

Asiakas	Ruokalaakso
Projekti	Tiedon ja osaamisen lisääminen marjojen pakastusprosessista
Asiakirja	Raportti
Päiväys	20.11.2020
Laatija	Timo Puputti
Revisio	

SISÄLLYSLUETTELO

1. YLEISTÄ	3
2. YLEISTÄ TUNNELIPAKASTUKSESTA	3
2.1. Esijäähdytyksen vaikutus	4
2.2. Pakastusprosessin lopetus.....	5
2.3. Sulatus	5
2.4. Ilmakierto tunnelin sisällä	6
3. KYLMÄKONEISTO	7
4. OLOSUHTEET PAKASTUKSEN AIKANA	8

1. YLEISTÄ

Tämä selvitystyö keskittyy marjojen teollisen pakastusprosessin energiatehokkuuden parantamiseen. Selvitystyössä käytiin läpi kahden alan toimijan pakastusprosessia, käsittäen toimet ennen marjojen pakastamista, pakastamisen aikana ja pakastamisen jälkeen varastoinnin aikana. Selvitystyö oli rajattu marjojen tunnelipakastukseen sekä marjoista mansikan ja mustaherukan teolliseen pakastamiseen.

Selvitystyössä hyödynnettiin taustamateriaalina Ruokalaakson yhteistyöyritysten olemassa olevaa, pakastusprosessien aikana kerättyä ja keräämää mittausdataa.

2. YLEISTÄ TUNNELIPAKASTUKSESTA

Tunnelipakastus on eräluonteinen pakastusprosessi. Tunneliin lastataan tuotteet astioissa niin, mahdollisimman suuri osa kylmästä ilmasta kiertää tuotteiden läpi. Haastavaa tässä tavassa on tuotteiden pakkausastiat ja niiden ilmanläpäisy. Tunneliin ei pitäisi jäädä ilmalle oikosulkureittejä, joista ilma voi kiertää tuotteen esim. tuotepinojen ja välikaton välistä. Samalla tuotelaatikossa ilman läpivirtauksen on oltava riittävää, jotta lämpö siirtyy pakastettavasta tuotteesta ilmaan.

Tyypillisesti pakastusprosessin aikana lämmönjohtavuus ja ominaislämpökapasiteetti riippuvat kulloisestakin tuotteen lämpötilasta, ne eivät siis ole vakioita.

Tuotteen pakastaminen voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen:

- 1 Esijäähdytys jäätyislämpötilaan asti
- 2 varsinainen pakastus jäätyislämpötilassa
- 3 lämpötilan lasku

Pakastusprosessiin vaikuttavat useat eri tekijät. Näitä ovat mm.:

- pakastettavan tuotteen muoto
- pakastettavan tuotteen pakkaus
- pakastettavan tuotteen lämpötekniset ominaisuudet.

Siksi pakastusajan tarkka määrittäminen perustuu enemmän käytännön kokemukseen kuin teoreettisiin laskelmiin. Ns. ylipakastaminen aiheuttaa lisääntyntä energiankulutusta.

Jokaisessa pakastuksen vaiheessa kompressorin imulämpötila voi olla eri. Mitä korkeampi höyrystymislämpötila, sitä energiataloudellisemmin kylmäkompressori toimii. Kompressorin imulämpötila ei voi olla liian korkea, koska silloin lämmön siirto pakastettavasta tuotteesta heikkenee. Toisaalta myöskään huonoa tunnelissa tapahtuvaa lämmönsiirtoa ei pitäisi kompensoida liian matalalla imulämpötilalla, vaikka sillä saadaankin kasvatettua tuotteen pintalämpötilan ja ilman lämpötilaeroa.

Koska kompressori ja höyrystin hakeutuvat tasapainotilanteeseen kulloinkin olevan lämpökuorman mukaan, monesti ilman tehonsäätöäkin kompressorin höyrystymislämpötila reagoi samansuuntaisesti eli höyrystymislämpötila laskee vasta,

kun pakastusprosessi on edennyt jäätyamisen jälkeiseen aikaan. Tämä toki edellyttää tunnelin kylmätehon mitoituksen olevan oikea ja tunneleiden täyttöasteen vastaavan mitoituslannetta. Vajaalla tunnelilla pakastettaessa kompressorin imulämpötila laskee nopeasti, jolloin myös energiakulutus kasvaa. Energiankulutusta kasvattavat lisäksi myös puhallintyön ja sulatukset. Puhaltimet kierrättävät tyypillisesti saman määrän ilmaa riippumatta tunnelin käyttöasteesta. Sulatuksien ajastus on yleensä vakio eikä riipi höyrystimien jään kertymisestä.

Kirjallisuudessa on tehty testejä pakastustunneleille, joissa puhaltimien pyörimisnopeutta on muutettu siten, että jokaiselle pakastusvaiheelle on oma nopeutensa. Puhaltimen kierrosluvun pienentäminen säästää puhaltimien käyttämissä sähkötehosta ja samalla myös tunnelin sisälle tulevassa lämpökuormassa. Säädön käyttäminen pidentää koko pakastusprosessin aikaa. Lisäksi sen hyöty tulee paremmin esille silloin, kun tuotteen lämmönläpäisy/siirto on rajoittava tekijä.

Nämä testit on tehty pahviin pakatuille lihatuotteille. Marjojen pakastuksessa saavutettava säästö lienee pieni.

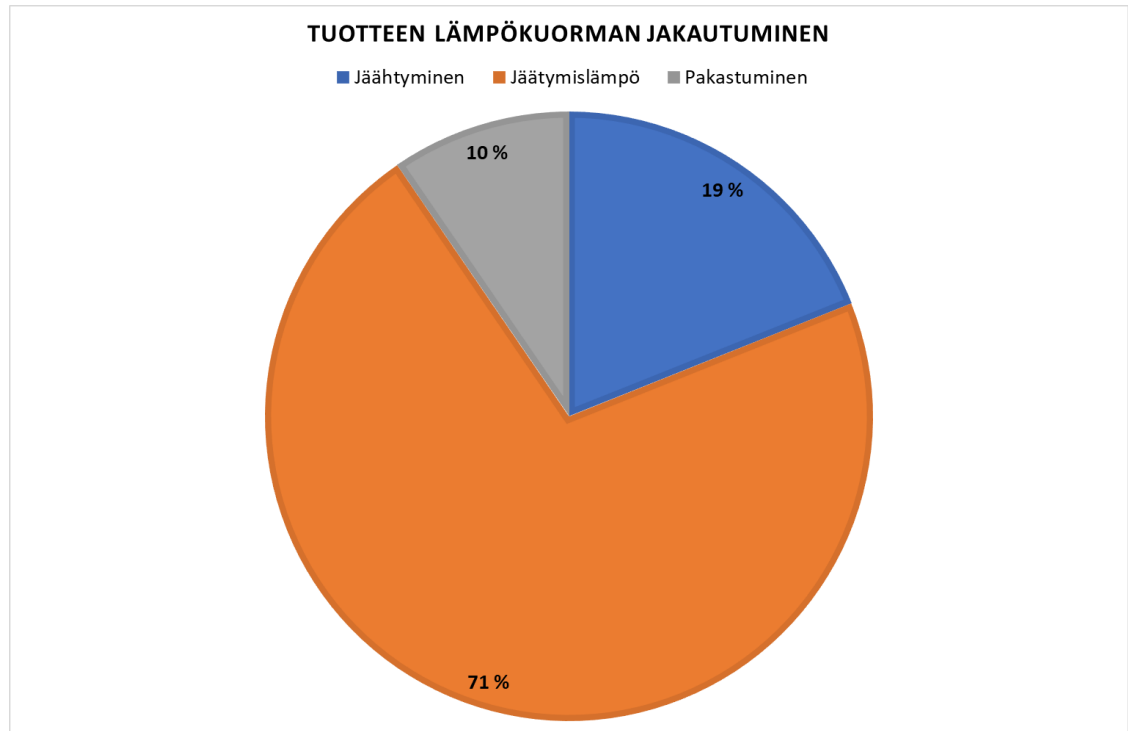
Pakastusprosessia energiatalouttakin tärkeämpi on pakastettavan tuotteen laatu. Laatuun vaikuttaa eniten itse pakastusvaiheen eteneminen ja siinä syntyvä kiderakenne. Esijäähdytysvaiheen vaikutus tuotteen laatuun ei pakastusprosessin kannalta itsessään ole kriittinen. Tosin jos esijäähdytystä käytetään osana logistiikkaketjua, saadaan esijäähdytyksellä pidettyä tuotteen laatu hyvänä pakastusvaiheeseen asti. Ja parempana verrattuna lämpimänä pakastusta odottavaan tuotteeseen.

2.1. Esijäähdytyksen vaikutus

Pakastettavien tuotteiden esijäähdytys ns. kylmiölämpötilassa parantaa energiataloutta, koska tuotteesta saadaan osa lämmöstä pois korkeamman kylmäkertoimen omaavalla järjestelmällä.

Jos esijäähdytys tehdään kylmiölämpötilan kylmäkoneistolla, saavutetaan noin 3 - 4% sähkön säästö pakastusprosessissa.

Kuvassa 1 on esitetty tuotteen pakastamisvaiheen lämpökuorman jakautuminen. Kuvassa jäähtymisvaihe on laskettu jäädyttämättömälle tuotteelle.



Kuva 1. tuotteen pakastamisvaiheen lämpökuorman jakaantuminen tuotteen jäähtymiseen ennen pakastuslämpötilaa, itse pakastusvaiheeseen ja sen jälkeiseen lämpötilan laskuun pakasteena.

2.2. Pakastusprosessin lopetus

Pakastuksen lopetushetken määrittäminen on tärkeitä, jotta vältetään ns. ylipakastus. Ylipakastuksessa pakastusta jatketaan, vaikka tuotteiden keskilämpötila on jo riittävän matala. Oikean lopetushetken määrittäminen edellyttää tuotteiden lämpötilojen mittausta ja käytännön kokemusta. Tuotteen lämpötila-anturin sijoitus pitää olla hitaimmin pakastuvassa kohdassa. Myös tämän kohdan valinta edellyttää vankkaa kokemusta ko. tunnelin ominaisuuksista.

Pahimmillaan ylipakastaminen pitää kylmäkoneistoa turhaa osateholla käytössä, jolloin ei tuotteen lämpötila enää juurikaan muutu, ainoastaan sähköä kuluu. Lisäksi, jos höyrystimien sulatukset perustuvat pelkästään aikaa, saattaa liian pitkään jatkuva ylipakastus-jakso aiheuttaa myös ylimääräisiä sulatuksia.

2.3. Sulatus

Pakastamisen alkuvaiheessa tuotteesta irtoaa voimakkaasti kosteutta, joka jäätyy höyrytimeen pienentäen höyrytimen tehokasta lämmönsiirtopintaa. Siksi höyrytimiä on sulatettava pakastusprosessin ajan säännöllisesti. Ensimmäisen sulatuskerran

ajankohta riippuu höyrystimen lämmönsiirtopintojen ominaisuuksista sekä pakastettavan tuotteen ”märkydestä” eli siitä nopeasti irtoavasta vedestä.

Koko pakastusprosessin aikana tuotteesta haihtuu kosteutena joitakin prosentteja vettä. Sulatus edellyttää isoja sulatustehoja. Isojen tehojen takia sähkösulatus on aiheuttaa kustannuksia ja siksi kuumakaasu tms. ilmaisenergialla tapahtuvia sulatuksia on kannattaa käyttää, mikäli valittu kylmäjärjestelmä ne mahdollistavat.

2.4. Ilmakierto tunnelin sisällä

Ilman kierto tunnelin sisällä vaikuttaa merkittävästi pakastusprosessin läpimenoaikaan. Tuotteen pinnalla oleva liian pieni ilman nopeus hidastaa lämmönsiirtoa tuotteesta.

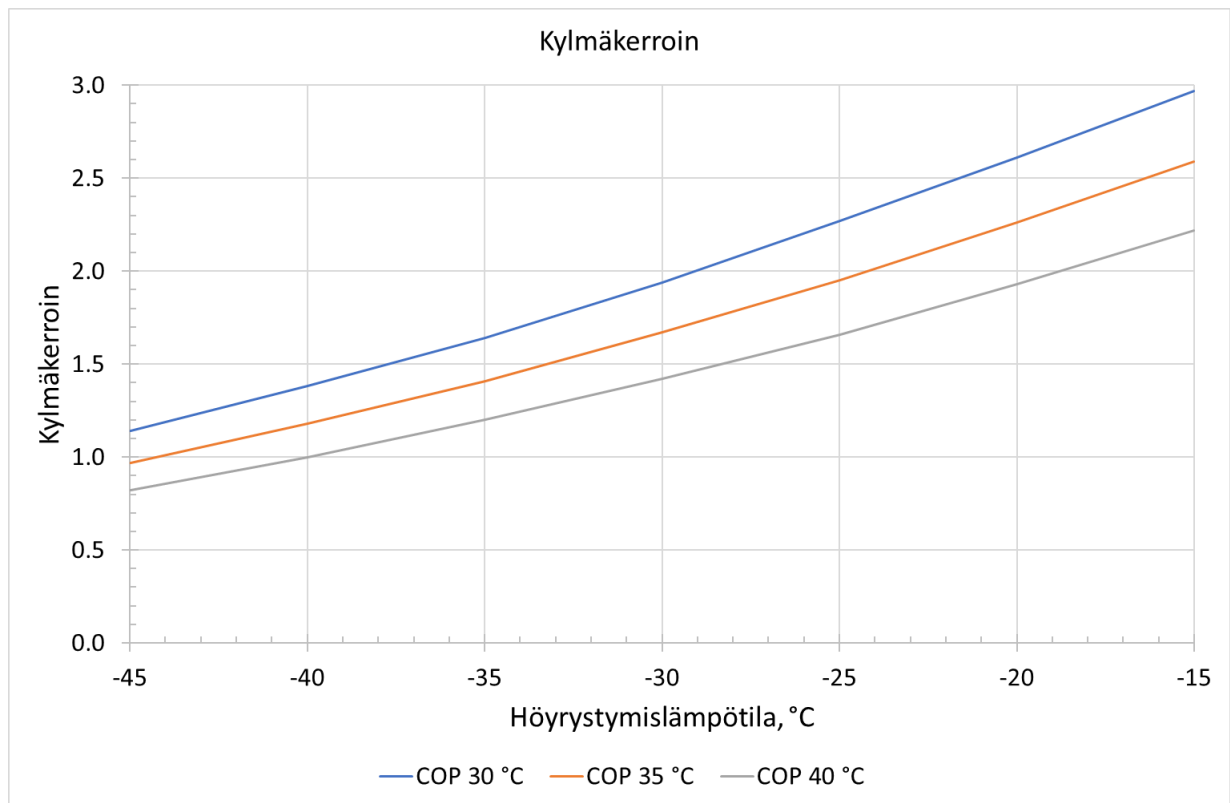
Toisaalta pelkkä suuri ilmamäärä ei takaa tai tarkoita tehokasta lämmönsiirtoa, jos ilma kiertää tuotteiden ohi.

Ilman kiertoa voidaan parantaa mm.:

- tukkimalla höyrystimen ja seinän väliset vapaat aukot
- käyttämällä laskettavaan alakattoa, jolla pienennetään tuotteiden yläpuolelle jäävää tyhjää tilaa
- täyttämällä tunneli suunnitelman mukaisesti
- varustamalla tunneli ilman ohjauslevyillä, joilla saadaan virtaus jouheammaksi

3. KYLMÄKONEISTO

Kylmälaitoksen tehokkuuteen vaikuttaa merkittävästi kompressorin toimintaolosuhteet. Oheisessa kuvassa on erään kompressorin kylmäkerroin eri höyrystymis- ja lauhtumislämpötiloilla.



Kuva 2. Kompressorin kylmäkerroin eri lauhtumislämpötiloilla (+30 °C, +35 °C ja 40 °C). Kompressorina puolihermeettinen ekonomais-kytkennällä varustettu ruuvikompressor.

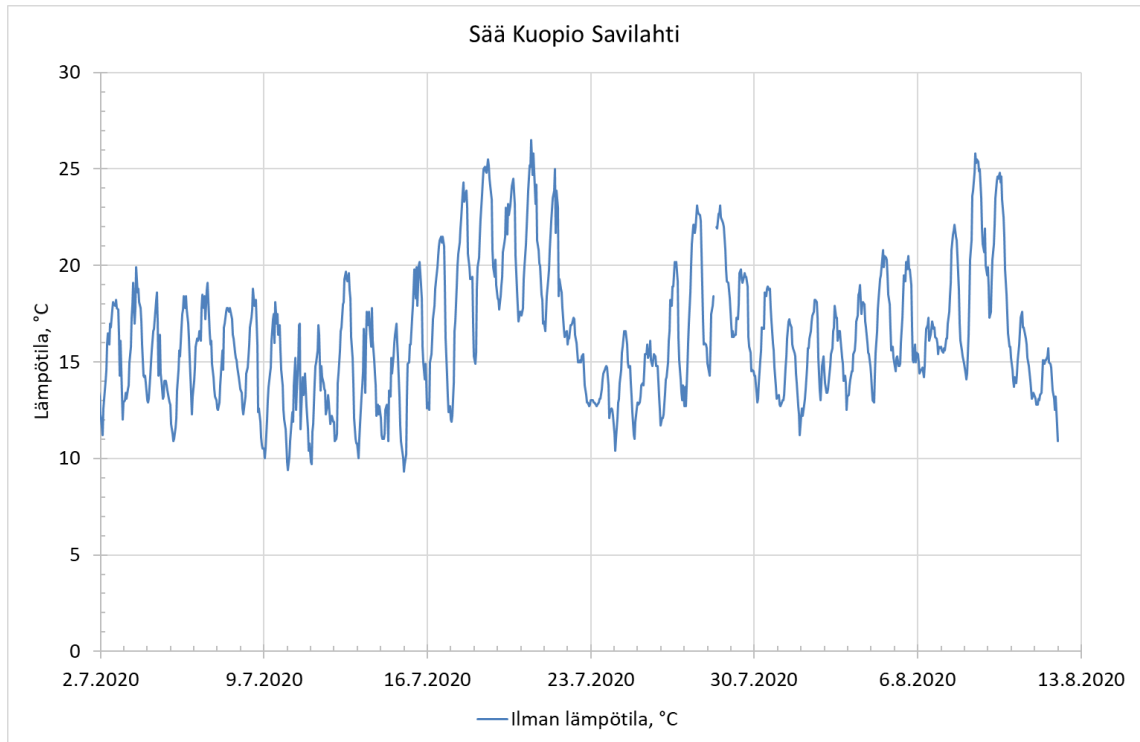
Pakastamisprosessissa syntyy paljon lauhdelämpöä, jota kannattaa hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Marjojen pakastaminen tapahtuu pääosin lämpimänä tai melko lämpimänä vuoden aikana, ja siksi sen hyödyntäminen mm. normaaliin kiinteistön lämmityksen on melko tarpeetonta.

Muita hyödyntämismahdollisuuksia ovat:

- pesuvesien lämmitys
- pakkasvarastojen routasuojalämmitys
- lauhdelämmön siirtäminen lämpöpumpulla kaukolämpöverkkoon

4. OLOSUHTEET PAKASTUKSEN AIKANA

Pakastamisen energiatalouteen vaikuttaa myös käytetty lauhtumislämpötila. Mitä matalampi lauhtumislämpötila, sitä energiatehokkaammin kompressorit toimii.



Kuva 3. Mittausjakson aikainen sää Ilmatieteen laitoksen Kuopion Savilahden mittausaseman mukaan.

Suuruusluokkana jokainen asteen lauhtumislämpötilan lasku parantaa kylmälaitoksen energiatehokkuutta noin 3 %:ia.

Lauhduttimien lämmönsiirtopintojen puhtaus vaikuttaa lauhtumislämpötilaan. Siksi lauhduttimien pintojen puhtaus kannattaa varmistaa vielä erityisesti ennen pakastusajan alkamista.