

Mahe sõstrakasvatuse põllupäev Polli
16.07.2021

Külmkuivatamise töötlemisvõimalustest Aiandusklastri MTÜ projektis

Peeter Laurson
peaspetsialist

Polli Aiandusuuringute Keskus, Eesti Maaülikool



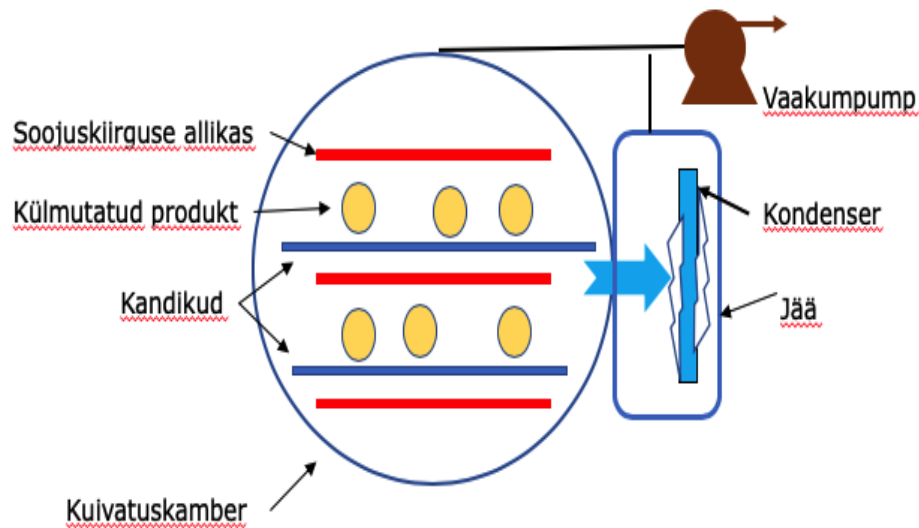
Külmkuivatamine on kuivatamismeetod mille käigus vesi eemaldatakse külmutatud materjalist jääkristallide sublimatsiooni teel st. tahke aine muundatakse gaasiliseks ilma vahepealse veeldumiseta. Jääkristallide sublimatsioonil aurustub jää ilma, et vahepeal moodustuks vesi.



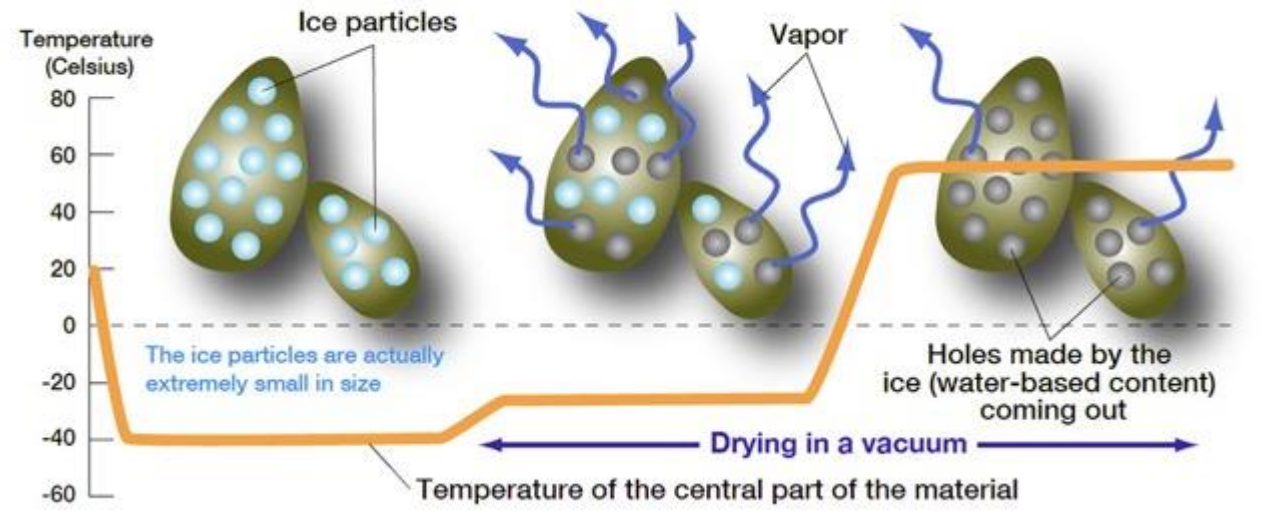
www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Külmkuivatamise protsessis eristatakse kolme etappi:

1. Külmutamine
2. Primaarne kuivamine
3. Sekundaarne kuivamine



Process of Vacuum Freeze Drying



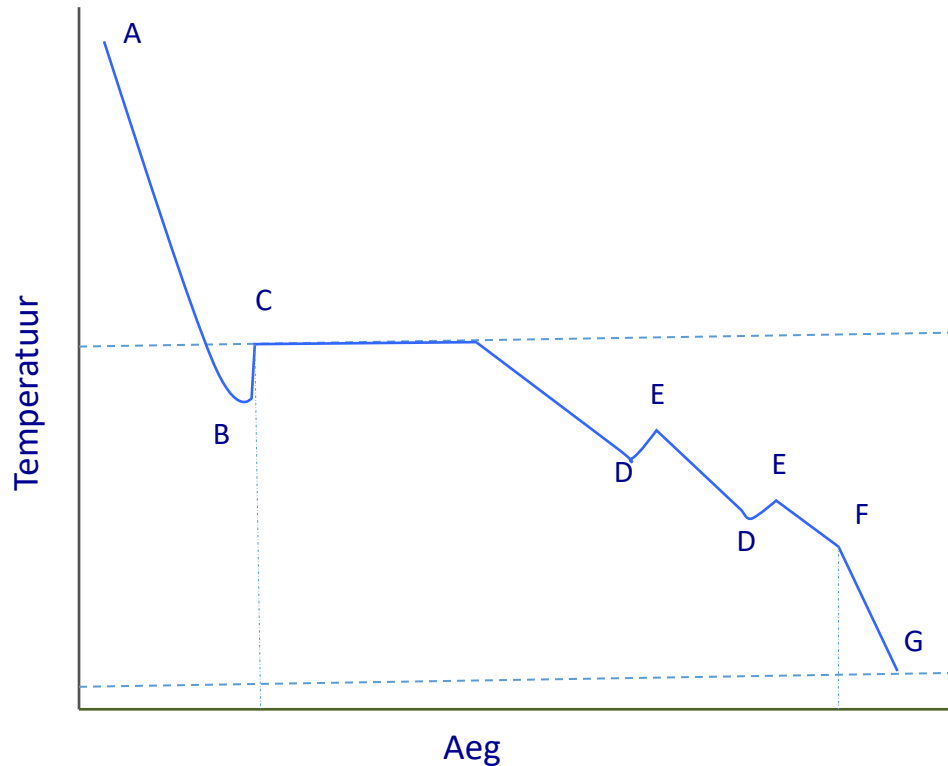
<http://www.ulvac.com.sg>



Jahutamine ja külmumine

- Vedeliku jahtumine on protsess mille käigus materjali temperatuur alaneb, termiline energija ülekandmisel jahutile, faasisiirde temperatuurini või alla selle.
- Allajahtumine (ülejahtumine, superjahtumine) on aine jahtumine alla temperatuuri, kus ta peaks siirduma teise faasi.
- Faasisiiret jahtumisel ei toimu!
- Külmumine ehk jäätumine on vee ja vesilahuste tahkesse olekusse ülemineku protsess. Tekivad jää kristallid.





<https://www.marketizer.com/articles/freezing-foods-2685270.htm>

- AB- toiduaine jahutatakse, isegi alla külmumispunkti (alljahtumine) jääb vesi vedelaks
- BC- hakkavad moodustuma jääkristallid, temperatuur tõuseb kiiresti külmumistemperatuurini, vabaneb latentne soojus
- CD-toimub jääkristallide moodustumine, vee kontsentratsiooni vähenemisel suureneb lisandite kontsentratsioon ning külmumistemperatuur alaneb
- DE- üks lahustest jõuab küllastumiseni ja kristalliseerub. Varjatud soojuse vabanemine suurendab alles jäänud lahuse eutektilist temperatuuri
- FG- jätkub kristallisatsioon



Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

www.emu.ee

Vee kristallumine ja klaasistumine

A- puhta vee molekulid on väga liikuvad

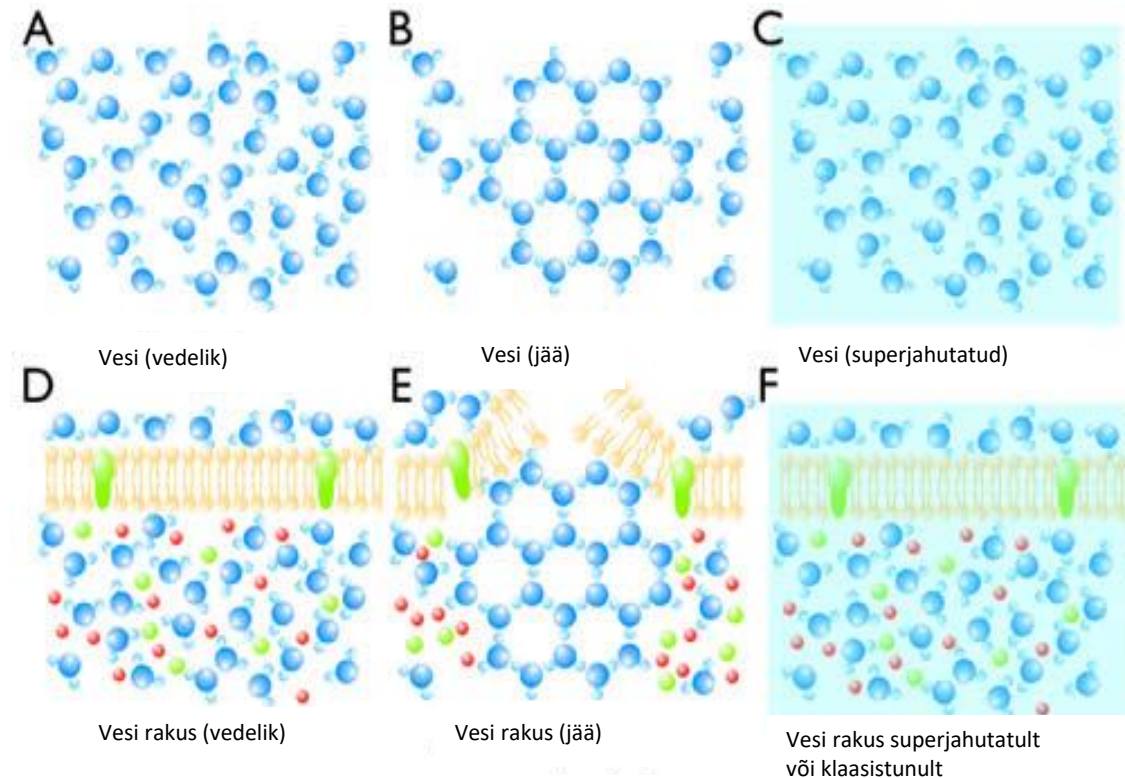
B- kui temperatuur langeb 0°C algab Kõlmumistsentrite tekkimine ja kristallumine

C- kõlmumistsentrite tekkimiseni võib vesi jahtuda ka alla 0°C ehk allajahtuda

D- ka rakusiseses vee molekulid on väga liikuvad vaatamata tsütosooli ehk rakuvedeliku olemasolule

E- jääkristallide moodustumine võib lõhkuda rakumembraani

F- suuremal rõhul võib raku sees olev vesi allajahtuda ning isegi klaasistuda. Rakumembraan jääb terveks



<https://advanced-microscopy.utah.edu/education/electron-micro/>



www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

- Külmkuivatatava materjali jahutamise ja külmutamise tingimused avaldavad otsest mõju nii külmkuivatusprotsessi toimumise jõudlusele kui ka kuivanud materjali struktuurile, lahustuvusele, sisalduvale jääniiskusele ja kvaliteedile. ⁽²⁾
- Aeglasel külmumisel tekivad suuremad jääkristallid kiiremal, aga väiksemad jääkristallid. ⁽³⁾

Kiirkülmutamine 50 °C /min (vedel lämmastik)

Keskmise kiirusega külmutamine 1-1,5 °C /min so. 5 tundi -10 kraadil

Aeglane külmutamine 0,14 °C/ min



www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Primaarne kuivatusfaas

- Esmases kuivatusfaasis alandatakse kuivatuskambri rõhku mõne millibaarini ja alustatakse jäätunud materjali soojendamist, mis põhjustab sublimatsiooni protsessi.
- Eralduv veeaur püütakse kinni madal temperatuuril (tavaliselt alla $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$) hoitavaal kondensaatorkehal.
- Soojendamisel tuleb silmaspidada, et lisatav soojus ei põhjustaks külmunud materjali sulamist. Samuti peab jälgima, et sublimeerumise intensiivsus oleks kooskõlas kondensaatorkeha võimega kondenseerida.
- Primaarses kuivatusfaasis eemaldatakse materjalist ligikaudu 90% sisalduvast veest.



www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Sekundaarne kuivatusfaas

- Sekundaarse kuivatamise eesmärk on eemaldada materjalis absorbeerunud veemolekulid ehk jääkniiskus.
- Absorbeerunud vee eraldamiseks tõstetakse temperatuur kõrgemale kui primaarses etapis ja kuivamisprotsessi võimendamiseks suurendatakse ka vaakumi sügavust.
- Sekundaarne kuivatusfaas kestab 30-50% primaarses kuivatusetapis kulunud ajast.
- Et vältida kuivatatava materjali õhuga kokku puutumist võib protsessi lõpus kuivatuskambris olev vaakum asendada inertgaasiga.





„ Külmkuivatus. Külmkuivatamise eeltöötlemistehnoloogiate arendamine ja pressimisjääkide väärindamine“

- Lähtuvalt marjade füüsikalistest ja keemilistest omadustest valitakse välja külmkuivatamiseks kõige sobivamad marjasordid.
- Katsetatakse milline marjade ja köögivilja mehaaniline eeltöötlustehnika oleks võimalik marjakestade füüsikalistest omadustest tingitud massivahetusbarjääri vähendada
- Uuritakse marjade ensüümidega töötlemise mõju marjakestade massivahetusbarjääri vähendamiseks.
- Uuritakse erinevate mahlade käitumist külmkuivatamisel, mahlade eeltöötlemise mõju külmkuivatusprotsessi kulgemisele. Eesmärk on saada voolavaid bioaktiivsete ainete rikkaid pulbreid.
- Pressijääkide väärindamiseks uuritakse marjade, puu- ja köögiviljade enne ja pärast kääritamist pressimisel tekkinud jääke, tehakse kindlaks neis leiduvaid bioaktiivseid ühendeid, ning katsetatakse nende eraldamist.



www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Lähtuvalt marjade füüsikalistest omadustest valiti välja külmuivatamiseks kõige sobivamad marjasordid.

Valik tehti musta sõstra, karusmarja, vaarika, aroonia, maasika ja söödava kuslapuu sortide seast. Vilja tugevusest lähtuvalt valiti välja järgnevate kultuuride vastavad sordid:

Must sõstar: Pamjati Vavilova, Mairi, Asker

Karusmari: Nesluhhivski, Slivovõi, Kolobok, Polli esmik

Vaarikas: Polana, Glen Ample, Novokitaivska

Aroonia: Galicjanka, Viking, Ternookaja

Maasikas: Rapsody, Jewel, Jonsok

Söödav kuslapuu: [Tomitška](#), Baktšarski Velikan, Tšulinskaja



Tervete marjade külmkluivatamiseks ei piisa tihtipeale protsessiks õhema marjakestaga marjade sordipõhisest selekteerimisest.

Marjakestade massivahetusbarjääri vähendamise täiendavateks võimalusteks on:

1. Ensümaatiline töötlemine
2. Mehaaniline töötlemine



Euroopa Maali Arengu
Põllumajandusfond:
Euroopa investeringud
maajätkandusse



Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

www.emu.ee

Ensümaatiline töötlemine



Kuigi ensümaatiline marjakestade eeltöötlemine andis positiivseid tulemusi, ei saa seda meetodit pidada sobivaks külmuivatamise protsessis kasutamisel.

Teadaolevail selleks otstarbeks sobivate ensüümide inaktiveerimine nõuab kõrgemaid temperatuure kui külmuivatamisprotsessis kasutatakse.

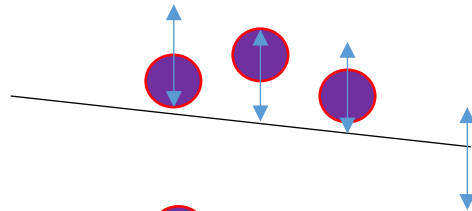


Mehaaniline töötlemine

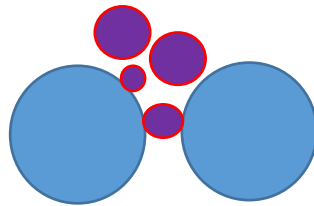
Väga head marjakestade massivaetusbarjääri vähendamist võimaldab marjade eelnev mehaaniline eeltöötlemine

Mehaanilist eeltöötlemist katsetati kolmel erineval viisil ning konstrueeriti erinevaid seadmeid.

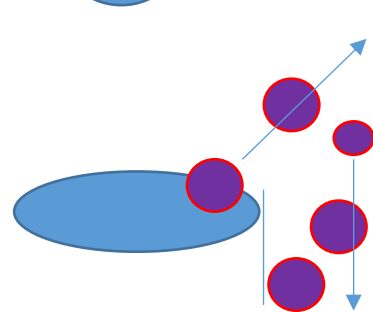
Marjade raputamine üle riivpinna



Marjade suunamine läbi riivtrumli



Marjade põrgatamine tsentrifugaal-riivilt





www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Kõige parema tulemuse andis konstrueeritud seade milles marjade vigastamine toimus tsentrifugaal-riivi abil. Külmutatud marja kest õnnestus vigastada kontrollitult marja väljanägemist rikkumata.

Selline eeltööstehnika osutus piisavaks kestade füüsilisest omadusest tingitud massivaetusbarjääri vähendamiseks. Sellisel teel osutus võimalikuks külmuivatada tervelt marju, mille kestabarjäär seda varem ei võimaldanud. (must sõstar, aroonia, pihlakas, pohl, jõhvikas, atelpaju jne.)



www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Täna tähelepanu eest!