

Innovatsiooniklastri toetus (MAK 2014-2020 meede 16)

MTÜ Aiandusklastri innovatsioonitegevuse „Külmkuivatus. Külmkuivatustehnoloogia sõltuvalt aiaviljade eripärast.“ lõpparuanne



Innovatsioonitegevus viidi läbi 01.05.2017 – 31.06.2019

Aruande koostaja ja fotode autor Peeter Laurson

Innovatsioonitegevuse eesmärkideks olid:

1. leida optimaalsed külmkuivatusrežiimid valitud aiasaaduste külmkuivatamiseks,
2. leida külmkuivatatud toodetele sobiv pakkematerjal, millesse pakendades oleks külmkuivatatud toote säilivusaeg kuudes aastasel perioodil vaadelduna kõige pikem ning mille keskkonnasäästlikus säilivusaega silmas pidades kõige suurem
3. selgitada välja energiasäästlikum külmkuivatustehnoloogia ja protsessi efektiivsust tõstvad sõlmpunktid.

Innovatsioonitegevuses katsete läbiviimisel kasutati järgnevaid kultuure: õun, maasikas, must sõstar, vaarikas, ploom, viinamari, küüslauk, peet, piparmünt, petersell.

Innovatsiooniklastri liikmetest olid aruteludesse kaasatud ja varustasid taimse katsematerjaliga Aran PM OÜ (maasikas, vaarikas), FIE Meelis Värnik (viinamari), FIE Andres Voore (küüslauk), Freezedry OÜ (külmkuivatustehas), Allew Magusameister OÜ (külmkuivatatud tooraine toiduaine toodetes kasutamine)

Innovatsiooni tegevuse läbiviimist varustasid ka taimse katsematerjaliga Polli aiandusuuringute keskus (maasikas, vaarikas, õun, must sõstar) ja Peeter Laurson (piparmünt, petersell, ploom, küüslauk, peet)

Külmkuivatuskatseid tehti innovatsioonitegevuse käigus kokku 107,78 ööpäeva ehk 2586,72 tundi.

Erinevaid analüüse teostati innovatsioonitegevuse käigus kokku: kuivaine ja niiskus (%) kuivatuskala meetodil 295 tk; vees lahustuv kuivaine (Brix) refraktomeetriselt 19 tk; antioksüdatiivse aktiivsuse määramine DPPH meetodil 85 tk; C-vitamiin tiitrimetriselt 50 tk; polüfenoolide üldsisaldus kromatograafiliselt (HPLC-PDA) 48 tk; FT-IR 10 tk; orgaanilised happed tiitrimetriselt 3 tk; pH 3 tk.

Ellu viidud innovatsioonitegevuste kirjeldused

Innovatsioonitegevuse käigus viidi läbi järgmised teemaga seotud teadusinformatsiooni otsingud:

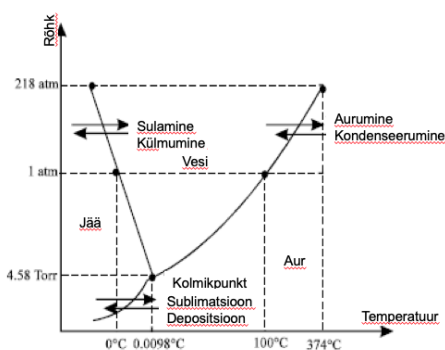
külmkuivatamine; maasikate külmkuivatamine, lüofiliseerimine; vaarikate külmkuivatamine, lüofiliseerimine; must sõstra külmkuivatamine, lüofiliseerimine; piparmündi külmkuivatamine, lüofiliseerimine; viinamarjade külmkuivatamine, lüofiliseerimine; küüslaugu külmkuivatamine, lüofiliseerimine; puuviljade külmkuivatamine, lüofiliseerimine; aiasaaduste külmkuivatamine, lüofiliseerimine; bioaktiivsed ained maasikates; bioaktiivsete ainete säilimine maasikate kuivatamisel külmkuivatamisel, toimed tervisele; bioaktiivsed ained vaarikates; bioaktiivsete ainete säilimine

vaarikate kuivatamisel külmkuivatamisel, toimed tervisele; bioaktiivsed ained must sõstras; must sõstra antioksüdantsus; bioaktiivsete ainete säilimine mustsõstarde kuivatamisel, külmkuivatamisel; antioksüdantsuse säilimine mustsõstarde kuivatamisel külmkuivatamisel; piparmündi antioksüdantsus, antioksüdantsuse muutumine kuivatamisel külmkuivatamisel; bioaktiivsed ained viinamarjades, rosinates; bioaktiivsed ained küüslaugus; küüslaugu antioksüdantsus, antioksüdantsuse muutumine kuivatamisel, külmkuivatamisel; külmkuivatamist, kuivatamist ja sellega seonduvaid protsesse käsitlevate teatmeteoste otsing; toiduainete pakendamine; pakkematerjalide barjäärid külmkuivatatud, kuivatatud toiduainete pakendamiseks; kuivatatud toiduainete, marjade säilitamine

Läbi viidud teaduskirjanduse otsingute peamised allikad ja andmebaasid olid Web of Science; Scopus; EBSCO, jne. Kogutud informatsiooni kasutati juhendamiseks innovatsioonitegevuse läbiviimisel.

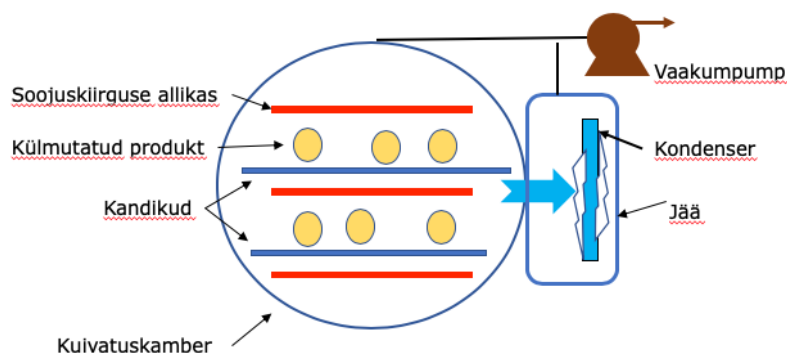
Tulemused kirjanduse otsingust.

Üldised külmkuivatuse protsessi põhimõtted on hästi lahti kirjutatud nii artiklites kui käsiraamtes. Külmkuivatamine on kuivatamise meetod, mille käigus vesi eemaldatakse külmutatud materjalist jääkristallide sublimatsiooni teel. Sublimatsiooniprotsessis muutub tahke aine gaasiliseks ilma vahepealse veeldumiseta. (Ciurzyńska and Lenart 2011), (Clark 2009), (Welti-Chanes et al. 2005), (Luyet 1968). Jää sublimeerumine hakkab toimuma, kui aururõhk ja jääpinna temperatuur on madalamad kui kolmikpunktis (4,58 mm Hg, 0,01° C) Joonis 1 (Yu, Chen, and Wu 2011).



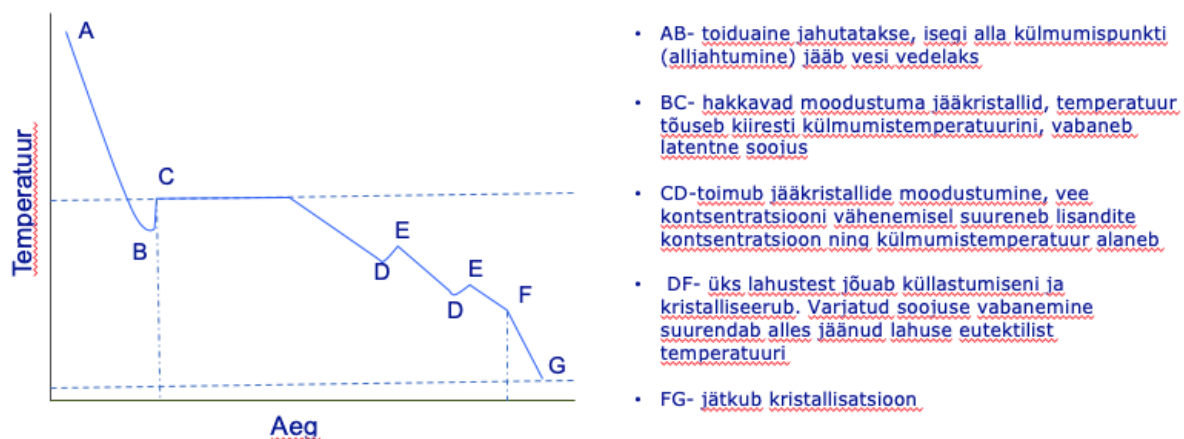
Joonis 1 Puhta vee rõhu-temperatuuri faasidiagramm

Külmkuivatuse protsessi läbiviimisel materjal külmutatakse kas eelnevalt või otse külmkuivatusseadme kambris. Seejärel viiakse külmkuivatamise kammer sügavasse vaakumisse ja alustatakse läbi viima sublimatsiooniprotsessi. Lüofiliseeritava materjali toimumise efektiivsust toetatakse soojendamise. Külmkuivatuse protsessis eristatakse kolme peamist etappi: materjali külmutamine, esmane kuivatamine ja sekundaarne kuivatamine (Welti-Chanes et al. 2004). Külmkuivati skemaatiline esitus on toodud joonisel 2.



Joonis 2 Külmkuivati skemaatiline esitus

Külmkuivatatava materjali jahutamise ja külmutamise tingimused avaldavad otsest mõju nii külmkuivatusprotsessi toimumise jõudlusele kui ka kuivanud materjali struktuurile, lahustuvusele, sisalduvale jääniiskusele ja kvaliteedile (Kasper and Friess 2011). Aeglasel külmumisel tekivad suuremad jääkristallid, kiiremal aga väiksemad jääkristallid (Maldonado Guillermo Petzold 2013). Rakusise vee molekulid on väga liikuvad, aga kui temperatuur langeb 0 °C aeglustub vee molekulide liikumine, algavad külmumistsentrite moodustumised ja jääkristallide tekkimine. Taimse materjali sublimatsiooniprotsessi toimumist hoiavad tagasi terved rakukestad. Asjaolu tõttu, et aeglasel külmumisel tekivad suuremad jääkristallid lõhuvad rakuseinu, tuleb külmkuivatatava taimse materjali külmutamist läbi viia aeglaselt (Li, Zhu, and Sun 2018). Kuna sublimatsiooniprotsessi toimumiseks peab olema kogu materjalis olev vesi jäätunud, tuleb veenduda, et külmumine oleks toimunud täielikult (Welti-Chanes et al. 2005). Täieliku külmumiseni jõudmist võib piltlikult kujutada kui väiksemate külmumisprotsesside jada, kus toimub pidevalt jääkristallide moodustumine (joonis 3). Selle protsessi käigus külmuvas materjalis vee kontsentratsioon pidevalt väheneb ning suureneb lisandite kontsentratsioon, mis tingib veel külmutamata materjali külmumistemperatuuri pideva alanemise.



Joonis 3 Toiduaine külmutamine

Külmkuivatamise esimeses kuivatusfaasis alandatakse kuivatuskambri rõhku mõne millibaarini ja alustatakse sublimatsiooni protsessi kiirendamiseks jäätunud materjali soojendamist. Eralduv veeaur püütakse kinni madalal temperatuuril (tavaliselt alla -70 °C) hoitava kondensaatorkehal. Soojendamisel tuleb silmas pidada, et lisatav soojus ei põhjustaks külmutatud materjali sulamist. Samuti peab jälgima, et sublimeerumise intensiivsus oleks kooskõlas kondensaatorkeha võimega kondenseerida. Esmases kuivatusfaasis eemaldatakse materjalist ligikaudu 90% sisalduvast veest. Sekundaarse kuivatamise eesmärk on eemaldada materjalis absorbeerunud veemolekulid ehk jääniiskus. 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. (Ratti 2012), (Boss et al. 2004), (Welti-Chanes et al. 2004) Eelpool toodud informatsiooni silmas pidades saab öelda, et taimse materjali eduka külmkuivatamise tagab õigesti valitud külmutamise ja külmkuivatamise läbiviimise režiimid.

Käesolevas innovatsioonitegevuses vaatluse all oleva taimse materjali külmkuivatamist käsitlevaid teadusartikleid on avaldatud veel vähe. Artiklites teostatud külmkuivatuskatsete tingimused on erinevad ja seetõttu andsid ainult indikatiivset informatsiooni käesolevas innovatsioonitegevuses külmkuivatusrežiimide väljatöötamise planeerimise jaoks.

Viiteid artiklitest leitud informatsiooni kohta vaatluse all olevate kultuuride külmkuivatamise läbiviimise ja külmkuivatatud materjali värske materjaliga võrdlemiste kohta:

Maasikas: Terved ja 5-10mm viilutatud maasikad külmutati temperatuuril -40 °C; kondensaatori temperatuur oli -92 °C, vaakum alla 5ml, temperatuuri tõsteti 1 °C/min, protsessi läbiviimine toimus temperatuuride vahemikus 30-70 °C, aeg 12-48 h (Shishegharha, Makhlof, and Ratti 2002); Andmed külmuivatamistingimuste kohta puuduvad, külmuivatatud maasikate antioksidantsuse tase ligilähedane värskete maasika antioksidantsusele (Marques et al. 2010), Maasikaid hoiti enne külmuivatamist temperatuuril -80 °C juures 24 h, külmuivatatud maasikate C vitamiini tase ligilähedane värskete maasika C vitamiini tasemele (Yurdugül 2008), Maasikate külmuivatamine viidi läbi vaakumis 103 Pa ja temperatuuril 30 °C (Ciurzyńska and Lenart 2010), Maasikate viilud 5 ja 7mm külmutati -30 °C külmuivatamine viidi läbi 2×10^{-3} mbar (Kırmacı, Usta, and Menlik 2008), Maasikad külmutati temperatuurivahemikus -30 °C kuni 25 °C juures lõigati 10mm kuubikuteks temperatuuril -8 °C juures, külmuivatamine viidi läbi vaakumis 80-10 Pa ja temperatuuril 90 °C-60 °C, kestus 24h (Huang et al. 2009)

Vaarikas: Vaarikad külmutati temperatuuril -40 °C, protsess viidi läbi vaakumis 0.01 mbar tõstes primaarses kuivatusfaasis temperatuuri kuni 20 °C-ni, kestus 59,5 tundi, sekundaarne kuivatamine viidi läbi vaakumis 0.005 mbar, kestus 5.5 h temperatuur tõsteti 20 °C kuni 30 °C (Vulić et al. 2014), Vaarikad külmutati temperatuuril -35 °C, külmuivatamine viidi läbi -10 °C vaakumis 20 Pa, kestusega 2 ööpäeva, kondensaatori temperatuuril -60 °C (Syamaladevi et al. 2011)

Õun: Parim õunte külmuivatamise tulemus saavutati kui 4-5mm õunaviilud külmutati temperatuuril -80 °C ja külmuivatamine viidi läbi vaakumis 50 Pa temperatuuril 55 °C (Hammami, René, and Marin 1999),

Viinamari: Viinamarjad külmutati -78 °C 12 tundi seejärel külmuivatati 2.4×10^{-2} mB vaakumis 24h kondensaatori temperatuuril -49 °C (de Torres et al. 2010), (de Torres et al. 2015)

Küüslauk: Küüslaugu tükid 10mm x10mm x 20mm külmutati -40 °C 48 tundi, külmuivatamine viidi läbi temperatuuridel -5 °C kuni -25 °C vaakumis 108 Pa, kestusega 72h (Sablani et al. 2007), Küüslaugu lõigud külmutati -80 °C 24 tundi, külmuivatamine viidi läbi ilma täiendava soojendamiseta, vaakumis 64 µmHg, kestusega 48h (Fante, Pelayo, and Noreña 2013)

Kuna otseselt polnud võimalik lähtuda ühegi teadusartikli tulemustest, sai otsustatud jõuda sobiva režiimiini eksperimentaalselt.

Innovatsioonitegevuse käigus läbi viidud külmuivatuskatsetele tuginedes välja töötatud optimaalsed külmuivatuse režiimid.

Kõik külmuivatuskatsed viidi läbi seadmega Lüofilisaator VirTis AdVantage 2.0 EL, mille kondensaatori minimaalne saavutatav temperatuur on -85 °C, maksimaalne saavutatav vaakum 0,001 mmbar ja võimekus nii materjali külmutada -50 °C kui soojendada +60 °C.

Maasikas: Katsed viidi läbi maasikasortidega Polka ja Sonata (Joonis 4 ja Joonis 5).



Joonis 4 Maasikas Polka



Joonis 5 Maasikas Sonata

Uuritigi nii terve kui ka viilutatud maasika külmkuivatamiseks sobivaid režiime. Viilutatud maasikate külmkuivatamiseks maasikad 5-7mm paksusteks viiludeks. Viilutati nii värsket kui ka sügavkülmutatud maasikat. Leiti, et sügavkülmutatud maasika viilutamiseks sobib kõige paremini temperatuuride vahemik -7 kuni -9 °C. Madalamatel temperatuuridel on maasikas liiga habras ning laguneb viilutamisel tükikesteks. Sügavkülmutatud maasika viilutamine kõrgemal temperatuuril kui -7 °C oli seotud ohtra mahla eraldumisega ning otsustati tunnistada külmkuivatamise jaoks ebasobivaks (Joonis 6). Külmkuivamisel värske maasikaviilude üksteise külge kleepumise ärahoidmiseks asetati viilud külmkuivatamise kandikule viilude kattumist vältides horisontaalselt või vertikaalselt üksteisest eraldatult (Joonis 7).



Joonis 6 Ohtra mahla eraldumisega maasikaviilud külmkuivatatult.



Joonis 7 Värske maasikaviilud horisontaalselt ja vertikaalselt



Tervete maasikate külmkuivatamise katseid viidi läbi nii tuppelhededega värske maasikate kui ilma tuppelhededeta maasikatega ja sügavkülmutatud maasikatega (Joonis 8).



Joonis 8 Tuppelhededega värske maasikad, ilma tuppelhededeta värske maasikad ja sügavkülmutatud maasikad.

Maasikate külmkuivatamise eelseks külmutamise optimaalseks temperatuuriks saadi katsete tulemusena -35 °C. Värske maasikate külmutamisel alandati külmutuskambri temperatuuri alates 0 °C 0,25 °C /min. Kui kambris oli saavutatud maasikate külmutamiseks soovitud temperatuur, hoiti marju sellel temperatuuril 60-90 minutit kuni maasikate sisene temperatuur ühtlustus täielikult kambri temperatuuriga ja toimus täielik külmutamine. Sügavkülmas (-25 °C) hoitud maasikate puhul viidi marjad eelnevalt temperatuurini -25 °C jahutatud külmkuivatuskambris, kus jätkati jahutamist 0,25 °C /min kuni temperatuurini -35 °C ja hoiti marju sellel temperatuuril 60-90 minutit kuni maasikate sisene temperatuur ühtlustus täielikult kambri temperatuuriga ja toimus täielik külmutamine. Külmkuivatamise primaarse etapi läbiviimisel katsetati sublimatsiooni intensiivistamiseks erinevaid temperatuuri tõstmise režiime. Leiti, et liialt aeglasel temperatuuri tõstmise puhul sublimatsioon toimub samuti aeglaselt ning protsessis neelduv energia ei tasakaalusta juurde antavat energia hulka. Selline olukord põhjustab protsessi käigus marja soojenemise, mis omakorda põhjustab jääkristallide sulamise ning seetõttu teeb võimatuks ka külmkuivatamise protsessil täielikult lõpuni minna. Tulemuseks on ebatäielik kuivamine ja struktuuri kokku langemine (Joonis 9).



Joonis 9 Mittetäielikult külmuivanud maasikad

Läbi viidud katsete tulemusena valiti välja kolm külmuivatamise režiimi, mille tulemusena saavutati maasikate täielik külmuivamine ning võrreldi protsesside läbiviimise kiiruse, marjade jääkniiskuse sisaldust ja antioksüdantsuse erinevusi.

Režiim 1: Peale marjade külmutamist tekitatakse külmuivatuskambris vaakum 50-40 mikropaari, riili temperatuur tõstetakse temperatuurilt -35°C 30 minuti jooksul temperatuurini -7°C ning ~1900 minuti jooksul temperatuurini $+3^{\circ}\text{C}$. Järelkuivatus ehk sekundaarne kuivatus viiakse läbi vaakumis 50-40 mikropaari, temperatuuril 23°C kuni maasikate sisetemperatuur on ühtlustunud kuivatusriili temperatuuriga so ~900 minutit. Kogu protsessi läbiviimiseks kulub ~54 tundi

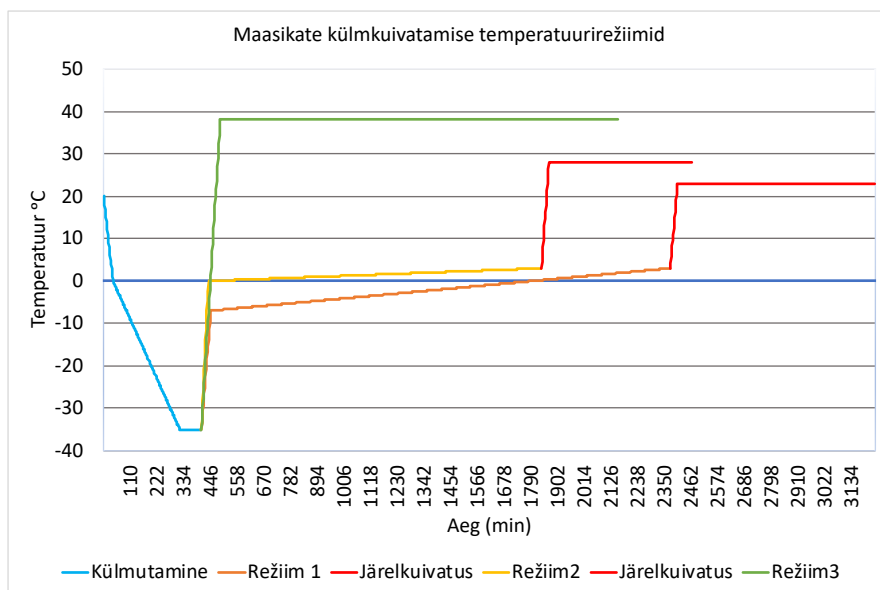
Režiim 2: Peale marjade külmutamist tekitatakse külmuivatuskambris vaakum 50-40 mikropaari, riili temperatuur tõstetakse temperatuurilt -35°C 30 minuti jooksul temperatuurini 0°C ning ~1400 minuti jooksul temperatuurini $+3^{\circ}\text{C}$. Järelkuivatus ehk sekundaarne kuivatus viiakse läbi vaakumis 50-40 mikropaari, temperatuuril 28°C kuni maasikate sisetemperatuur on ühtlustunud kuivatusriili temperatuuriga so ~650 minutit. Kogu protsessi läbiviimiseks kulub ~48 tundi

Režiim 3: Peale marjade külmutamist tekitatakse külmuivatuskambris vaakum 50-40 mikropaari, riili temperatuur tõstetakse temperatuurilt -35°C 40 minuti jooksul temperatuurini $+38^{\circ}\text{C}$ ning hoitakse sellel temperatuuril kuni maasikate sisetemperatuur on ühtlustunud kuivatusriili temperatuuriga so ~2000 minutit. Kõrgemal temperatuuril järelkuivatamise teostamiseks vajadust ei ole. Kogu protsessi läbiviimiseks kulub ~36 tundi

Toodud režiimidel külmuivatatud maasikate jääkniiskuse keskmiseks protsendiks kujunes $3,9\% \pm 0,7$, antioksüdantsuse erinevust ei tuvastatud. Kahe kiiremini kulgenud režiimil (režiim 2 ja režiim 3) külmuivanud maasikate maitse, aroomi ja visuaalse väljanägemist hindamise tulemusena otsustati valida maasikate külmuivatamise optimaalseimaks režiimiks režiim 2 (Joonis 10). Maasikate külmuivatamise temperatuurirežiimid on toodud graafiliselt joonisel 11.



Joonis 10 Külmuivatatud maasikad



Joonis 11 Maasikate külmkuivatamise temperatuurirežiimid.

Vaarikas: Katsed viidi läbi vaarikasortidega Glen Ample ja Novokitaivska

Vaarikate külmkuivatamise eelseks külmutamise optimaalseks temperatuuriks saadi katsete tulemusena -40°C . Värske marjade külmutamisel alandati külmkuivatuskambri temperatuuri alates 0°C $0,25^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Kui kambri oli saavutatud marjade külmutamiseks soovitud temperatuur hoiti marju sellel temperatuuril 60-90 minutit kuni marjade sisene temperatuur ühtlustus täielikult kambri temperatuuriga ja toimus täielik külmumine. Sügavkülmas (-25°C) hoitud marjade puhul viidi marjad eelnevalt temperatuurini -25°C jahutatud külmkuivatuskambris kus jätkati jahutamist $0,25^{\circ}\text{C}/\text{min}$ kuni temperatuurini -40°C seejärel hoiti marju sellel temperatuuril 60-90 minutit kuni marjade temperatuur ühtlustus täielikult kambri temperatuuriga ja toimus täielik külmumine. Külmkuivatamise primaarse etapi läbiviimisel katsetati sublimatsiooni intensiivistamiseks erinevaid temperatuuri režiime. Leiti, et vaarika külmkuivatamiseks ei sobi ükski aeglase temperatuuri tõstmisega külmkuivatamise režiim.



Joonis 12 Kuivamata osaviljadega vaarikas

Leiti, et vaarika osaviljade kestad takistavad aeglase temperatuuri tõstmise puhul vähe intensiivsel sublimatsioonil tekkival veeaurul marjakesta läbida. Sublimatsioon peatub, hakkab toimuma marjade aeglane ülessoojenemine ja jääkristallide sulamine. Külmkuivamist ei toimu. Külmkuivatamise režiim, kiire temperatuuri tõstmisega üle $+30^{\circ}\text{C}$, võimaldab tekitada osaviljade sees intensiivsel sublimatsioonil eralduval veeaurul osavilja kesta barjääri läbimist soodustav surve ning sublimatsiooniprotsess toimub lõpuni.

Läbiviidud katsete tulemusena valiti välja üks külmkuivatamise režiim (režiim 4), mille tulemusena saavutati vaarikate täielik külmkuivamine ning mõõdeti marjade jääkniiskuse sisaldust ja võrreldi antioksidantsuse erinevust võrreldes värske vaarikaga.

Režiim 4: Peale marjade külmutamist tekitatakse külmkuivatuskambris vaakum 50-40 mikropaari, riiuli temperatuur tõstetakse temperatuurilt -40 °C 40 minuti jooksul temperatuurini +38 °C ning hoitakse sellel temperatuuril kuni maasikate sisetemperatuur on ühtlustunud kuivatusriiuli temperatuuriga so ~2000 minutit. Kõrgemal temperatuuril järelkuivatamise teostamiseks vajadust ei ole. Kogu protsessi läbiviimiseks kulub ~36 tundi (Joonis 13). Režiimil 4 läbiviidud katsetes kujunes külmkuivatatud vaarikate jääkniiskuse keskmiseks protsendiks $4,2\% \pm 0,6$, antioksüdantsuse märkimisväärset erinevust võrreldes värskete vaarikaga ei tuvastatud.



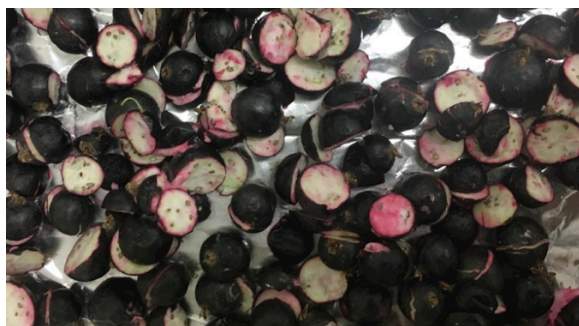
Joonis 13 Režiimil 4 külmkuivatatud vaarikas

Must sõstar: Katseid viidi läbi musta sõstra sortidega Pamjat Vavilova, Karri ja Asker. Eelkatsetes selgus, et valitud must sõstra sorte tervete marjadena marjakesta omaduse tõttu külmkuivatada ei õnnestu. Külmkuivatada õnnestus poolitatud või vigastatud marjakestaga must sõstraid. Must sõstra külmkuivatamise teostamiseks poolitati sügavkülmas hoitud marjad ning külmutati külmkuivatamise eelselt külmkuivatuskambris temperatuurini -40 °C, seejärel hoiti sellel temperatuuril 60-90 minutit kuni poolitatud marjade temperatuur ühtlustus täielikult külmkuivatuskambriga temperatuuriga ja oli toimunud täielik külmumine. Külmkuivatamise primaarse etapi läbiviimisel katsetati sublimatsiooni intensiivistamiseks erinevaid temperatuuri tõstmise režiime. Leiti, kaks külmkuivatamise režiimi, mis olid optimaalsed poolitatud mustsõstarde külmkuivatamiseks- Režiim 4 ja Režiim 5.

Režiim 4 on ära toodud vaarikate külmkuivatamise katsete kirjeldamise lõigus.

Režiim 5: Peale marjade külmutamist tekitatakse külmkuivatuskambris vaakum 50-40 mikropaari, riiuli temperatuur tõstetakse temperatuurilt -40 °C 30 minuti jooksul temperatuurini 0 °C ning ~1450 minuti jooksul temperatuurini +5 °C. Järelkuivatus ehk sekundaarne kuivatus viiakse läbi vaakumis 50-40 mikropaari, temperatuuril 28 °C kuni poolitatud marjade temperatuur on ühtlustunud kuivatusriiuli temperatuuriga so ~600 minutit. Kogu protsessi läbiviimiseks kulub ~48 tundi.

Režiimidel 4 ja 5 külmkuivatatud must sõstarde jääkniiskuse keskmiseks protsendiks kujunes toodud režiimidel $3,2\% \pm 0,7$, antioksüdantsuse märkimisväärset erinevust ei tuvastatud. Kahe režiimil külmkuivanud poolitatud must sõstarde maitse, arooni ja visuaalse väljanägemise hindamise tulemusena otsustati valida poolitatud must sõstarde külmkuivatamise optimaalsemaks režiimiks režiim 5. Külmkuivanud poolitatud must sõstarde pildid on toodud joonisel 14.



Joonis 14 Külmkuivatatud poolitatud must sõstrad

Viinamari: Katseid viidi läbi viinamarjasortidega Mars ja Jokke (Joonis. 15).



Joonis 15 Viinamarjasordid Mars (1) ja Jokke (2)

Eelkatsetes selgus, et valitud viinamarjasorte tervete marjadena marjakesta omaduse tõttu kvaliteetselt külmuivatada ei õnnestu. Külmuivatada õnnestus poolitatud viinamarju. Viinamarjade külmuivatamise teostamiseks poolitati sügavkülmas hoitud marjad ning külmutati külmuivatamise eelselt temperatuurini -40 °C ning hoiti sellel temperatuuril 60-90 minutit kuni poolitatud marjade temperatuur ühtlustus täielikult kambri temperatuuriga ja oli toimunud täielik külmumine. Külmuivatamise primaarse etapi läbiviimisel katsetati sublimatsiooni intensiivistamiseks erinevaid temperatuuri tõstmise režiime. Leiti kaks külmuivatamise režiimi, mis olid optimaalsed poolitatud viinamarjade külmuivatamiseks- Režiim 4 ja Režiim 5.

Režiim 4 on ära toodud vaarikate külmuivatamise katsete kirjeldamise lõigus.

Režiim 5 on ära toodud must sõstarde külmuivatamise katsete kirjeldamise lõigus

Režiimidel 4 ja 5 külmuivatatud viinamarjade jääkniiskuse keskmiseks protsendiks kujunes toodud režiimidel katsete läbiviimisel sordi Mars puhul $2,8\% \pm 0,6$ ja sordi Jokke puhul $4,4\% \pm 0,7$, antioksüdantsuse märkimisväärset erinevust ei tuvastatud. Kahel režiimil külmuivanud poolitatud viinamarjade maitse, aroomi ja visuaalse väljanägemise hindamise tulemusena otsustati valida poolitatud viinamarjade külmuivatamise optimaalseimaks režiimiks režiim 5. Külmuivanud poolitatud viinamarjade pildid on toodud joonisel 16.



Joonis 16 Külmuivatatud Viinamarjasordid Mars (1) ja Jokke (2)

Õun ja ploom: Katsete läbiviimiseks kasutati õunasorte Antonovka ja Krista ning ploomisorti Lepotica.

Katseks võeti 10-12 mm paksused õnaviilud ja poolitatud ploomid. Eelkatsetes näitasid, et nii õun kui ka ploom külmuivavad nii aeglase kui kiire temperatuuri tõstmisega külmuivatamise režiimidel. Katsematerjali külmuivatamise eelseks külmutamise optimaalseks temperatuuriks saadi katsete tulemusena -40 °C. Võrdlevad katsed viidi läbi eelnevate külmuivatuskatsete juures kirjeldatud režiimidega 4 ja 5. Nimetatud režiimidel külmuivatatud õunte jääkniiskuse keskmiseks protsendiks kujunes $3,5\% \pm 0,8$, antioksüdantsuse olulisi erinevusi ei tuvastatud. Kuna külmuivanud õnaviilude maitse, aroomi ja visuaalse väljanägemise hindamisel märgatavaid erinevusi erinevate režiimide kasutamise puhul ei tuvastatud, otsustati valida õunte külmuivatamise optimaalseimaks režiimiks režiim 4 (kõige kiirem külmuivamise aeg). Nimetatud režiimidel külmuivatatud ploomide jääkniiskuse keskmiseks protsendiks kujunes $4,7\% \pm 0,5$, antioksüdantsuse olulist erinevust ei

tuvastatud. Külmuivanud poolitatud ploomide maitse, aroomi ja visuaalse väljanägemise hindamisel märgatavaid erinevusi erinevate režiimide kasutamise puhul ei tuvastatud ning otsustati valida ploomide külmuivatamise optimaalseimaks režiimiks režiim 4 (kõige kiirem külmuivamise aeg).



Joonis 17 Külmuivatatud õunad ja ploomid

Peet: Katsete läbiviimiseks kasutati peedi sorti Pablo

Katseks võeti 10 mm paksused peediviilud. Eelkatset näitasid, et peediviilud külmuivavad nii aeglase kui kiire temperatuuri tõstmisega külmuivatamise režiimidel. Katsematerjali külmuivatamise eelseks külmutamise optimaalseks temperatuuriks saadi katsete tulemusena $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Võrdlevad katsed viidi läbi eelnevate külmuivatuskatsete juures juba ära kirjeldatud režiimidega 4 ja 5. Nimetatud režiimidel külmuivatatud peediviilude jääniiskuse keskmiseks protsendiks kujunes $2,5\% \pm 0,5$, antioksüdantsuses olulisi erinevusi ei tuvastatud. Külmuivatatud peediviilude visuaalsel hindamisel leiti, et režiimil 5 külmuivatatud peediviilud olid vähem deformeerunud kui režiimil 4 külmuivatatud peediviilud. Peetide külmuivatamise optimaalseimaks režiimiks otsustati valida režiim 5 (Joonis 18)



Joonis 18 Külmuivatatud peediviilud

Küüslauk: Katsete läbiviimiseks kasutati küüslaugu sorte Harnas ja Ziemiai

Katseks võeti 2-3 mm paksused küüslauguviilud. Eelkatset näitasid küüslauguviilude head külmuivamise võimet nii madalatel kui ka kõrgematel temperatuuridel. Küüslaugus leiduvate lenduvate ühendite kaasa sublimeerumise vältimiseks leiti optimaalseimaks viisiks külmuivatamise läbiviimine madalal temperatuuril. Selleks töötati välja katsete tulemusena režiim 6.

Režiim 6: Viilutatud küüslaugu külmuivatamise eelseks külmutamise optimaalsemaks temperatuuriks saadi katsete tulemusena $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Külmuivatamise läbiviimiseks tekitatakse peale küüslauguviilude külmutamist külmuivatuskambris vaakum 50-40 mikropaari, riuli temperatuur tõstetakse temperatuurilt $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 40 minuti jooksul temperatuurini $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ning ~1400 minuti jooksul temperatuurini $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Järelkuivatus ehk sekundaarne kuivatus viiakse läbi vaakumis 50-40 mikropaari, temperatuuril $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ kuni küüslauguviilude temperatuur on ühtlustunud kuivatusriuli temperatuuriga so ~500 minutit. Kogu protsessi läbiviimiseks kulub ~38 tundi.

Nimetatud režiimil külmuivatatud küüslauguviilude jääniiskuse keskmiseks protsendiks kujunes $3,4\% \pm 0,5$, antioksüdantsuses olulisi erinevusi ei tuvastatud (Joonis 19).



Joonis 19 Külmuivatatud küüslauk

Piparmünt ja petersell: Katsete läbiviimiseks kasutati pikalehelise mündi ja krouspeterselli lehti. Piparmündis ja krouspetersellis leiduvate lenduvate ühendite kaasa sublimeerumise vältimiseks leiti optimaalsemaks viisiks külmuivatamise läbiviimine madalal temperatuuril. Selleks töötati välja katsete tulemusena režiim 7.

Režiim 7: Külmuivatamise eelseks külmutamise optimaalsemaks temperatuuriks saadi katsete tulemusena $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Külmuivatamise läbiviimiseks tekitatakse peale taimelehtede külmutamist külmuivatuskambris vaakum 50-40 mikrobaari, riiuli temperatuur tõstetakse temperatuurilt $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 30 minuti jooksul temperatuurini $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ning ~1400 minuti jooksul temperatuurini $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Järelkuivatus ehk sekundaarne kuivatus viiakse läbi vaakumis 50-40 mikrobaari, temperatuuril $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ kuni taimelehtede temperatuur on ühtlustunud kuivatusriiuli temperatuuriga so ~500 minutit. Kogu protsessi läbiviimiseks kulub ~38 tundi.

Nimetatud režiimil külmuivatatud pikalehelise mündi jääniiskuse keskmiseks protsendiks kujunes $3,4\% \pm 0,6$ ja krouspetersellil $3,7 \pm 0,7$. Mõlema taime puhul protsess antioksidantsust oluliselt ei mõjutanud (Joonis 20).



Joonis 20 Külmuivatatud pikaleheline münt ja krouspetersell

Külmuivatatud toote säilitamisvõimalused

Külmuivatamine võimaldab saavutada taimses materjalis kuivust, mis loob sobimatu keskkonna mikroorganismide eluks. Ilma piisava koguse vee ja hapnikuta mikroorganismid kasvada ei saa. Selleks, et säilitada külmuivatatud materjali pikemaajaliselt, on vaja teada mille eest ja kuidas seda peale külmuivatamist kaitsta.

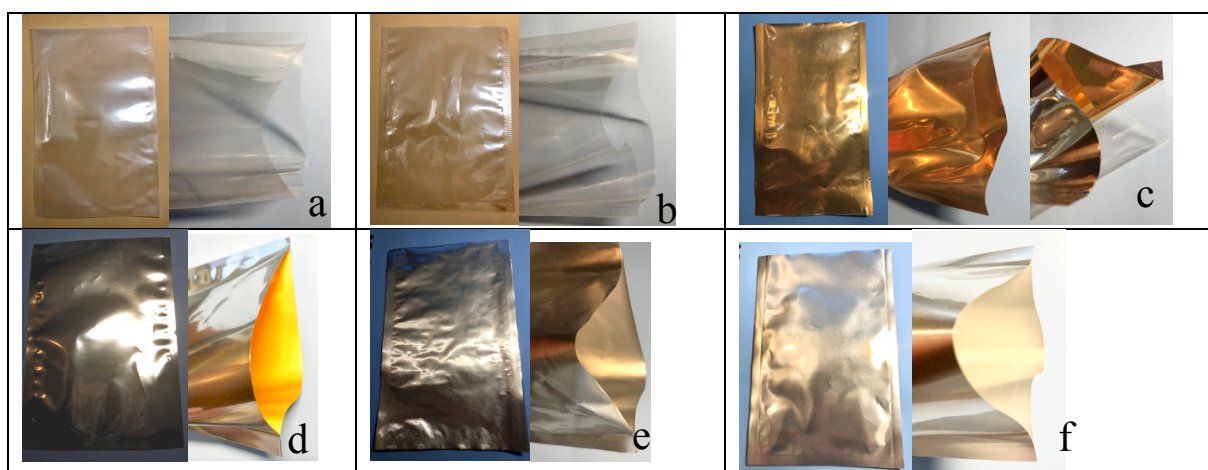
Külmuivatatud toote säilimisele on kolm peamist vaenlast: vesi, hapnik ja valgus. Seetõttu on tähtis säilitamiseks valida pakend, mis minimeeriks külmuivatatud toote võimalust kokku puutuda kahjustavate teguritega. Tagada tuleb kaitse niiskuse, hapniku ja UV kiirguse eest.

Pakkematerjali headust iseloomustavad WVTR ehk MVTR veeauru ehk niiskuse ülekande määr (Water and Moisture Vapor Transmission Rates), mis iseloomustab veeauru barjäärist läbivust $\text{g/m}^2/24\text{h}$ ja O_2TR ehk OTR hapniku ülekande määr (Oxygen Transmission Rate), mis iseloomustab hapniku barjäärist läbivust $\text{cc/m}^2/24\text{h}$.

Kuivatatud toiduainete pikaks säilitamiseks sobivad pakkematerjalid mille WVTR ja OTR on väiksemad kui 1. Sellisele tingimusele vastavad hästi kaanetatavad metallpurgid ja klaasnõud.

Metallpurgid on vastupidavad mehaaniliselt ja omavad maksimaalset barjääri nii niiskuse, hapniku kui ka UV kiirguse suhtes. Klaaspurgid on mehaaniliselt vähem vastupidavad, omavad maksimaalset barjääri niiskuse ja hapniku eest kuid paljudel juhtudel ei kaitse UV kiirguse eest. Kuigi metall ja klaaspakend on mõlemad oma omadustelt hea sobivusega ja taaskasutatavad, ei soosi nende kasutamist kilepakenditega võrreldes kõrge hind ja kaal.

Käesoleva innovatsioonitegevuse üheks eesmärgiks oli leida külmkuivatatud toodetele sobiv pakkematerjal, millesse pakendades oleks külmkuivatatud toote säilivusaeg aastasel perioodil vaadelduna kõige pikem ning mille keskkonnasäästlikkus kõige suurem. Kõige paremini vastavad nendele tingimustele metall ja klaas, kuid tootjad sooviksid tarbijale pakkuda külmkuivatatud tooteid läbipaistvas kerges pakendis. Tänapäeval valmistatakse polümeersetest materjalidest kihilisi kilesid kus on saavutatud madalad WVTR ja OTR arvud. Et teada saada kuidas erinevate WVTR ja OTR arvude juures reaalselt külmkuivatatud toode polümeermaterjalist pakendis säilib, viisime läbi katsed. Katsetes kasutati kuut erinevat pakkematerjali: (a) PA/EVOH/PE, (b) PE/SiOx/PP, (c) PET/met/PE ja PET/EVOH/PE, (f) PET/met/PE, (d) PET/Alu/PE, (f) PET/Alu+/PE (Joonis 21), viidi läbi katseid ka hapniku absorberi lisamisega pakendisse.



Joonis 21 Katsetes kasutatud erinevatest pakkematerjalidest pakendid: (a) PA/EVOH/PE, (b) PE/SiOx/PP, (c) PET/met/PE ja PET/EVOH/PE, (f) PET/met/PE, (d) PET/Alu/PE, (f) PET/Alu+/PE

Pakendite barjääriomadusi hinnati veeauru ja hapniku osas läbilaskvuse järgi: madal- üle 3 g /m² 24h või cm³/ m² 24h; keskmine 0,5-3 g /m² 24h või cm³/ m² 24h; kõrge 0-0,5 g /m² 24h või cm³/ m² 24h.; UV barjääri osas madal- täielik barjäär puudub, kõrge- omab täielikku barjääri.

Barjäär	Pakkematerjal					
	a	b	c	d	e	f
hapniku barjäär	keskmine	keskmine	keskmine	keskmine	kõrge	kõrge
veeauru barjäär	madal	keskmine	keskmine	keskmine	kõrge	kõrge
UV barjäär	madal	madal	madal	kõrge	kõrge	kõrge

Joonis 22 Katses kasutatud pakendite hinnangulised barjääriomadused

Külmkuivatatud katsematerjali säilivuskatsed viidi läbi aastasel perioodil kõigi valikus olnud pakenditega.

Keskmine seisuproovide niiskusesisalduse protsendi arvvaartuse suurenemine	Pakkematerjal					
	a	b	c	d	e	f
3 kuud	3,4	2	2,1	0,5	0	0
6 kuud	4,5	3,3	3,4	1,2	0	0
9 kuud	5,2	4,1	4,3	1,9	0,3	0
12 kuud	7,1	5	5,1	2,3	0,5	0

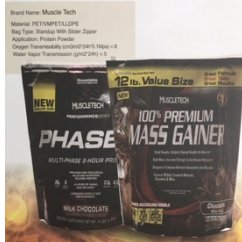
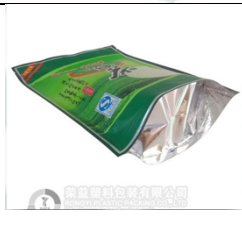
Külmkuivatatud materjal mille niiskuse sisaldus ületab 6% hakkab muutuma taas pehmeks , kaotades sellega külmkuivatamisega saadud omadusi. Olenevalt külmkuivatamisel saavutatud materjali kuivusest ja saadud kuivuse säilimise õnnestumisest pakendamisel (sõltub suhtelisest õhuniiskusest pakendamisruumis ja pakendamiseks kulunud ajast), peab külmkuivatatud materjal kvaliteedi säilimiseks jõudma pakendisse niiskusesisaldusega kuini 4%. Läbi viidud säilitamise katsetest järeldati, et pakkematerjalid, mille veeauru barjäär on madal so üle 3 g /m² 24h ei sobi kasutada külmkuivatatud materjali säilitamiseks üle ühe kuu. Pakkematerjalid, mille veeauru barjäär on keskmine so 0,5-3 g /m² 24h kuid ei oma UV barjääri, võivad sobida külmkuivatatud materjali säilitamiseks kuni kolm kuud. Pakkematerjalid, mille veeauru barjäär on keskmine so 0,5-3 g /m² 24h ja omavad UV barjääri võivad sobida külmkuivatatud materjali säilitamiseks kuni aasta. Kõrge veeauru barjääriga pakkematerjalid so 0-0,5 g /m² 24h sobivad külmkuivatatud toote säilitamiseks kauem kui aasta. Bioaktiivsete ainete sisalduse muutumise hindamisel tuvastati, et külmkuivatatud materjal, mis oli pakendatud UV- barjäärita pakendisse hakkas kaotama antioksidantsust juba esimesel kuul. UV-barjäärita pakendites ei aidanud antioksidantsuse vähenemist pidurdada isegi hapniku absorberi lisamine pakendisse. Katses olnud UV-barjääriga pakenditesse pakendatud külmkuivatatud toote antioksidantsuse olulist muutust aasta jooksul ei tuvastatud. Vaakumi mõju uurimisel tuvastati, et keskmise veeauru barjääriga pakendite vakumeerimine suurendab külmkuivatatud toote niiskuse sisalduse kasvamise kiirust pakendis. UV-barjäärita pakenditesse pakendatud külmkuivatatud toodetel tuvastati juba kolme kuu möödumisel materjali värvuse silmnähtavat muutumist heledamaks.

Teostatud katsete tulemusena leiti , et kõige sobivam pakkematerjal külmkuivatatud toodetele, millesse pakendades oleks külmkuivatatud toote säilivusaeg kuudes aastasel perioodil vaadelduna kõige pikem ning mille keskkonnasäästlikus säilivusaega silmas pidades kõige suurem oleks alumiiniumi kihti sisaldav kihiline polümerkilest valmistatud pakend (PET/Alu/PE) või õhukindlalt suletav õhukeseseinaline plekkpurk. Toote kuni aastase säilimise tagab ka kihilisest metalliseeritud polümerkilest (PET/met/PE) pakend.



Joonis 23 UV-barjäärita pakendis külmkuivatatud materjali värvuse kadumine

Rahvusvahelisel pakendimessil IPAC-IMA 2018 kogutud kontaktid kõrge barjääriga pakendite müüjate kohta.

Quansheng Printing Factory	Address: No. 6, Jinlong Road, Dragon Industrial Zone, hut Town, Chaoan District, Chaozhou, Guangdong Email: qsprinting@foxmail.com		
XWpak	Address: 600# Lianying Road Songjiang Dist Shanghai, China Email: info@xwpak.com		
Mondi Consumer Packaging GmbH	Group office Marxergasse 4A 1030 Vienna Austria www.mondigroup.com		
Guangdong weiyaprinting CO., Ltd	Guangdong Province Chaoan county an Bu Zhen Mo Long Industrial Zone info@weiyapack.com www.weiyapack.com		
Rongyi Plastic Packing Co.,Ltd	Address: Wenli Industrial zone, Anbu town, Chaoan district, Chaozhou, Guangdong Country/Region: China Zip: 515638 http://www.rongyipackin.com		
Qingdao Rizone Plastic Products Co.,LTD	 青島日之谷塑料制品有限公司 QINGDAO RIZONE PLASTIC PRODUCTS CO.,LTD Tel: + 86 - 532 - 8775 - 3888 Fax: + 86 - 532 - 8775 - 3999 Zip code: 266109 Email: info@rizonepack.com		

Guangdong Danqing Printing CO.,	Add:Liulong industrial park,Chaoan county,Guangdong,China E-mail: sales@danqing.net / China Web:http://www.danqing.net http://www.packagingofchina. com/	 www.packagingofchina.com	 www.packagingofchina.com
Dongguan Huayuan Packaging Co., Ltd.	Add : Chashan Industrial Area , Chashan Town, Dongguan City, Guangdong Province, China Zip : 523373 Email : sales@dghoyu.com		
Guangdong chang xing packing industry co.,ltd	Add : Left Side of Chaoshan Highway Hutou market, Chaozhou Guangdong China E-mail cx1@ca-changxing.com	 CHANG XING PACKING INDUSTRY CO.,LTD	 CHANG XING PACKING INDUSTRY CO.,LTD
Tasdeer- Holding Packaging Solutions	Capital Business Park Building 6 - 4th Floor 26 July Corridor Sheikh Zayed City Egypt. http://www.tasdeer- holding.com/		
Fast sincere	No. 4 Jinzhuyuan Street, Changlong, Huangjiang Town, Dongguan City Mail:Rachel@fastsincere.com http://www.flexiblepackagefac tory.com		

Energiasäästlikum külmuivatustehnoloogia ja protsessi efektiivsust tõstvad sõlmpunktid.

Esimesed küsimused, millele külmuivatusseadme soetamise planeerimisel tuleb vastus leida, on: mida ja kui suuri koguseid planeeritakse külmuivatama hakata. Tänapäeval on välja arendatud külmuivatusseadmeid kasutamiseks nii kodumajapidamises, laboris, pilootseks tootmiseks, tööstuslikuks tootmiseks portsjon-tsüklitena ja tööstuslikuks tootmiseks pideva tsüklina (Joonis 24). Seadmete erinevused seisnevad külmuivatamise mahtudes, kondenseerimisvõimes, vaakumi saavutamise ning hoidmise võimekuses, külmutamise ja soojendamise viisis ja võimes, külmaaines mida kasutatakse, protsessi kontrollimise võimalustes, automatiseerituses jne. Kõik nimetatu mõjutab ka külmuivatuse protsessi efektiivsust.

Kodumajapidamisele Hindade suurusjärg 2000-4000 EUR	 https://harvestright.com/
Laboriseadmed Hinnad algavad 4000 EUR ja hindade ülemine piir ületab 100 000EUR	 http://www.hinotek.com/lab/scientz-10n-ordinary-multi-pipeline-desktop-freeze-dryer  https://www.spscientific.com/  http://secovina.com/en/may-dong-kho-thi-nghiem-sublimator-5-902999.html

Pilootsed
tootmiseadmed



<https://www.gea.com/en/news/trade-press/2018/new-freeze-dryers-pilot-plant-anuga-2018.jsp>

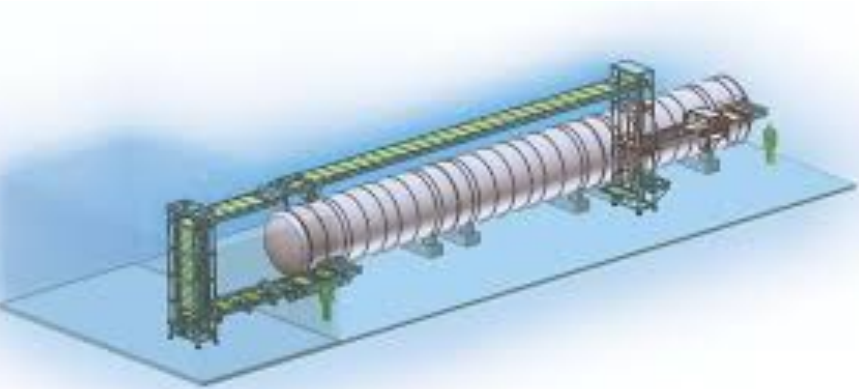


https://www.spscientific.com/Products/Freeze_Dryers/_Lyophilizers/VirTis/Floor_Model_Tray/Pilot_Lyophilizers/Ultra_Pilot_and_Small_Production_Lyophilizer/

Tsüklilised
tootmiseadmed

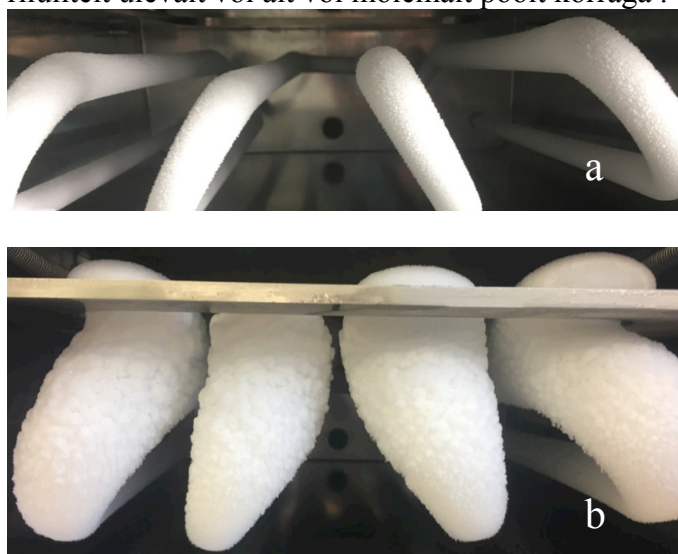


<https://www.gea.com/en/products/ray-freeze-dryer.jsp>

	 http://coolvacuum.es/en/food-industry/
Pideva tsükliga tootmiseseadmed	 https://www.gea.com/en/products/conrad-freeze-dryer.jsp  http://www.christianberner.se/\$-1/file/leverantorer/gea/dokument/frystorkning-conrad-en.pdf

Joonis 24 Näited erinevatest külmuivatusseadmetest

Külmkuivatusseadme kondenseerimisvõime sõltub kondensaatori pinnast ja sellest kui hästi on tagatud selle maksimaalselt madal temperatuur. Kondensaatori efektiivsuse suurendamiseks kasutatakse kondensaatorkeha ribide arvu tõstmist, maksimaalselt madalat temperatuuri võimaldavat külmaainet ja kahekambrilist kondenseerimist. Külmkuivatusprotsess kestab tavaliselt kaks või rohkem ööpäeva ning kui kondensaatorit pole võimalik vahepeal sulatada, kattub see paksu jääkihiga (Joonis 25). Paks jääkiht vähendab kondensaatori temperatuuri. Kahe kambri kondenseerimine võimaldab ühe kondensaatori sulatamist samal ajal kui teisele kondensaatorile vee aur kondenseerub. Sellega hoitakse ära kondensaatorkeha liigne jäätumine, temperatuuri tõus ja seonduv efektiivsuse langus. Efektiivsust on võimalik tõsta veelgi kui ühe kambri kondensaatori jahutamisel tekkivat soojushulka kasutada teise kambri kondensaatori sulatamiseks või sublimatsioonikambri riulite soojendamiseks. Oluline on kuidas külmkuivatatavale tootele energiat juurde suunatakse. Tavapäraselt suunatakse energiat tootele külmkuivatuskambri riulilt ülevalt või alt või mõlemalt poolt korraga.



Joonis 25 (a) Vähe jäätunud kondensaatorkeha, (b) liigselt jäätunud kondensaatorkeha

Efektiivsuse tõstmiseks on hakatud üha rohkem kasutama tootele sublimatsiooni intensiivistava energia andmist mikrolainete abil. Mikrolained on võimelised toote sisse tungima, tagades sellega tõhusama ja ühtlasema soojendamise.

Tööstuslikku külmkuivatamist on võimalik efektiivsemalt teostada kui kasutada portsjon-tsüklilise külmkuivatamise asemel pideva tsüklilist külmkuivatamist. Sellisel juhul ei vajata eraldi aega kondensaatorite sulatamiseks ning protsessi ei pea peatama.

Kokkuvõte

Kahe aasta innovatsioonitegevused viidi ellu plaanipäraselt. Kõik innovatsioonitegevuste eesmärgid saavutati:

1. Leiti optimaalsed külmkuivatusrežiimid valitud aiasaaduste külmkuivatamiseks: maasikas- režiim 2, õun, ploom ja vaarikas- režiim 4, must sõstar, peet ja viinamari- režiim 5, küüslauk- režiim 6, piparmünt ja petersell režiim 7
2. Teostatud katsete tulemusena leiti, et kõige sobivam pakkematerjal külmkuivatatud toodetele, millesse pakendades oleks külmkuivatatud toote säilivusaeg kuudes aastasel perioodil vaadelduna kõige pikem ning mille keskkonnasäästlikkus säilivusaega silmas pidades kõige suurem, oleks alumiiniumi kihti sisaldav kihiline polümeerkilest valmistatud pakend (PET/Alu/PE) või õhukindlalt suletav õhukeseseinaline plekkpurk. Toote kuni aastase säilimise tagab ka kihilisest metalliseeritud polümeerkilest (PET/met/PE) pakend.

3. Selgitati välja energiasäästlikum külmuivatustehnoloogia ja protsessi efektiivsust tõstvad sõlmpunktid:
 kõige energiasäästlikumaks külmuivatamise tehnoloogiaks on tehnoloogia, mille puhul kasutatakse maksimaalse vaakumtihedusega külmuivatuskambrit, kus vee aur kondenseeritakse -70 °C või madalamal temperatuuril kondensaatorkehale ja kasutatakse veeauru kondenseerimiseks mitme kambri süsteemi, kus protsessi soojus akumuleeritakse ja kasutatakse uuesti ära.
 Oluline on toote külmuivatamiseks õigesti valitud külmuivatuse režiimi valimine. Läbi viidud innovatsioonitegevuse käigus töötati välja valitud kultuuridele optimaalsed külmuivatuse režiimid millest on võimalik lähtuda efektiivse külmuivatamise planeerimisel. Katsed näitasid, et optimaalse režiimi puhul on võimalik külmuivatamist kiirendada 20-25%. Märkida saab, et kõige kiiremini toimub külmuivatuse protsess kui külmutamine viia läbi aeglaselt ja primaarses kuivatuse faasis tõsta temperatuur kiiresti üle 20 kraadi.

Lisa 1. Suuremate külmuivatusseadmete tootjate kontaktid

Cuddon Freeze Dry	McArtney Street, PO Box 64, Blenheim, New Zealand https://www.cuddonfreezedry.com
MechaTech Systems Ltd	Units 9 & 10 Brunel Way, Thornbury Industrial Estate, Thornbury, Bristol, BS35 3UR, United Kingdom https://www.mechatechsystems.co.uk
ZIRBUS technology GmbH	Hilfe Gottes 1, 37539 Bad Grund / Harz, Germany https://www.zirbus.com
Kemolo Co.	Add.: #2-4 Qiancheng Road, Fengdu Industry Park, Yuhang, Hangzhou, China, http://www.kemolo.com/
Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH	An der Unteren Söse 50, 37520 Osterode am Harz, Germany https://www.martinchrist.de
HOF Sonderanlagenbau GmbH	Vor dem Langen Loh 2, 35075 Gladenbach-Mornshausen Germany, http://www.hof-sonderanlagen.de
Terruzzi fercalx spa Headquarters	Viale Lombardia, 7-Zona Industriale2, 24050 Spirano - Italy http://www.terruzzifercalxgroup.com
GEA Process Engineering A/S	Gladsaxevej 305, DK-2860 Soeborg, Denmark, www.gea.com
Hangzhou Chuangyi Vacuum Freeze Dryer Factory	http://en.ldgz.com
Fuzhou Xing Shun Da Refrigeration Facility Project Co	Chen CuO Industrial Zone, Nantong town, MinhoCounty, Fujian province, China. http://www.fjxsd.cc/
PIGO	Via dell'Edilizia, 142, 36100, Vicenza, http://www.pigo.it

Viidatud kirjanduse loend

- Boss, Edinara Adelaide, Rubens Maciel Filho, Eduardo Coselli, and Vasco De Toledo. 2004. "Freeze Drying Process: Real Time Model and Optimization." *Chemical Engineering and Processing* 43: 1475–85. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2004.01.005>.
- Ciurzyńska, Agnieszka, and Andrzej Lenart. 2010. "Structural Impact of Osmotically Pretreated Freeze-Dried Strawberries On Their Mechanical Properties." *International Journal of Food Properties*. <https://doi.org/10.1080/10942910903013134>.

- . 2011. “Freeze-Drying - Application in Food Processing and Biotechnology - A Review.” *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. <https://doi.org/10.2478/v10222-011-0017-5>.
- Clark, J.P. 2009. *Case Studies in Food Engineering: Learning from Experience*. Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0420-1_8.
- Fante, Luciane, Caciono Pelayo, and Zapata Noreña. 2013. “Quality of Hot Air Dried and Freeze-Dried of Garlic (*Allium Sativum* L.).” <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1025-8>.
- Hammami, Chokri, Frédéric René, and Michèle Marin. 1999. “Process–Quality Optimization of the Vacuum Freeze- Drying of Apple Slices by the Response Surface Method.” *International Journal of Food Science and Technology* 34: 145–60.
- Huang, Lue lue, Min Zhang, Wei qiang Yan, Arun S. Mujumdar, and Dong feng Sun. 2009. “Effect of Coating on Post-Drying of Freeze-Dried Strawberry Pieces.” *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.031>.
- Kasper, Julia Christina, and Wolfgang Friess. 2011. “The Freezing Step in Lyophilization: Physico-Chemical Fundamentals, Freezing Methods and Consequences on Process Performance and Quality Attributes of Biopharmaceuticals.” *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2011.03.010>.
- Kırmacı, Volkan, Hüseyin Usta, and Tayfun Menlik. 2008. “An Experimental Study on Freeze-Drying Behavior of Strawberries.” *Drying Technology*. <https://doi.org/10.1080/07373930802467037>.
- Li, Dongmei, Zhiwei Zhu, and Da Wen Sun. 2018. “Effects of Freezing on Cell Structure of Fresh Cellular Food Materials: A Review.” *Trends in Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.019>.
- Luyet, Basile J. 1968. “Investigations on Freezing and Freeze-Drying of Selected Fruits and Vegetables.” Massachusetts.
- Maldonado Guillermo Petzold. 2013. “Considerations of Ice Morphology and Driving Forces in Freeze Concentration.” Santiago de Chile: Guillermo Petzold.
- Marques, Kelly K., Michael H. Renfro, Patricia Bowling B. Brevard, Robert E. Lee, and Janet W. Gloeckner. 2010. “Differences in Antioxidant Levels of Fresh, Frozen and Freeze-Dried Strawberries and Strawberry Jam.” *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. <https://doi.org/10.3109/09637481003796306>.
- Ratti, Cristina. 2012. “Freeze-Drying Process Design.” In *Handbook of Food Process Design*, edited by Jasim Ahmed and Mohammad Shafiur Rahman. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781444398274.ch22>.
- Sablani, S. S., M. S. Rahman, M. K. Al-Kuseibi, N. A. Al-Habsi, R. H. Al-Belushi, I. Al-Marhubi, and I. S. Al-Amri. 2007. “Influence of Shelf Temperature on Pore Formation in Garlic during Freeze-Drying.” *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.05.010>.
- Shishegharha, F., J. Makhlof, and C. Ratti. 2002. “Freeze-Drying Characteristics of Strawberries.” *Drying Technology*. <https://doi.org/10.1081/DRT-120001370>.
- Syamaladevi, Roopesh M., Shyam S. Sablani, Juming Tang, Joseph Powers, and Barry G. Swanson. 2011. “Stability of Anthocyanins in Frozen and Freeze-Dried Raspberries during Long-Term Storage: In Relation to Glass Transition.” *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02249.x>.
- Torres, C. de, M. C. Díaz-Maroto, I. Hermosín-Gutiérrez, and M. S. Pérez-Coello. 2010. “Effect of Freeze-Drying and Oven-Drying on Volatiles and Phenolics Composition of Grape Skin.” *Analytica Chimica Acta*. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.10.005>.
- Torres, C. de, R. Schumacher, M. E. Alañón, M. S. Pérez-Coello, and M. C. Díaz-Maroto. 2015. “Freeze-Dried Grape Skins by-Products to Enhance the Quality of White Wines from Neutral Grape Varieties.” *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.016>.
- Vulić, Jelena J., Aleksandra S. Velićanski, Dragana D. Četojević-Simin, Vesna T. Tumbas Šaponjac, Sonja M. Djilas, Dragoljub D. Cvetković, and Siniša L. Markov. 2014. “Antioxidant, Antiproliferative and Antimicrobial Activity of Freeze-Dried Raspberry.” *Acta Periodica Technologica*. <https://doi.org/10.2298/APT1445099V>.
- Welti-Chanes, J., D. Bermúdez, A. Valdez-Fragoso, H. Mújica-Paz, and S. M. Alzamora. 2004. “Principles of Freeze-Concentration and Freeze-Drying.” In *Handbook of Frozen Foods*, edited by Marcel Dekker AG, 13–14. New York.

- Welti-Chanes, J, F Vergara-Balderas, E Pérez-Pérez, and A Reyes-Herrera. 2005. "Fundamentals and New Tendencies of Freeze-Drying of Foods." Montevideo.
- Yu, Kuang Cheng, Chien Cheng Chen, and Pei Cheng Wu. 2011. "Research on Application and Rehydration Rate of Vacuum Freeze Drying of Rice." *Journal of Applied Sciences*.
<https://doi.org/10.3923/jas.2011.535.541>.
- Yurdugül, Seyhun. 2008. "An Evaluation of the Retention of Quality Characteristics in Fresh and Freeze-Dried Alpine Strawberries." *International Journal of Food Science and Technology*.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01533.x>.