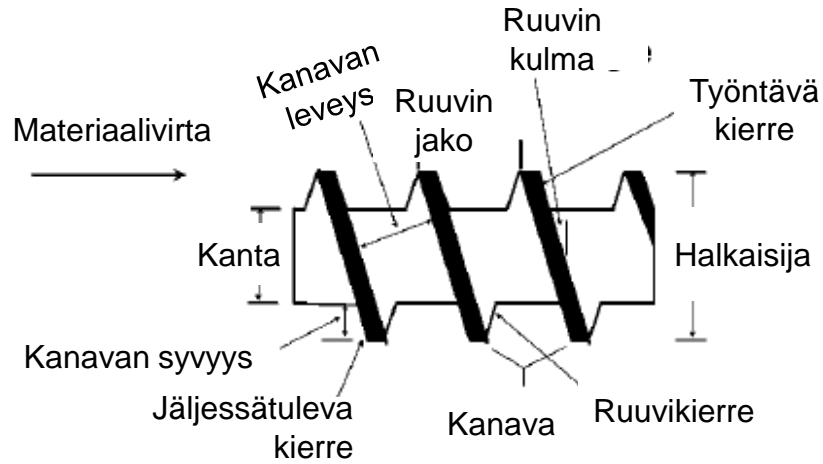
- ❑ Sisältävät kaksi rinnakkaista ruuvia saman sylinterin sisällä. Ruuvien poikkileikkaus on suunniteltu niin, että se mahdollistaa niiden halutun vuorovaikutuksen (**sekoittavat ja sekoittamattomat ekstruuderit**).
- ❑ Voidaan luokitella **saamaan suuntaan ja vastakkaisiin suuntiin pyöriviin** laitteisiin ruuvien pyörimistavan mukaan.
- ❑ Tuottavat **paremman sekoitusvaikutuksen ja viipymääjan säädön** verrattuna yksiruuviekstruuderisiin.



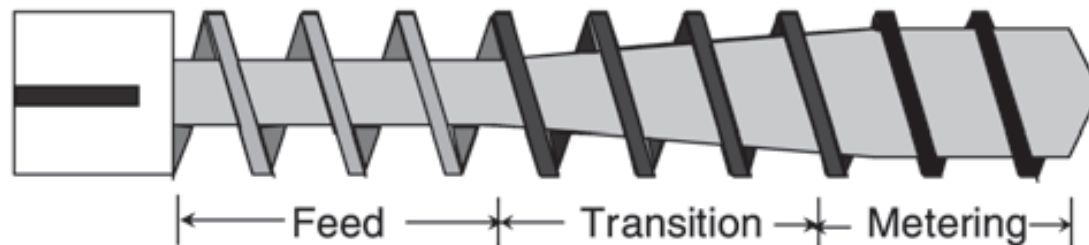
- A. Vastakkaisiin suuntiin pyörivä**
- B. Samaan suuntaan pyörivä**
- C. Ruuvien eriasteisia kytkentöjä**



# Ruuvin geometria



Tyypillisesti **ruuvin pituus L** suhteutetaan ruuvin halkaisijaan **D suhteella L/D**. Tämä suhde sallii ruuvin pituuden ilmaisemisen tiettyjen halkaisijasuhteiden avulla.

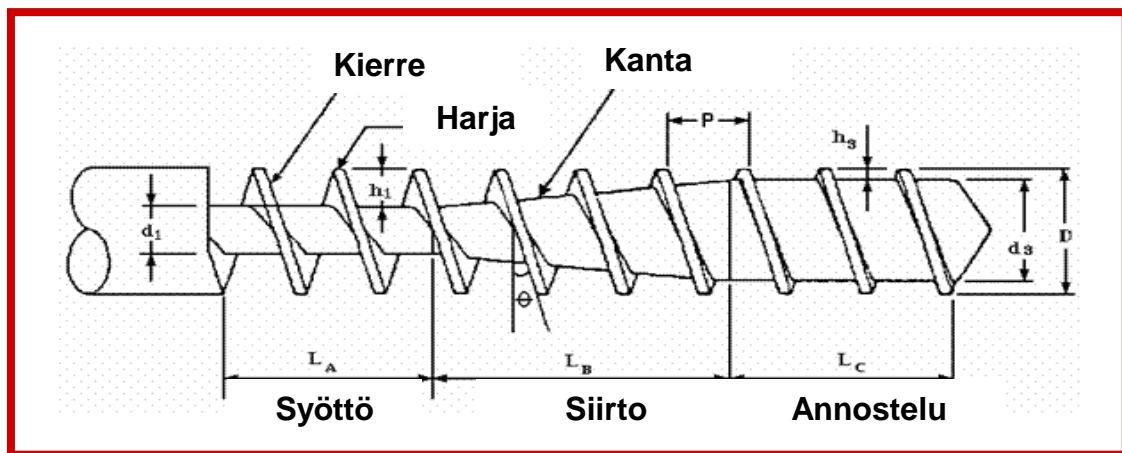


Standardiekstruuderin ruuvin profiilin geometriassa on yleensä kolme osiota:

- a) **Syöttö (feed)**
- b) **Siirtymä (transition)**
- c) **Annostelu (metering).**

# Yksiruuviekstruuderin vyöhykkeet

... RUUVIN GEOMETRISTEN TEKIJÖIDEN perusteella



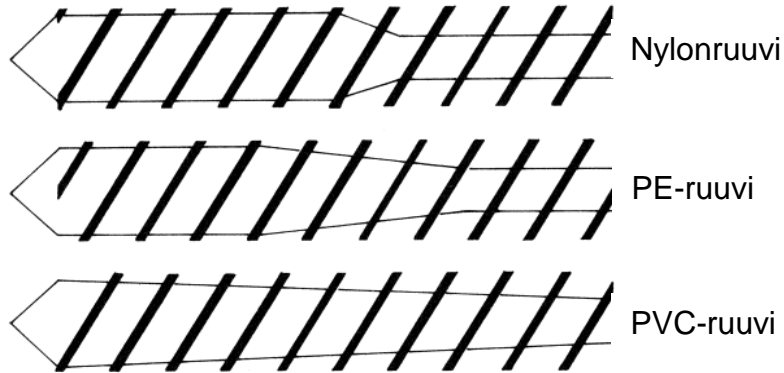
- ❑ **Syöttövyöhykkeellä** ruuvikanavan syvyys on suuri ja vakio, tavoitteena polymeerin tehokas kuljetus ja tiivistäminen.

- ❑ **Siirtövyöhykkeellä** kanavan syvyys pienenee materiaalin kulkusuunnassa, millä saadaan paineistettua polymeeriä. Ruuvin alkupoikkileikkauksen suhdetta loppupoikkileikkaukseen kutsutaan ruuvin **puristussuhteeksi (RC)**.

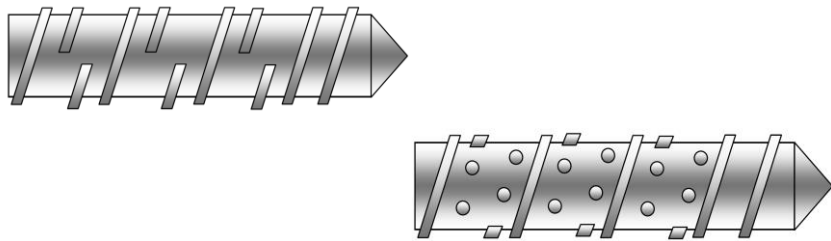
$$RC = \frac{(D - h_1)h_1}{(D - h_3)h_3}$$

- ❑ **Annosteluvyöhykkeellä** ruuvin kierteen korkeus on vakio ja keskiosan poikkileikkaus suurin, tavoitteena sekoittaa ja paineistaa sula koko suulakkeen alueella.

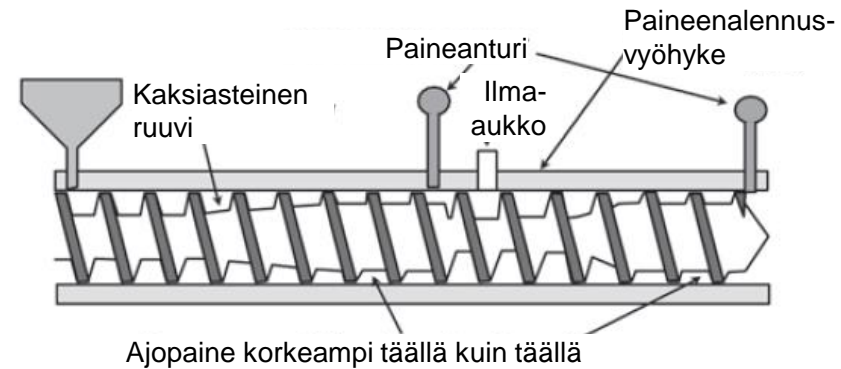




**Amorfisten, asteittain pehmenevien, polymeerien (PVC) käsittelyssä siirtymävyöhyke on lähes koko ruuvin pituinen, kun taas nopeasti sulavilla polymeereillä (nailon), tämä vyöhyke on lyhyempi.**

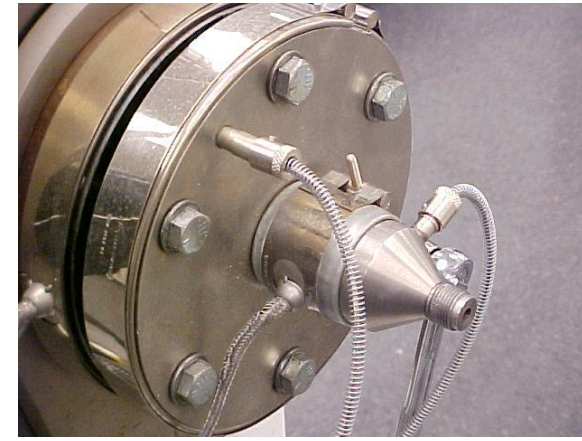
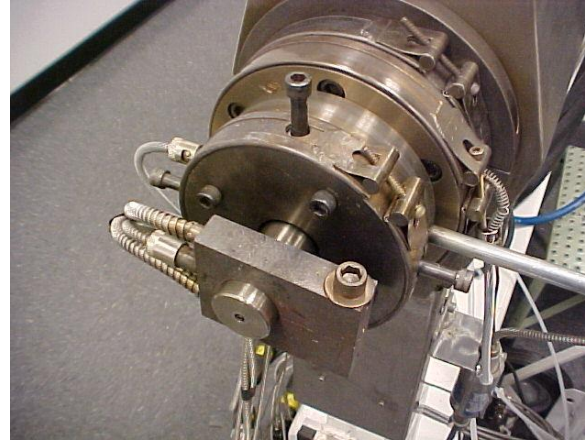
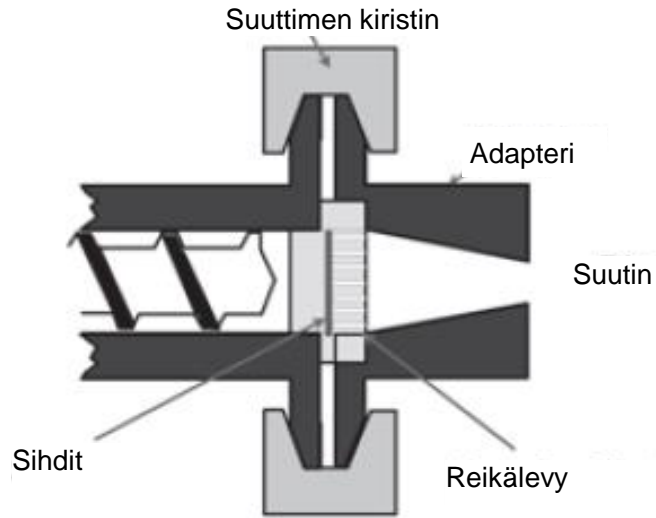


Erityiset **barrier-ruuvit** on suunniteltu maksimoimaan sekä sulatusefekti että sulavirran homogenointi.



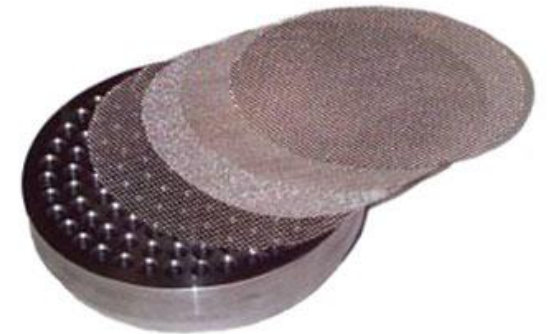
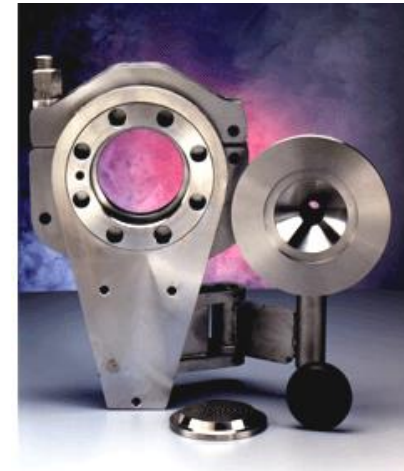
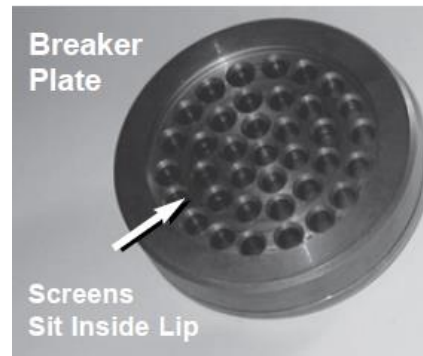
**Kaksiasteinen ruuvi** on ilmastoitu haihtuvien komponenttien ja kosteuden poistamiseksi polymeeristä.

# Ekstruuderipään asennus



## Ekstruuderipään asennukseen sisältyy

- ❑ reikälevy (breaker plate)
- ❑ adapteri
- ❑ suulake.



# Kurssi 1 – Pakkausratkaisujen uudet tuotantoprosessit (3 ECTS)

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

- 1.1. Ekstruusioprosessin perusteet
  - 1.1.1 Ekstruusioprosessi: kuvaus ja laitteet
  - **1.1.2 Yksiruuviekstruusion periaate**
- 1.2. Teolliset prosessit joustopakkausten valmistamiseksi
  - 1.2.2. Kalvoekstruusio
    - *Prosessin kuvaus*
    - *Erilaisia kalvonvalupäitä ja suulakkeita*
    - *Henkarisuulake*
    - *Prosessointiparametrit: vetosuhte, jäähdytystelan lämpötila, suulake – jäähdytystela – etäisyys*
  - 1.2.1. Kalvonpuhallus
    - *Prosessointiparametrit kalvonpuhallusprosessissa*
    - *Vetosuhde ja puhallussuhde*
    - *Jäähdytyskorkeus*

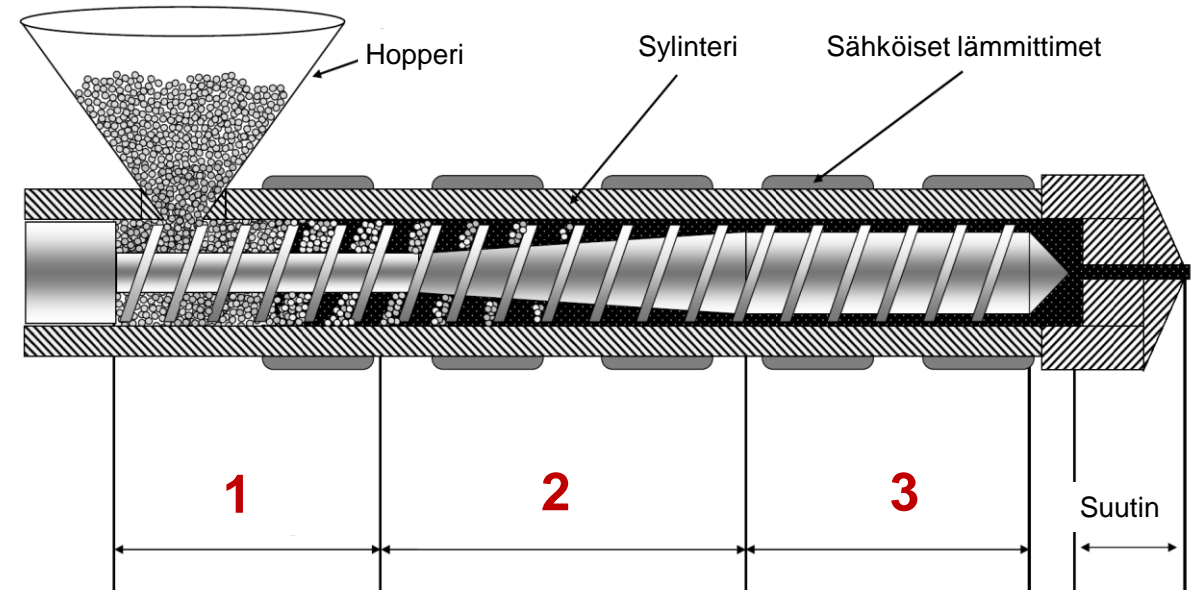


# Yksiruuviekstruuderin vyöhykkeet

Standardi ekstruusioprosessi voidaan kuvata laitteiston toiminnallisten vyöhykkeiden avulla. Nämä vyöhykkeet vastaavat erilaisia polymeerin saamia fysikaalisia ominaispiirteitä matkalla hopperista suulakkeelle.

Toiminnalliset vyöhykkeet jaotellaan yleensä seuraavasti:

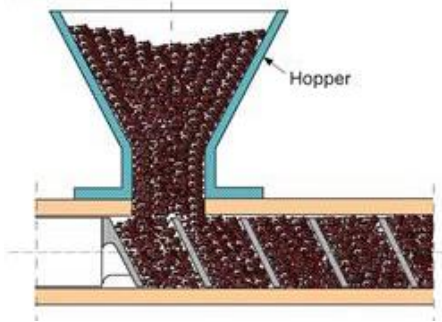
1. kiintoaineen syöttövyöhyke
2. plastisointi- tai sulatusvyöhyke
3. sulan sekoistuvyöhyke.



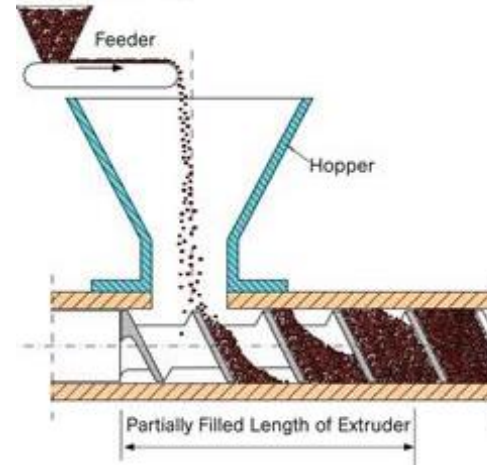
**Ekstruuderin ruuvilla** täytyy olla sopiva **geometria**, jotta se tukee yllä mainittuja prosesseja.

# Polymeerin syöttö ja kiinteän aineen kuljetusvyöhyke

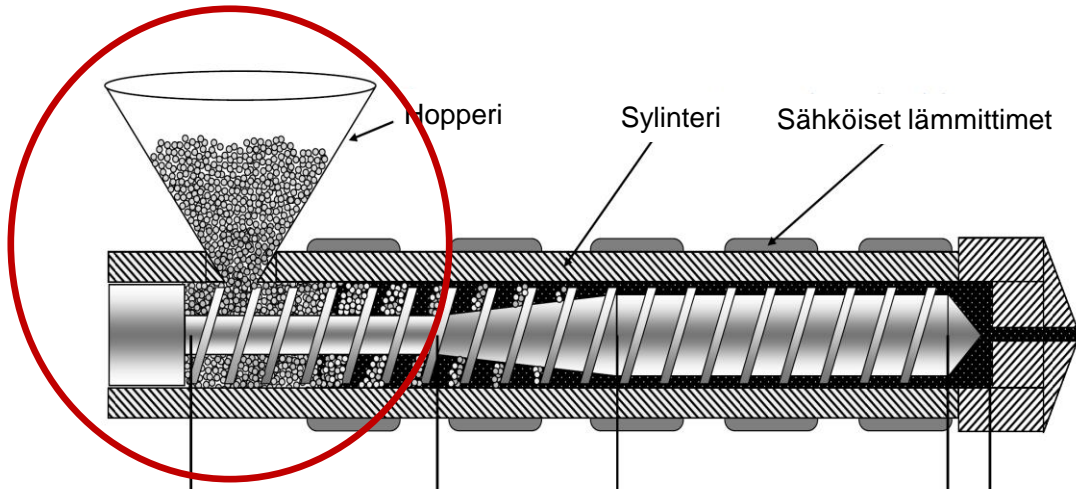
Ekstruuderia voidaan syöttää kahdella tavalla:



**"Tulvasyöttö"** tarkoittaa painovoiman avulla tapahtuvaa polymeeripellettien syöttöä hopperista.

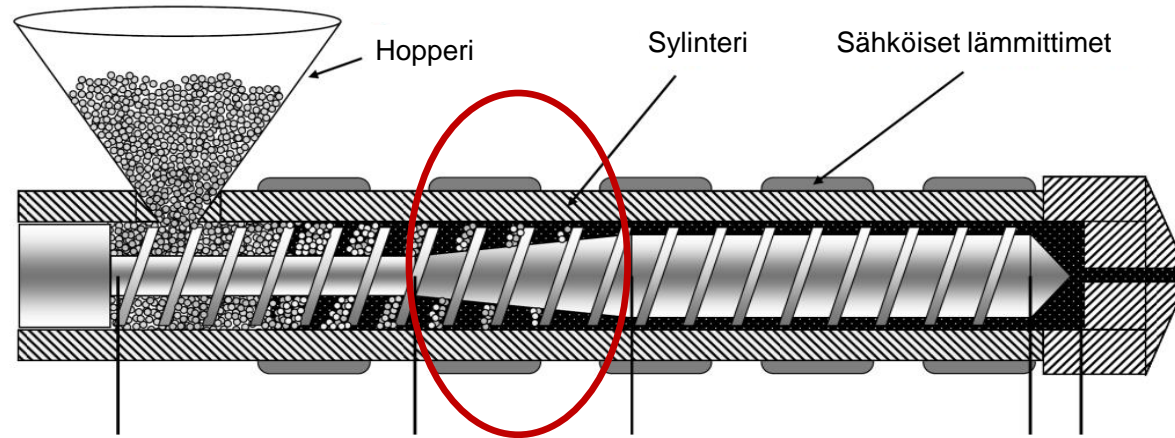


**"Nälkä"** tai **"annosteltu syöttö"** toteutetaan painoon tai tilavuuteen perustuvaan syötön annostelulaitteeseen, joka annostelee tarkasti tarvittavan kiinteän aineen ekstruuderin syöttöosaan.



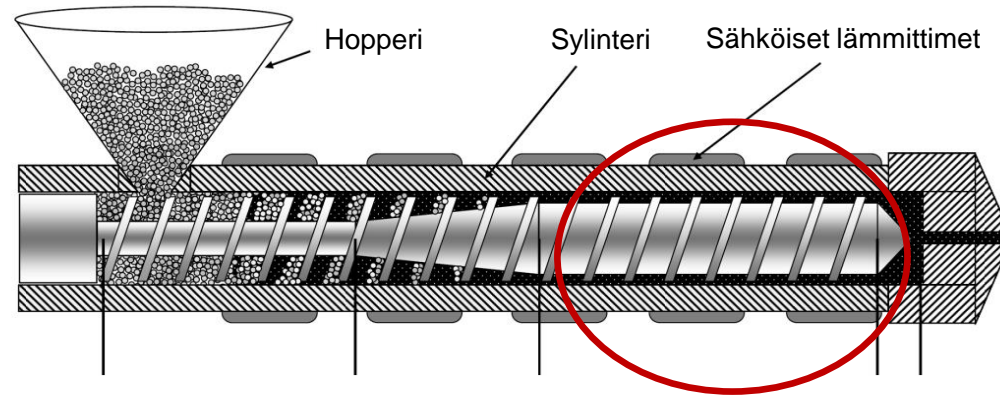
Virtausnopeuden optimoinnin kannalta on tärkeää maksimoida sylinterin ja polymeerin välinen kitka ja minimoida polymeerin ja ruuvin välinen kitkavoima, jolloin materiaali pyörii hitaammin kuin ruuvi ja liikkuu prosessissa eteenpäin.

# Sulatusvyöhyke



- ❑ Sulatusvyöhyke alkaa kohdasta, jossa polymeeri muodostaa sulan kalvon sylinterin pinnalle ja jatkuu, kunnes kaikki ekstruuderissa oleva materiaali on sulassa tilassa.
- ❑ Tässä osiossa ruuvin täytyy kuljettaa pellettejä ja sulattaa ne mahdollisimman lyhyellä matkalla sekä syöttää polymeeriä painegradienttia vastaan.
- ❑ Sulamiseen tarvittava polymeerin **lämpötilan nosto** saadaan aikaan sylinterin sähkövastusten ja **kitkalämmön** yhteisvaikutuksella.

# Sulankuljetusvyöhyke



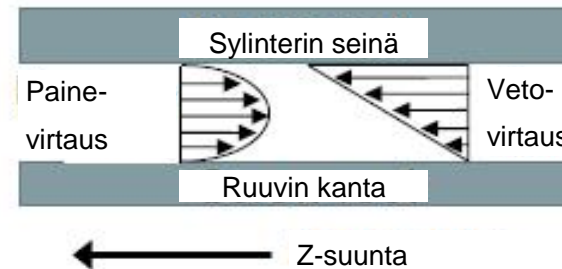
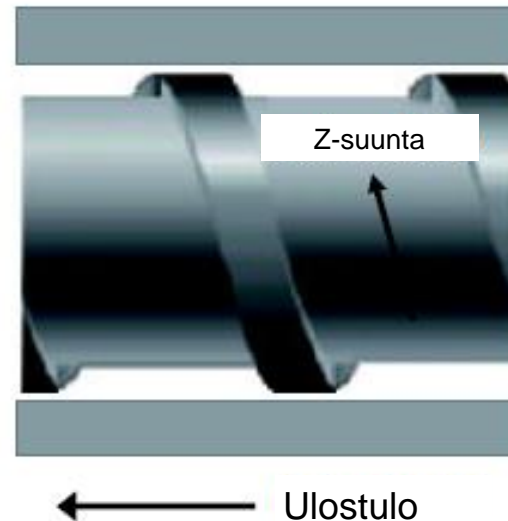
- ❑ **POLYMEERIN REOLOGIALLA** on tärkeä merkitys tällä vyöhykkeellä.
- ❑ Vyöhykkeen analyysien perusteella voidaan määrittellä
  - **sulavirtausnopeus**
  - **prosessiolosuhteet**
  - **ruuvin geometria.**
- ❑ Tällä vyöhykkeellä polymeerisula (korkean viskositeetin neste) täytyy sekä kuljettaa että paineistaa, jotta se läpäisee virtausvastusta aiheuttavan suuttimen.

# Sulankuljetusvyöhyke

Tämän vyöhykkeen analysoinnissa on huomioitava, että **ruuvi toimii aina yhdessä suuttimen kanssa.**

Ekstruuderista ulos tuleva **nettovirtausnopeus  $q$**  ilmaistaan **vetovirtausnopeuden  $q_d$**  ja **vastapainevirtausnopeuden  $q_p$**  erotuksena:

$$q = q_d - q_p$$

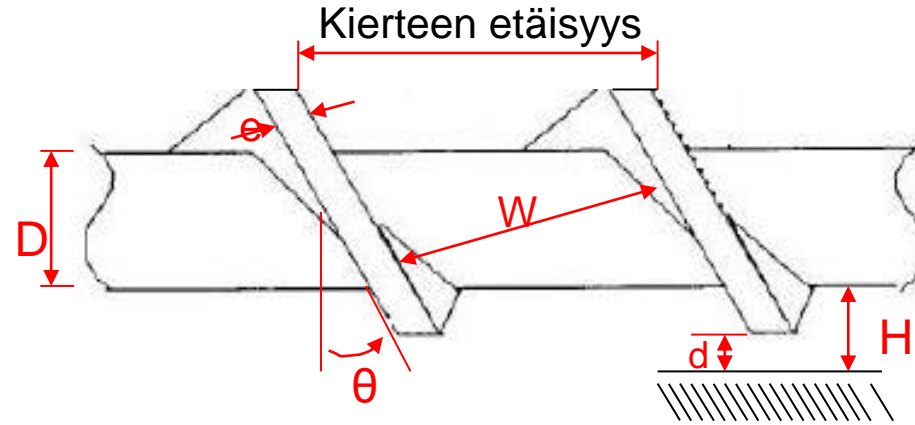




# Ruuvin virtausnopeus

## VIRTAUSANALYYSIN HYPOTEEESIT:

- ❑ kokoonpuristumaton ja newtoniaalinen neste
- ❑ isoterminen ja tasainen virstaus
- ❑ vuotovirtaukset merkityksettömiä
- ❑ gravitaatio ja inertiaalivoimat merkityksettömiä



$$\begin{aligned} H &\ll W \\ H &\ll D \\ H &> d \end{aligned}$$

$$Q = Q_D - Q_P$$

$$Q_D = \frac{wH}{2} \pi D_b N \cos \theta$$

$$Q_P = \frac{wH^3}{12\eta} \frac{\Delta P}{z}$$

### Vetovirtausnopeus:

on riippuvainen ruuvien nopeudesta (N).

### Painevirtausnopeus:

On riippuvainen polymeerin viskositeetista ( $\eta$ ).

Kun kerätään kaikki geometriset tekijät (**A** ja **B** ovat ekstruuderin suunnitteluparametrien funktioita) saadaan:

$$Q = AN - \frac{B\Delta P}{\eta}$$



# Ekstruusiossa varmistettavat parametrit

Tietyn ekstruusiosprosessin optimointi riippuu laitteiden suunnitteluparametreista ja prosessointiolosuhteista.

- Ekstruuderityyppi – yksi- tai kaksiruuvinen
- Ekstruuderin koko – pieni tai suuri
- Ruuvien muotoilu
- Suuttimen muotoilu
- Tuotantonopeus
- Jatkojalostus
- Hartsin tyyppi ja resepti
- Hartsin lisäaineet

Prosessointiolosuhteiden ja suunnitteluparametrien lisäksi **ymmärrys materiaaleista** ja niiden muodonmuutoksista joka vaiheessa on tärkeää.

- Mikä on reseptin reologia ja miten se käyttäytyy eri lämpötiloissa ja leikkauksissa?
- Mitkä ovat sopivat kuivausolosuhteet?
- Miten kosteus vaikuttaa ominaisuuksiin?
- Mikä on oikea sulatuslämpötila?
- Miten paljon materiaali kutistuu?
- Onko polymeeri kiteistä vai amorfista?
- Mitkä ovat vaatimukset jäähdytykselle ( $T_g$  tai  $T_m$ )?





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.