



**Euroopan unionin
osarahoittama**

SeAMK
SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Maidon pastörointiprosessin simulointi

OPLITE-Casebook

Alisa Ala-Huikka

3.7.2025

Seinäjoen ammattikorkeakoulu

Sisällysluettelo

1	Johdanto	3
2	Prosessin kuvaus	3
3	Simulointimallin rakenne ja toteutus	3
4	Tulokset.....	5
5	Johtopäätökset	5

1 Johdanto

Simulointi on turvallinen ja kustannustehokas menetelmä elintarviketeollisuuden yksikköprosessien analysointiin ja kehittämiseen. Tässä pilotissa mallinnettiin maidon pastörintiprosessi MATLAB/Simulink-ympäristössä, osana OPLITE-hanketta, jonka tavoitteena on edistää digitaalisten työkalujen hyödyntämistä prosessi- ja valmistavassa teollisuudessa. Pastörinti on kriittinen prosessi tuoteturvallisuuden varmistamisessa, ja siihen liittyy tiukkoja vaatimuksia lämpötilojen ja viipymäaikojen suhteen.

MATLAB/Simulink tarjoaa lohkopohjaisen mallinnusympäristön, jonka avulla voidaan rakentaa fysikaalisia malleja esimerkiksi virtaus- ja lämpöprosesseista ilman tarvetta itse muodostaa ja ratkaista fysikaalisia yhtälöitä. Simulointimallin avulla voidaan havainnollistaa prosessin eri vaiheita ja niissä tapahtuvaa lämmönsiirtoa, arvioida lämpötekniistä suorituskykyä ja tukea prosessien kehittämistä esimerkiksi opetuksessa tai suunnittelussa.

2 Prosessin kuvaus

Maidon pastörintiprosessi koostuu regenerointivaiheista, varsinaisesta pastöroinnista sekä jäädytyksestä. Prosessin aikana raakamaito lämpenee asteittain, koska poistuvasta, pastöroidusta maidosta siirretään lämpöenergiaa tulevaan raakamaitoon lämmöntalteenoton avulla. Lopuksi maito jäädytetään nopeasti turvalliseen varastointi- tai pakkauslämpötilaan, mikä on olennainen osa elintarviketurvallisuutta ja tuotteen laatua.

Tässä työssä keskityttiin mallintamaan lämpötilakehitystä näiden vaiheiden läpi. Simuloinnin tavoitteena oli tarkastella energiansiirron tehokkuutta, arvioida regeneroinnin vaikutusta energiansäästöön sekä vertailla eri syöttölämpötilojen merkitystä kuumennus- ja jäädytystarpeisiin. Mallin avulla haluttiin tuottaa tietoa prosessin lämpöteknisestä toiminnasta ja tukea energiatehokkuuden ja kapasiteettilaajennusten suunnittelua.

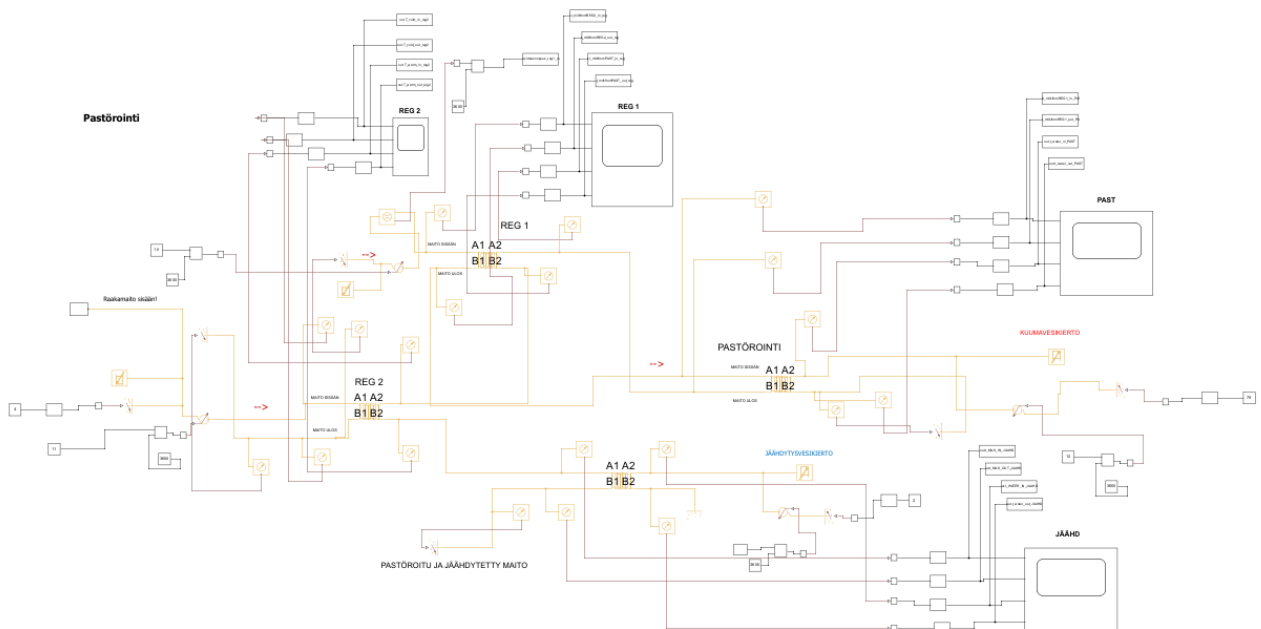
3 Simulointimallin rakenne ja toteutus

Simulointimalli (kuva 1) toteutettiin MATLAB/Simulink-ympäristössä käyttäen peruskomponentteja ja lämmönsiirtomalleja, jotka vastaavat levylämmönvaihtimen

käyttäytymistä. Malli toimii tasapainotilassa, eli se ei ota huomioon prosessin dynaamisia muutoksia ajan funktiona, vaan kuvaa tilannetta jatkuvalla virtausnopeudella ja vakioolosuhteissa.

Mallissa mallinnettiin seuraavat osa-alueet:

- Maidonsyöttö tietyllä lämpötilalla ja virtausnopeudella
- Lämmönsiirto kuuman veden ja maidon välillä (lämmitysvaihe)
- Lämmönsiirto maidosta maitoon (regenerointivaiheet)
- Lämmönsiirto jäähdytysveden avulla
- Lämpökapasiteetti, virtausnopeus ja lämmönsiirtokerroin vaihteittain



Kuva 1. Simulointimallin lohkokaavio Simulinkissa.

Simulointimalli ei sisällä automaattisia säätöjä tai ohjaussilmukoita, vaan se toimii kiinteillä syöttöarvoilla. Tämä mahdollistaa suoraviivaisen analyysin eri skenaarioista, kuten:

- Mitä tapahtuu, jos kuuman veden lämpötila laskee?
- Miten suuri vaikutus regenerointivaiheilla on lopulliseen energian tarpeeseen?
- Kuinka tehokasta jäähdytys on eri jäähdytysveden lämpötiloilla?

Mallia voidaan jatkossa laajentaa dynaamisilla elementeillä, jolloin myös viipymäajat ja lämpötilojen muutokset ajan funktiona voidaan huomioida.

4 Tulokset

Simuloinnin perusteella todettiin, että malli kykenee luotettavasti kuvaamaan maidon pastörintiprosessin lämpökäyttäytymistä regeneroinnin, pastöroinnin ja jäähdytyksen aikana. Mallin avulla saatiin käsitys raakamaidon lämpötilan muutoksista prosessin eri vaiheissa ja lämmönsiirron tehokkuudesta virtauksien välillä. Lisäksi simulointi auttoi arvioimaan, kuinka paljon kuumennustehoa tarvitaan pastörintivaiheessa erilaisilla syöttölämpötiloilla.

Mallissa havaittiin kuitenkin myös eroja regenerointivaiheiden toiminnassa. Regenerointi 1 osoittautui simuloinneissa tehokkaammaksi kuin regenerointi 2, mikä voi liittyä esimerkiksi levyjen määrään, virtausnopeuksiin tai lämpötilaeroihin. Todellisessa prosessissa vastaavaa ilmiötä ei voida suoraan vahvistaa, koska käytettävissä ei ole mittauksia jokaisen välivaiheen lämpötiloista. Tämä kuitenkin kuvastaa mallin hyödyllisyyttä prosessin ymmärtämisessä ja mahdollisten pullonkaulojen havaitsemisessa.

Toteutetulla simuloinnilla pystyttiin myös arvioimaan, kuinka paljon kuumennustehoa tarvitaan eri syöttölämpötiloilla. Tämä tarjoaa arvokasta tietoa esimerkiksi kapasiteetin kasvattamista tai energiatehokkuuden parantamista suunniteltaessa.

5 Johtopäätökset

Tässä työssä rakennettu simulointimalli osoitti, että pastörintiprosessin lämpötilojen kehitys ja lämmönsiirto voidaan kuvata luotettavasti vakio-olosuhteissa. Mallin avulla voidaan arvioida, miten syöttölämpötilan, virtausnopeuden tai laiteparametrien muutokset vaikuttavat prosessin energiatehokkuuteen ja lämpötekniseen toimintaan.

Vaikka malli on yksinkertaistettu ja perustuu vakioarvoihin, se tarjoaa hyvän pohjan prosessin ymmärtämiselle ja jatkokehitykselle. Käytännön prosessissa esiintyvät ilmiöt, kuten likaantuminen, lämpöhäviöt ja säätöjen viiveet, voivat kuitenkin aiheuttaa eroja simuloitujen ja todellisten tulosten välille.

Jatkokehityksen kannalta mallia voidaan täydentää esimerkiksi:

- dynaamisilla viipymäajoilla ja siirtymätilojen simuloinnilla
- painetappioiden ja pumppujen mallinnuksella

- automaattisten säätöpiirien lisäämisellä

Vaikka simulointiin jäi vielä yksinkertaistuksia, malli tarjoaa jo nyt hyödyllistä tietoa prosessin energiavirroista ja lämmönsiirron toiminnasta. Mallia voidaan hyödyntää erityisesti pastörintiprosessin kehittämisessä, kuten energiatehokkuuden arvioinnissa, kapasiteetin kasvattamisen suunnittelussa tai lämmönsiirtolaitteiden mitoituksen tarkastelussa. Lisäksi työ vahvistaa, että MATLAB/Simulink soveltuu hyvin elintarviketeollisuuden lämpöprosessien mallintamiseen ja tarjoaa joustavat työkalut erilaisten skenaarioiden ja muutostilanteiden analysointiin.