

Mahemarjakasvatuse infopäev - Polli 100

Polli aiandusuuringute keskus 15. juulil 2020.a.



Külmkuivatamise katsetest Aiandusklastri MTÜ projektis

Peeter Laurson
peaspetsialist

Polli Aiandusuuringute Keskus, Eesti Maaülikool



Perioodil 01.05.2017- 31.06.2019 viidi läbi innovatsioonitegevus:
„ Külmkuivatus. Külmkuivatustehnoloogia sõltuvalt aiaviljade eripärast.“

Perioodil 01.06.2019 – 31.12.2022 toimub innovatsioonitegevus:
„ Külmkuivatus. Külmkuivatamise eeltöötlemistehnoloogiate arendamine ja pressimisjääkide väärimine“

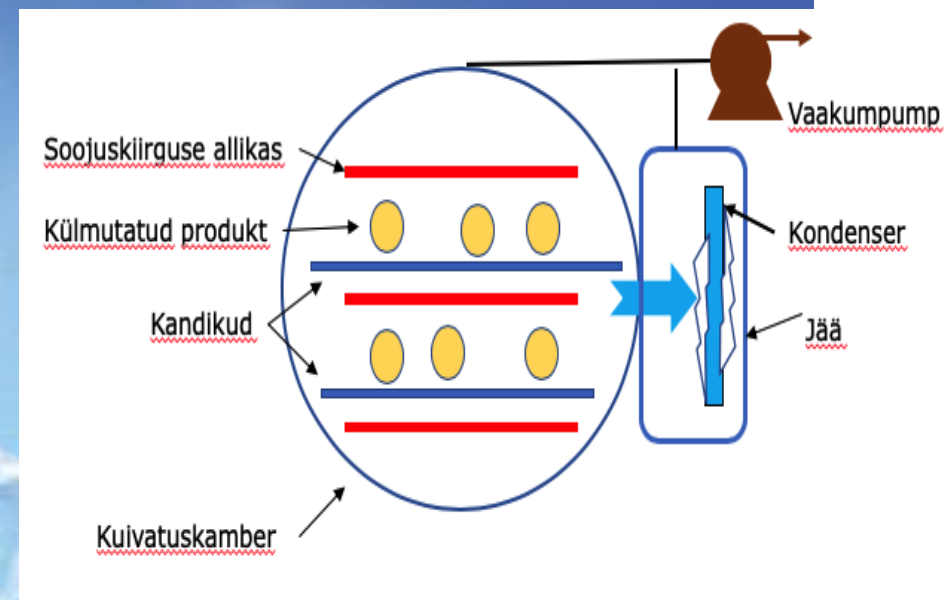


Innovatsioontegevuse „Külmkuivatus. Külmkuivatustehnoloogia sõltuvalt aiaviljade eripärast.“ eesmärgid:

- leida optimaalsed külmkuivatusrežiimid valitud aiasaaduste (õun, maasikas, must sõstar, vaarikas, ploom, viinamari, küüslauk, peet, piparmünt, petersell) külmkuivatamiseks.
- leida külmkuivatatud toodetele sobiv pakkematerjal.
- selgitada välja külmkuivatusprotsessi efektiivsust tõstvad sõlmpunktid.



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.



Külmkuivatusprotsessi läbi viimine

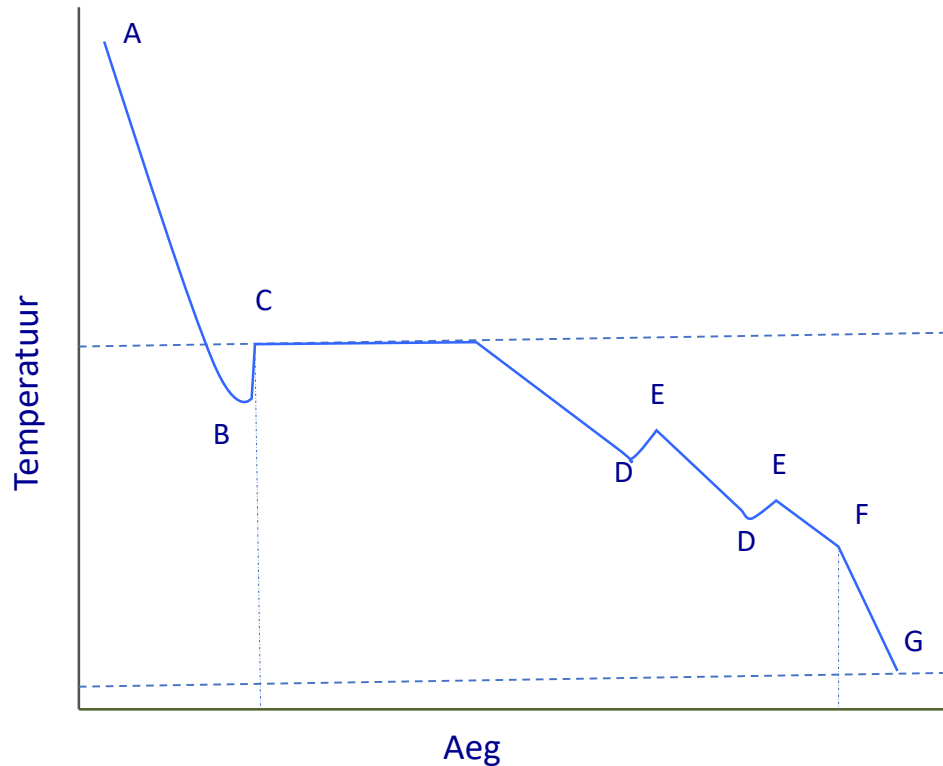
- Materjal külmutatakse
- Külmkuivatuskambris tekitatakse sügav vaakum
- Kambris hakkab toimuma sublimatsiooniprotsess mille toimimise efektiivsust toetatakse lüofiliseeritava materjali soojendamise



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.





- 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

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



Vee kristallumine ja klaasistumine

A- puhta vee molekulid on väga liikuvad

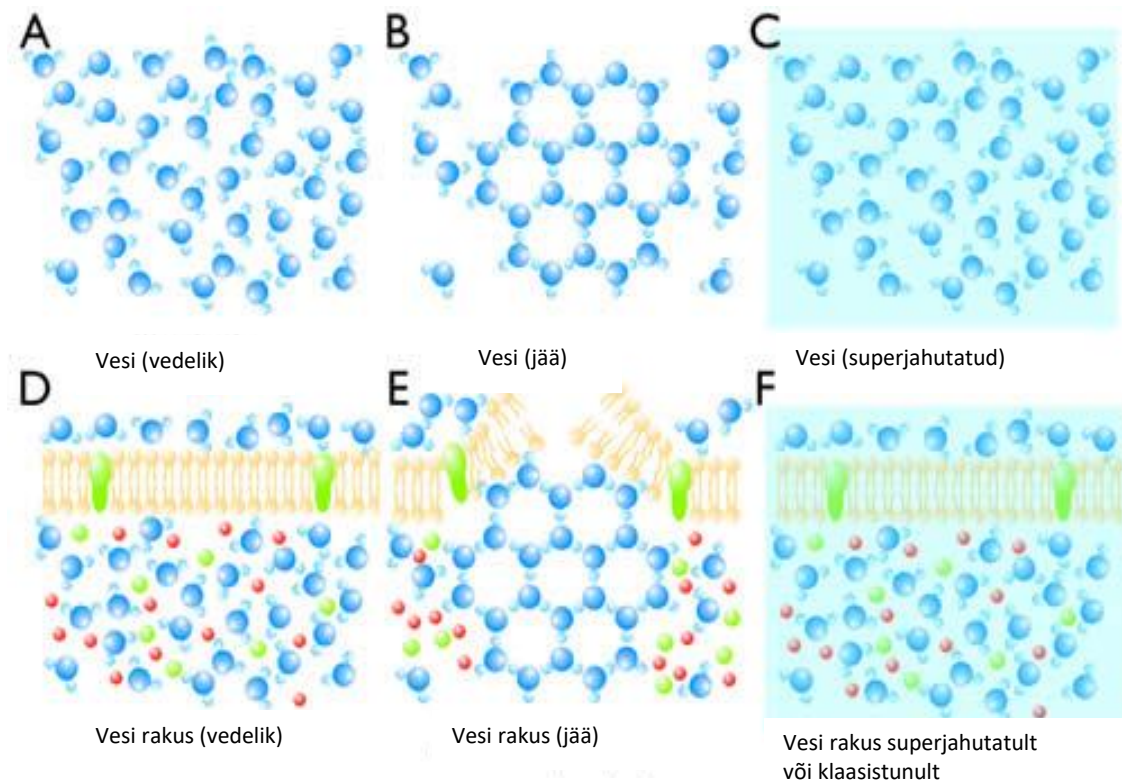
B- kui temperatuur langeb 0°C algab Kõlmumistsentrite tekkimine ja kristallumine

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/>



- Külmuivatatava materjali jahutamise ja külmutamise tingimused avaldavad otsest mõju nii külmuivatusprotsessi 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)

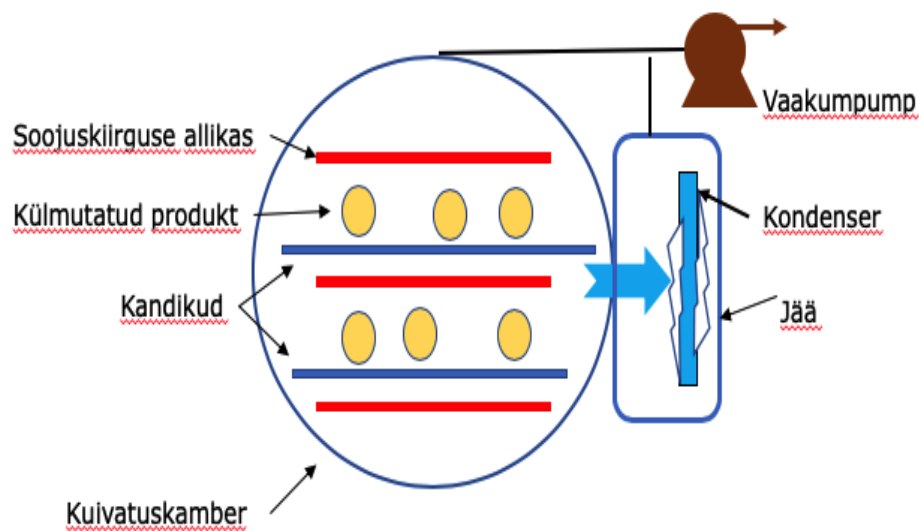
Keskmise kiirusega külmutamine 1-1,5 °C /min so. 5 tundi -10 kraadil

Aeglane külmutamine 0,14 °C/ min

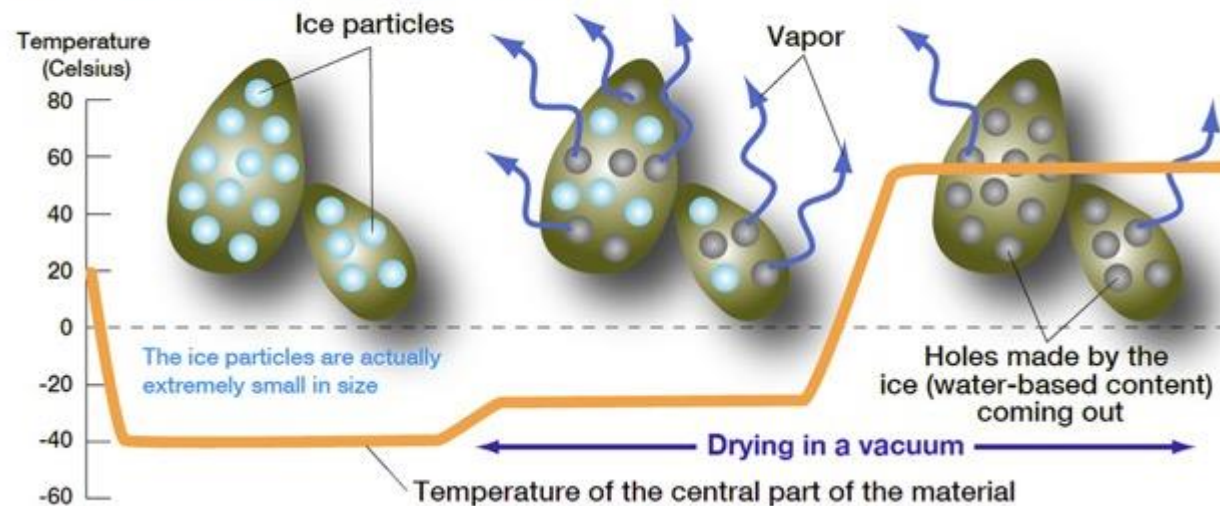


Külmkuivatamise protsessis eristatakse kolme etappi:

1. Külmutamine
2. Primaarne kuivamine
3. Sekundaarne kuivamine



Process of Vacuum Freeze Drying



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



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.



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.



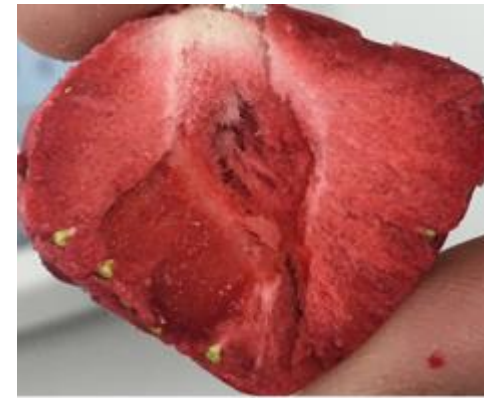
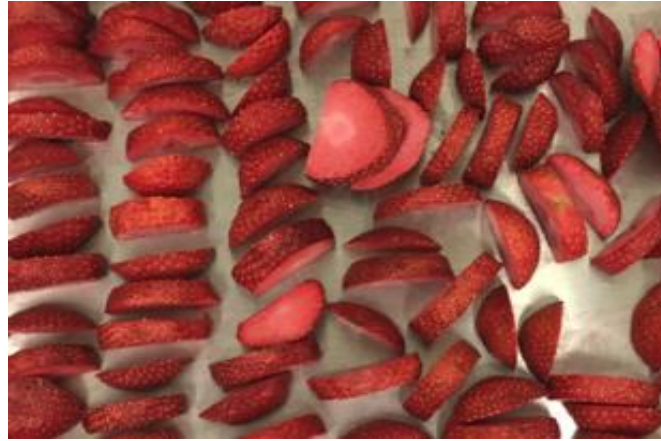
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

- Innovatsioonitegevuse käigus viidi külmuivatuskatseid läbi kokku 107,78 ööpäeva ehk 2586,72 tundi.

Katsete tulemused külmuivatusrežiimide kohta:



Külmkuivatatud maasikad



Mittetäielik
külmkuivamine

Režiim maasikatele: vaakum 50-40 μ bar, riuli temperatuur tõstetakse temperatuurilt $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 30 minuti jooksul temperatuurini $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ning ~ 1400 minuti jooksul temperatuurini $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sekundaarne kuivatus vaakumis 50-40 μ bar, temperatuuril $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ kuni maasikate sisetemperatuur on ühtlustunud kuivatusriuli temperatuuriga so ~ 650 minutit. Kogu protsessi läbiviimiseks kulub ~ 48 tundi.







Külmkuivatatud vaarikas



Külmkuivatatud must sõstrad



Külmkuivatatud vinamarjad



Külmkuivatatud vinamarjad



Külmkuivatatud õun



Reziim vaarikatele, must sõstardele, viinamarjale, õuntele, ploomidele: 50-40 μ bar, riuli temperatuur tõstetakse temperatuurilt -40 °C 40 minuti jooksul temperatuurini +38°C ning hoitakse täieliku kuivamiseni so ~36 tundi









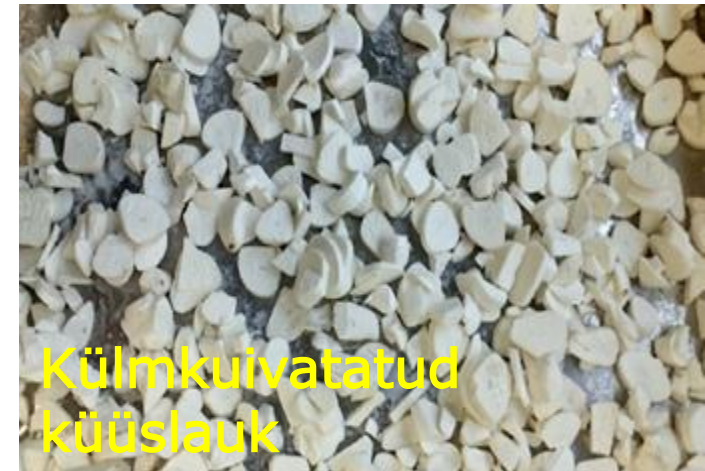






Reziim peedile: 50-40 μ bar, riuli temperatuur tõstetakse temperatuurilt -40 $^{\circ}$ C 30 minuti jooksul temperatuurini 0 $^{\circ}$ C ning \sim 1450 minuti jooksul temperatuurini +5 $^{\circ}$ C. Sekundaarne kuivatus viiakse läbi vaakumis 50-40 μ bar, temperatuuril 28 $^{\circ}$ C täieliku kuivamiseni \sim 600 minutit. Kogu protsessi läbiviimiseks kulub \sim 48 tundi

Reziim küüslaugule 50-40 μ bar, riuli temperatuur tõstetakse temperatuurilt -45 $^{\circ}$ C 40 minuti jooksul temperatuurini -7 $^{\circ}$ C ning \sim 1400 minuti jooksul temperatuurini +3 $^{\circ}$ C. Järelkuivatus ehk sekundaarne kuivatus viiakse läbi vaakumis 50-40 μ bar, temperatuuril 25 $^{\circ}$ C kuni küüslauguviilude täieliku kuivamiseni \sim 500 minutit







Reziim piparmündile ja petersellile: 50-40 μ bar, riuli temperatuur tõstetakse temperatuurilt -25 °C 30 minuti jooksul temperatuurini -7 °C ning ~1400 minuti jooksul temperatuurini +3 °C. Sekundaarne kuivatus viiakse läbi vaakumis 50-40 μ bar, temperatuuril 25 °C kuni taimelehtede täieliku kuivamiseni ~500 minutit



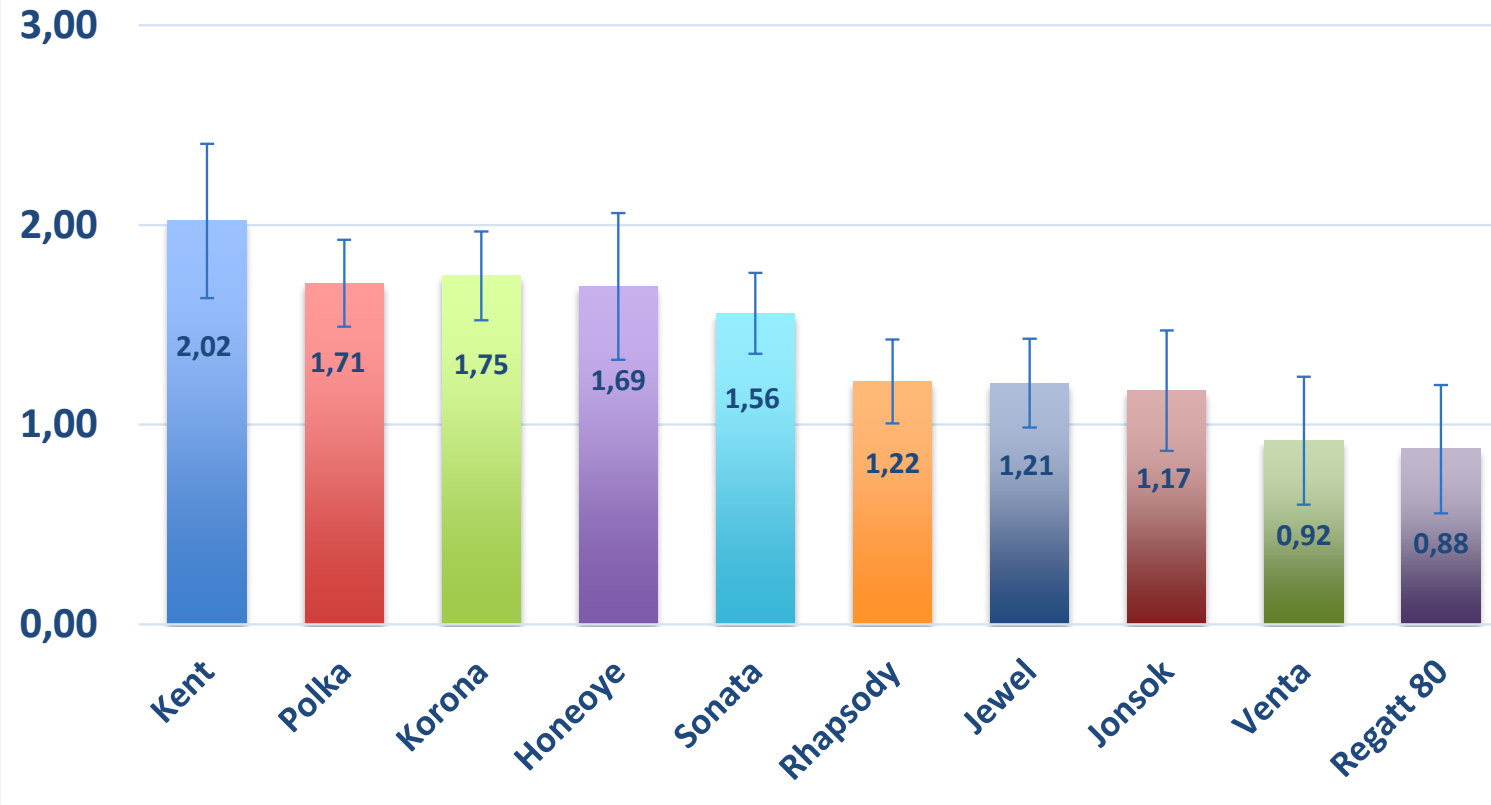


Innovatsioonitegevuse „**Külmkuivatus. Külmkuivatamise eeltöötlemistehnoloogiate arendamine ja pressimisjäädade väärindamine**“ eesmärgid

- 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.
- Pressijäädade väärindamiseks uuritakse marjade, puu- ja köögiviljade enne ja pärast kääritamist pressimisel tekkinud jääke, tehakse kindlaks neis leiduvaid bioaktiivseid ühendeid, ning katsetatakse nende eraldamist.



Maasikasortide viljade tugevused (N)



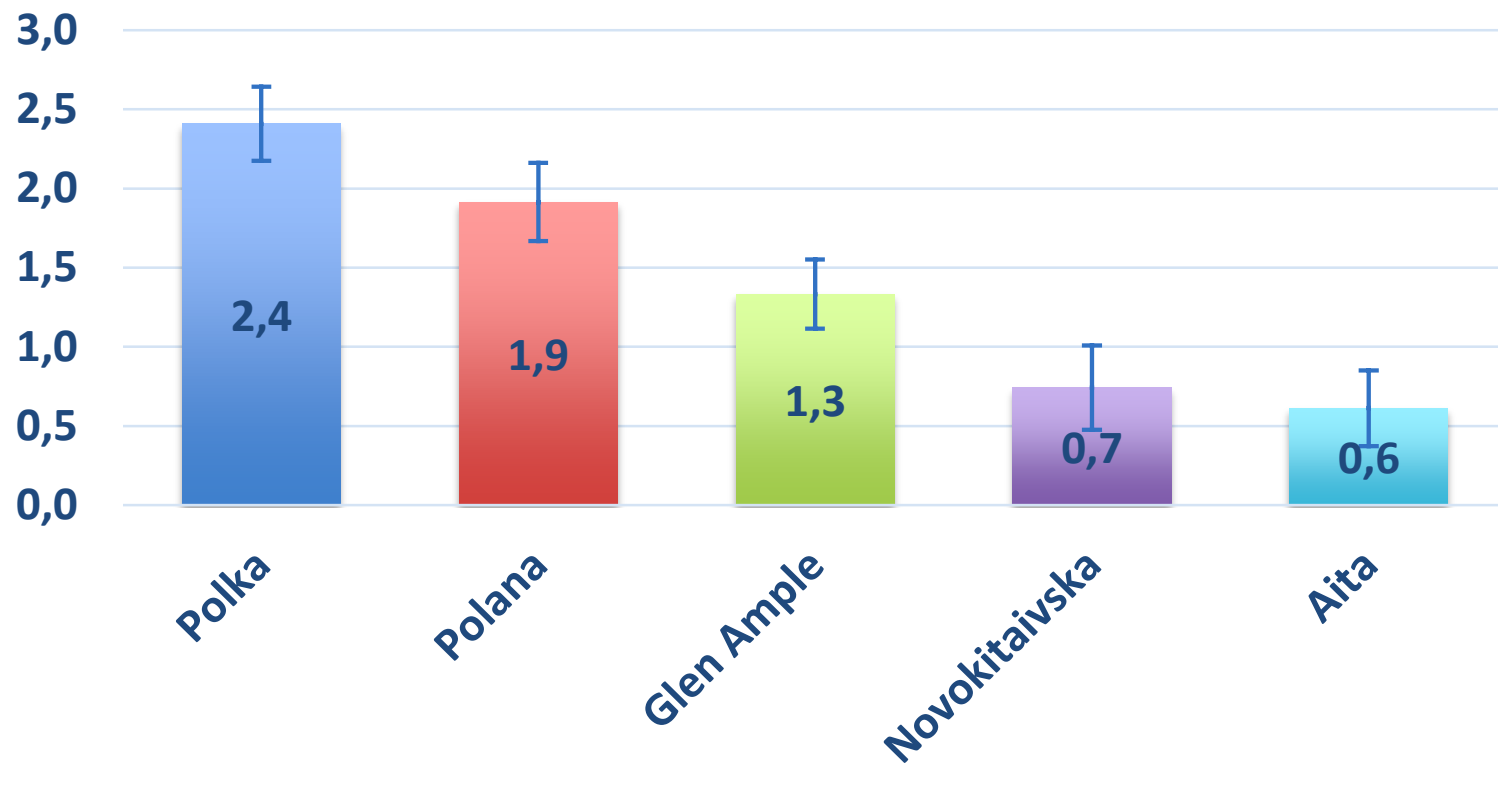
42-46 h

38-42 h

← Külmkuivamine



Vaarikasortide viljade tugevused (N)



36-38 h

34-36 h

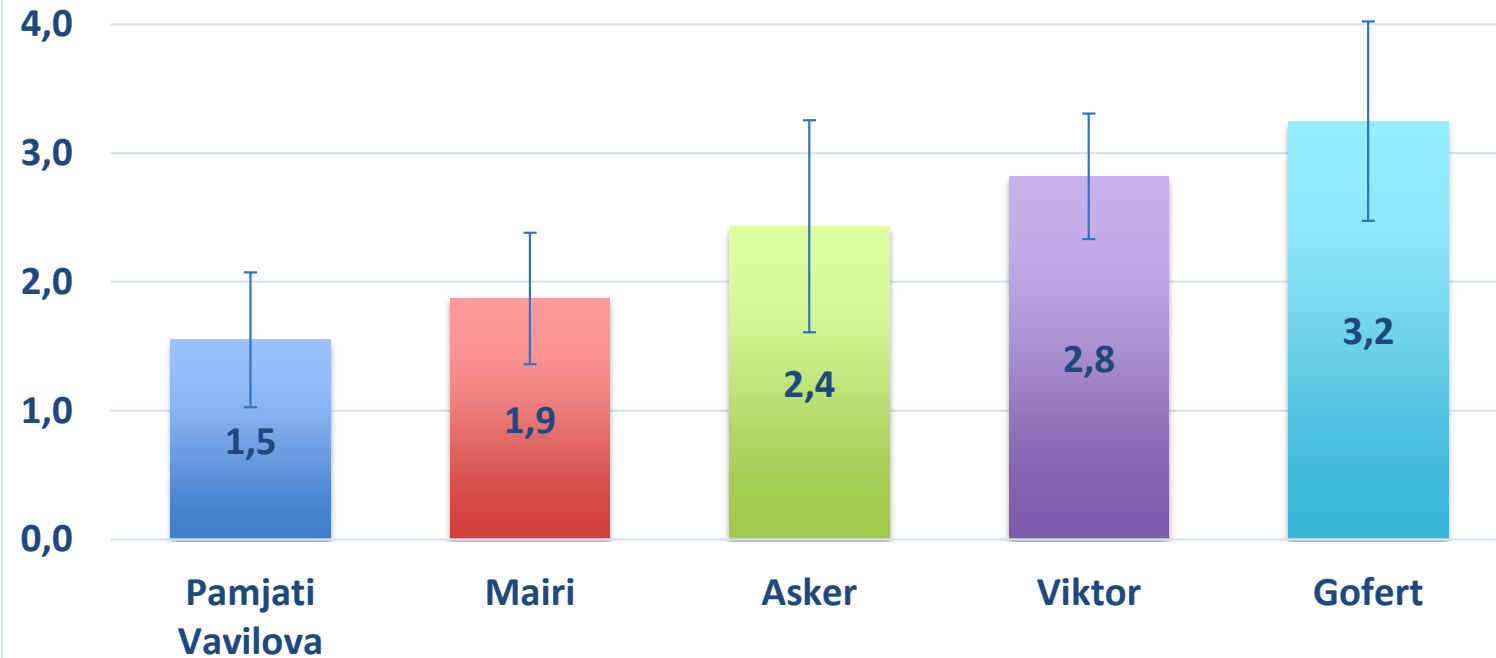
← Külmuivamine



Europa Maaelu Arengu
Põllumajandusfond:
Europa Investeeringud
maapiirkondadesse



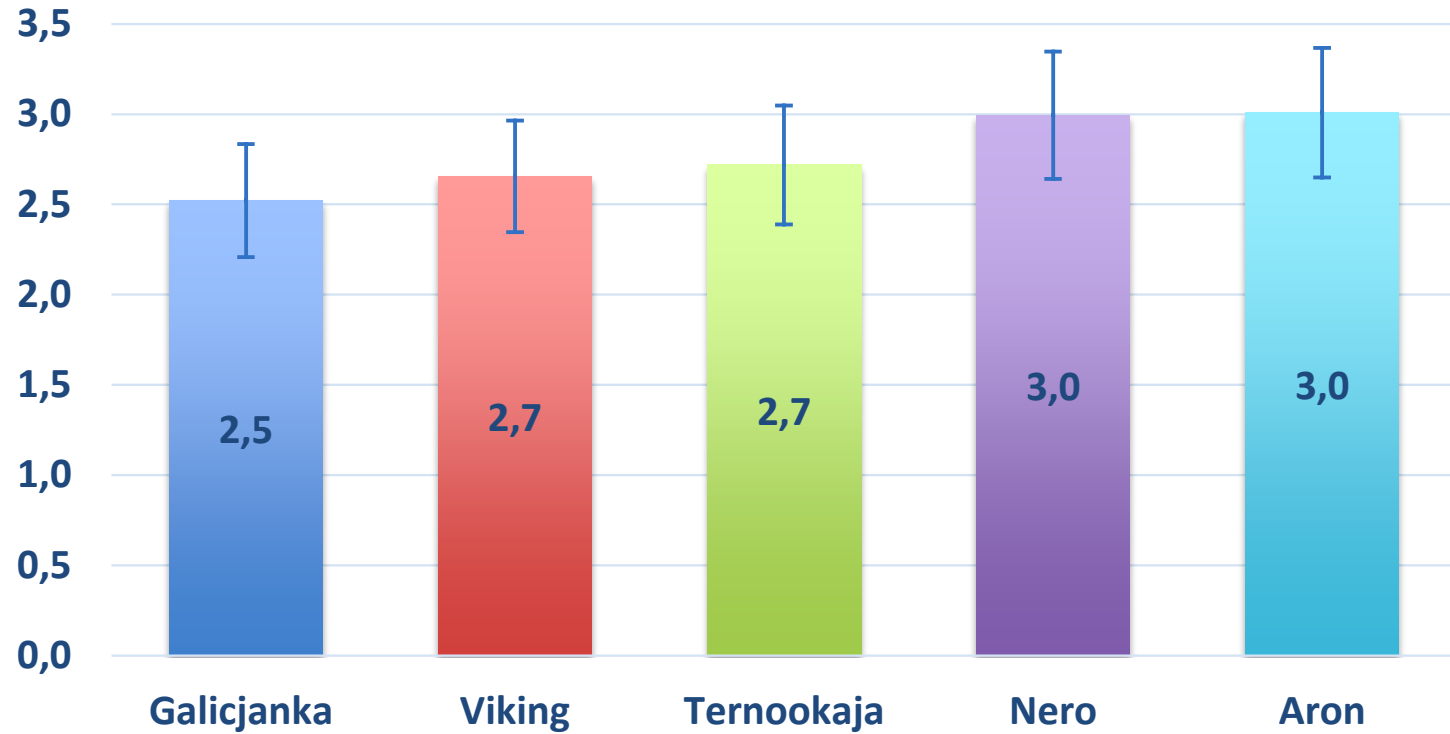
Musta sõstra sortide viljade tugevused (N)



Vigastamata marjade külmuivatamine ei õnnestu



Arooniasortide viljade tugevused (N)



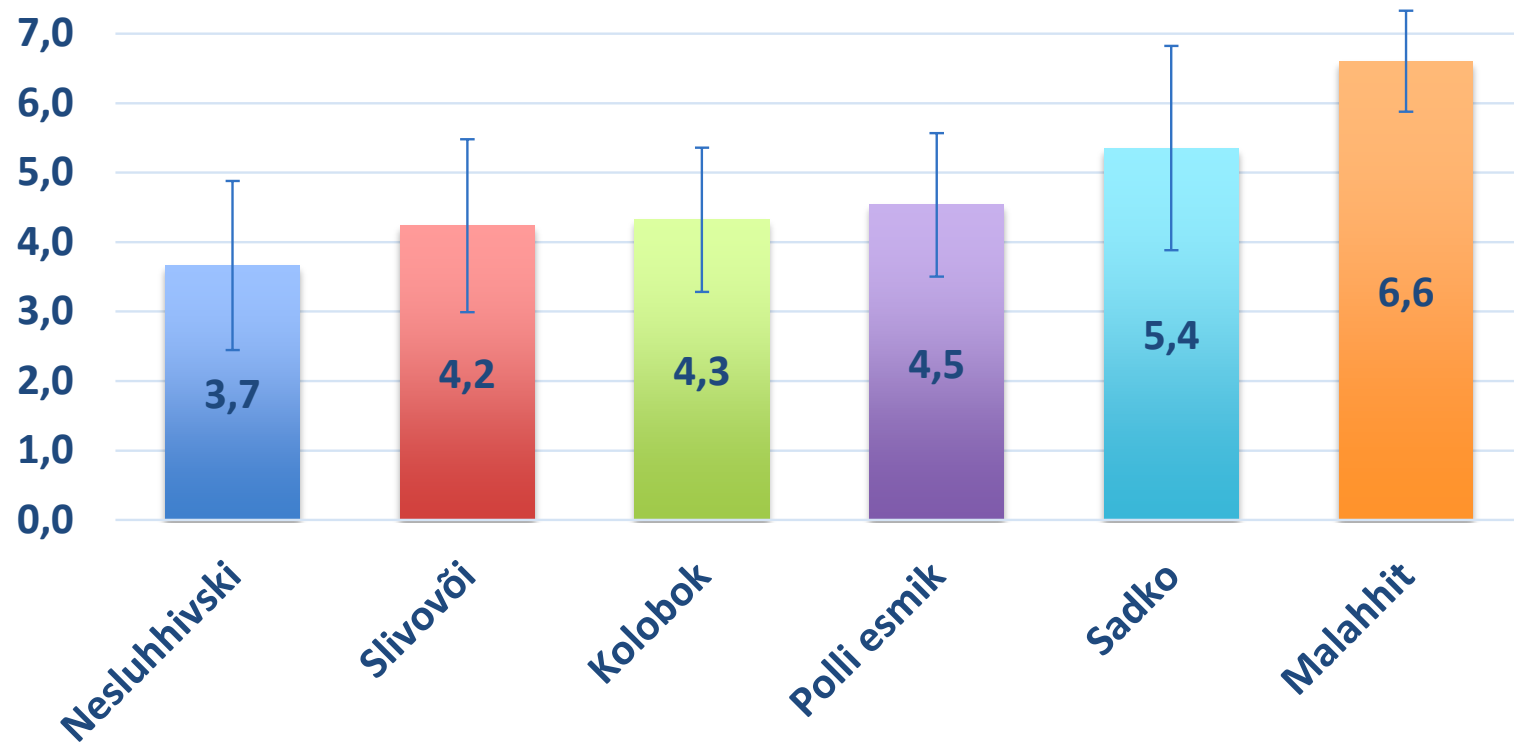
Vigastamata marjade külmuivatamine ei õnnestu



Euroopa Maaelu Arengu
Põllumajandusfond:
Euroopa Investeeringud
maapiirkondadesse



Karusmarjasortide viljade tugevused (N)



Vigastamata marjade külmuivatamine ei õnnestu



Euroopa Maaelu Arengu
Põllumajandusfond:
Euroopa Investeeringud
maapiirkondadesse



Täna tähelepanu eest!

