



Matvælasjóður
styrkti þessa vinnu



Lösmynd: Harvest Right

Hagkvæmniathugun fyrir uppsetningu frostþurrkunarvers fyrir matvæli á Íslandi

Mái 2022

Hrafnhildur Árnadóttir
Helga Gunnlaugsdóttir
Sveinn Aðalsteinsson

Ottó Elíasson

 Orkídea

EIMUR

Efnisyfirlit

1. Samantekt.....	4
2. Almenn um frostþurrkun.....	5
2.1. Frostþurrkun á Íslandi.....	6
2.2. Ferli frostþurrkunar.....	7
2.3. Virkni frostþurrkara.....	9
2.4. Nýting jarðhita í frostþurrkunarferlinu.....	10
2.4.1. Varmavélar.....	11
2.4.2. Þeysar.....	11
2.4.3. Varmadrifnar kælivélar.....	12
2.4.4. Lofttæming og þurrugufun.....	14
3. Eftirspurn.....	16
4. Tækjabúnaður og verðkönnun.....	19
4.1. Tækjabúnaður.....	19
4.2. Kemolo FD 200.....	19
4.3. SiccaDania FD500.....	20
4.4. GEA RAY 125.....	21
4.5. Verðkönnun tækja.....	21
4.6. Verðkönnun þjónustu.....	22
5. Sviðsmyndir.....	24
5.1. Forsendur sviðsmynda.....	25
5.1.1. Stofnkostnaður.....	25
5.1.2. Rekstrarkostnaður.....	27
5.1.3. Fastur kostnaður.....	29
5.2. Sviðsmynd 1.....	30
5.3. Sviðsmynd 2.....	31
5.4. Sviðsmynd 3.....	31
5.5. Sviðsmynd 4.....	32
5.6. Sviðsmynd 5.....	33
5.7. Umræður.....	33
6. Niðurstöður.....	39
Viðauki.....	41
Heimildaskrá.....	42

Mynda- og töfluskrá

Mynd 1. Samanburður milli frostþurrkaðra og loftþurrkaðra ávaxta. Mynd: Vefsíða Harvest right.	5
Mynd 2: Yfirlitsmynd yfir frostþurrkunarferlið. Mynd, Bhatta, Janezic og Ratti, (2020)	8
Mynd 3. Dæmi um frostþurrkara.....	9
Mynd 4. Hringrás varmadælu. Mynd. Wikimedia Commons/Ilmari Karonen.	11
Mynd 5. Gufuþeysir og hlutar hans. Mynd: Wikimedia Commons/Johannes Rössel, þýdd	12
Mynd 6. Varmavél knúin gufuþeysi. Hér er gufan búin til í katli (boiler), en á háhitasvæðum væri það óþarfi. Mynd frá Eames et al. (1995).	13
Mynd 7. Ísogskælivél og virkni hennar, í útfærslu Platen og Munters. Þessi útfærsla krefst ekki mekanískrar dælu. Mynd, Wikimedia Commons/Goran tek-en.....	14
Mynd 8. Raðtengdir þeyсар ná lægri þrýstingi.....	15
Mynd 9. Kemolo FD200 plug and play frostþurrkari. Mynd: www.kemolo.com.....	19
Mynd 10. SiccaDania FD500 plug and play frostþurrkari. Mynd, www.siccadania.com.	20
Mynd 11. Tillaga SiccaDania að uppsetningu vinnslurýmis. Mynd, www.siccadania.com.	20
Mynd 12. Tveir Ray frostþurrkarar ásamt flutningskerfi. Mynd, www.gea.com.....	21
Mynd 13. Áætlaður framleiðslukostnaður á einingu (kg) hvernar sviðsmyndar.....	34
Mynd 14. Hlutfall kostnaðarliða sem hafa mest áhrif á framleiðslukostnað.....	35
Mynd 15. Áhrif 30% aukinnar nýtingar og 30% minni nýtingar á framleiðslukostnað sviðsmynda.	36
Mynd 16. Áhrif fækkunar starfsfólks á framleiðslukostnað sviðsmynda.....	37
Mynd 17. Áhrif lægri afskrifta á framleiðslukostnað sviðsmyndar 3.....	37
Tafla 1. Listi yfir uppgefin verð fyrir frostþurrkara frá ýmsum framleiðendum.	22
Tafla 2. Yfirlit yfir frostþurrkara og tækjabúnað sviðsmynda	25
Tafla 3. Áætlaður stofnkostnaður allra sviðsmynda.	25
Tafla 4. Fermetrastærð, fermetraverð og kaupverð atvinnuhúsnæðis.	26
Tafla 5. Áætlaður rekstrarkostnaður allra sviðsmynda.....	28
Tafla 6. Raforkunotkun og raforkukostnaður á ári miðað við 80% nýtingarhlutfall	28
Tafla 7. Rúmmetrar af heitu vatni notuðu til afþiðingar frostþurrkara.	29
Tafla 8. Áætlaður stofn- og rekstrarkostnaður sviðsmyndar 1.	31
Tafla 9. Áætlaður stofn- og rekstrarkostnaður sviðsmyndar 2.	31
Tafla 10. Áætlaður stofn- og rekstrarkostnaður sviðsmyndar 3.....	32
Tafla 11. Áætlaður stofn- og rekstrarkostnaður sviðsmyndar 4.....	32
Tafla 12. Áætlaður stofn- og rekstrarkostnaður sviðsmyndar 5 með notkun jarðgufu.....	33
Tafla 13. Samantekt yfir kostnaðarliði, afskriftir og hámarks afkastagetu þurrkara.	34
Tafla 15. Rekstrarniðurstaða sviðsmynda.....	38
Tafla 16. Áhrif stofnkostnaðar vegna frostþurrkara á rekstrarniðurstöðu sviðsmyndar 3.....	38

1 Samantekt

Þetta hagkvæmnimat var unnið af systurverkefnunum Orkídeu og Eimi sem bæði hafa það að markmiði að efla nýsköpunarumhverfið á Suður- og Norðurlandi. Markmið þessa verkefnið var að kanna hagkvæmni þess að reisa miðlægt frostþurrkunarver á Íslandi. Frostþurrkun er í dag orðin fremur útbreidd vinnsluaðferð við matvælaframleiðslu víða erlendis, enda þykir hún henta sérstaklega vel til þurrkunar á matvælum vegna þess hversu vel aðferðin varðveitir viðkvæm næringarefni og lífvirk efni þeirra hráefna sem þurrkuð eru. Eiginleikar frostþurrkunar umfram loftþurrkun eru ótvíræðir en aðferðin er þó mun dýrari og orkufrekari verkunaraðferð en hefðbundin loftþurrkun. Á Íslandi er algengast að notast sé við loftþurrkun við þurrkun matvæla en þó hefur umræðan um gagnsemi frostþurrkunar reglulega stungið upp kollinum, ekki síst í tengslum við áform sem nú eru uppi um gífurlegan vöxt smápörungaframleiðslu.

Markmiðið með framkvæmd þessa hagkvæmnimats var annars vegar að kanna eftirspurn íslenskra fyrirtækja og framleiðenda eftir frostþurrkunarþjónustu og hins vegar að kanna hagkvæmni þess að frostþurrkunarver yrði reist á Íslandi. Sendar voru fyrirspurnir og rætt við stjórnendur fjölda fyrirtækja vítt og breitt um landið og leitast við að kortleggja hversu mikil uppsöfnuð þörf væri þegar fyrir hendi og reynt að meta fyrirsjáanlega aukningu á þjónustubörfinni á næstu árum. Til að geta reiknað út hagkvæmni var því ákveðið að setja fram fimm ólíkar sviðsmyndir þar sem lagt er upp með mismundi forsendur t.d. hvað varðar vænta eftirspurn, stofnkostnað og rekstrarkostnað. Teknar voru saman upplýsingar um þá þætti sem mest áhrif hafa á framleiðslukostnað sviðsmyndanna og reiknað út hvaða áhrif breytingar á þessum forsendum myndu hafa á endanlegan framleiðslukostnað og rekstrarniðurstöðu sviðsmyndanna.

Árlega senda matvælaframleiðendur a.m.k. 28 tonn erlendis til frostþurrkunar. Sterkar vísbendingar eru um að eftirspurnin eftir frostþurrkunarþjónustu muni aukast töluvert á næstu árum meðal innlendra framleiðenda. Miðað við þær hagkvæmningreiningar sem gerðar voru í þessu verkefni má gera ráð fyrir því að árleg eftirspurn á bilinu 100 til 200 tonn, ætti að geta skilað miðlægu frostþurrkunarveri jákvæðri rekstrarniðurstöðu. Hér skipta gerð hráefnis, forvinnsla þess, fjárfestingakostnaður tækjabúnaðar og húsakosts jafnt sem nýtingarhlutfall tækja máli til að ná fram hagkvæmni í rekstri. Fullvíst er þó að uppbygging á frostþurrkunarþjónustu yrði afar verðmæt fyrir frumkvöðla í matvæla- og líftæknigeiranum og hefði örvandi áhrif á nýsköpunarumhverfi þeirra. Nýsköpun er lykill að vexti og framþróun fyrirtækja, eykur samkeppnishæfni þeirra og stuðlar þannig að verðmætasköpun í samfélaginu sem eykur hagsæld og eflir þjóðarbúið.

2 Almennt um frostþurrkun

Þurrkun matvæla er ævaforð verkunaraðferð sem hefur í gegnum aldirnar verið notuð með það að markmiði að auka geymsluþol matvæla sem hafa stuttan líftíma. Þurrkun matvæla breytir auk þess eiginleikum þeirra, svo sem lögun, bragði, lit og lykt en þannig getur þurrkun matvæla einnig nýst til að auka fjölbreytileika þeirra afurða sem unnar eru úr hráefnunum.¹ Til eru fjölmargar mismunandi aðferðir til að þurrka matvæli en mikill munur getur verið á áhrifum þurrkaðferðanna á gæði og líftíma þeirra hráefna sem þurrkuð eru. Á Íslandi er loftþurrkun algengasta þurrkunaraðferðin sem nýtt er við þurrkun matvæla t.d. við þurrkun sjávarafurða s.s. hausa, hryggja og á heilum fiski í kótiletum. Loftþurrkun fer fram í stýrðum aðstæðum þar sem hitað loft er látið leika um hráefnið og loftinu svo veitt út í gegnum loftstokka. Gjarnan hefur loðað við loftþurrkun sjávarafurða mikil lyktarmengun og því hefur slík starfsemi orðið sífellt óvinsælli innan bæjarfélaga.²

Frostþurrkun er ekki ný aðferð en hún hefur verið notuð í einhverjum mæli allt frá seinni heimsstyrjöldinni þar sem hún var notuð til að þurrka blóðvökva. Aðferðin ruddi sér til rúms í matvælaframleiðslu á 7. áratug síðustu aldar en hún var þá að mestu nýtt til að frostþurrka skyndikaffi og skyndirétti, fyrst fyrir geimfara en síðar fyrir útivistarfólk.³ Í dag er aðferðin orðin útbreidd vinnsluáðferð við matvælaframleiðslu enda þykir hún henta vel til þurrkunar á matvælum og fæðubótarefnum. Eiginleikar frostþurrkunar umfram loftþurrkun eru ótvíræðir þegar kemur að varðveislu viðvæmra eiginleika hráefna á borð við lífvirkni, vítamína, litar, bragðs og lögunar hráefna.⁴ Að auki má með frostþurrkun lengja geymsluþol hráefna í allt að 25 ár án notkunar viðbættra rotvarnarefna. Á mynd 1 má sjá samanburð á útliti frostþurrkaðra ávaxta (t.v) og loftþurrkaðra ávaxta (t.h). Frostþurrkaðir ávextir halda nær algerlega lögun og lit en þeir loftþurrkuðu skreppa saman, krumpast og missa lit.⁵



Mynd 1. Samanburður milli frostþurrkaðra og loftþurrkaðra ávaxta. Mynd: Vefsíða Harvest right.

¹ Fellows J. P. (2017).

² Matís (2014).

³ Shukla (2011).

⁴ Fellows J. P. (2017).

⁵ Harvest Right (án dags).

Frostþurrkun hentar vel við vinnslu fjölbreyttra hráefna, svo sem ávaxta, grænmetis, jurta, sjávarfangs, kjöts- og mjólkurvara.⁶ Þar sem frostþurrkun er dýr vinnsluaðferð hefur alla jafna verið talað um að aðferðin henti svo til eingöngu til framleiðslu á dýrum varningi.⁷ Auk varðveislu næringarefna, bragðs og litar er einn af kostum frostþurrkaðra afurða hæfileiki þeirra til vatnsupptöku. Frostþurrkun hentar því vel til framleiðslu á ýmiskonar afurðum sem blanda má út í vökva, svo sem mjólkurduft, tilbúna rétti, te, pakkasósur og pakkasúpur.⁸ Erlendis hefur frostþurrkun í gegnum tíðina mest verið notuð til að framleiða sérfæði á borð við skyndikaffi, krydd eða skyndirétti fyrir íþróttá- og útivistarfólk. Einnig er algengt að ávextir og grænmeti séu frostþurrkuð og notuð í ýmiskonar matvörur, svo sem í morgunkorn, súpur, te, bakkelsi eða sælgæti.⁹ Eiginleikar frostþurrkunar til varðveislu lífvirkra efna, næringarefna og vítamína í hráefnum hafa gert ýmsar frostþurrkaðar afurðir eftirsóknarverðar sem fæðubótarefni.¹⁰ Á undanförnum árum hafa auk þess myndast markaðir fyrir fjölbreyttari frostþurrkaðar afurðir, ekki síst í tengslum við breyttar neysluvenjur og auknar áherslur á umhverfisvernd og sjálfbærni í matvælaframleiðslu.¹¹ Matvælaframleiðslu fylgir talsverð sóun og nýtanlegum og næringarríkum hliðarafurðum er gjarnan hent þar sem oft skortir hentugan farveg til að gera úr þeim verðmæti.¹² Í meira mæli hefur verið horft til frostþurrkunar sem farveg fyrir slíkar hliðarafurðir í þeim tilgangi að draga úr sóun og skapa aukin verðmæti.¹³

2.1 Frostþurrkun á Íslandi

Hingað til hefur frostþurrkun aðeins verið notuð að litlu leyti á Íslandi. Á undanförnum áratugum hafa þó ýmsir velt fyrir sér hagkvæmni þess að reisa frostþurrkunarverksmiðju á Íslandi. Árið 1961 birtist t.a.m. grein í *Alþýðublaðinu* þar sem fjallað var um frostþurrkun sem tækninýjung sem væri að ryðja sér til rúms í matvælaframleiðslu í Evrópu og þá gjörbyltingu sem aðferðinni fylgdu við geymslu matvæla. Undraði greinarhöfundur sig á því hversu lítinn áhuga íslenskir matvælaframleiðendur virtust hafa á aðferðinni og taldi að það skýrðist aðallega af þeim misskilningi að menn héldu að geyma þyrfti frostþurrkaðar afurðir í frysti.¹⁴ Árið 1976 birtist einnig grein í *Tímanum* þar sem rætt var við Sigurð B. Magnússon verkfræðing um möguleika frostþurrkunar á Íslandi, sem þá var sögð nokkuð ný verkunaraðferð við matvælaframleiðslu. Taldi Sigurður að aðstæður á Íslandi væru mun hagstæðari fyrir frostþurrkun en aðstæður í öðrum löndum, sér í lagi þar sem á Íslandi væri aðgengi að ódýrri jarðgufu og raforkuverð lægra en erlendis. Í greinni telur Sigurður aðstæður á Íslandi það heppilegar að hann sá fyrir sér að tækifæri væru fyrir hendi til að flytja hráefni til Íslands sem síðan yrði frostþurrkað til endurútflutnings.¹⁵

Ýmsar rannsóknir og kannanir á möguleikum þess að hefja frostþurrkun á Íslandi hafa verið framkvæmdar á undanförnum árum og áratugum, meðal annars við Háskóla Íslands. Hefur þá bæði verið leitast við að kanna hagkvæmni þess að hefja frostþurrkun hráefna á Íslandi og bera saman kostnað við frostþurrkun með notkun rafmagns annars vegar og notkun jarðgufu hins vegar. Alla jafna hafa niðurstöður verið á þá leið að talið er hagkvæmt að setja á fót slíka verksmiðju á Íslandi vegna lágs raforkuverðs og ekki síst vegna góðs aðgengis að jarðgufu. Þessar rannsóknir eiga það þó flestar sameiginlegt að helst var horft á möguleika þess að reisa stór frostþurrkunarver til að frostþurrka

⁶ Fellows J. P. (2017).

⁷ Stratta, Capozzi, Franzino og Pisano (2020).

⁸ Shukla (2011).

⁹ Bhatta, Janezic og Ratti (2020).

¹⁰ Nutraceutical Business Review (2020).

¹¹ Karwacka o.fl. (2022)

¹² Rakel Halldórsdóttir, Ólafur Reykdal, Valur Gunnlaugsson, Valur Norðri (2022)

¹³ Karwacka o.fl. (2022)

¹⁴ *Alþýðublaðið* (1961).

¹⁵ *Tíminn* (1976).

ýmiskonar sjávarfang, enda var sjávarfang það hráefni sem helst var frostþurrkað á þeim tíma á vesturlöndum.^{16,17,18} Í þessum könnunum var uppbygging frostþurrkunarvers því ekki hugsuð í því ljósi að slíkt ver yrði miðlægt þjónustufyrirtæki heldur voru þau hugsuð til fremur afmarkaðra verkefna með einsleit hráefni. Nokkrar tilraunir með frostþurrkun hafa auk þess verið framkvæmdar hér á landi, m.a. með notkun jarðgufu og gufuþeysakerfis (sjá nánar í kafla 2.4). Árið 1998 létu Hitaveita Suðurnesja og Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins framkvæma tilraun til frostþurrkunar matvæla í því markmiði að afla reynslu af frostþurrkun með notkun gufuþeysakerfis sem knúid væri jarðgufu. Í tengslum við tilraunina voru gerð sýnishorn af frostþurrkaðri rækju, ýsubitum, ýsuflökum, loðnuhognum, afskornum blómum og hörpudiskskrafti.¹⁹ Tilraunir hafa einnig verið gerðar til frostþurrkunar með notkun raforku og gerð tilraunaframleiðsla á ýmiskonar frostþurrkuðu íslensku sjávarfangi.²⁰ Nýlega hafa vöruþróunartilraunir verið gerðar með frostþurrkun skyr og hafa þær tilraunir nú leitt af sér stofnun íslensks fyrirtækis sem framleiðir frostþurrkað skyr fyrir Evrópumarkað en framleiðsla þess mun þó líklega fara fram erlendis.²¹

2.2 Ferli frostþurrkunar

Frostþurrkun fer fram við stýrðar aðstæður og felur í sér þrjú megináhrif: Frystingu (e. freezing), þurrgun (e. sublimation) og fullþurrkun (e. secondary drying).^{22,23}

- **Frysting:** Í upphafi er ferskt hráefni fryst niður fyrir glermark þess (e. glass transition temperature). Háefnið er annað hvort fryst inni í sjálfum frostþurrkanum eða í frístandandi frystiklefa og það svo fært yfir í frostþurrkanum að lokinni frystingu. Við frystingu kristallast vatnssameindirnar og langstærsti hluti þeirra breytist í ís en hluti vatnssameindanna er bundinn próteinum og frýs ekki. Háefni frystingarinnar hefur áhrif á stærð ískristallana, þeim mun háðara sem frystingarferlið er því smærri verða kristallarnir (sem er eftirsóknarvert fyrir matvæli sem á að frostþurrka). Stórir kristallar rjúfa frumuhimmnur og skilja eftir sig mikið holrými í hráefninu þegar ísinn gufar upp og hefur það neikvæð áhrif á eiginleika þess til vatnsupptöku við endurvötnun (e. rehydration). Á hinn bóginn tekur lengri tíma að frostþurrka vörur þar sem ískristallarnir eru smáir.
- **Þurrgun:** Í þessu skrefi er þrýstingur lækkaður og hitastig hækkað að ákveðnu marki þannig að ískristallarnir í hráefninu fara að þurrkufu þ.e.a.s. þá gufar ísinn upp í lofttæmi án þess að vatn myndist. Ef ískristallarnir eru smáir skilja þeir eftir sig litlar glufur í veggjum hráefnisins, því stærri sem kristallarnir eru því stærri glufur skilja þeir eftir sig í hráefninu og uppbygging þess verður veikari.
- **Fullþurrkun:** Við fullþurrkun er hitastig í klefanum hækkað enn frekar til að ná til vatnssameinda sem ekki eru bundnar í ískristöllum sem þurrkufar nánast allt í fyrri þurrkferlinu, heldur eru bundnar með öðrum hætti við hráefnið. Mikilvægt er að þetta ferli gerist hægt og að hitinn sé ekki of hár, svo hráefnið viðhaldi sem best uppbyggingu sinni og stöðugleika próteina.

Í frostþurrkunarferlinu er það lykilatriði að þurrgun eigi sér stað, þ.e. að öllum ísnum í hráefninu sé umbreytt beint yfir í gufu án þess að hann bráðni og verði að vatni í millitíðinni. Til þess að þetta sé

¹⁶ Birgir Guðlaugsson (1998).

¹⁷ Guðjón Gunnarsson, Irek Klonowski og Guðjón Þorkelsson (2006).

¹⁸ Davíð Arnar Benediktsson (2007).

¹⁹ Gunnar Guðlaugsson (1998).

²⁰ Guðjón Gunnarsson, Irek Klonowski og Guðjón Þorkelsson (2006).

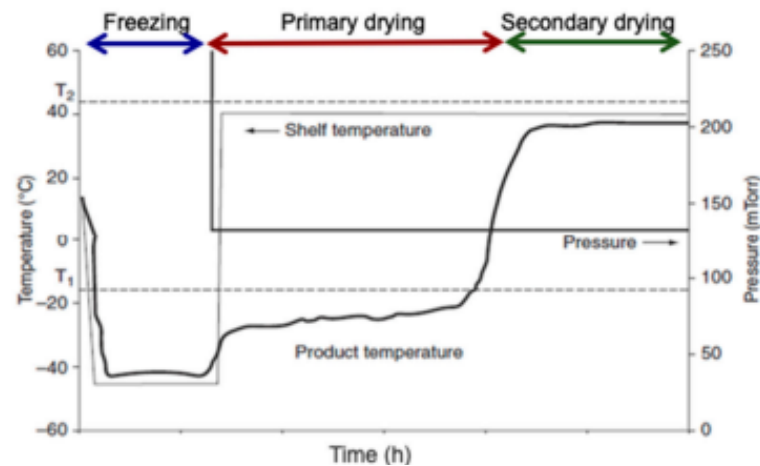
²¹ Mbl.is (2021).

²² Bhatta, Janezic og Ratti (2020).

²³ Þóra Valsdóttir og Irek Klonowski (2011).

hægt þurfa þessi fasaskipti að fara fram undir þrípunktsþrýstingi vatns (e. triple point) sem er við 6,1 millibar. Þess vegna er nauðsynlegt að lækka loftþrýsting í þurrkklefanum niður fyrir 6,1 millibar og viðhalda honum undir þeim mörkum allan þurrktímann.²⁴

Mynd 2 sýnir þessi þrjú skref frostþurrkunarferlisins. Bláa línan tákna þann tíma sem tekur að frysta hráefnið, rauða línan þann tíma sem þurrugufun tekur og græna línan þann tíma sem fullþurrkun hráefnis stendur yfir. Svört lína á milli bláu og rauðu línanna sýna hvenær loftþrýstingur í klefanum er lækkaður niður fyrir þrípunktsþrýsting og svarta óreglulega línan sýnir hvernig hitastig vörunnar í klefanum breytist yfir þurrktímann.



Mynd 2: Yfirlitsmynd yfir frostþurrkunarferlið. Mynd, Bhatta, Janezic og Ratti, (2020)

Gufunni sem fjarlægð er úr hráefninu er veitt í burtu en í stað þess að henni sé sleppt út úr klefanum er hún látin þéttast aftur í klaka, yfirleitt í utánaliggjandi hólf, svokölluðum ísgryfjum. Kælipressa er notuð til að kæla kælielementin sem notuð eru til að umbreyta gufunni úr hráefninu aftur í ís. Til að fjarlægja ísinn er hann þíddur eftir að þurrklotunni lýkur. Ekkert loft sleppur því í burtu á meðan á ferlinu stendur og því er aðferðin án þeirrar lyktarmengunar sem einkennir gjarnan loftþurrkun hráefna. Til að ná þrýstingi niður í lofttæmi og viðhalda honum eru notaðar lofttæmidælur sem ýmist geta verið knúnar rafmagni og eftir atvikum jarðgufu (sjá nánar í kafla 2.4 um notkun jarðgufu við frostþurrkun).²⁵

Á mynd 2 er miðað við að frýsting fari fram við -40°C og að hitinn sé hækkaður upp í 38°C við þurrugufun. Þess ber að geta að hitastig við frýstingu og þurrkun getur verið afar breytilegt eftir hráefnum þar sem um misjafnlega viðkvæm hráefni getur verið að ræða. Umhverfisaðstæðum í frostþurrkunarferlinu má stýra og aðlaga að því hráefni sem unnið er með hverju sinni. Þannig má leitast við að viðhalda sem best gæðum hráefnanna í gegnum allt ferlið og hámarka afköst verkunarinnar.

Sá tími sem það tekur að þurrka hráefni er mikilvægur þáttur þegar kemur að því að meta afköst frostþurrkara. Eins og nefnt hefur verið getur þurrktíminn að miklu leyti farið eftir hráefninu sem þurrkað er og í hvaða formi frosið hráefnið er sett í þurrkarann. Sem dæmi má nefna er hægt að stytta frostþurrkunartíma hráefnis umtalsvert ef það er kurlað (e. granulated) eða skorið niður áður en það er sett inn í frostþurrkarann frekar en að það sé frostþurrkað heilt á flötum plötum. Einnig er hægt að nota hólfaða bakka (e. finned trays) til að stytta þurrktímann og auka afköst þurrkarans.²⁶

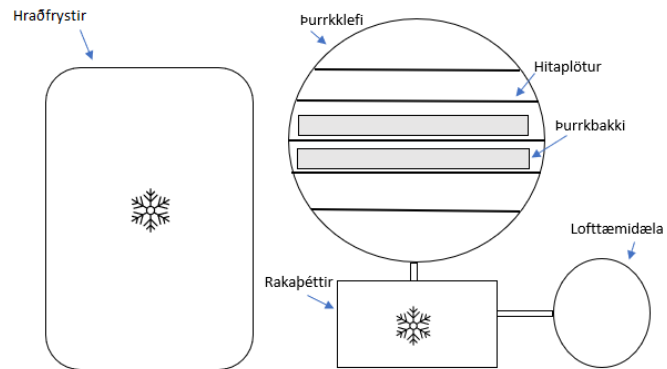
²⁴ Davíð Arnar Benediktsson (2007).

²⁵ Bhatta, Janezic og Ratti (2020).

²⁶ Gea, Freeze drying – the process (án dags).

2.3 Virkni frostþurrkara

Frostþurrkarar eru alla jafna samsettir úr fjórum einingum sem eru; Þurrkklefi (e. drying chamber) lofttæmidæla (e. vacuum pump), rakapéttir/ísgryfja (e. condenser) og hitaplötur (e. heating plates). Sjá mynd 3. Stærri þurrkurum fylgir alla jafna hraðfrystir (e. blast freezer) en smærri þurrkarar hafa gjarnan innbyggðan frystibrúnað og innbyggðan rakapétti. Þýða þarf þann klaka sem myndast hefur að þurrktíma loknum en það er misjafnt eftir framleiðendum og búnaði hvernig afþýðingin fer fram. Rakapéttar sem innbyggðir eru í þurrkklefa eru gjarnan afþíddir handvirkir með því að sprauta inn í þá miklu magni af heitu vatni. Utanáliggjandi ísgryfjur er hægt að afþíða með notkun gufu eða með heitu vatni og í sumum tilfellum eru rakapéttar með sjálfvirka afþýðingu sem hægt er að framkvæma á meðan á þurrktíma stendur.



Mynd 3. Dæmi um frostþurrkara.

Afkastageta frostþurrkara er afar misjöfn og byggir hún einkum á neðangreindum þáttum;

- Hámarks getu til að umbreyta ís í gufu (e. sublimation) á hverjum klukkutíma (kg H₂O/klst).
- Stærð flatarins eða ísgryfjunnar sem notuð er til að umbreyta gufunni aftur í ís.
- Vökvainnihaldi þess hráefnis sem frostþurrkað er.
- Hvernig frýsting hráefnis er háttað og lögun þess í frostþurrkaranum.

Því hraðar sem ís er umbreytt í gufu og því stærri sem flöturinn eða gryfjan sem umbreytir gufunni aftur í ís er, því meiri er afkastagetan. Framleiðendur ákvarða oft afkastagetu frostþurrkara með því magni íss sem ísgryfja eða kæliflötur getur haldið í hverri keyrslu. Ef vökvainnihald hráefnisins sem þurrka skal er þekkt, má þar með ákvarða hversu mikið hráefni má þurrka í senn. Lögun frosinna hráefna og einsleitni þess (e. homogeneity) hefur mikil áhrif á þurrktímann. Sé hráefni þurrkað í bita- eða dropaformi þurrkast það mun hraðar þar sem gufan á þá greiðari leit út úr hráefninu. Algennt er því að hráefnið sé hakkað, bitað eða kurlað ýmist ferskt eða í frystu formi fyrir þurrkun til að ná fram einsleitni. Einnig eru til aðferðir til að frýsta vökva í köggla (e. pellet) eða dropa með því að nota fljóttandi köfnunarefni eða úðatækni en þannig má ná umtalsvert styttri þurrktíma.²⁷ Rannsóknir hafa enn fremur sýnt fram á að hægt er að stytta þurrktíma sumra hráefna verulega með forvinnslu fyrir frýstingu, svo sem með því að dýfa hráefni í sjóðandi vatn (e. blanching) eða með því að hækka hitastig þurrkklefans. Þessar aðferðir geta vissulega stytta þurrktíma og geta hentað vel í einhverjum tilvikum en hafa þarf í huga að notkun aðferðanna getur á móti haft neikvæð áhrif á gæði hráefna, svo sem skert næringarefni, dregið úr styrkleika litar og haft áhrif á lögun þess.²⁸

Frostþurrkarar þurrka hráefni ýmist í lotum (e. batch drying) eða í samfelldri þurrkun (e. continuous drying). Í tilfalli lotuþurrkara þarf að afþíða ísinn við lok hverrar þurrklotu áður en næsta lota getur hafist. Þurrktími hverrar lotu getur verið breytilegur en algengast er að frostþurrkarar taki allt frá hálfum upp í einn sólarhring að klára hverja lotu. Þurrkara með samfellda þurrkun er hægt að mata jafnt og þétt án þess að rjúfa þurrktímann. Slíkir þurrkarar eru gjarnan settir upp í verksmiðjum með

²⁷ Gea, Overcoming common freeze drying challenges (án dags).

²⁸ Krzykowski o.fl. (2018)

sjálfvirka skammtara og færiband sem flytur bakka til og frá frostþurrkara. Þeir hafa einnig sjálfvirkan afþiðingarbúnað (e. continuous de-icing system) sem gerir að verkum að þurrkgeta þurrkara er ekki bundin við stærð ísgryfju eins og í tilfelli lotuþurrkara²⁹.

Þar sem um er að ræða hagkvæmnimat fyrir frostþurrkunarver sem á að geta tekið við ýmis konar hráefni í mismunandi formi, er hér eingöngu horft til lotubundinna þurrkara.

2.4 Nýting jarðhita í frostþurrkunarferlinu

Frostþurrkunarferlinu og virkni tækjabúnaðarins var í stuttu máli lýst í köflum 2.2 og 2.3. Tækið (sjá mynd 3) samanstendur af klefa þar sem frosnum matvælum er komið fyrir, og rafknúinni lofttæmidælu. Milli dællunnar og klefans eru svokallaðar ísgryfjur (rakapéttir), þar sem rakinn sem þurrugufar úr vörunni felldur út, og hann er svo fjarlægður.

Þau ferli sem útheimta orku í frostþurrkunarferlinu eru í grófum dráttum:³⁰

- a) Frysting vörunnar
- b) Lofttæming frostþurrkunarklefans
- c) Þurrugufun vatns úr vöru
- d) Þétting þess raka sem þurrugufar

Í raun má sjá fyrir sér að jarðhiti geti nýst sem orkulind í öllum þessum skrefum, að mismiklu leyti þó. Í öllum tilfellum er jarðhitinn notaður til að knýja varmavél; ýmist beint, þar sem jarðgufu er beint um gufuþeysi (e. steam jet ejector) og þrýstingur jarðgufunnar nýttur til dælingar á lofti og raka úr frostþurrkunarklefanum; eða óbeint, þar sem jarðhiti er nýttur sem varmagjafi í varmadælu. Í báðum tilvikum er það þó ekki jarðhitinn eingöngu sem knýr slíka varmavél, heldur vinnur hún fyrir tilstilli hitamismunar/hitastiguls. Til þess að halda slíkum vélum gangandi þarf að tryggja leiðir til kælingar og þess vegna líka nauðsynlegt að hafa aðgang að kælingu (t.d. köldu lofti eða köldu vatni).

Áður en farið verður í saumana á þessum ólíku leiðum til jarðhitanýtingar í frostþurrkunarferlinu er gott að tæpa á þeim rannsóknum sem gerðar hafa verið á Íslandi á möguleikum jarðhitanýtingar með jarðgufu til frostþurrkunar sem hafa byggst á notkun gufuþeysakerfa til lofttæmingar. Eftir því sem höfundar komast næst hafa verið unnar tvær kostnaðargreiningar, þar sem ólíkar tæknilegar úrfærslur voru bornar saman.

Í meistararitgerð Darra Gunnarssonar frá 1989, kom frostþurrkunarvél sem nýtti jarðhita til að knýja lofttæmingu og þurrugufunarferli matvællanna best út í hagkvæmnigreiningu. Þeysir sogar þá vatnsgufuna sem myndast við þurrugufun íss og því þyrfti enga ísgryfju né kælikerfi í hringrásina svo hún varð einfaldari og ódýrari. Varmaorku til að knýja þurrugufunarferlið má fá úr heitu vatni eða gufu.³¹ Í meistararitgerð Davíðs Arnar Benediktssonar frá 2007 var sérstök áhersla lögð á þurrkun á fiskpróteinisolati. Í þeirri rannsókn var kostnaðurinn við þurrkunina fyrir nokkrar útfærslur á tækjabúnaði af þurrkverksmiðja skoðaður og hagkvæmni þess að nýta jarðgufu við þurrkunina metin. Aftur var þá horft til þess að nota gufuþeysa við frostþurrkunina til að knýja lofttæmingu klefanna. Nýting jarðgufu reyndist í öllum tilfellum lækka þurrkostnaðinn, að því gefnu að kælivatn fyrir ferlið fengist í heildsölu, en hann reyndist vera lægstur við úðaðþurrkun, um 20% lægri en við frostþurrkun.³² Hér er líka ágætt að veita því athygli að frostþurrkar sem geta þurrkað samfelld komu betur út en lotubundnir þurrkarar. Samfelldir þurrkarar nýtast mun betur við þurrkun á efni sem unnt er að mauka,

²⁹ Gea, Freeze drying – the process (án dags).

³⁰ Ratti (2001).

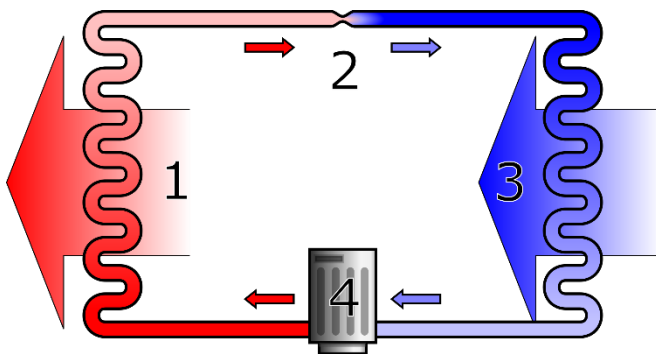
³¹ Darri Gunnarsson (1989).

³² Davíð Arnar Benediktsson (2007).

eða er í vökvaformi, en lotubundnir þurrkarar eru hentugri við vinnslu á hráefni sem er í bitum. Árið 1998 birti Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins svo skýrslu um niðurstöður tilrauna á jarðgufuknúnum frostþurrkara sem reistur var í húsakynnum Hitaveitu Suðurnesja þar sem ýmiskonar sjávarfang var frostþurkað í tilraunaskyni.³³ Þessar tilraunir sýndu að það er vel mögulegt að nota jarðgufu til að knýja lofttæmingu frostþurrkunarklefa og fjarlægja uppgufað vatn hráefnisins. Í þessari tilraun var tækjabúnaður og uppsetning hvorki bestuð né sköluð upp. Því er ekki mikil reynsla á frostþurrkunarkerfum sem nota gufu. Hvað sem öllu líður er ljóst er að stofnkostnaðurinn á frostþurrkunarkerfum almennt er mikill, hvort sem um ræðir gufudriffin kerfi eða rafdriffin kerfi.

2.4.1 Varmavélar

Til að skilja þá tækni sem liggur til grundvallar í gufudrífnum frostþurrkunarverum er gott að rifja upp virkni einfaldrar varmvélar, svokallaðrar varmadælu. Varmadæla er tæki sem flytur varma milli staða. Hana má ýmist nota til að flytja varma í rými (til hitunar) eða úr rými (til kælingar). Kæliskápar og frystikistur eru líkast til algengustu varmadælnar, enda til á flestum heimilum. Varmadælu eru oft settar upp í samhengi við loftræstikerfi (aðallega erlendis) eða fyrir húshitun þar sem hitaveita er ekki til staðar, og rafmagnskostanður til hitunar er hár³⁴.



Mynd 4. Hringrás varmadælu. Mynd. Wikimedia Commons/Ilmari Karonen.

Yfirlitsmynd af virkni varmadælu má sjá á mynd 4. Í hringrásinni er varmamiðill, t.d. vatn eða ammóníak og hringrásin gengur réttsælis. Vélin byggir á því að í skrefi (1) þéttist gas og umbreytist í vökva, og skilar við það varma til umhverfisins. Tæki sem framkvæmir þetta skref nefnist eimsvali. Kæliefninu sem nú er í vökvaformi er veitt gegnum þensluloka (2), sem stýrir flæði hans og þar með þrýstingi varmamiðilsins inní eiminn (3). Í eiminum gufar vökvinn upp á ný og breytist í gas. Við það tekur hann til sín varma úr umhverfinu. Dælubúnaður/þjappa (4) lokar svo hringrásinni, og veitir gasinu áfram aftur í eimsvallann undir hærri þrýstingi, svo þétting geti átt sér stað. Þessi hringrás er knúin áfram af dælunni sem oft gengur fyrir rafmagni.

Þetta ferli er einmitt það sem knýr hefðbundinn ísskáp. Þá eru matvörurnar í grennd við eiminn (3) sem tekur orku úr umhverfinu, en þeirri orku er svo skilað til umhverfisins í eimsvallanum (1), sem er grindarkerfið aftan á ísskápnum.

2.4.2 Þeysar

Þeysir er tæki þar sem háþrýstur drifvökvi/gufa getur dregið með sér vökva/gufu við lægri þrýsting. Mynd 5 sýnir þverskurðarmynd af þeysi og ólíka hluta hans. Háþrýst drifgufa flæðir inn frá vinstri í gegnum þröngan stút, sem eykur hraða gufunnar en þrýstingur í henni fellur. Við hönnun þeysa er stærð stútsins höfð þannig að drifgufan nái hraða sem er meiri en hljóðhraði í gufunni. Þegar drifgufan flæðir út úr stútnum inn í blöndunarhólfið fyrir aftan, dregur hún með sér söggufuna. Við það lækkar

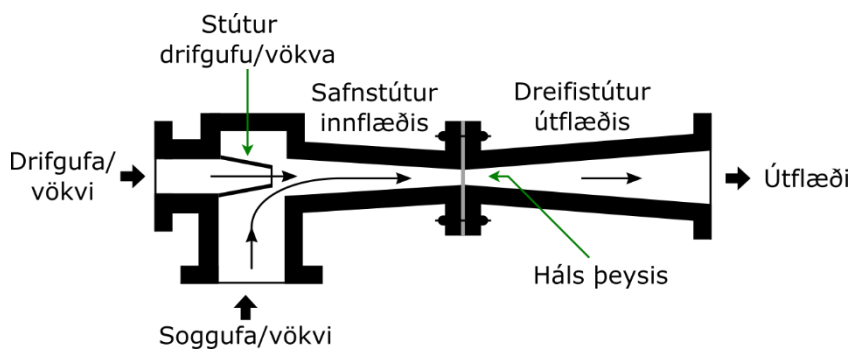
³³ Birgir Guðlaugsson (1998).

³⁴ Ragnar K. Ásmundsson (1970).

hraði drifvökvans og hraði soggufunar eykst. Hraði hinnar blönduðu gufu fellur svo aftur í dreifistút en þrýstingur gufunnar eykst á nýjan leik og hin blandaða gufa (drif og soggu) flæðir útúr þeysinum.^{35,36,37}

Hafa ber í huga að sérhver þeysir er hannaður fyrir tiltekið flæði. Eftir að þeysirinn hefur verið smíðaður er ekki rými til að stilla stærðir hans, t.a.m. stærð stúta, háls, lengd o.s.frv., sem eru allt þættir sem hafa mikil áhrif á flæði þeysisins. Þannig getur reynst flókið að hanna þeysakerfi svo þau skili hámarksafköstum og nýti gufuna sem best.

Helsti kostur þeysa er að í þeim eru engir hreyfanlegir íhlutir og viðhaldskostnaður er þannig í lágmarki. Jarðgufa getur þó innihaldið mikið magn uppleystra efna falla oft út þegar þrýstingur eða hitastig breytist.³⁸ Einnig inniheldur jarðgufan gastegundir sem geta verið tærandi. Útfelling og tæring geta því verið vandamál þegar gufa frá jarðvarma er nýtt í þeysakerfum, en þeysar eru nýttir sem hlutar af gufutúrbínunum jarðvarmavirkjana, svo talsverð reynsla er af notkun þeirra með jarðgufu hér á landi.



Mynd 5. Gufuþeysir og hlutar hans. Mynd: Wikimedia Commons/Johannes Rössel, þýdd

2.4.3 Varmadrifnar kælivélar

Mynd 4 hér að framan sýnir varmavél sem gengur fyrir rafknúinni dælu, sem t.d má nýta til kælingar. Í stað dælnunar/þjöppunar í (4) má koma fyrir gufudrifnum þeysi sem knýr þá hringrásina, eins og sýnt er á mynd 5. Hér er það þrýstingur jarðgufunnar sem knýr kerfið með beinum hætti. Þessi hringrás sem hér er lýst er alveg hliðstæð hringrásinni á mynd 4, þar sem eimsvalinn (e. condenser), þenslulokinn (e. throttle valve) og evaporator (e. eimir) eiga sér beina hliðstæðu, en í stað rafknúinnar dælu er komið fyrir þeysi (e. jet pump) og hefðbundnum gufukatli (e. boiler).

Myndin birtist í grein þar sem vakin er athygli á nýtingu glatvarma til þess að knýja kælivélar með nýtingu þeysis.³⁹ Í þessari hringrás er nauðsynlegt að tappa hluta af vatninu, sem nýttur er sem kælimiðill, aftur inná sjóðarann og er lítil dæla höfð á þeim legg. Að öðrum kosti myndi kælihringrásin yfirfyllast af kælimiðlinum (vatni). Á Íslandi væri hægt að nýta jarðvarmann beint inn í gufuþeysinn til að knýja kælihringrásina milli eims og eimsvala, svo ketillinn er óþarfur, en þá þyrfti á móti að tappa af vatni af eimsvalanum sem samsvarar innflæði drifgufunnar í kerfið um þeysinn.

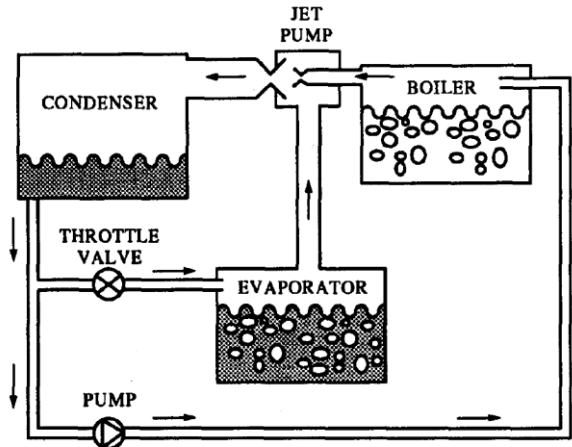
³⁵ Darri Gunnarsson (1989).

³⁶ Davíð Arnar Benediktsson (2007).

³⁷ Pounds (2010).

³⁸ Davíð Arnar Benediktsson (2007).

³⁹ Eames et al. (1995).



Mynd 6. Varmavél knúin gufuþeysi. Hér er gufan búin til í katli (boiler), en á háhitasvæðum væri það óþarfi. Mynd frá Eames et al. (1995).

Í tilraun Eames et al. tókst ágætlega upp með kælingu, en hún var þó fyrst og fremst gerð til að sýna fram á að dæla af þessari gerð virkar. Með hitastigi í katli milli 120-til 140°C, mátti ná hitastigi í eimi niður í 5-10°C frá herbergishita. Svona varmadæla getur verið hagkvæm þar sem greiður aðgangur er að miklum glatvarma.

Gerðar hafa verið fjölmargar rannsóknir á þeysaknúnum kælikerfum, og m.a. má finna tilraunir með sólarorkuknúna kælivél⁴⁰ og kælivélar sem ganga fyrir öðrum kælimiðlum en vatni, t.d. ammoníaki.⁴¹ Með annarri hönnun á kælikerfi og vali á kælimiðli má lækka hitastigið í eimi niður fyrir frostmark. Með þeim hætti gæti kerfi af þessu tagi nýst til að fella út rakann sem þurrugufar úr frostþurrkuðum vörum í ígryfjum (sjá mynd 6). Umfjöllun um ólíkar gerðir þeysadrifinna kælikerfa má finna í grein Chunnamond og Aphornratana frá 2004, og í nýlegri yfirlitsgrein yfir notkun þeysa í kælikerfum.⁴²

En það má líka smíða kælivélar sem ganga fyrir tilstilli varma, en eru ekki beint knúnar af þrýstingi jarðgufunnar. Dæmi um þetta eru svokallaðar ísogs-kælivélar (e. absorption refrigerators) sem geta verið hagkvæmar þar sem aðgengi að rafmagni er af skorum skammti og verð er hátt, eða aðgengi er að miklum glatvarma. Vélar af þessu tagi eru þó ekki jafn nýtnar og hefðbundin frystikerfi sem búin eru rafknúnum frystipressum/þjöppum. Í ritgerð Darra Gunnarssonar frá 1989 voru kælivélar af þessu tagi skoðaðar sérstaklega og því veitum við þeim líka athygli hér.

Í ísogs-kælivél er rafdrifnu dælunni á mynd 7 skipt út fyrir varmadrifna dælu, og varmamiðillinn er sambland af tveimur ólíkum vökvum, iðulega vatni og ammoníaki, en aðrar blöndur eru einnig mögulegar. Teikningu af slíku kerfi og virkni þess má sjá á 6. Hér eru áfram eimsvalar (4) og eimir (7) en hlutar (1), (2), og (9) verka sem hluti af dælubúnaðinum. Í (1) er soðin blanda af vatni og ammoníaki, sem svo er aðskilin í skilju (2). Ammoníak sýður við lægra hitastig en vatn, og gufar þannig upp, en vatnið er enn í vökvaformi og rennur um lögn (3) ofan í tank. Ammoníak gufan stígur upp í varmaskipti (e. heat exchanger), og skilar frá sér varma til umhverfisins. Við þetta þéttist ammoníak gasið og rennur nú um lögn (6) í vökvaformi inni eiminn (7). Hér getur þétt ammoníakgufan dregið til sín varma úr umhverfinu, og breytist aftur í gas. Ammoníaksgasið dregst um lögn (8) ofan í ísogs-tankinn (9), þar

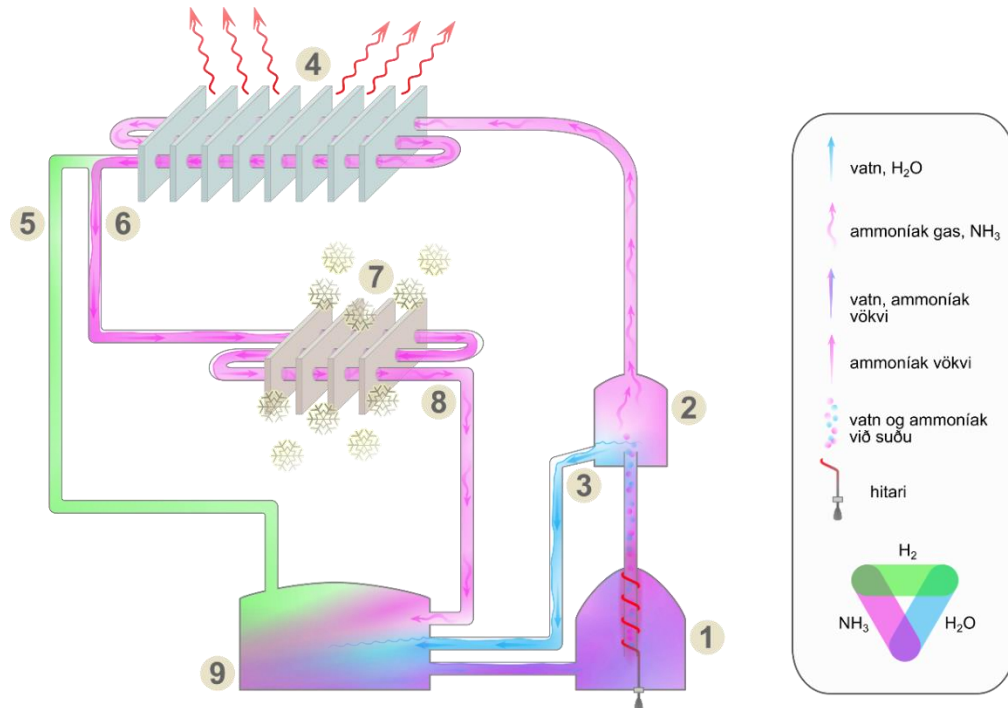
⁴⁰ Pollerberg et al. (2009).

⁴¹ Sankarlal og Mani 2007.

⁴² Besagni (2017).

sem hreint vatn ísogar ammoníaksgasið. Þessi blanda af vatni og ammoníaki rennur aftur inní hitarann (1) og lokar þar með hringrásinni.

Vetniskasið sem fyllir lögn (5), hefur svipuðu hlutverki að gegna og þensluloki. Hlutþrýstingur ammoníaksins í eimsvala (4) er hár, sem auðveldar ammoníakgufunni að losa varma, en vetniskasið lækkar hlutþrýsting ammoníaksins í eimi (7) sem auðveldar uppgufun þess (við lægri þrýsting lækkar suðumark).⁴³ Aðrar útfærslur á ísogs-kælikerfum eru að sjálfsögðu mögulegar, og sú útfærsla sem fjallað er um í ritgerð Darra Gunnarssonar er aðeins frábrugðin þessari, en virknin er í raun sú sama.



Mynd 7. Ísogskælivél og virkni hennar, í útfærslu Platen og Munters. Þessi útfærsla krefst ekki mekanískrar dælu. Mynd, Wikimedia Commons/Goran tek-en.

Varma eða gufudrifnar kælivélar af því tagi sem lýst var hér að framan geta hiklaust gagnast ýmist við að knýja frystikerfi fyrir þau matvæli sem á að frysta, eða í til að kæla ísgryfjur á borð við þær sem eru í hefðbundnum frostþurrkurum. Í ritgerð Darra Gunnarssonar var einmitt tekin fyrir útfærsla þar sem þurrugufunarrakinn var þéttur í ísogskælikerfi. Gufupeysar voru áfram nýttir til lofttæmingar á frostþurrkunarklefanum, en þá má komast upp með afkastaminna þeysakerfi en því sem lýst verður í næsta hluta, því mestur hluti þurrugufununnarrakans fellur út í ísgryfjum.⁴⁴ Þessi útfærsla rímar við nýlega grein þar sem glátvarmi er nýttur til að knýja alla hluta frostþurrkunarvélar, bæði frystingu og lofttæmingu.⁴⁵

2.4.4 Lofttæming og þurrugufun

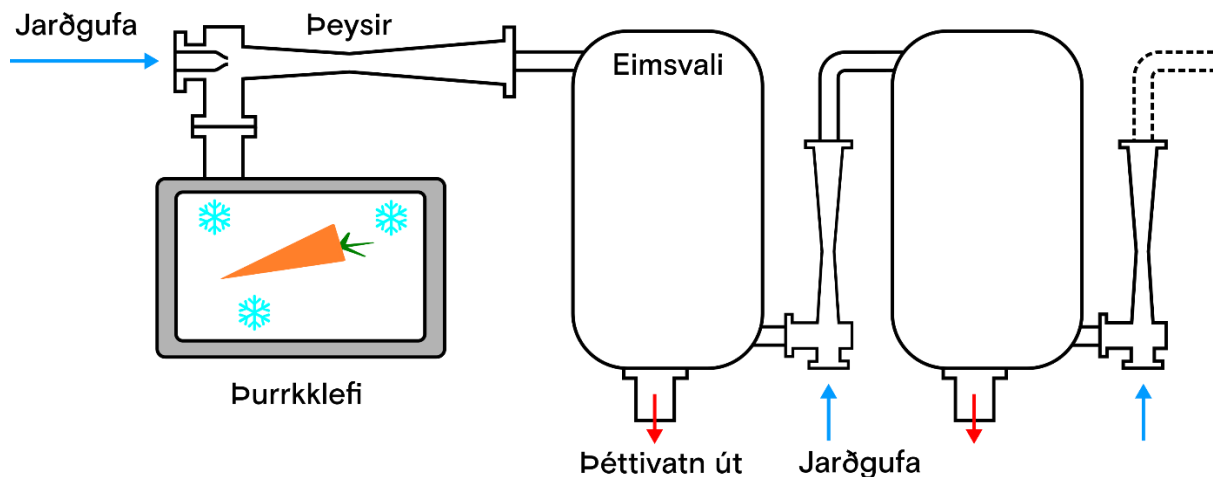
Í hefðbundnum frostþurrkunarkerfum er rafknúin dæla nýtt til lofttæmingar og rakinn sem þurrugufar úr þeim afurðum sem á að frostþurrka þéttur í rakapétti/eimsvala, eins og sýnt er á mynd 3. Í öllum þeim íslensku rannsóknum sem gerðar hafa verið á gufuknúnum frostþurrkunarkerfum hefur verið horft til þess að láta gufupeysakerfi knýja lofttæmingu á frostþurrkunarklefanum sjálfum og fjarlægja í leiðinni rakann sem þurrugufar úr vörunum. Með þessu fyrirkomulagi má komast hjá ísgryfjunum og

⁴³ Srikihirin og Aphornratana (2002).

⁴⁴ Darri Gunnarsson, (1989).

⁴⁵ Zhang et al. (2018).

þarf með frystikerfi fyrir ísgryfjurnar. Á móti kemur að þeysakerfið þarf að geta sogað allan þurrugufunarrakann úr vörunum. Einn þeysir dugur þess vegna ekki til að anna sögi úr frostþurrkunarklefa. Til að þurrugufunarferlið geti átt sér stað, þarf þrýstingurinn í klefanum að vera undir 6,2 mbar, sem svarar til þrípunktsþrýstings vatns. Algengt er að þrýstingurinn sé í kringum 1 mbar, og þannig þarf að lækka þrýstinginn um þrjú stærðarþrep frá einni loftþyngd. Til að ná svo lágum þrýstingi þarf að raðtengja nokkra þeysa og þeir vinna þá á mismunandi þrýstingsbilum. Mynd 8 sýnir dæmi um slíka uppsetningu og þar er gert ráð fyrir þremur raðtengdum þeysum. Í flestum úttektum á slíkum gufudrifnum kerfum er gert ráð fyrir að það þurfi fimm raðtengda þeysa til að fá slíkt kerfi til að virka. Algengt þjapphlutfall (þ.e. hversu mikið einn þeysir getur lækkað þrýsting) þeysis er á bilinu 1/6 til 1/20, en það fer eftir hönnun og vinnsluumhverfi.⁴⁶



Mynd 8. Raðtengdir þeysar ná lægri þrýstingi.

Ýmsar tæknilegar útfærslur eru færar á svona kerfi. Ef þeysakerfinu er ætlað að soga þurrugufunarrakann í burtu, þarf fyrsti þeysirinn að vera öflugur. Kostir þeysakerfa eru hiklaust þeir að í þeim eru engir hreyfanlegir hlutir, og slit þeirra því í lágmarki. Hinsvegar eru kerfin ekki sveigjanleg og það þarf að hanna þau utan um það flæði sem er fyrirséð í kerfinu. Sömuleiðis er orkunýtni þeysa almennt álitin léleg en það fer þó eftir aðstæðum. Af þessum sökum henta þeysakerfi best þar sem mikill glatvarmi er fyrir hendi, eins og víða er raunin á Íslandi.

Einföldust nýting jarðhita í svona kerfi er að nýta hann til að hita vökvann sem rennur í gegnum hitaplöturnar inni í frostþurrkunarklefanum sem ýta undir þurrugufunarferlið. Jarðgufu mætti líka nota til að sótthreinsa frostþurrkunarklefan og hráefnisbakka milli keyrsla og tryggja þannig hreinlæti.

⁴⁶ Davíð Arnar Benediktsson (2007).

3 Eftirspurn

Umræðan um gagnsemi frostþurrkunar á Íslandi hefur reglulega stungið upp kollinum en hins vegar fer ekki mikið fyrir notkun aðferðarinnar við matvælavinnslu hér á landi. Í dag eru þó fjölmargar vísbendingar um að mikil tækifæri séu til vaxtar fyrir fyrirtæki í matvælaframleiðslu á Íslandi og hugsanlega skapast með því ný tækifæri til að nýta frostþurrkun til framleiðslu fjölbreyttra afurða og jafnframt til að draga úr sóun við framleiðslu matvæla. Mikil gróska hefur verið í nýsköpun í matvæla- og fæðubótarefnaframleiðslu á Íslandi en á undanförunum 10 árum hafa hátt í 70 matvæla- og fæðubótarefnafyrirtæki verið stofnuð á Íslandi. Mikill vöxtur hefur auk þess einkennt mörg íslensk fyrirtæki sem stunda líftækni, lífefnaframleiðslu og framleiðslu lækningavara úr hliðarafurðum úr sjávarútvegi. Ræktun stórþörunga og smáþörunga virðist vera að sama skapi vera að vaxa fiskur um hrygg en í dag eru 15 fyrirtæki á Íslandi sem stunda slíka ræktun eða vinnslu.⁴⁷ Í fjölmiðlum hefur á undanförunum árum verið fjallað um áætlanir ýmissa smáþörungaframleiðenda um mikinn vöxt og kosti þess að starfrækja slíka framleiðslu á Íslandi. Meðal annars eru uppi áætlanir um að hér á landi verði reist stærsta smáþörungaframleiðsla í heimi.⁴⁸ Samkvæmt skýrslu Atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytisins um stöðu og horfur í íslenskum sjávarútvegi er því spáð að mikill vöxtur verði hjá fyrirtækjum tengdum fiskeldi, líftækni og ræktun þörunga á næstu árum. Samkvæmt áætlunum er auk þess gert ráð fyrir að framleiðsla á bleikju og laxi í land- og sjókvíeldi muni koma til með aukast um tugi þúsunda tonna á næstu árum.⁴⁹

Í ljósi mikils vaxtar og nýsköpunar í matvælaframleiðslu á Íslandi má gera ráð fyrir að eftirspurn eftir fjölbreyttari vinnsluaðferðum muni skapast. Frostþurrkun er til að mynda mikið notuð við þurrkun smáþörunga erlendis og gera má ráð fyrir að þörf fyrir frostþurrkun muni einnig skapast meðal slíkra framleiðenda á Íslandi. Eins og komið hefur fram er frostþurrkun orkufrek vinnsluaðferð og er þar af leiðandi gjarnan talin of dýr til hægt sé að nýta hana í sama mæli og hefðbundna loftþurrkun. Framleiðslukostnaður á Íslandi er auk þess mjög hár, sér í lagi vegna háa launakostnaðar sem skilar sér svo áfram í háu smásöluverði afurða. Þessi staða gerir samkeppnisstöðu íslenskrar framleiðslu erfiðari gagnvart erlendum samkeppnisaðilum.⁵⁰ Til að ná hagræðingu við framleiðslu afurða og lækka rekstrarkostnað getur verið hagstætt fyrir framleiðendur og fyrirtæki að hafa aðgengi að miðlægri frostþurrkunarþjónustu á Íslandi. Þannig geta fyrirtæki komist hjá því að leggja út í stórar fjárfestingar fyrir tæki og búnað til frostþurrkunar eða kostnað vegna flutninga hráefnis milli landa. Þetta gæti ekki síst reynst gagnlegt fyrir lítil og meðalstór fyrirtæki til að draga úr framleiðslukostnaði þeirra.

Til að leggja mat á hagkvæmi þess að reisa miðlægt frostþurrkunarver á Íslandi þarf að kanna hvort og þá hversu mikil þörf er fyrir slíka þjónustu. Einnig þarf að leggja mat á kostnað við stofnun og rekstur miðlægs frostþurrkunarvers á Íslandi og kanna hvort slíkur rekstur yrði samkeppnishæfur við erlend frostþurrkunarfyrirtæki. Til að leita svara við ofangreindum atriðum var leitast við að kortleggja annars vegar þau fyrirtæki sem nýta frostþurrkunarþjónustu erlendis og hins vegar þau fyrirtæki sem talið var að gætu viljað nýta sér aðferðina, stæði hún til boða á Íslandi. Settur var saman listi yfir ýmsa framleiðendur á Íslandi sem annað hvort „nýta“ eða „gætu viljað nýta“ frostþurrkunarþjónustu. Sömu leiðis voru sendar fyrirspurnir til Samtaka sveitarfélaga víða um land til að óska eftir ábendingum um framleiðendur á Íslandi sem fallið gætu undir þessi skilyrði kortlagningarinnar. Einnig voru sendar fyrirspurnir til ýmissa stofnana og félagasamtaka sem halda utan um frumkvöðla- og nýsköpunarstarf um allt land og óskað eftir ábendingum. Að lokum var haft samband við alla þá aðila sem féllu undir

⁴⁷ Þór Sigfússon, o.fl. (2020).

⁴⁸ visir.is (2018).

⁴⁹ Sveinn Agnarsson, Sigurjón Arason, Hörður G. Kristinsson og Gunnar Haraldsson (2021).

⁵⁰ Erla Sturludóttir, o.fl. (2021).

skilyrði kortlagningarinnar. Í heildina var haft samband við 63 aðila ýmist í gegnum tölvupóst, í síma eða með beinum samtölum. Ekki fengust svör frá öllum en samtals fengust svör frá 35 aðilum víðs vegar af landinu. Teknar voru saman upplýsingar um þá aðila sem hafa/sáu fram á þörf fyrir frostþurrkunarþjónustu á Íslandi og fengnar upplýsingar um þau hráefni sem þeir myndu koma til með að vilja frostþurrka, hversu mikið magn yrði um að ræða og hvar framleiðsla þeirra væri staðsettir á landinu. Ritryndum greinum um frostþurrkunaraðferðina var sömuleiðis safnað og helstu upplýsingar um frostþurrkun og eiginleika aðferðarinnar teknar saman.

Í ljós kom að tveir matvælaframleiðendur senda nú þegar hráefni frá Íslandi til frostþurrkunar hjá erlendum frostþurrkunarfyrirtækjum. Annars vegar er um að ræða fyrirtæki sem sendir hráefni til European Freeze dry í Danmörku og hins vegar til European Freeze dry í Bretlandi. Bæði fyrirtækin framleiða fæðubótarefni úr íslenskum hráefnum. Í heild senda þessi tvö fyrirtæki um 28 tonn af hráefni erlendis til frostþurrkunar á ársgrundvelli og bæði fyrirtækin áætla að framleiðsla þeirra muni aukast á næstu árum. Voru stjórnendur beggja fyrirtækjanna sammála um að mun betra væri að geta nýtt slíka þjónustu hér á landi enda gæti það sparað þeim töluverða fyrirhöfn og dregið úr kolefnisfótspori framleiðslunnar. Einnig var rætt við stjórnanda fyrirtækis sem hafði tekið þá ákvörðun að flytja framleiðslu sína úr landi vegna skorts á aðgengi að frostþurrkunarþjónustu fyrir fyrirtækið á Íslandi.

Auk þessara þriggja fyrirtækja sem þegar hafa verið nefnd, sögðust stjórnendur sex annarra fyrirtækja nú þegar framleiða eða gera tilraunir með frostþurrkun hráefna. Fimm fyrirtæki áttu sinn eigin frostþurrkara sem þau notuðu til framleiðslu eða til að framkvæma tilraunir. Í öllum tilfellum var um að ræða litla frostþurrkara með mjög takmarkaða framleiðslugetu. Tvö þessara fyrirtækja notuðu sína eigin þurrkara að mestu í tilraunaskyni en sögðust fremur vilja kaupa slíka þjónustu miðlægt til að framleiða afurðir. Nokkur fyrirtæki höfðu gert tilraunir með frostþurrkun hjá Matís ohf. eða fengu afurðir framleiddar þar í afar litlu magni en þótti kostnaðurinn við það mjög hár miðað við afköstin. Samkvæmt fyrirspurn til umsjónarmanns frostþurrkunar hjá Matís kostar hver þurrklota um kr. 35 þúsund krónur en hver lota afkastar að þurrka um það bil 5-7 kg af fersku hráefni á sólarhring. Frostþurrkari Matís er ekki mikið notaður af smáframleiðendum, en þangað berst um það bil ein fyrirspurn í mánuði varðandi frostþurrkun. Matís frostþurrkar þó reglulega hráefni fyrir nokkra viðskiptavini.

Samtöl við stjórnendur ýmissa fyrirtækja tengdum matvælaframleiðslu leiddu í ljós að þekking á framleiðsluaðferðinni og möguleikum hennar til verðmætasköpunar, nýsköpunar og vöruþróunar er ekki mjög útbreidd meðal framleiðenda á Íslandi. Af þeim sem rætt var við reyndust frumkvöðlar frekar hafa heyrt af aðferðinni, höfðu þegar gert tilraunir með notkun hennar eða hugðust gera tilraunir. Stærri framleiðendur í hefðbundinni matvælaframleiðslu virtust gjarnan ekki hafa íhugað notkun aðferðarinnar, þekktu lítið til hennar eða sáu ekki hvernig hún gæti gagnast þeim. Nokkrir framleiðendur sögðust helst telja að tækifæri í frostþurrkun lægju í fullvinnslu hliðarafurða matvælaframleiðslu þar sem aðferðin væri líklega of dýr til að nota við almenna matvælaframleiðslu.

Samkvæmt samtölum við stjórnendur fyrirtækja sem framleiða smáþörunga virðist sem mest framtíðarþörf fyrir frostþurrkun muni verða meðal þeirra. Sex fyrirtæki á Íslandi sérhæfa sig í framleiðslu smáþörunga. Fyrirtækið Algalif Iceland er staðsett í Reykjanesbæ þar sem það ræktar smáþörunga sem framleiða astaxanthin, afar eftirsótt hráefni í fæðubótarefni, snyrtivörur og fleira. Saga Natura í Hafnarfirði ræktar einnig þörunga til framleiðslu á astaxanthin. Bláa Lónið Heilsuvörur ehf. ræktar og nýtir smáþörunga sem finnast í Bláa Lóninu og framleiðir úr þeim ýmsar vörur undir vörumerkjum Blue Lagoon. Mýsköpun ehf. leggur áherslu á ræktun, rannsóknir og nýtingu örvera á borð við smáþörunga og baktería sem eiga uppruna í Mývatni. Omega Algae ehf. er fyrirtæki í Hveragerði sem ræktar og framleiðir smáþörunga og innihaldsefni úr þörungum sem ætluð eru í fóður, matvæli og lyf og Vaxa Impact Nutrition ræktar smáþörunga í jarðhitagarði Hellisheiðarvirkjunar í

Ölfusi.⁵¹ Samkvæmt samtölum við stjórnendur nokkurra fyrirtækja í smápörungaframleiðslu spá þeir almennt miklum vexti smápörungaframleiðslu og jafnvel margföldun á framleiðslu þeirra á næstu árum vegna aukinnar eftirspurnar á heimsvísu. Fram hefur komið í fjölmiðlum að fyrirtækið Vaxa Impact Nutrition hyggist margfalda framleiðslu sína á komandi árum og stefni á að verða stærsti þörungaframleiðandi í heimi.⁵² Má áætla að heildarþörf smápörungaframleiðenda fyrir frostþurrkun muni fara yfir 1000 tonn á ári frá árinu 2025. Smápörungar eru afar viðkvæmt hráefni sem þolir illa flutning og frostþurrkun er gjarnan aðeins ein af mörgum framleiðsluaðferðum sem nýttar eru í heildar framleiðsluferli afurða úr smápörungum. Þar af leiðandi getur hentað framleiðendunum betur að sjá sjálf um frostþurrkunina í sínu framleiðsluferli. Samkvæmt samtölum við framleiðendur smápörunga er líklegra að smærri framleiðendur og frumkvöðlar hefðu áhuga á að nýta miðlæga þjónustu en stærri framleiðendur töldu hentugra að frostþurrkunin yrði í höndum þeirra sjálfra.

Hver raunveruleg eftirspurn eftir miðlægri frostþurrkun er í dag eða kemur til með að verða á næstu árum er erfitt að áætla út frá þeim upplýsingum sem fengust af samtölum við matvælaframleiðendur. Mörg verkefni, sem hugsanlega munu koma til með að þurfa aðgengi að frostþurrkun, eru enn á frumstigum og enn óljóst hversu stór þau verkefni munu koma til með að verða. Þó er ljóst að skortur á aðgengi að frostþurrkun getur í einhverjum tilvikum orðið til þess að hamla vexti verkefnanna.

Til einföldunar má segja að uppsöfnuð þörf fyrir miðlæga frostþurrkunarþjónustu sé að lágmarki 28 tonn á ári miðað þær forsendur sem fengist hafa uppgefnar, en það er magn þess hráefnis sem nú þegar er sent erlendis til frostþurrkunar. Báðir framleiðendur þessa hráefna sem sent er erlendis gera ráð fyrir áframhaldandi vexti. Einnig má gera ráð fyrir að hluti þeirra frumkvöðlafyrirtækja sem nú stunda tilraunir með aðferðina nái árangri sem leiði til eftirspurnar eftir aðgengi að frostþurrkun. Einnig má gera ráð fyrir að fleiri áhugasamir framleiðendur myndu vilja nýta aðferðina þegar hún hefur náð fótfestu á landinu, verð þjónustunnar liggur fyrir og eiginleikar aðferðarinnar og ávinningur hafa verið kynntir betur fyrir þeim.

⁵¹ Sveinn Agnarsson, Sigurjón Arason, Hörður G. Kristinsson og Gunnar Haraldsson (2021).

⁵² Vísir.is (2018)

4 Tækjabúnaður og verðkönnun

4.1 Tækjabúnaður

Fjölmargir framleiðendur selja tækjabúnað til að frostþurrka matvæli og hægt er að velja á milli margra mismunandi stærða og gerða af þurrkurum. Hægt er að finna litla þurrkara sem henta til að framkvæma tilraunir eða til framleiðslu á afurðum í mjög litlu magni. Í Bandaríkjunum hafa heimilisfrostþurrkarar náð töluverðum vinsældum en slíkir þurrkarar eru á stærð við hefðbundinn heimilisþurrkara eða þvottavél og geta afkastað þurrkun á 3-7 kg af fersku hráefni á sólarhring.

Nokkrir framleiðendur stærri þurrkara bjóða upp á svokallaða „plug and play“ þurrkara sem hægt er að koma fyrir og flytja í heilu lagi í 20 eða 40 feta gámi og þarfnast engrar sérstakrar uppsetningar á áfangastað, heldur þarf aðeins að stinga þeim í samband til að hefja framleiðslu. Slíkir þurrkarar afkasta að þurrka allt frá 20 – 500 kg af fersku hráefni á sólarhring. Hjá flestum framleiðendum standa einnig til boða stærri þurrkarar sem afkasta að þurrka 600 – 5000 kg af hráefni á sólarhring. Þurrkarar af þeirri stærðargráðu þarfnast uppsetningar á áfangastað og krefjast gjarnan notkunar sérstakra vinnsulína og brauta til að bera þurrkbakka milli staða innan verksmiðjunnar.

Breitt framboð af mismunandi þurrkurum býður upp á ýmsa möguleika og ólíkar útfærslur á frostþurrkunarverum, allt frá smáum mannaflsfrækum verksmiðjum með takmarkaða sjálfvirkni upp í stórar og afkastamiklar sjálfvirkar verksmiðjur. Eins og áður hefur komið fram er þó gert ráð fyrir að verksmiðjur með mikla sjálfvirkni vinni að mestu leyti með mikið magn einsleitra hráefna og henta þær því ekki eins vel til að taka á móti ólíkum gerðum hráefna eins og miðlægt frostþurrkunarver þyrfti að geta. Í næstu köflum verður fjallað stuttlega um nokkrar gerðir frostþurrkara og nefnd dæmi um mögulegar útfærslur miðlægs frostþurrkunarvers.

4.2 Kemolo FD 200

Á mynd 9 má sjá svokallaðan „plug and play“ lotuþurrkara frá kínverska framleiðandanum Kemolo. Þurrkarinn er settur upp þannig að auðvelt sé að flytja hann í heilu lagi í gámi á milli landa þar sem allir hlutar hans eru festir á sömu botngrindina. Í þurrkaranum er innbyggður frystibúnaður og innbyggður rakapéttir og því þarf að afþíða hann með heitu vatni eftir hverja keyrslu. Þurrkarinn afkastar að þétta og frysta 200 kg af ís á innbyggðum kælifleti í hverri þurrklotu og við það takmarkast afkastagetu þurrkarans. Ekki er hægt að afþíða hann nema að rjúfa lofttæmið í klefanum og því mikilvægt að hann sé ekki ofhlaðinn.⁵³



Mynd 9. Kemolo FD200 plug and playfrostþurrkari. Mynd: www.kemolo.com

⁵³ Kemolo.com (án dags)

4.3 SiccaDania FD500

Annar “plug and play” frostþurrkari frá danska framleiðandanum SiccaDania sem einnig er samant settur á eina og sömu grindina eins og og þurrkarinn frá Kemolo er sýndur á mynd 10. Í þessum



Mynd 10. SiccaDania FD500 plug and play frostþurrkari. Mynd, www.siccadania.com.

frostþurrkara er rakapéttirinn ekki innbyggður inn í þurrkklefanum, heldur er hann staðsettur utan hans og því einangraður frá þurrkklefanum. Þannig má afþiða hann án þess að rjúfa lofttæmið í þurrkklefanum. Kostir Plug and play frostþurrkara eru að þeir henta vel fyrir litlar og meðalstórar verksmiðjur vegna þess að það er auðvelt að skala framleiðsluna upp eða niður eftir þörfum. Sömuleiðis er auðvelt að flytja þá þar sem þeir komast fyrir í 20 eða 40 feta gámi (fer eftir stærð) og þegar þeir eru komnir á áfangastað þá fer ekki tími í uppsetningu sem þýðir að framleiðsla getur hafist um leið og búið

er að stinga þeim í samband í framleiðslurýminu. Einnig getur verið kostur að hafa marga smærri þurrkara frekar en einn stóran, sér í lagi ef markmiðið er að vinna með mörg ólík hráefni sem ekki hentar að frostþurrka í sama þurrkklefa t.d. vegna hættu á krossmengun milli hráefnistegunda. Á mynd 11 má sjá tillögu frá SiccaDania að uppsetningu rýmis með nokkra FD500 plug and play þurrkara hlið við hlið þar sem hráefni er keyrt á milli þurrkara í yfirbyggðum rekka á hjólum. Þannig er hægt er að bæta við þurrkurum án þess að það kalli á umfangsmiklar breytingar á vinnslurýminu sjálfu. Frostþurrkunarver með fimm FD500 þurrkurum gæti afkastað að þurrka allt að 2500 kg af fersku hráefni á sólarhring en auk þess er hægt er að sjálfvirknivæða vinnsluna, sér í lagi ef unnið er með einsleitt hráefni.⁵⁴



Mynd 11. Tillaga SiccaDania að uppsetningu vinnslurýmis. Mynd, www.siccadania.com.

Fyrir stærri verksmiðjur með einsleit hráefni eða verksmiðjur sem þurfa að geta þurrkað mikið magn af sama hráefni í einu, gætu stærri lotuþurrkarar hentað betur. Frostþurrkarar sem ætlaðir eru til framleiðslu afurða á stórum skala eru jafnan mun flóknari í samsetningu og krefjast uppsetningar á framleiðslustaðnum af sérfræðingum frá framleiðendum tækjanna. Auk þess að setja saman þurrkarann sjálfan, þarf að setja upp frystibúnað, vinnslulínur og flutningskerfi fyrir bakka og gera þarf

⁵⁴ SiccaDania (án dags)

ráð fyrir slík uppsetning geti tekið allt að fjóra mánuði samkvæmt upplýsingum sem fengust frá framleiðanda.

4.4 GEA RAY 125

Þýski framleiðandinn GEA býður upp á frostþurrkara af ýmsum stærðum, bæði lotuþurrkara og þurrkara sem bjóða upp á samfellda þurrkun og sjálfvirkni við hleðslu og losun bakka. Sá þurrkari sem skoðaður var í tengslum við þetta verkefni var lotuþurrkari af gerðinni RAY 125 sem hefur afkastagetu til að geyma allt að 2 tonn af ís í hverri þurrklotu. RAY frostþurrka er ýmist hægt að fá með innbyggðum rakapétti með sjálfvirkum afþiðingarbúnaði eða utanáliggjandi rakapétti. Þurrkarar með innbyggðum rakapétti taka minna pláss auk þess sem hægt að kaupa í þá sjálfvirkt afþiðingarkerfi sem eykur afköst, sparar vinnuafli og gerir þurrkunina samfellda. Þurrkarar með utanáliggjandi rakapétti eru þó ódýrari og henta betur ef halda þarf stofnkostnaði í lágmarki.



Mynd 12. Tveir Ray frostþurrkarar ásamt flutningskerfi. Mynd, www.gea.com.

Á mynd 12 má sjá dæmi um tvo RAY 125 frostþurrkara sem staðsettir eru hlið við hlið. Fyrir þessa þurrkara er gert ráð fyrir að sett sé upp flutningskerfi til að flytja bakka milli staða innan verksmiðjunnar. Bakkarnir eru fylltir af hráefni og þeim svo raðað í þar til gerða flutningsrekka sem svo eru keyrðir inn í frysti og þaðan inn í þurrkarann. Að loknum þurrktíma eru rekkarnir færðir í vinnslurýmið þar sem rekkarnir eru tæmdir og afurðin unnin áfram eða henni pakkað.⁵⁵

4.5 Verðkönnun tækja

Verð fyrir frostþurrkara er mjög breytilegt milli framleiðenda (sjá töflu 1). Þurrkarar framleiddir í Kína eru alla jafna margfalt ódýrari en þurrkarar sem framleiddir eru í öðrum löndum. Val á frostþurrkara getur því haft veruleg áhrif á stofnkostnað frostþurrkunarvers.

Verð fyrir frostþurrkara frá kínversku framleiðendum Yantai True Cold og Union Microwave er umtalsvert lægra en verð framleiðenda annars staðar í heiminum. Á töflu 1 hér fyrir ofan má til dæmis sjá gífurlegan verðmun á milli tveggja þurrkara sem báðir hafa uppgefna afkastagetu upp á 500 kg á sólarhring. Annar er frá kínverska framleiðandanum Union Microwave og kostar kr. 27.279.372 en hinn er frá danska framleiðandanum SiccaDania og kostar kr. 120.190.000. Eins og sést í töflu 1 er einnig mikill verðmunur á stærri þurrkurum. Frostþurrkari með 2000 kg afkastagetu á sólarhring kostar annars vegar kr. 70.929.360 frá kínverska framleiðandanum Union Microwave og hins vegar kr.

⁵⁵ Gea, Freeze drying – the process (án dags).

197.960.000 frá þýska framleiðandanum GEA. Það getur því munað verulegum fjárhæðum hvort valdir eru frostþurrkarar frá framleiðendum í Kína eða framleiðendum frá öðrum löndum. Við þennan samanburð á verði er þó ekki tekið tillit til þess hvort að það felist einnig munur á milli gæða eða annarra eiginleika frostþurrkaranna. Einnig er vert að nefna að sumir þessara þurrkara eru „plug and play“ og þarfnast því ekki kostnaðarsamrar uppsetningar á framleiðslustað né krefjast sérstakra flutningslína fyrir rekka. Kostnaður fyrir slíkan búnað og uppsetningu hans myndi bætast ofan á það verð sem sett er fram í töflunni hér að ofan. Verulegur verðmunur var einnig á milli framleiðenda þegar kom að öðrum tækjabúnaði, svo sem flutningskerfum, frystiklefum og kurlurum. Kínverskir framleiðendur buðu alla jafna upp á margfalt lægra verð en framleiðendur annars staðar í heiminum.

Tafla 1. Listi yfir uppgefin verð fyrir frostþurrkara frá ýmsum framleiðendum.

Framleiðandi	Land	Gerð	Tegund	Afkastageta á		
				sólarhring	Verð EUR/USD*	Verð ISK
Yantai True Cold	Kína	TFD20	Lotuþurrkari - Plug and play	200 kg	USD 220.000	27.436.200
Yantai True Cold	Kína	TFD50	Lotuþurrkari - þarfnast uppsetingar	500 kg	USD 260.000	32.424.600
SiccaDania	Danmörk	FD500	Lotuþurrkari - Plug and play	500 kg	EUR 850000	120.190.000
GEA	Þýskaland	Ray 50	Lotuþurrkari - þarfnast uppsetingar	650 kg	EUR 890000	125.846.000
GEA	Þýskaland	Ray 125	Lotuþurrkari - þarfnast uppsetingar	2000 kg	EUR 1400000	197.960.000
Parker Freeze Dry	Bandaríkin	Parker 2	Lotuþurrkari - þarfnast uppsetingar	456 kg	USD 359.000	44.770.890
Parker Freeze Dry	Bandaríkin	Parker 6	Lotuþurrkari - þarfnast uppsetingar	1100 kg	USD 529.000	65.971.590
Cuddon Freeze Dry	Nýja Sjáland	FD300	Lotuþurrkari - þarfnast uppsetingar	300 kg	USD 740.000	92.285.400
Cuddon Freeze Dry	Nýja Sjáland	FD600	Lotuþurrkari - þarfnast uppsetingar	600 kg	USD 1.202.876	150.010.666
Cuddon Freeze Dry	Nýja Sjáland	FD1000	Lotuþurrkari - þarfnast uppsetingar	1000 kg	USD 1.453.516	181.267.980
Union Microwave	Kína	BLK-FD-50	Lotuþurrkari - þarfnast uppsetingar	500 kg	USD 218.000	27.279.372
Union Microwave	Kína	BLK-FD-100	Lotuþurrkari - þarfnast uppsetingar	1000 kg	USD 352.800	43.994.160
Union Microwave	Kína	BLK-FD-200	Lotuþurrkari - þarfnast uppsetingar	2000 kg	USD 568.800	70.929.360

*Verð fengust gefin upp í evrum og bandaríkjadóllar. Kaupverð tækja er umreiknað yfir í krónur á genginu 141,4 sem var gengi evru þann 21. febrúar 2022 og á genginu 124,71 sem var gengi bandaríkjadóllars þann 21. febrúar 2022. Miðað er við skráð miðgengi gjaldmiðlanna samkvæmt Seðlabanka Íslands.⁵⁶

4.6 Verðkönnun þjónustu

Verð fyrir frostþurrkunarþjónustu hjá European Freeze dry var einnig kannað til að hægt yrði að bera það saman við þann kostnað sem felst í frostþurrkun á Íslandi. Ekki var unnt að fá uppgefið fast verð, enda eru gerðir sérsamningar við hvern og einn viðskiptavin og ræðst verðið af ýmsum þáttum, svo sem vökvainnihaldi hráefnis, lögum þess sem og magn og tíðni viðskipta. Fyrir íslenska framleiðendur sem senda hráefni erlendis felst auk þess sendingarkostnaður inni í heildarkostnaði við frostþurrkunina. Stjórnendur fyrirtækja sem senda hráefni til European Freeze dry voru spurðir um kostnað við frostþurrkunina erlendis en þar sem töluverður munur var á þeim hráefnum sem um ræddi, magni þess og tíðni viðskipta, reyndist erfitt að bera það saman með nákvæmum hætti. Verð fyrir flutning milli landa tekur einnig mið af ýmsum þáttum, svo sem tíðni flutninga og því magni sem flutt er hverju sinni. Einnig skiptir miklu máli hvort hráefni er flutt frosið eða kælt. Tekinn var saman heildarkostnaður fyrir þurrkun og flutning beggja fyrirækja og kostnaðinum deilt niður á hvert kíló af fersku hráefni sem sent var erlendis til frostþurrkunar. Samkvæmt þeim útreikningum má miða við að kostnaður við að fá hráefni frostþurrkað erlendis sé um það bil kr. 656 á hvert kíló af fersku hráefni með flutningi. Þetta verð miðast við að framleiðendur sendi að minnsta kosti 3-5 tonn af hráefni í hverri sendingu, þar sem frostþurrkunarver í Evrópu gera kröfu um ákveðið lágmarksmagn. Taka verður fram að þetta verð var miðað við gengi íslensku krónunnar á móti bresku pundi og evru eins og það var þann 10. febrúar 2022. Þess má geta að eftir að þessa upplýsinga var aflað hefur brotist út stríð í Evrópu sem hefur valdið töluverðum sveiflum á gjaldeyrismörkuðum, hækkunum á orkuverði í

⁵⁶ Seðlabanki Íslands, opinber gengisskráning (án dags).

Evrópu auk þess sem verðbólga hefur víða aukist á Evrusvæðinu.⁵⁷ Það má því gera ráð fyrir að nú þegar sé þessa áhrifa farið að gæta á kostnaðinn við að frostþurrka í Evrópu.

⁵⁷ Borrell (2022).

5 Sviðsmyndir

Þar sem eftirspurn eftir frostþurrkunarþjónustu á Íslandi eru nokkuð óljós stærð á þessu stigi er erfitt að segja nákvæmlega til um hagkvæmi rekstur frostþurrkunarþjónustu. Eina þekkt stærðin á eftirspurnarhliðinni eru áður nefnd 28 tonn sem nú þegar eru send árlega til frostþurrkunar erlendis. Fjölbreytileiki í úrvali frostþurrkara og mjög breitt verðbil milli þurrkara með sambærilega afkastagetu býður upp á ýmskonar ólíkar samsetningar frostþurrkunarvera. Í einhverjum tilvikum gæti verið hagkvæmt að setja upp frostþurrkunarver með mörgum smærri þurrkurum til að geta skipt hráefnum niður á milli þurrkara til að koma veg fyrir krossmengun en í öðrum tilvikum gæti verið hagkvæmara að nota einn stóran þurrkara til að þurrka mikið magn hráefna í hverri lotu. Til að komast sem næst því að svara því hvort stofnun miðlægrar frostþurrkunarþjónustu á Íslandi gæti verið hagkvæm, var talið ákjósanlegt að setja fram fimm sviðsmyndir sem byggja á ólíkum forsendum. Forsendur sviðsmyndanna byggja fyrst og fremst á mismunandi áætlunum um vænta eftirspurn, mismunandi háum stofnkostnaði vegna stærðar húsnæðis og vals á frostþurrkurum og mismunandi háum rekstrarkostnaði. Á milli tveggja sviðsmynda er auk þess gerður samanburður á notkun rafknúinna lofttæmidæla og notkun jarðgufu til knýja lofttæmi.

- Sviðsmynd 1) Gerir ráð fyrir að reist verði frostþurrkunarver þar sem fjárfestingu er haldið í lágmarki og gert ráð fyrir að keyptur sé ódýr frostþurrkari frá Kínverska framleiðandanum Yantai True Cold. Sviðsmyndin gerir ráð fyrir að eftirspurn verði að hámarki 66 tonn á ári en sú áætlun byggir á því að allt það hráefni sem nú er sent erlendis til frostþurrkunar yrði þess í stað frostþurrkað hér heima og að nokkur vöxtur verði á framleiðslu þeirra. Einnig er gert ráð fyrir að hluti þeirra frumkvöðlaverkefna sem nú eru í þróun og munu þarfnast aðgengis að frostþurrkun verði árangursrík og að eftirspurn muni skapast í ljósi þess árangurs.

- Sviðsmynd 2) Gerir sömuleiðis ráð fyrir að reist yrði frostþurrkunarver þar sem fjárfestingu er haldið í lágmarki, keyptur hagkvæmur frostþurrkari frá Kínverska framleiðandanum Yantai True Cold og kostnaði fyrir önnur tækjakaup einnig haldið í lágmarki. Áætlað er að eftirspurn verði tvöfalt meiri en sviðsmynd 1 gerir ráð fyrir eða að hún nái að hámarki 165 tonnum á ári. Gert er ráð fyrir að frostþurrkarinn afkasti að þurrka allt að 500 kg á sólarhring eða allt að 165 tonn á ári. Gengið er út frá því að ýmsir smáir og meðalstórir framleiðendur, meðal annars smáþörungaframleiðendur, kæmu til með að nýta þjónustu þessa frostþurrkunarvers.

- Sviðsmynd 3) Gerir ráð fyrir að reist yrði frostþurrkunarver þar sem fjárfest er í mun dýrari tækjabúnaði. Gert er ráð fyrir að keyptir yrðu tveir plug and play frostþurrkarar frá danska framleiðandanum SiccaDania, hvor með afköst til að þurrka allt að 500 kíló á sólarhring eða allt að 330 tonn á ári. Miðað er við að reglulegir notendur þjónustunnar yrðu að hluta til meðalstórir þörungaframleiðendur og stærri matvælaframleiðendur á Íslandi.

- Sviðsmynd 4) Gerir ráð fyrir umtalsvert meiri eftirspurn en fyrri sviðsmyndir. Miðað er við að eftirspurn muni nema allt að tveimur tonnum á sólarhring eða allt að 660 tonnum á ári. Gert er ráð fyrir að fjárfest yrði í mun stærra húsnæði og þurrkari ásamt flutningskerfi og öðrum tækjabúnaði yrði keyptur frá þýska framleiðandanum GEA. Gert er ráð fyrir að stórir þörungaframleiðendur, fæðubótarefnaframleiðendur og almennir matvælaframleiðendur yrðu reglulegir notendur þjónustunnar. Einnig er miðað við að verið sinni frostþurrkun afurða til útflutnings.

- Sviðsmynd 5) Er að öllu leyti eins og sviðsmynd 4 fyrir utan að gera ráð fyrir að notuð verði jarðgufa til að knýja lofttæmi í stað hefðbundinna rafknúinna lofttæmidæla.

5.1 Forsendur sviðsmynda

Fyrir hverja sviðsmynd var sett upp tekju- og kostnaðarlíkan til þriggja ára en stuðst var við reiknilíkan Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands. Útreikningar gera ráð fyrir að stofnkostnaður falli til á sama tíma og framleiðsla hefst en þó ber að geta þess að langan tíma getur tekið að innrétta húsnæði og fá þurrkara afhenta eftir að ákvörðun hefur verið tekin um að fjárfesta í frostþurrkurum. Alla jafna myndi stofnkostnaður því koma til að minnsta kosti nokkrum mánuðum áður en framleiðsla hefst. Við útreikninga er miðað við fast verðlag og því ekki tekið tillit til verðbólgu. Sviðsmyndirnar taka auk þess ekki tillit til mismunandi kostnaðar sem tengist móttöku hráefna. Allrar sviðsmyndirnar eru hins vegar reiknaðar út frá sömu forsendum og eru því innbyrðis samanburðarhæfar.

Í töflu 2 má sjá yfirlit yfir tækjabúnað og kostnað tækjabúnaðarins sem útreikningar sviðsmynda styðjast við.

Tafla 2. Yfirlit yfir frostþurrkara og tækjabúnað sviðsmynda

Framleiðandi	Land	Gerð	Tegund	Afkastageta á		
				sólarhring	Verð EUR/USD*	Verð ISK
Yantai True Cold	Kína	TFD20	Lotuþurrkari - Plug and play	200 kg	USD 220.000	27.436.200
Yantai True Cold	Kína	TFD50	Lotuþurrkari - þarfnast uppsetingar	500 kg	USD 260.000	32.424.600
Union Microwave	Kína	BLK-FD-100	Lotuþurrkari - þarfnast uppsetingar	1000 kg	USD 352.800	43.994.160
SiccaDania	Danmörk	FD500	Lotuþurrkari - Plug and play	500 kg	EUR 850000	120.190.000
GEA	Þýskaland	Ray 125	Lotuþurrkari - þarfnast uppsetingar	2000 kg	EUR 1400000	197.960.000
Annar búnaður	Framleiðandi/söluaðili	Gerð	Tegund	Verð EUR/USD*		Verð ISK
Finned trays * 900	GEA	Ray 125	Ribbaðir bakkar	EUR 350.000		49.490.000
Nitrogen Freezer	GEA	LNF-500	Köfnunarefnis-frystir	EUR 340.000		48.076.000
Granulator	GEA	GR-308	Hráefniskurlari	EUR 90.000		12.726.000
Verð pr viku fyrir uppsetningu	GEA	-	Uppsetning frostþurrkara og flutningskerfis	EUR 90.000		12.726.000

5.1.1 Stofnkostnaður

Í töflu 3 má sjá í áætlaðan heildar stofnkostnað hvernar sviðsmyndar fyrir sig og í hverju helsti kostnaðurinn liggur. Sviðsmyndirnar gera ráð fyrir mismunandi stærð húsnæðis en þær gera allar ráð fyrir að 70% af húsnæðisverði sé fjármagnað með fasteignalánnum sem beri 6% vexti og að heildarfjöldi afborgana sé 240. Gert er ráð fyrir að 50% af kostnaði frostþurrkara sé fjármagnað með lántöku og að heildarfjöldi afborgana séu 60. Miðað er við að lánin beri 6% vexti og gert er ráð fyrir að afborganir lána hefjist við stofnun. Lánakjör eru miðuð við reiknivél Landsbanka Íslands eins og þau voru sett fram í janúar 2022.

Tafla 3. Áætlaður stofnkostnaður allra sviðsmynda.

Stofnkostnaður	Sviðsmynd 1	Sviðsmynd 2	Sviðsmynd 3	Sviðsmynd 4	Sviðsmynd 5
Fasteign	32,000,000	47,000,000	80,000,000	120,000,000	120,000,000
Frostþurrkari	27,436,200	32,424,600	240,380,000	197,960,000	158,368,000
Frystir og kurlari	8,000,000	15,000,000	62,246,800	62,246,800	62,246,800
Önnur tæki og búnaður	10,000,000	15,000,000	15,000,000	20,000,000	20,000,000
Bifreiðar	1,200,000	1,200,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000
Uppsetning verksmiðju/vinnslu	10,000,000	15,000,000	25,000,000	95,630,000	95,630,000
Húsgögn, innréttingar og skrifstofubúnaður	5,000,000	5,000,000	8,000,000	10,000,000	10,000,000
Annar ófyrirséður stofnkostnaður	10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000
Gufuþeysakerfi					23,755,200
Samtals	103,636,200	140,624,600	444,626,800	519,836,800	504,000,000

Fasteignir

Fasteignaverð er miðað við verð atvinnuhúsnæðis utan höfuðborgarsvæðisins. Skoðuð voru verð fyrir húsnæði á fasteignavef Vísis og stuðst við meðaltal fermetraverðs fyrir atvinnuhúsnæði á Suðurlandi. Miðað er við að fermetraverð sé í öllum tilfellum kr. 300.000. Áætlað er að 3% af húsnæðisverði verði

varið í viðhald og annan kostnað sem tengjast fasteign á hverju ári. Reiknað er með að húsnæði haldi sama verðgildi það tímabil sem útreikningar ná yfir en gert ráð fyrir 1,5% árlegum afskriftum. Tafla 4 sýnir áætlaða stærð húsnæðis, fermetraverð og áætlað heildarverð húsnæðis hvers sviðsmyndar.

Tafla 4. Fermetrastærð, fermetraverð og kaupverð atvinnuhúsnæðis.

Sviðsmyndir	Stærð húsnæðis í fermetrum	Fermetraverð	Verð húsnæðis
Sviðsmynd 1	107	300.000	32.000.000
Sviðsmynd 2	157	300.000	47.000.000
Sviðsmynd 3	267	300.000	80.000.000
Sviðsmynd 4	400	300.000	120.000.000

Frostþurrkarar og gufuþeysakerfi

Í töflu 2 má sjá lista yfir þá frostþurrkara sem sviðsmyndir miðast við að verði keyptir og þau verð sem fengust uppgefin frá framleiðendum þeirra. Verðin eru gefin upp fyrir frostþurrkara eingöngu en ekki flutning, uppsetningu eða aukabúnað. Gert er ráð fyrir flutningskostnaði undir liðnum annar og ófyrirséður stofnkostnaður. Gert er ráð fyrir að afskriftartími frostþurrkara sé í öllum tilvikum 10 ár.

Sviðsmyndir 4 og 5 eru ólíkar að því leyti að annars vegar er gert ráð fyrir að keyptur sé Ray125 frostþurrkari ásamt rafknúnum lofttæmidælum en hins vegar Ray125 frostþurrkari án lofttæmidælu. Gert er ráð fyrir að verð fyrir frostþurrkara án lofttæmidælu sé 20% lægra en verð fyrir frostþurrkara með lofttæmidælu og að kostnaður fyrir gufuþeysakerfi nemi 15% af heildarkostnaði frostþurrkara.

Önnur tæki og búnaður

Miðlægt frostþurrkunarver þarf að vera útbúið ýmsum tækjabúnaði öðrum en frostþurrkurum, svo sem frysti, kæli, kurlara, duftara, pökkunarvél og uppþvottavél svo eitthvað sé nefnt. Einnig þarf vinnslurýmið að vera útbúið með stálborðum og skolvaski og til þess að flytja hráefni á milli staða þarf að notast við hjólavagna eða flutningskerfi sem fest er í loft vinnslurýmisisins. Tafla 2 sýnir lista yfir hluta af þeim búnaði sem sviðsmyndir styðjast við en þar er þó aðeins um að ræða búnað frá þýska framleiðandanum GEA. Ekki fengust verðtilboð í allan þann búnað sem frostþurrkunarver af mismunandi stærðum myndu koma til með að þurfa og er þess vegna áætlað að 10-20 milljónum sé varið í annan nauðsynlegan búnað. Í þessari greiningu er gert ráð fyrir að notast sé við hjólavagna, í sviðsmyndum 1, 2 og 3 en í sviðsmyndum 4 og 5 er gert ráð fyrir að sett yrði upp flutningskerfi í loft, enda er þar gert ráð fyrir umtalsvert umfangsmeiri vinnslu og meiri sjálfvirkni. Sviðsmyndir 1 og 2 gera ráð fyrir að fjárfestingu í tækjabúnaði sé haldið í lágmarki og að almennt séu valin tæki í ódýrari kantinum. Sviðsmyndir 3, 4 og 5 gera hins vegar ráð fyrir að fjárfest sé í mun dýrari tækjabúnaði og er þá að mestu leyti miðað við þau verð sem fengust uppgefin frá þýska framleiðandanum GEA.

Bifreiðar

Allar sviðsmyndir gera ráð fyrir að fyrirtækið hafi bifreið til umráða. Sviðsmynd 1 og 2 gera ráð fyrir að verð fyrir bifreið sé kr. 1.200.000. Er það verð ákvarðað í samræmi við ásett verð notaðra sendibifreiða á hinum ýmsu bílasölum í mars 2022. Leitarvél vefsíðunnar www.bilasolur.is var notuð til að fletta upp verðum fyrir bifreiðar. Sviðsmyndir 3, 4 og 5 gera ráð fyrir að fjárfest sé í dýrari bifreiðum en þær gera ráð fyrir að verð fyrir bifreiðar verði kr. 4.000.000

Uppsetning verksmiðju/ vinnslu

Gert er ráð fyrir að innréttu þurfi húsnæði til að það henti frostþurrkunarstarfsemi auk þess að setja upp ýmsan búnað til að starfsemi geti hafist. Húsnæðið þarf að standast kröfur matvælaframleiðslu og

skila þarf inn ýmiskonar gögnum til eftirlitsaðila til að fá útgefið leyfi. Fjölmargir þættir geta haft áhrif á umfang þessa kostnaðarhluta, svo sem stærð verksmiðju, ástand húsnæðis og ástand vinnslurýma. Það er því erfitt að áætla með nákvæmum hætti hversu stór þessi kostnaðarliður gæti komið til með að verða en sviðsmyndir gera ráð fyrir að kostnaður vegna uppsetningar verksmiðju og vinnslurýmis verði kr. 10.000.000 í tilfelli sviðsmynda 1, kr. 15.000.000 í tilfelli sviðsmyndar 2, kr. 25.000.000 í tilfelli sviðsmyndar 3 og kr. 95.630.000 í tilfelli sviðsmynda 4 og 5. Kostnaður vegna uppsetningar búnaðar í tilfelli sviðsmynda 4 og 5 er miðaður við uppgefið verð framleiðandans GEA.

Húsgögn, Innréttingar og skrifstofubúnaður

Gert er ráð fyrir að kostnaður vegna húsgagna, innréttinga og skrifstofubúnaðar verði kr. 5.000.000 í tilfelli sviðsmynda 1 og 2, kr. 8.000.000 í tilfelli sviðsmynda 3 og kr. 10.000.000 í tilfelli sviðsmyndar 4 og 5. Þetta skýrist af því að sviðsmyndir 1 og 2 gera ráð fyrir mun umfangsminni starfsemi, minna húsnæði og færri starfsfólki en sviðsmyndir 3, 4 og 5 gera ráð fyrir.

Frystir og kurlari

Gert er ráð fyrir að öll frostþurrkunarver allra sviðsmynda séu útbúin frystisklefum en gert er ráð fyrir að frystiklefar sviðsmyndar 1 og 2 séu mun minni en þeir sem gert er ráð fyrir í sviðsmyndum 3 og 4. Smærri sviðsmyndir gera því ráð fyrir ódýrari búnaði. Verð fyrir frystibúnað í tilfelli sviðsmynda 3, 4 og 5 miðast við þau verð sem fengust fyrir tækjabúnað hjá Þýska framleiðandanum GEA og sjá má í töflu 2.

Annar og ófyrirséður stofnkostnaður

Allar sviðsmyndir gera ráð fyrir að ófyrirséður stofnkostnað muni leggjast til svo sem vegna úttekta á aðstöðu, ýmiskonar gjalda, tafa á verkþáttum, ráðgjafakostnaðar og svo framvegis. Inn í þessum kostnaði er einnig gert ráð fyrir flutningskostnaði búnaðar og ýmsum tilfallandi gjöldum. Miðað er við að annar og ófyrirséður stofnkostnaður verði kr. 10.000.000 í tilfelli allra sviðsmynda.

Gufuþeysakerfi

Sviðsmyndir 4 og 5 gera ráð fyrir að borinn sé saman kostnaður annars vegar við að knýja rafknúnar lofttæmidælur frostþurrkara og hins vegar notkun jarðgufu til að knýja fram og viðhalda lofttæmi. Sviðsmynd 5 miðar við að verð fyrir gufuþeysakerfi nemi 15% af heildarkaupverði frostþurrkara.

5.1.2 Rekstrarkostnaður

Rekstrarkostnaði er skipt í annars vegar breytilegan kostnað og hins vegar fastan kostnað. Í töflu 5 má sjá áætlaðan heildar rekstrarkostnað hvorrar sviðsmyndar fyrir sig og í hverju helsti kostnaðurinn liggur.

Tafla 5. Áætlaður rekstrarkostnaður allra sviðsmynda.

Rekstrarkostnaður	Sviðsmynd 1	Sviðsmynd 2	Sviðsmynd 3	Sviðsmynd 4	Sviðsmynd 5
Rafmagn og umbúðir	1,856,085	4,640,213	9,280,425	18,560,850	1,320,000
Heitt vatn til afþíðingar	77,664	194,160	388,308	776,628	0
Laun og launatengd gjöld	27,717,172	41,171,633	47,898,863	82,343,265	82,343,265
Kostnaður við húsnæði	1,946,880	2,409,480	4,387,200	8,260,800	8,260,800
Skrifstofukostnaður	1,860,000	2,075,000	2,640,000	3,000,000	3,000,000
Bifreiðakostnaður	840,000	900,000	1,200,000	1,320,000	1,320,000
Markaðskostnaður	180,000	180,000	240,000	540,000	540,000
Kælivatn	0	0	0	0	12,700,000
Annar rekstrarkostnaður	780,000	780,000	960,000	1,800,000	1,800,000
Samtals	35,257,801	52,350,486	66,994,796	116,601,543	111,284,065

Breytilegur kostnaður

Rafmagn og umbúðir

Frostþurrkun er orkufrek vinnsluáferð en framleiðendur frostþurrkara miða alla jafna við að frostþurrkarar noti 2-2,25 kílóvattstundir af rafmagni fyrir hvert kíló af fersku hráefni sem þurrkað er. Tafla 6 sýnir heildar raforkunotkun og raforkukostnað á mánuði miðað við fulla nýtingu hvers frostþurrkunarvers. Taflan miðast við að hver þurrkari noti 2,25 kílóvattstundir af rafmagni fyrir hvert þurrkað kíló af hráefni. Í öllum tilfellum er miðað við að frostþurrkarar séu í notkun í 27,5 daga í mánuði, eða 330 daga á ári.

Tafla 6. Raforkunotkun og raforkukostnaður á ári miðað við 80% nýtingarhlutfall

	Afköst þurrkara á ári	kW st á ári	Raforkukostnaður á ári mv/ full afköst
Sviðsmynd 1	66.000	148.500	1.724.085
Sviðsmynd 2	165.000	371.250	4.310.213
Sviðsmynd 3	330.000	742.500	8.620.425
Sviðsmynd 4	660.000	1.485.000	17.240.850

Gert er ráð fyrir að verð fyrir hverja kílóvattstund af raforku sé 11,61 krónur án virðisauka og er ekki gert ráð fyrir að afslættir fái af raforkuverði. Raforkuverð miðast við samanburðartöflu Orkuseturs og miðað var við lægsta verð fyrir raforku og dreifingu hversu sinni.⁵⁸ Gert er ráð fyrir að kostnaður við umbúðir og þökkun séu 2 krónur fyrir hvert kíló af fersku hráefni sem tekið er til þurrkunar. Ekki er reiknað með raforkukostnaði í tilfelli sviðsmyndar 5 þar sem gert er ráð fyrir að frostþurrkari verði knúinn jarðgufu í stað raforku.

Heitt vatn

Til að afþíða frostþurrkara er gert ráð fyrir að notað verði $\geq 60^\circ\text{C}$ heitt vatn í lok hversrar þurrklotu. Ef gert er ráð fyrir að þurrkarar séu í notkun 330 daga á ári, má gera ráð fyrir að þeir verði einnig afþíddir með heitu vatni 330 sinnum á ári. Áætlað er að þar þurfi að minnsta kosti einn rúmmetri af heitu vatni til að afþíða hver 100 kg af ís sem frostþurrkari eða ísgryfja heldur. Til að meta kostnaðinn varð því til einföldunar gert ráð fyrir að heitavatnsnotkun til afþíðingar nemi 10 lítrum á hvert kíló af hráefni sem sett er í frostþurrkarann (Tafla 7). Til að meta kostnaðinn vegna heitavatnsnotkunar vegna afþíðinga var stuðst við verðskrá Veitna en þar er miðað við að hver rúmmetir kosti kr. 147,09 án virðisauka.⁵⁹ Sá kostnaður sem kemur fram í töflu 7 er miðaður við að frostþurrkarar séu fullnýttir 330 daga á ári. Í

⁵⁸ Orkusetur, verðskrá (án dags).

⁵⁹ Veitur, Verðskrá vatnsveitu (2022).

tilfalli sviðsmyndar 5 er gert ráð fyrir að frostþurrkari verði afþíddur með notkun gufu og er því ekki reiknað með notkun á heitu vatni.

Tafla 7. Rúmmetrar af heitu vatni notuðu til afþíðingar frostþurrkara.

	Rúmmetrar á ári	Kostnaður á ári
Sviðsmynd 1	528	77.664
Sviðsmynd 2	1320	194.159
Sviðsmynd 3	2640	388.318
Sviðsmynd 4	5280	776.635

Kælivatn

Gufupeysakerfi þarfnst gríðarlegs magns af kælivatni en kælivatnið er notað til að þétta gufu í eimsvala eins og útskýrt var í kafla 2. um nýtingu jarðgufu í frostþurrkunarferlinu. Gert er ráð fyrir að hitastig kælivatns sé um 5°C og að verð fyrir hvern rúmmetra af vatni sé kr. 12,7. Gert er ráð fyrir að frostþurrkunarver sem knúið er jarðvarma (sviðsmynd 5) kæmi til með að nota um milljón rúmmetra á ári til kælingar. Þannig er gert ráð fyrir að kostnaður vegna notkunar kælivatns myndi nema kr. 12.700.000 á ári. Er rúmmetraverð kælivatns miðað við gjaldskrá Vatnsveitu Ölfuss til stórnotenda.⁶⁰

5.1.3 Fastur kostnaður

Laun og launatengd gjöld

Launatölur almennra starfsmanna sem notaðar eru til útreikninga eru miðaðar við kjarasamning Eflingar við Samtök atvinnulífsins frá 1. janúar 2022. Til samanburðar var horft til launa sérhæfðs fiskverkafólks og miðað við launaflokk 11 sem gerir ráð fyrir að byrjunarlaun starfsmanns eftir 5 ár í starfi séu kr. 376.749 á mánuði. Laun sérmenntaðs vinnuafsls eru einnig miðuð við sömu kjarasamninga en miðað við launaflokk 24 sem gerir ráð fyrir að dagvinnulaun starfsmanns eftir 5 ár í starfi séu kr. 405.914.⁶¹

Sviðsmynd 1 gerir ráð fyrir einum sérmenntuðum starfsmanni en sviðsmyndir 2 og 3 gera ráð fyrir tveimur sérmenntuðum starfsmönnum. Miðað er við að sérmenntun starfsmanna sé annars vegar vélstjórn og hins vegar matvælafræði. Laun þeirra eru miðuð við annars vegar launatöflu Félags vélstjóra og málmtæknumanna og hins vegar launatöflu Félags íslenskra náttúrufraeðinga frá 1 janúar 2022.

Launatafla Félags vélstjóra og málmtæknumanna gerir ráð fyrir að grunn mánaðarlaun vélstjóra í frystihúsum og verksmiðjum sé kr. 430.739.⁶² Launatafla FÍN gerir ráð fyrir að mánaðarlaun starfsmanns í launaflokki 10 séu kr. 507.070. Miðað er við að laun stjórnenda séu í samræmi við launaflokk 25 í launatöflu FÍN, eða kr. 769.598.⁶³

Við útreikninga eru ofangreindar töflur hafðar til hliðsjónar en 20% bætt ofan á þau grunnlaun sem koma fram í töflunum. Útreikningar miða auk þess við að 24% leggist ofan á heildarlaun vegna launatengdra gjalda.

Kostnaður við húsnæði

⁶⁰ Ölfus.is, Gjaldskrá vatnsveitu Ölfuss (2020).

⁶¹ Efling.is, Kjarasamningar og launatöflur (2021)

⁶² Félag vélstjóra og málmtæknumanna. Launatafla almennur samningur VM við SA

⁶³ Félag Íslenskra Náttúrufraeðinga, launatöflur (2022)

Inni í þessum kostnaðarlið er gert ráð fyrir fasteignagjöldum og kostnaði vegna rafmagns, vatns, hita og öryggiskerfis. Einnig er hér gert ráð fyrir viðhaldi fasteigna og tryggingum. Gert er ráð fyrir að kostnaður vegna viðhalds nemi árlega 1,5% af kaupverði fasteigna og að fasteignagjöld nemi árlega 1,32% af kaupverði fasteigna.

Skrifstofukostnaður

Skrifstofukostnaður felur í sér kostnað vegna síma, burðargjalda sem og pappírs og prentkostnað. Einnig felur þessi liður í sér ýmsan kostnað vegna rekstur tölvukerfa sem og kostnað vegna endurskoðunar og ráðgjafakostnað.

Bifreiðakostnaður

Þessi kostnaðarliður felur í sér áætlaðan eldsneytiskostnað, kostnað vegna hjólbarða, viðhalds bifreiða og tryggingar.

Markaðskostnaður

Markaðskostnaður felur í sér kostnað vegna reksturs vefsíðu og auglýsinga. Auk þess er gert ráð fyrir að kostnaður vegna gjafa og styrkja falli undir þennan lið.

Annar rekstrarkostnaður

Undir þessum kostnaðarlið er gert ráð fyrir ýmskonar kostnaði, svo sem vegna ýmskonar gjalda, endurmenntunar, árs hátíða, vinnufatnaðar og hreinlætisvara. Einnig er hér gert ráð fyrir ýmsum tilfallandi verktakagreiðslum og öðrum ófyrirséðum kostnað sem tengist rekstri.

5.2 Sviðsmynd 1

Val á frostþurrkara og stærð húsnæðis miðast við að fjárfest verði í hagkvæmum Plug and play frostþurrkara frá Kínverska framleiðandanum Yantai True Cold með afkastagetu til að frostþurrka allt að 200 kg af fersku hráefni á sólarhring, eða 66 tonn á ári. Þar sem óvíst er hversu mikil eftirspurnin verði getur verið hagkvæmt að byrja á uppsetningu í smærri verksmiðju og skala hana svo upp í þrepum þegar eftirspurn eykst. Þessi sviðsmynd (sjá töflu 8) gerir einnig ráð fyrir að kostnaði fyrir annan tækjabúnað sé haldið í hófi. Frostþurrkari af þessari stærð þarfnast 25 fm² rýmis og er því gert ráð fyrir að vinnslan geti öll farið fram í 107 fm² húsnæði. Gert er ráð fyrir að í verksmiðjunni starfi aðeins þrjú starfsmenn, einn stjórnandi, einn sérfræðingur og einn almennur verkamaður.

Gert er ráð fyrir að heildarstofnkostnaður verksmiðju þessarar sviðsmyndar nemi kr. 103.636.200 og að rekstrarkostnaður hvers árs nemi kr. 35,257,801. Gert er ráð fyrir að árlegar afskriftir nemi kr. 7.643.616.

Gert er ráð fyrir að frostþurrkari sé í gangi í 22 klukkustundir á sólarhring, 330 daga á ári. Gert er ráð fyrir að tveimur klukkustundum á sólarhring sé varið í aftæmingu frostþurrkara, afþíðingu og kælingu fyrir næstu lotu.

Tafla 8. Áætlaður stofn- og rekstrarkostnaður sviðsmyndar 1.

Stofnkostnaður		Árlegur Rekstrarkostnaður	
Fasteign	32,000,000	Rafmagn og umbúðir	1,856,085
Frostþurrkari	27,436,200	Heitt vatn til afþiðingar	77,664
Frystir og kurlari	8,000,000	Laun og launatengd gjöld	27,717,172
Önnur tæki og búnaður	10,000,000	Kostnaður við húsnæði	1,946,880
Bifreiðar	1,200,000	Skrifstofukostnaður	1,860,000
Uppsetning verksmiðju/vinnslu	10,000,000	Bifreiðakostnaður	840,000
Húsgögn, innréttingar og skrifstofubúnaður	5,000,000	Markaðskostnaður	180,000
Annar ófyrirséður stofnkostnaður	10,000,000	Annar rekstrarkostnaður	780,000
Samtals	103,636,200	Samtals	35,257,801

5.3 Sviðsmynd 2

Sviðsmynd 2 (tafla 9) gerir ráð fyrir að eftirspurn eftir frostþurrkunarþjónustu verði nokkuð meiri en gert er ráð fyrir í sviðsmynd 1, eða að hún muni nema allt að 165 tonnum á ári. Gengið er út frá því að ýmsir smáir og meðalstórir framleiðendur, meðal annars smápörungaframleiðendur, kæmu til með að nýta þjónustu miðlægs frostþurrkunarvers sem myndi hafa mikil áhrif á heildareftirspurn. Sviðsmyndin gerir ráð fyrir að keyptur sé frostþurrkari sem afkastar að þurrka allt að 500 kg af fersku hráefni á sólarhring eða allt að 165 tonn á ári. Þar sem um stærri frostþurrkara er að ræða en miðað er við í sviðsmynd 1, þarfnast starfsemin stærra húsnæðis og því miðað við að hún fari fram í 157 fm² húsnæði og að fasteignaverð sé kr. 47 milljónir. Miðað er við að fimm starfsmenn sinni vinnslunni, einn stjórnandi, einn sérfræðingur og þrjú almennir verkamenn. Gert er ráð fyrir að stofnkostnaður nemi kr 140.624.600 og að rekstrarkostnaður hvers árs nemi kr. 52.350.486. Gert er ráð fyrir að árlegar afskriftir muni nema kr. 10.067.460.

Tafla 9. Áætlaður stofn- og rekstrarkostnaður sviðsmyndar 2.

Stofnkostnaður		Árlegur Rekstrarkostnaður	
Fasteign	47,000,000	Rafmagn og umbúðir	4,640,213
Frostþurrkari	32,424,600	Heitt vatn til afþiðingar	194,160
Frystir og kurlari	15,000,000	Laun og launatengd gjöld	41,171,633
Önnur tæki og búnaður	15,000,000	Kostnaður við húsnæði	2,409,480
Bifreiðar	1,200,000	Skrifstofukostnaður	2,075,000
Uppsetning verksmiðju/vinnslu	15,000,000	Bifreiðakostnaður	900,000
Húsgögn, innréttingar og skrifstofubúnaður	5,000,000	Markaðskostnaður	180,000
Annar ófyrirséður stofnkostnaður	10,000,000	Annar rekstrarkostnaður	780,000
Samtals	140,624,600	Samtals	52,350,486

Gert er ráð fyrir að frostþurrkari sé í gangi í 22 klukkustundir á sólarhring, 330 daga á ári. Gert er ráð fyrir að tveimur klukkustundum á sólarhring sé varið í aftæmingu frostþurrkara, afþiðingu og kælingu fyrir næstu lotu.

5.4 Sviðsmynd 3

Sviðsmynd 3 (tafla 10) gerir ráð fyrir umtalsvert meiri eftirspurn en fyrri sviðsmyndir gera ráð fyrir eða allt að 330 tonnum á ári. Eftirspurnartölur miðast við að nokkur eftirspurn verði eftir frostþurrkun meðal stærri smápörungaframleiðenda og að auk þess sjái fleiri stærri matvæla- og fæðubótarefnaframleiðendur tækifæri í notkun aðferðarinnar. Sviðsmyndin gerir ráð fyrir að fjárfest verði í umtalsvert dýrari frostþurrkurum, tækjabúnaði og húsnæði. Sviðsmyndin miðar við að keyptir séu tveir plug and play frostþurrkari frá danska framleiðandanum SiccaDania, hvor fyrir kr. 120.190.000. Gert er ráð fyrir að uppsetning verksmiðju verði umfangsmeiri og dýrari enda fari starfsemin fram í stærra húsnæði, eða 267 fm² og er húsnæðisverð áætlað kr. 80 milljónir. Einnig er gert ráð fyrir að annar tækjabúnaður sé umtalsvert dýrari, svo sem frystir og kurlari. Við áætlun kostnaðar þess tækjabúnaðar er horft til verðskrár framleiðanda sem sjá má í töflu 2. Sviðsmyndin

miðast við að sex starfsmenn sinni vinnslunni, einn stjórnandi, einn sérfræðingur og fjórir almennir verkamenn.

Gert er ráð fyrir að stofnkostnaður nemi kr 444.626.800 og að rekstrarkostnaður á ári nemi kr. 66.994.796. Árlegar afskriftir eru áætlaðar kr. 37.662.672.

Gert er ráð fyrir að frostþurrkari sé í gangi í 22 klukkustundir á sólarhring, 330 daga á ári. Gert er ráð fyrir að tveimur klukkustundum á sólarhring sé varið í aftæmingu frostþurrkara, afþíðingu og kælingu fyrir næstu lotu.

Tafla 10. Áætlaður stofn- og rekstrarkostnaður sviðsmyndar 3.

Stofnkostnaður		Árlegur Rekstrarkostnaður	
Fasteign	80,000,000	Rafmagn og umbúðir	9,280,425
Frostþurrkari*2	240,380,000	Heitt vatn til afþíðingar	388,308
Frystir og kurlari	62,246,800	Laun og launatengd gjöld	47,898,863
Önnur tæki og búnaður	15,000,000	Kostnaður við húsnæði	4,387,200
Bifreiðar	4,000,000	Skrifstofukostnaður	2,640,000
Uppsetning verksmiðju/vinnslu	25,000,000	Bifreiðakostnaður	1,200,000
Húsgögn, innréttingar og skrifstofubúnaður	8,000,000	Markaðskostnaður	240,000
Annar ófyrirséður stofnkostnaður	10,000,000	Annar rekstrarkostnaður	960,000
Samtals	444,626,800	Samtals	66,994,796

5.5 Sviðsmynd 4

Sviðsmynd 4 (tafla 11) gerir ráð fyrir að árleg eftirspurn geti náð allt að 660 tonnum á ári. Hér er gert ráð fyrir því að nokkrir meðalstórir og stórir framleiðendur smápörunga eigi í viðskiptum við miðlæga frostþurrkunarverrið auk þess sem ýmis önnur tækifæri hafi skapast sem hafi í för með sér mikla eftirspurn. Miðað er við að fjárfest sé í þurrkara frá þýska framleiðandanum GEA sem afkastar að þurrka allt að 2 tonn á sólarhring og er verð þurrkarans áætlað kr. 198 milljónir. Þurrkari af þessari stærð krefst samsetningar af hálfu framleiðenda og uppsetningar sérstakra brauta til að flytja hráefni í rekkum á milli staða í framleiðslurýminu. Samkvæmt framleiðanda má áætla að slík uppsetning geti tekið allt að 4 mánuði og að verð fyrir uppsetningu geti numið kr. 95 milljónum. Einnig er gert ráð fyrir að fjárfest yrði í samskonar frysti og kurlara eins og gert er ráð fyrir í sviðsmynd 3, að upphæð kr. 62.246.000. Gert er ráð fyrir að tíu starfsmenn starfi við vinnsluna, tveir stjórnendur, tveir sérfræðingar og sex almennir verkamenn.

Stofnkostnaður er áætlaður kr. 519.836.800 og rekstrarkostnaður hvers árs kr. 116.601.543. Árlegar afskriftir eru áætlaðar kr. 41.783.676.

Gert er ráð fyrir að frostþurrkari sé í gangi í 22 klukkustundir á sólarhring, 330 daga á ári. Gert er ráð fyrir að tveimur klukkustundum á sólarhring sé varið í aftæmingu frostþurrkara, afþíðingu og kælingu fyrir næstu lotu.

Tafla 11. Áætlaður stofn- og rekstrarkostnaður sviðsmyndar 4.

Stofnkostnaður		Árlegur Rekstrarkostnaður	
Fasteign	120,000,000	Rafmagn og umbúðir	18,560,850
Frostþurrkari	197,960,000	Heitt vatn til afþíðingar	776,628
Frystir og kurlari	62,246,800	Laun og launatengd gjöld	82,343,265
Önnur tæki og búnaður	20,000,000	Kostnaður við húsnæði	8,260,800
Bifreiðar	4,000,000	Skrifstofukostnaður	3,000,000
Uppsetning verksmiðju/vinnslu	95,630,000	Bifreiðakostnaður	1,320,000
Húsgögn, innréttingar og skrifstofubúnaður	10,000,000	Markaðskostnaður	540,000
Annar ófyrirséður stofnkostnaður	10,000,000	Annar rekstrarkostnaður	1,800,000
Samtals	519,836,800	Samtals	116,601,543

5.6 Sviðsmynd 5

Til að kanna hvaða áhrif nýting jarðgufu myndi hafa á rekstargrundvöll frostþurrkunarvers var ákveðið að setja upp aðra sviðsmynd sem er að öllu leyti eins og sviðsmynd 4 fyrir utan að hún gerir ráð fyrir að lofttæming frostþurrkara yrði knúin með jarðgufu í stað rafmagns en notkun gufuþeysakerfis við lotubundna þurrkun krefst gífurlega mikils magns kælivatns. Áhrif þessa á stofnkostnað má sjá í töflu 12 hér fyrir neðan en miðað er við að fjárfestingakostnaður við frostþurrkara án lofttæmidæla nemi 80% af þeim kostnaði sem fælist í frostþurrkara með lofttæmidælum. Miðað er við að verð fyrir gufuþeysakerfi nemi 15% af heildarkostnaði frostþurrkara. Eru þessi hlutföll þó ekki fengin með eigin rannsóknarvinnu, heldur er hér stuðst við mat höfunda ritgerða um umfjöllunarefnið, Darra Gunnarsson og Davíð Arnar Benediktsson sem getið var í kafla 2.4 um nýtingu jarðhita í frostþurrkunarferlinu. Heildarstofnkostnaður þessarar sviðsmyndar nemur því kr. 504.000.000 sem er rúmlega 15 milljón krónum lægra en áætlaður stofnkostnaður frostþurrkunarvers með rafknúna lofttæmidælur. Í töflu 12 má einnig sjá hvaða áhrif þessar breytingar hafa á rekstrarkostnað. Í stað rafmagns er gert ráð fyrir að notaðir verði 1 milljón lítra af kælivatni árlega til að kælingar á eimsvolum gufuþeysakerfisins. Miðað við verðskrá vatnsveitu Ölfuss er verð fyrir hvern rúmmeter áætlaður kr. 12,7. Árlegur rekstrarkostnaður er áætlaður kr. 111.284.061 og árlegar afskriftir eru áætlaðar kr. 40.199.988. Gert er ráð fyrir að frostþurrkari sé í gangi í 22 klukkustundir á sólarhring, 330 daga á ári. Gert er ráð fyrir að tveimur klukkustundum á sólarhring sé varið í aftæmingu frostþurrkara, afþíðingu og kælingu fyrir næstu lotu.

Tafla 12. Áætlaður stofn- og rekstrarkostnaður sviðsmyndar 5 með notkun jarðgufu.

Stofnkostnaður		Árlegur Rekstrarkostnaður	
Fasteign	120,000,000	Umbúðir	1,320,000
Frostþurrkari	158,368,000	Kælivatn	12,699,996
Frystir og kurlari	62,246,800	Laun og launatengd gjöld	82,343,265
Önnur tæki og búnaður	20,000,000	Kostnaður við húsnæði	8,260,800
Bifreiðar	4,000,000	Skrifstofukostnaður	3,000,000
Uppsetning verksmiðju/vinnslu	95,630,000	Bifreiðakostnaður	1,320,000
Húsgögn, innréttingar og skrifstofubúnaður	10,000,000	Markaðskostnaður	540,000
Annar ófyrirséður stofnkostnaður	10,000,000	Annar rekstrarkostnaður	1,800,000
Gufuþeysakerfi	23,755,200		
Samtals	504,000,000	Samtals	111,284,061

5.7 Umræður

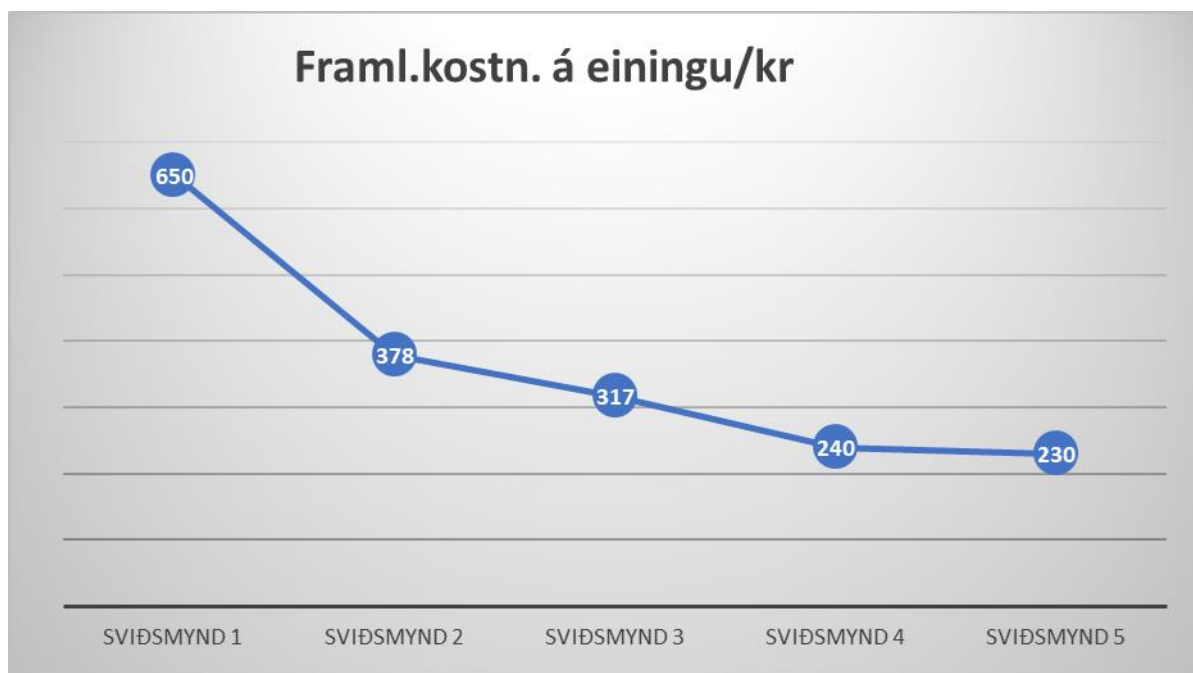
Í þessum kafla hafa verið settar fram áætlanir fyrir 5 mismunandi sviðsmyndir sem hver og ein gera ráð fyrir ólíkum forsendum hvað varðar afkastagetu, stofnkostnað og rekstrarkostnað. Í töflu 13 má sjá samantekt yfir áætlaða kostnaðarliði hvernar sviðsmyndar. Þar sem gert er ráð fyrir að frostþurrkunarverin séu miðlæg þjónustufyrirtæki var talið ákjósanlegast að reikna framleiðslukostnað út frá þeim kostnaði sem felst í að frostþurrka hvert kíló af fersku hráefni sem kemur inn til þurrkunar. Framleiðslukostnaður var því reiknaður þannig að árlegur rekstrarkostnaður og árlegar afskriftir voru lagðar saman og upphæðinni deilt með uppgefni afkastagetu frostþurrkara. Þannig var reiknaður út framleiðslukostnaður miðað við staðlaða nýtingu hvers frostþurrkara á árs grundvelli. Slíkir útreikningar eru þó ekki mjög nákvæmir, enda ýmislegt sem getur haft áhrif á endanlegan framleiðslukostnað. Kostnaður við frostþurrkun getur til að mynda verið afar breytilegur á milli ólíkra hráefna, til dæmis vegna mismunandi vökvainihalds eða mismunandi kröfu um meðhöndlun hráefna fyrir og eftir þurrkun. Auk þess getur framleiðslukostnaður sveiflast mikið ef nýtingarhlutfallið breytist, til dæmis vegna árstíðarbundins framboðs hráefna auk þess sem ekki er hægt að ganga að því sem vísu að hægt sé að fylla frostþurrkara fyrir hverja þurrklotu. Til að komast sem næst því að geta áætlað endanlegan framleiðslukostnað sviðsmynda er í þessum kafla er skoðað hvaða áhrif hinar ýmsu breytingar á stærstu áhrifaþáttunum myndu hafa á framleiðslukostnaðinn.

Tafla 13 sýnir samantekt yfir stofnkostnað, fastan kostnað, breytilegan kostnað, afskriftir og uppgefna hámarks afkastagetu frostþurrkara hvernar sviðsmyndar en miðað er við að afkastageta tvöfaldist milli sviðsmynda. Hámarksafköst sviðsmynda 4 og 5 eru þó þau sömu þar sem um samskonar frostþurrkunarver er að ræða fyrir utan að annað er knúíð jarðgufu en hitt rafmagn.

Tafla 13. Samantekt yfir stofnkostnað, fastan og breytilegan kostnað, afskriftir og hámarks afkastagetu þurrkara hvernar sviðsmyndar.

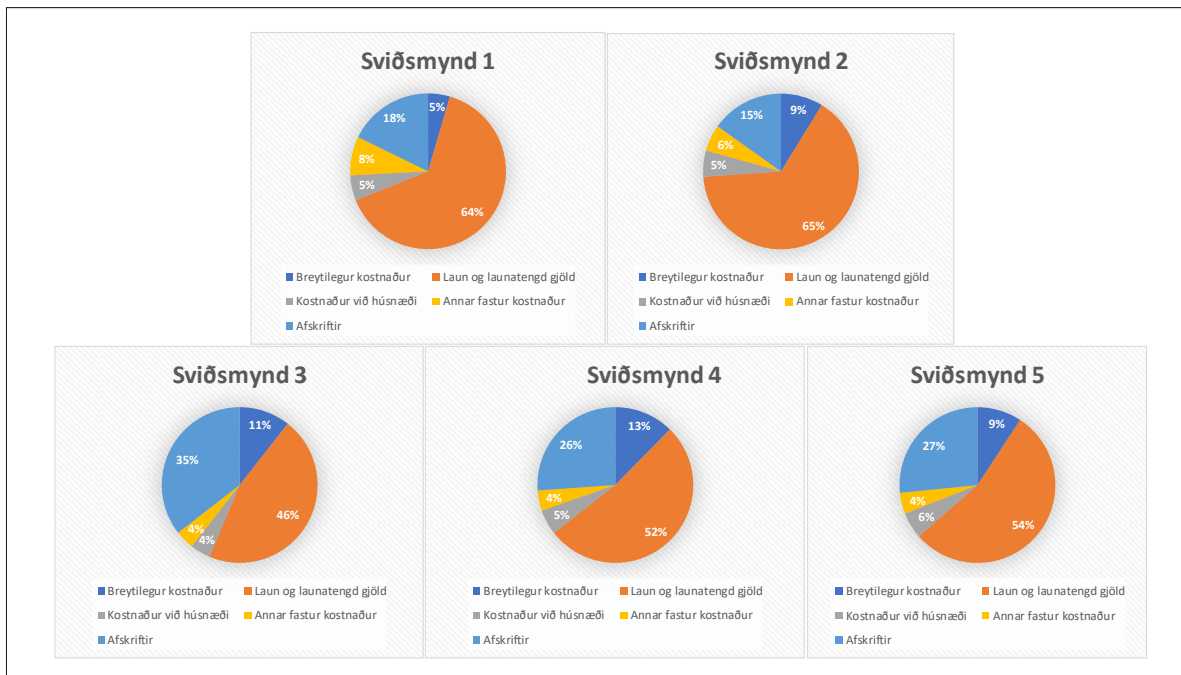
	Stofnkostnaður/kr	Fastur kostnaður	Breytilegur kostnaður	Árlegar afskriftir/kr	Hámarksafköst á ári/kg
Sviðsmynd 1	103,636,200	33,324,052	1,933,749	7,643,616	66,000
Sviðsmynd 2	140,624,600	47,516,113	4,834,373	10,067,460	165,000
Sviðsmynd 3	444,626,800	57,326,063	9,668,733	37,662,672	330,000
Sviðsmynd 4	519,836,800	97,264,065	19,337,478	41,783,676	660,000
Sviðsmynd 5	504,000,000	97,264,065	14,019,996	40,199,988	660,000

Á mynd 13 má sjá áætlaðan framleiðslukostnað fyrir hvert kíló af fersku hráefni sem kemur inn til frostþurrkunar miðað við ofangreindar forsendur. Eins og komið hefur fram er hér gert ráð fyrir að nýtingarhlutfall frostþurrkara sé í öllum tilvikum 100% miðað við uppgefin hámarksafköst. Eins og sjá má lækkar framleiðslukostnaður eftir því sem afkastageta frostþurrkunarvera eykst. Þó lækkar framleiðslukostnaður ekki í sama hlutfalli milli allra sviðsmynda, enda gera þær allar ráð fyrir mismunandi forsendum á kostnaðarhlið. Taflan sýnir að framleiðslukostnaður tæplega helmingast á milli sviðsmynda 1 og 2 en lækkar aðeins um 16% á milli sviðsmynda 2 og 3. Framleiðslukostnaður lækkar svo um tæplega þriðjung á milli sviðsmynda 3 og 4 en lækkar svo aðeins um 4% á milli sviðsmynda 4 og 5.



Mynd 13. Áætlaður framleiðslukostnaður á einingu (kg) hvernar sviðsmyndar.

Á mynd 14 má sjá hvaða kostnaðarliðir hafa mest áhrif á endanlegan framleiðslukostnað hvernar sviðsmyndar. Eins og sjá má eru laun og launatengd gjöld, afskriftir og breytilegur kostnaður þeir þættir sem mest áhrif hafa á framleiðslukostnað allra sviðsmynda. Laun og launatengd gjöld eru þar langstærsti kostnaðarliðurinn en hlutfall launa af framleiðslukostnaði er frá 46%-65% og mest eru áhrif þessa liðar á fyrstu tvær sviðsmyndirnar þar sem afkastageta er minnst.



Mynd 14. Hlutfall kostnaðarliða sem hafa mest áhrif á framleiðslukostnað

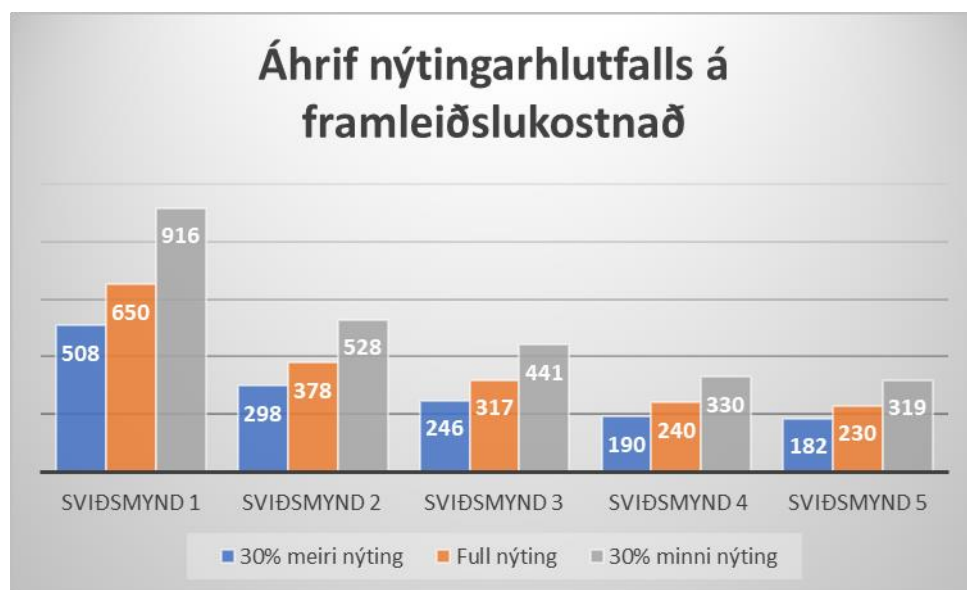
Á eftir launakostnaði koma afskriftir sem næst stærsti kostnaðarliðurinn í tilfelli allra sviðsmynda. Athygli vekur þó hversu miklu munar á hlutfalli afskrifta milli annars vegar sviðsmynda 1 og 2 og hins vegar sviðsmyndar 3. Þetta skýrist af því að kostnaður vegna tækjakaupa var hlutfallslega margfalt hærri miðað við afköst frostþurrkara í tilfelli sviðsmyndar 3 en annarra sviðsmynda, sem skilar sér í mun hærri afskriftum.

Hlutfall breytilegs kostnaður á milli sviðsmynda er á bilinu 5% og 13% en er lægst í tilfelli sviðsmyndar 1 þar sem um minnst afköst er að ræða en mest í tilfelli sviðsmyndar 4 þar sem afkastagetan er mest. Hlutfall breytilegs kostnaðar lækkar á milli sviðsmynda 4 og 5 þar sem eini munurinn á milli sviðsmyndanna er sá að sviðsmynd 4 gerir ráð fyrir rafknúnum lofttæmidælum en sviðsmynd 5 gerir ráð fyrir notkun jarðgufu.

Þar sem ofangreindir útreikningar byggja á forsendum sem eru að flestu eða öllu leyti óþekktar stærðir er mikilvægt að skoða hvaða áhrif breytingar á þessum forsendum hafa á niðurstöðu útreikninga. Hér að ofan byggðu útreikningar á framleiðslukostnaði á því að nýtingarhlutfall frostþurrkunarvera hveðrar sviðsmyndar væri 100% miðað við uppgefin hámarks afköst frostþurrkara. Hugsanlega væri raunhæft að ná fram slíku nýtingarhlutfalli í frostþurrkunarveri með einsleitt hráefni þar sem framboðshliðin væri þekkt stærð. Það á hins vegar ekki við í tilfelli miðlægs frostþurrkunarvers þar sem ekki er þekkt hversu mikil eftirspurn mun koma til með að geta orðið. Það má einnig gera ráð fyrir að einhverjar sveiflur gætu orðið á eftirspurnarhliðinni, til dæmis vegna árstíðarbundinna hráefna og vegna þess að ekki takist í öllum tilvikum að fylla þurrkara fyrir hverja þurrklotu.

Þar sem nýtingarhlutfall frostþurrkara er stór áhrifaþáttur í útreikningum framleiðslukostnaðar er nauðsynlegt að skoða hvað breytingar á nýtingarhlutfallinu myndu hafa á endanlegan framleiðslukostnað. Það sem helst hefur áhrif á nýtingarhlutfall hveðrar þurrklotu er annars vegar magn hráefnisins sem sett er inn í hann og hins vegar þurrktíminn sem það tekur að þurrka hráefnið sem í honum er. Útreikningarnir hér að ofan hafa miðast við staðlað nýtingarhlutfall sem gefin eru upp af framleiðendum frostþurrkaranna og ganga út frá að eftirspurnin haldist alltaf í sama hlutfalli við hámarks afköst. Takist ekki að fylla frostþurrkara fyrir þurrklotu hækkar framleiðslukostnaður þeirra

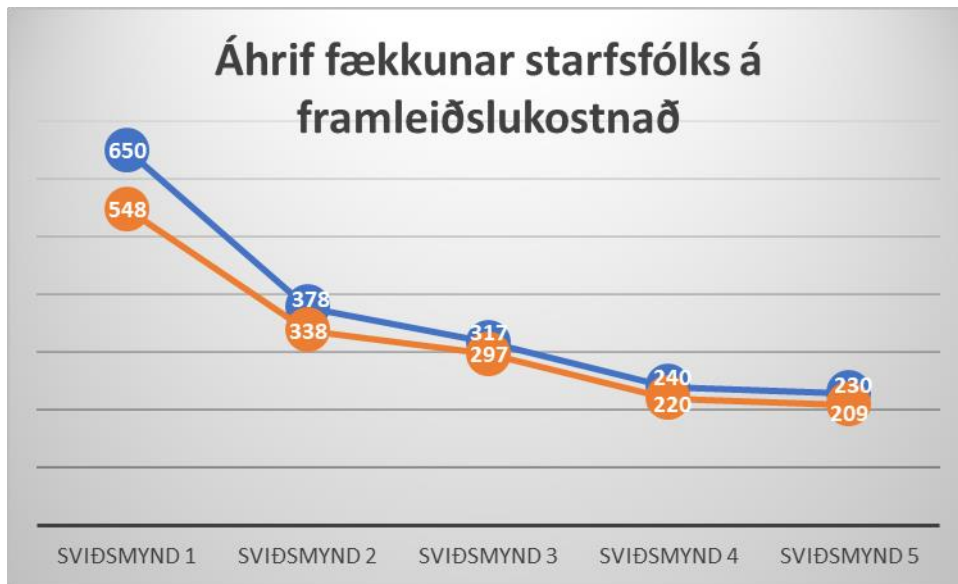
lotu þar sem kostnaðurinn við þurrkunina deilist á færri einingar. Eins og nefnt hefur verið er þó hægt með ýmsum aðferðum að bæta nýtingu hvernar þurrklotu, t.d. með því að beita framleiðsluáðferðum sem hafa áhrif á lengd þurrktímans. Þær aðferðir sem nýtast best til að stytta þurrktíma fara þó að miklu leyti eftir því hráefni sem unnið er með hverju sinni, svo sem vökvainnihaldi og lögun þess. Þar sem ekki er ljóst að svo stöddu hvers konar hráefni miðlægt frostþurrkunarver á Íslandi kæmi til með að frostþurrka er erfitt að segja til um hvaða aðferðir myndu nýtast því best. Ef slíkt ver sæi að mestu leyti um frostþurrkun einsleitra hráefna á borð við smápörunga eða þykkni, gæti notkun ribbaðra bakka (e. finned trays) haft mikil áhrif á heildarafköst verksmiðjunnar. Einnig mætti nota fljótandi köfnunarefni til að frysta smápörunga eða þykkni í dropaform og helminga þannig þann þurrktíma sem tekur að fullþurrka hráefnin. Þannig mætti svo gott sem tvöfalda afköst frostþurrkara á hverjum sólarhring. Mynd 15 sýnir hvernig framleiðslukostnaður breytist annars vegar við 30% minni nýtingu (grá súla) miðað við uppgefna staðlaða afkastagetu (appelsínugul súla) og hins vegar við 30% meiri nýtingu (blá súla). Breytilegur kostnaður hefur að sama skapi verið lækkaður/hækkaður í sömu hlutföllum (sjá nánar viðauka 1).



Mynd 15. Áhrif 30% aukinnar nýtingar og 30% minni nýtingar á framleiðslukostnað sviðsmynda.

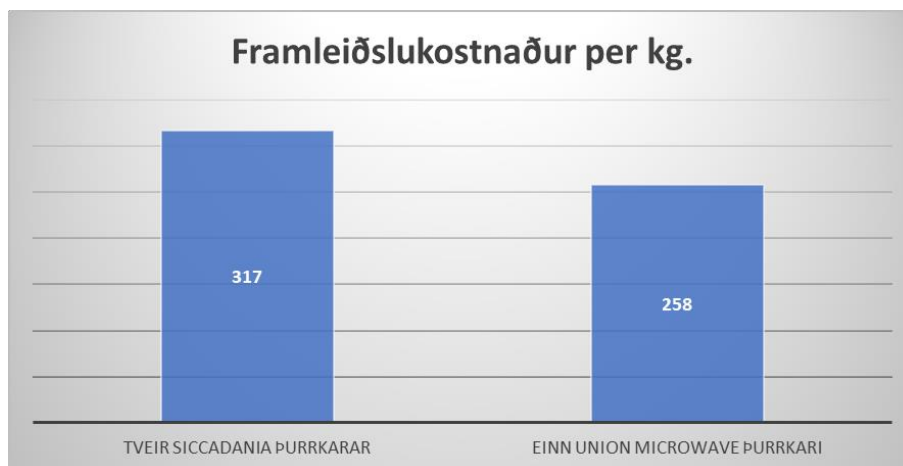
Útreikningar taka þó ekki mið af þeim kostnaði sem felst í kaupum á þeim búnaði sem þarf til að stytta þurrktímann, svo sem kostnaði vegna ribbaðra bakka eða köfnunarefnisfrystis en kostnaður fyrir slíkan búnað getur þó verið umtalsverður og haft áhrif til hækkunar afskrifta (sjá nánar verðlista í töflu 2 í kafla 5.1 um forsendur sviðsmynda). Eins og sjá má eru sveiflurnar mestar í tilfelli sviðsmyndar 1 en minnka svo milli hverra sviðsmynda þar á eftir.

Launakostnaður er sá kostnaðarliður sem hefur hvað mest áhrif á framleiðslukostnað frostþurrkunarvera. Með aukinni sjálfvirkni og fækkun starfsmanna er því hægt að lækka framleiðslukostnaðinn. Mynd 16 sýnir áhrif þess á framleiðslukostnað að fækka um einn almennan verkamann í tilfelli sviðsmynda 1, 2 og 3 en um tvo almenna verkamenn í tilfelli sviðsmyndar 4 og 5. Bláa línan sýnir framleiðslukostnað fyrir fækkun starfsmanna en appelsínugula línan sýnir framleiðslukostnað eftir að starfsmönnum hefur verið fækkað. Áhrif þess að fækka starfsfólki er mestur í tilfelli fyrstu tveggja sviðsmyndanna. Þar nemur lækkun framleiðslukostnaðar 16% í tilfelli sviðsmyndar 1 og 11% í tilfelli sviðsmyndar 2. Í tilfelli sviðsmyndar 3 eru áhrifin minnst, en þar nemur lækkunin aðeins 6%. Í tilfelli sviðsmynda 4 og 5 hefur fækkun tveggja starfsmanna þau áhrif að framleiðslukostnaður lækkar um 8 og 9%.



Mynd 16. Áhrif fækkunar starfsfólks á framleiðslukostnað sviðsmynda.

Hlutfall afskrifta sviðsmynda nemur 15%-35% af framleiðslukostnaði. Eins og kom fram á mynd 14 er hlutfall afskrifta sviðsmyndar 3 hæst allra sviðsmynda, sem skýrist af hlutfallslega háu kaupverði tækjabúnaðar miðað við afkastagetu. Sviðsmynd 3 gerði ráð fyrir að fjárfest yrði í tveimur plug and play frostþurrkurum sem hver hefur afkastagetu til að þurrka 500 kg af hráefni á sólarhring, eða samtals 1000 kg. Þessir tveir þurrkarar kosta samanlagt kr. 240.380.000. Sé öllum öðrum kostnaðarliðum sviðsmyndarinnar haldið óbreyttum en að í stað frostþurrkaranna tveggja frá SiccaDania sé reiknað með að keyptur yrði einn frostþurrkari frá Kínverska framleiðandanum Union Microwave með sömu afkastagetu að upphæð kr. 43,994,160, myndu afskriftir sviðsmyndar 3 lækka úr kr. 37.662.672 niður í kr. 18.024.084 og framleiðslukostnaður að sama skapi lækka um 19%, úr kr. 317 niður í kr. 258.



Mynd 17. Áhrif lægri afskrifta á framleiðslukostnað sviðsmyndar 3.

Í kafla 4.6 var fjallað um það verð sem íslenskir framleiðendur greiða fyrir að frostþurrka hráefni erlendis. Verðið er áætlað kr. 656 á hvert kíló með flutningi miðað við gefnar forsendur á þeim tíma sem upplýsinganna var aflað. Þetta verð er þó miðað við verð til stærri framleiðenda sem senda mikið

magn hráefnis til frostþurrkunar í einu. Verð fyrir smærri framleiðendur eða frumkvöðla í tilraunastarfsemi væri að öllum líkindum töluvert hærri á hverja einingu, bæði fyrir frostþurrkunina sjálfa og flutning hráefnisins milli landa. Út frá þeim útreikningum sem settir hafa verið fram í þessu hagkvæmnimati er ekki unnt að áætla endanlegt útselt verð þjónustu á hvert kíló þar sem mikilvægar forsendur liggja enn sem komið er ekki skýrt fyrir. Á meðan eftirspurn er ekki þekkt stærð er að sama skapi erfitt að segja til um hvert nýtingarhlutfall frostþurrkara kæmi til með að vera en eftirspurn og nýtingarhlutfall eru þeir þættir sem hafa hvað mest áhrif á framleiðslukostnað og þar af leiðandi á endanlegt útselt verð þjónustunnar.

Sé áfram stuðst við rekstrarlíkan Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands og reiknað með að í tilfelli allra sviðsmynda yrði útselt verð kr. 656 til samræmis við það verð sem áætlað er að það kosti íslenska framleiðendur að frostþurra hráefni erlendis, má sjá hvaða áhrif það hefði á rekstrarniðurstöðu sviðsmyndanna (tafla 15).

Tafla 14. Rekstrarniðurstaða sviðsmynda miðað við að útselt verð sé ákveðið kr. 656 fyrir hvert kíló.

Sviðsmyndir	Afkastageta kg	Framleiðslu- kostnaður kr/kg	Útselt verð kr/kg	Rekstrarniðurstaða		
				Ár a	Ár b	Ár c
Sviðsmynd 1	66000	650	656	-1,724,785	-1,631,801	-1,354,465
Sviðsmynd 2	165000	378	656	34,349,369	35,465,442	36,407,307
Sviðsmynd 3	330000	317	656	80,849,318	84,663,509	87,707,745
Sviðsmynd 4	660000	240	656	211,515,438	216,655,925	221,839,093
Sviðsmynd 5	660000	230	656	217,435,814	222,597,196	227,799,588

Tekin voru saman þrjú rekstrarár þar sem áfram var gert ráð fyrir að nýtingarhlutfall væri 100% miðað við uppgefna afkastagetu framleiðanda. Sjá má að í tilfelli sviðsmyndar 1 yrði kr. 656 allt of lágt útselt verð miðað við framleiðslukostnað sviðsmyndarinnar, þrátt fyrir að frostþurrkarinn væri fullnýttur allt árið. Annað er uppi á teningnum fyrir sviðsmynd 2, sem miðar við eftirspurn uppá 165 tonnum á ári. Í því tilviki er reksturinnorðinn hagkvæmur, miðað við gefnar forsendur.

Aftur má skoða hvaða áhrif fjárfesting í hagkvæmari frostþurrkara í tilfelli sviðsmyndar 3 hefði á þessa útkomu en sú sviðsmynd er heppileg fyrir slíkan samanburð þar sem hún gerir ráð fyrir hlutfallslega hæstu verði fyrir frostþurrkara miðað við afkastagetu. Eins og sjá má af töflu 16 hækkar rekstrarniðurstaða um 25% við það eitt að skipta út tveimur kostnaðarsömum SiccaDania plug and play frostþurrkurum yfir í einn mun hagkvæmari þurrkara með sömu afkastagetu frá kínverska framleiðandanum Yantai True Cold.

Tafla 15. Áhrif stofnkostnaðar vegna frostþurrkara á rekstrarniðurstöðu sviðsmyndar 3.

Sviðsmyndir	Afkastageta kg	Útselt verð	Rekstrarniðurstaða		
			Ár a	Ár b	Ár c
Sviðsmynd 3 - 2*SiccaDania	330000	656	80,849,318	84,663,509	87,707,745
Sviðsmynd 3 - 1*Yantai True Cold	330000	656	101,024,459	104,222,731	106,631,251

Þó verður að setja þá fyrirvara að hér er ekki reiknað með að verðmunur feli einnig í sér gæðamun á milli þurrkara eða að aukinn kostnaður geti skapast vegna annarra kostnaðarliða, svo sem launakostnaðar vegna minni sjálfvirkni. Einnig getur reynst munur á þurrktíma milli mismunandi gerða frostþurrkara og á þeim kostnaði sem felst í að setja upp búnað og flutningskerfi fyrir mismunandi frostþurrkara.

6 Niðurstöður

Í þessari skýrslu var farið yfir eiginleika frostþurrkunar sem verkunaraðferð fyrir ýmskonar matvæli og skoðaðir möguleikar þess að reisa miðlægt frostþurrkunarver á Íslandi. Settar voru fram nokkrar ólíkar sviðsmyndir þar sem leitast var við að draga fram þá þætti sem helst geta haft áhrif á hagkvæmi þess að reisa slíkt ver hér á landi.

Til að geta svarað því með nákvæmum hætti hvort hagkvæmt yrði að reisa miðlægt frostþurrkunarver á Íslandi þurfa ýmsar forsendur að liggja fyrir, svo sem hver raunveruleg eftirspurn eftir frostþurrkunarþjónustu kæmi til með að vera, hversu samfelld eftirspurnin yrði, hvers konar hráefni yrði notað og hversu hátt nýtingarhlutfall frostþurrkara yrði. Eins og staðan er í dag eru þessar stærðir að mestu leyti óþekktar enda mörg verkefni sem krefjast munu frostþurrkunar of skammt á veg komin til að hægt sé að áætla umfang eftirspurnar með afgerandi hætti. Eina þekkt stærðin er í dag uppsöfnuð þörf upp á 28 tonn á ári en eftirspurnargreining gefur þó vísbendingar um að þessi tala muni koma til með að fara hratt vaxandi. Hversu mikil eftirspurnin þarf að vera fer svo aftur eftir fjárfestingakostnaði í tækjum sem getur verið afar breytilegur og haft mikil áhrif á framleiðslukostnað og rekstrarniðurstöðu (sjá töflu 16). Eins og komið hefur fram er hægt að nota ýmsar aðferðir við forvinnslu hráefna til að hafa áhrif á þurrktíma og afkastagetu frostþurrkara og getur notkun slíkra aðferða haft áhrif á endanlegan framleiðslukostnað. Miðað við þær greiningar sem gerðar voru að framan má gera ráð fyrir því að árleg eftirspurn á bilinu 100 til 200 tonn ætti að geta skilað miðlægu frostþurrkunarveri jákvæðri rekstrarniðurstöðu.

Með notkun jarðgufu má ennfremur lækka framleiðslukostnað (sjá mynd 13) eins og samanburður á milli sviðsmynda 4 og 5 sýnir, þótt munurinn sé ekki stórkostlegur. Rannsóknir á nýtingu jarðgufu við frostþurrkun sýna að vel er mögulegt að nota jarðgufu til að knýja lofttæmingu frostþurrkunarklefa og fjarlægja uppgufað vatn hráefnisins. Hagkvæmni þess að nýta glatvarma við frostþurrkun er einnig ótvírætt þar sem orkuverð er hátt, og gott aðgengi er að glatvarma. Þótt orkuverð á Íslandi sé almennt lágt má vel sjá fyrir sér að þessi útfærsla henti þar sem hægt er að nýta glatvarma frá jarðvarmaverum á háhitasvæðum landsins t.d. á Norðurlandi eystra, Hellisheiði eða Reykjanesi til að knýja frostþurrkunarver og það sé hagkvæmara en að knýja það með raforku frá sömu virkjunum. Auðvitað eru aðrir hlutir mikilvægir í þessu samhengi, t.d. aðgengi að kælivatni, og flutningur á aðföngum til og frá verinu. Í öllu falli er þetta ein leið til betri nýtingar á verðmætum auðlindastraumum sem nú fara mikið til í súginn.

Breitt framboð af mismunandi þurrkurum á ólíku verði býður upp á ýmsa möguleika og ólíkar útfærslur af frostþurrkunarverum, allt frá smáum mannaflsfrækum verksmiðjum með takmarkaða sjálfvirkni upp í stórar og afkastamiklar sjálfvirkar verksmiðjur. Eins og áður hefur komið fram er sjálfvirk, samfelld þurrkun mun hagkvæmari en lotubundin þurrkun en þó gert ráð fyrir að slíkar verksmiðjur vinni að mestu leyti með mikið magn einsleitra hráefna og henta þær því ekki eins vel til að taka á móti ólíkum gerðum hráefna eins og miðlægt frostþurrkunarver þyrfti að geta.

Á Íslandi eru ýmsar vísbendingar um að eftirspurn sé farin að skapast eftir aðgengi að frostþurrkun enda hefur mikil gróska verið í nýsköpun í matvæla- og fæðubótarefnaframleiðslu og fyrir sé að mikill vöxtur verði hjá fyrirtækjum tengdum fiskeldi, líftækni og ræktun smápörunga á næstu árum. Þessum mikla vexti munu án efa fylgja ýmis tækifæri til frekari nýsköpunar og nýtingar hliðarafurða og er þá mikilvægt að skortur á aðgengi að framleiðslutækjum á borð við frostþurrkara hindri ekki vöxt slíkra verkefna. Fyrirtæki sem hyggjast gera tilraunir með notkun frostþurrkunar hafa getað leitað til Matís ohf. og fengið þar aðgengi að litlum frostþurrkara til að framkvæma tilraunir. Skili þær tilraunir jákvæðum niðurstöðum er hins vegar ekkert aðgengi að framleiðslutæki til að framleiða afurðirnar í stærri skala. Þar af leiðandi lenda fyrirtækin í ákveðinni klemmu, enda fást ekki styrkir til kaupa á

framleiðslutækjum úr íslenskum styrktarsjóðum. Sum íslensk fyrirtæki hafa því gripið til þess ráðs að senda hráefni erlendis til frostþurrkunar. Eins og nefnt hefur verið er það þó ekki á allra færi að senda hráefni erlendis, þar sem alla jafna er gert ráð fyrir að frostþurrka þurfi umtalsvert magn af hráefni. Fyrirtæki sem hyggst eingöngu framleiða frostþurrkaðar afurðir fyrir innanlandsmarkað telst afar smátt í alþjóðlegu samhengi og þyrfti líklega að greiða mun hærra verð en ella fyrir þjónustuna, enda byggir verðið alla jafna á sérsamningum þar sem magn hráefna og tíðni sendinga vegur þungt til að lækka kostnað. Íslensk fyrirtæki sem eru ekki nægilega stórir framleiðendur til að senda hráefni erlendis og hafa ekki nægt fjármagn til að kaupa sinn eigin frostþurrkara hafa þá ekki marga valkosti aðra en þá að láta staðar numið. Skortur á aðgengi að miðlægri frostþurrkun hindrar þannig vöxt slíkra fyrirtækja og íslenskt samfélag verður af verðmætum sem verkefnin hefðu annars getað skapað.

Uppbygging á frostþurrkunarþjónustu gæti þannig orðið afar verðmæt fyrir frumkvöðla í matvæla- og líftæknigeiranum. Aðgengi frumkvöðla jafnt sem lítilla og meðalstórra framleiðenda að slíkri þjónustu myndi hiklaust styðja við nýsköpun innan slíkra fyrirtækja, sem er sannarlega lykill að vexti og framþróun þeirra til lengri tíma litið. Slík verðmætasköpun eykur hagsæld og eflir þjóðarbúið.

Samband framleiðslukostnaðar og nýtingarhlutfalls ólíkra sviðsmynda.

Sviðsmynd 1	Eftirspurn kg	Breytilegur kostnaður	Fastur kostnaður	Árlegar afskriftir	Framleiðslu-kostnaður
Hlutfall 130	85,800	2,513,874	33,449,752	7,643,616	508
Hlutfall 120	79,200	2,320,499	33,449,752	7,643,616	548
Hlutfall 110	72,600	2,127,124	33,449,752	7,643,616	595
Hlutfall 100%	66,000	1,933,749	33,324,052	7,643,616	650
Hlutfall 90%	59,400	1,740,374	33,324,052	7,643,616	719
Hlutfall 80%	52,800	1,546,999	33,324,052	7,643,616	805
Hlutfall 70%	46,200	1,353,624	33,324,052	7,643,616	916
Hlutfall 60%	39,600	1,160,249	33,324,052	7,643,616	1,064
Hlutfall 50%	33,000	966,875	33,324,052	7,643,616	1,271
Hlutfall 40%	26,400	773,500	33,324,052	7,643,616	1,581
Sviðsmynd 2	Eftirspurn kg	Breytilegur kostnaður	Fastur kostnaður	Árlegar afskriftir	Framleiðslu-kostnaður
Hlutfall 130	214,500	6,284,685	48,078,833	9,567,192	298
Hlutfall 120	198,000	5,801,248	48,078,833	9,567,192	320
Hlutfall 110	181,500	5,317,810	48,078,833	9,567,192	347
Hlutfall 100%	165,000	4,834,373	47,516,113	10,067,460	378
Hlutfall 90%	148,500	4,350,936	47,516,113	10,067,460	417
Hlutfall 80%	132,000	3,867,498	47,516,113	10,067,460	466
Hlutfall 70%	115,500	3,384,061	47,516,113	10,067,460	528
Hlutfall 60%	99,000	2,900,624	47,516,113	10,067,460	611
Hlutfall 50%	82,500	2,417,187	47,516,113	10,067,460	727
Hlutfall 40%	66,000	1,933,749	47,516,113	10,067,460	902
Sviðsmynd 3	Eftirspurn kg	Breytilegur kostnaður	Fastur kostnaður	Árlegar afskriftir	Framleiðslu-kostnaður
Hlutfall 130	429,000	12,569,353	55,766,063	37,162,680	246
Hlutfall 120	396,000	11,602,480	55,766,063	37,162,680	264
Hlutfall 110	363,000	10,635,606	55,766,063	37,162,680	285
Hlutfall 100%	330,000	9,668,733	57,326,063	37,662,672	317
Hlutfall 90%	297,000	8,701,860	57,326,063	37,662,672	349
Hlutfall 80%	264,000	7,734,986	57,326,063	37,662,672	389
Hlutfall 70%	231,000	6,768,113	57,326,063	37,662,672	441
Hlutfall 60%	198,000	5,801,240	57,326,063	37,662,672	509
Hlutfall 50%	165,000	4,834,367	57,326,063	37,662,672	605
Hlutfall 40%	132,000	3,867,493	57,326,063	37,662,672	749
Sviðsmynd 4	Eftirspurn kg	Breytilegur kostnaður	Fastur kostnaður	Árlegar afskriftir	Framleiðslu-kostnaður
Hlutfall 130%	858,000	25,138,721	96,904,065	41,283,672	190
Hlutfall 120%	792,000	23,204,974	96,904,065	41,283,672	204
Hlutfall 110%	726,000	21,271,226	96,904,065	41,283,672	220
Hlutfall 100%	660,000	19,337,478	97,264,065	41,783,676	240
Hlutfall 90%	594,000	17,403,730	97,264,065	41,783,676	263
Hlutfall 80%	528,000	15,469,982	97,264,065	41,783,676	293
Hlutfall 70%	462,000	13,536,235	97,264,065	41,783,676	330
Hlutfall 60%	396,000	11,602,487	97,264,065	41,783,676	380
Hlutfall 50%	330,000	9,668,739	97,264,065	41,783,676	451
Hlutfall 40%	264,000	7,734,991	97,264,065	41,783,676	556
Sviðsmynd 5	Eftirspurn kg	Breytilegur kostnaður	Fastur kostnaður	Árlegar afskriftir	Framleiðslu-kostnaður
Hlutfall 130%	858,000	18,225,995	97,264,065	40,293,864	182
Hlutfall 120%	792,000	16,823,995	97,264,065	40,293,864	195
Hlutfall 110%	726,000	15,421,996	97,264,065	40,293,864	211
Hlutfall 100%	660,000	14,019,996	97,264,065	40,199,988	230
Hlutfall 90%	594,000	12,617,996	97,264,065	40,199,988	253
Hlutfall 80%	528,000	11,215,997	97,264,065	40,199,988	282
Hlutfall 70%	462,000	9,813,997	97,264,065	40,199,988	319
Hlutfall 60%	396,000	8,411,998	97,264,065	40,199,988	368
Hlutfall 50%	330,000	7,009,998	97,264,065	40,199,988	438
Hlutfall 40%	264,000	5,607,998	97,264,065	40,199,988	542

Heimildaskrá

- Agnarsson, S., Arason, S., Kristinsson, H. G., og Haraldsson, G. (2021). *Staða og horfur í íslenskum sjávarútvegi og fiskeldi, skýrsla að beiðni sjávarútvegs- og landbúnaðarráðherra*. Reykjavík: Atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytið.
- Alþýðublaðið. (1961, nóvember 11). Frostþurrkun matvæla reynd hjá 25 þjóðum. *Alþýðublaðið*, pp. 14-16.
- Ásmundsson, R. K. (1970). *Varmadætur : hagkvæmni á Íslandi*. Íslenskar orkurannsóknir., Rit ; 2005/024.
- Benediktsson, D. Ö. (2007). *Þurrkun á fiskpróteinisolati við íslenskar aðstæður [Óbirt meistaritgerð]*. Reykjavík: Verkfræðideild Háskóla Íslands.
- Besagni, G. R. (2016). Ejector refrigeration: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 53, p. 373–407. , DOI:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.059>.
- Bhatta, S., Janezic, T. S., og Ratti, C. (2020). Freeze-drying of plant-based foods. *Foods* 2020, 9(1), 87; <https://doi.org/10.3390/foods9010087>.
- Borrell, J. (2022, 03 14). *The war in Ukraine and its implications for the EU*. Retrieved from European Union, External action: https://www.eeas.europa.eu/eeas/war-ukraine-and-its-implications-eu_en
- Chunnanond, K., og Aphornratana, S. (n.d.). Ejectors: applications in refrigeration technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier. *tbl. 8 (2), bls 129-155*, .
- Eames, I. W., og S Aphornratana, H. H. (1995). A theoretical and experimental study of a small scale steam jet refrigerator. *International Journal of Refrigeration*, útg 18, tbl (6), bls 378-386. [https://doi.org/10.1016/0140-7007\(95\)98160-M](https://doi.org/10.1016/0140-7007(95)98160-M).
- Efling. (2022). *Kjarasamningur milli Samtaka atvinnulífsins og Eflingar-stéttarfélags*. Reykjavík: Efling.
- Fellows, P. J. (2017). *Food processing technology. Principles and practice (4 útg)*. Duxford: Woodhead Publishing.
- FÍN. (2022). *Launatöflur*. Retrieved from Félag Íslenskra Náttúrufræðinga: <https://www.fin.is/kaup-og-kjor/samningar/launatoflur/>
- GEA. (án dags). *Overcoming common freeze drying challenges*. Retrieved from <https://www.gea.com/> (18. mars 2022): <https://www.gea.com/en/expert-knowledge/free-drying-challenges/index.jsp>
- GEA. (sótt 24. mars 2022). *RAY® Freeze Dryer, The process*. Retrieved from <https://www.gea.com/>: <https://www.gea.com/en/products/dryers-particle-processing/freeze-dryers/ray-freeze-dryer.jsp>
- Guðlaugsson, B. (1998). *Frostþurrkun með jarðgufu. Tilraunir á Reykjanesi*. Reykjavík: Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins.
- Gunnarsson, D. (1989). Frostþurrkun með jarðhita. Meistararitgerð. *Háskóli Íslands*.
- Gunnarsson, G., Klonowski, I., og Þorkelsson, G. (2006). *Frostþurrkun sjávarfangs. Könnun á möguleikum*. Reykjavík: Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins.

- Halldórsdóttir, R., Reykdal, Ó., og Gunnlaugsson, V. N. (2022, febrúar). *Greining á rýrnum í virðisikeðju grænmetis*. Retrieved from matis.is: DOI 10.5281/zenodo.6034310
- Harvest right. (sótt 24. mars 2022). *Benefits of freeze drying*. Retrieved from Harvest Right: <https://harvestright.com/how-it-works/?shelf-life>
- Íslands, S. (án dags). *Hagtölur, opinber gengisskráning*. Retrieved from www.sedlabanki.is: <https://www.sedlabanki.is/hagtolur/opinber-gengisskraning/>
- Karwacka, M., Ciuzyńska, A., Galus, S., og Janowicz, M. (2022). Freeze-dried snacks obtained from frozen vegetable by-products and apple pomace – Selected properties, energy consumption and carbon footprint. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, , <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102949>.
- Kemolo. (n.d.). *FD-300 Freeze Dryer [Mynd]*. Retrieved from https://www.liofilizador.com:https://www.liofilizador.com/products/freeze_dryer_machine-en.html
- Krzykowski, A., Dziki, D., Rudy, S., Gawlik-Dziki, U., Polak, R., og Biernacka, B. (2018). Effect of pre-treatment conditions and freeze-drying temperature on the process kinetics and physicochemical properties of pepper. *LWT - Food Science and Technology*, *útg.98.*, bls 25-30.
- Matís. (2014). *Þurrkhandbókin, fjölbreyttar og gagnlegar upplýsingar um þurrkun á fiski*. Reykjavík: Matís.
- Mbl.is. (2021, 11 06). *Þróa skyr hjá matvælarisanum Nestlé*. Retrieved from www.mbl.is: https://www.mbl.is/vidskipti/frettir/2021/11/06/throa_skyr_hja_matvaearisanum_nestle/
- Nutraceutical Business Review. (2020, maí 20). *Companies turn to freeze drying for stable nutraceuticals*. Retrieved from Nutraceutical Business Review: https://nutraceuticalbusinessreview.com/news/article_page/Companies_turn_to_freeze_drying_for_stable_nutraceuticals/165410
- Ölfus.is. (2020, 6 1). *www.olfus.is*. Retrieved from Gjaldskrá vatnsveitu Ölfuss: <https://www.olfus.is/static/files/Stjornsysla/Gjaldskrar/2021/gjaldskra-vatnsveitu-olfuss.pdf>
- Orkusetur. (n.d.). *Verðsamanburður*. Retrieved from www.orkusetur.is: <https://orkusetur.is/raforka/raforkuverd-samanburdur/>
- Pashazadeh, H., Zannou, O., Ghellam, M., Koca, I., Galanakis, C. M., og Aldawoud, o. T. (2021). Optimization and Encapsulation of Phenolic Compounds Extracted from Maize Waste by Freeze-Drying, Spray-Drying, and Microwave-Drying Using Maltodextrin. *Foods*, *10(6)*, <https://doi.org/10.3390/foods10061396>.
- Pollerberg, C., Heinzl, A., og Weidner, E. E. (2009). *Model of a solar driven steam jet ejector chiller and investigation of its dynamic operational behaviour*. DOI:10.1016/j.solener.2008.11.003: Solar Energy 83(5):732-742. Retrieved from DOI:10.1016/j.solener.2008.11.003
- Pounds, D. A. (2010). A High Efficiency Ejector Refrigeration System. Meistararitgerð,. *University of Missouri, Columbia*.
- Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, *Volume 49, Issue 4,* 311-319.

- Sankarlal, T., og Mani, A. (2007). Experimental investigations on ejector refrigeration system with ammonia. *Renewable Energy* 32(8): bls 1403-1413, DOI:10.1016/j.renene.2006.05.008.
- Shukla, S. (2011). Freeze drying process: A review. *International Journal of pharmaceutical sciences and research*, 3061-3068.
- SiccaDania. (n.d.). *FD500 Continuous*. Retrieved from <https://siccadania.com>: <https://siccadania.com/products/fd500-continuous>
- Sigfússon, P., Laxdal, B., Árnason, V. J., Guðmundsdóttir, S. B., Danielsdóttir, B., og Stefánsson, S. D. (2020). *Lærum af reynslunni, staða og horfur í rekstri frumkvöðlafyrirtækja á sviði matvæla og heilsuefna á Íslandi*. Reykjavík: Samtök Iðnaðarins og Íslandsstofa.
- Stratta, L., capozzi, L. C., Franzino, S., og Pisano, R. (2020). Economic analysis of a freeze-drying cycle. *Processes* 2020, 8(11), 1399, <https://doi.org/10.3390/pr8111399>.
- Sturludóttir, E., Þorvaldsson, G., Helgadóttir, G., Guðnason, I., Sveinbjörnsson, J., Sigurgeirsson, Ó. I., og Sveinsson, Þ. (2021). *Fæðuöryggi á Íslandi. Skýrsla unnin fyrir atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytið*. Hvanneyri, Borgarnes: Landbúnaðarháskóli Íslands [139].
- Tíminn. (1976, ágúst 01). Ný geymsluaðferð sjávarafurða fyrir ný markaðssvæði. *Tíminn*, p. 34.
- Valsdóttir, Þ., og Klonowski, I. (2011). *Áhrif þurrkaðferða á eiginleika sölva, nýsköpun og neytendur. Skýrsla Matís 15-11, 2011*. Reykjavík: Matís.
- Veitur. (2022, 01 01). *Verðskrá vatnsveitu*. Retrieved from www.veitur.is: <https://www.veitur.is/verdskrar/vatnsveita>
- visir.is. (2018, ágúst 17). „Þetta verður stærsta þörungaverksmiðja í heimi“. Retrieved from www.visir.is: <https://www.visir.is/g/20181043745d>
- VM. (2021). *VM - Félag vélstjóra og málmtæknimanna. Launatafla almennur samningur VM við SA*. Retrieved from <https://www.vm.is/media/16674/021-alm-samn-vm-sa-jan-22.pdf>
- Zhang, S. J. (2018). Step utilization of energy with ejector in a heat driven freeze drying system. *Energy* 164, p. 734–744., DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.195>.