



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# OPTIROT - Optimalisering av råvarer og teknikk for bedre kvalitet og redusert svinn under lagring av rotgrønnsaker

NIBIO RAPPORT | VOL. 6 | NR. 31 | 2020



Mette G. Thomsen<sup>1)</sup>, Erlend Indergård<sup>2)</sup>, Pia Heltoft<sup>1)</sup>, Gerd Guren<sup>3)</sup>, Anne-Berit Wold<sup>4)</sup> Hanne Larsen<sup>5)</sup>, Belachew Asalf<sup>1)</sup>

NIBIO<sup>1)</sup>, SINTEF<sup>2)</sup>, NLR<sup>3)</sup>, NMBU<sup>4)</sup>, Nofima<sup>5)</sup>

**TITTEL/TITLE**

OPTIROT - Optimalisering av råvarer og teknikk for bedre kvalitet og redusert svinn under lagring av rotgrønnsaker. OPTIROOT - Optimization of produce quality and storage conditions to reduce loss during long-term storage of root vegetables in Norway

**FORFATTER(E)/AUTHOR(S)**

Mette G. Thomsen (NIBIO), Erlend Indergård (Sintef), Pia Heltoft (NIBIO), Gerd Guren (NLR), Anne-Berit Wold (NMBU), Hanne Larsen (Nofima) og Belachew Asalf (NIBIO)

<b>DATO/DATE:</b>	<b>RAPPORT NR./ REPORT NO.:</b>	<b>TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:</b>	<b>PROSJEKTNR./PROJECT NO.:</b>	<b>SAKSNR./ARCHIVE NO.:</b>
23.04.2020	6/31/2020	Åpen	256847	17/02194
<b>ISBN:</b>	<b>ISSN:</b>	<b>ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:</b>	<b>ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:</b>	
978-82-17-02531-3	2464-1162	112		

**OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:**

Oppdragsgiver

**KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:**

Mette Goul Thomsen

**STIKKORD/KEYWORDS:**

Kålrot, gulrot, knollselleri, kartlegging av lagrer, lagringstemperatur, energibruk, emballasje, borgjødsling, sårheling

Swede, carrot, celeriac, postharvest, mapping of storages, energy consumption, packaging, storage temperatur, boron fertilizer, wound healing

**FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:**

Lagring

Postharvest

**SAMMENDRAG/SUMMARY:**

Sammendrag, side 5.  
Summary page 8.

**LAND/COUNTRY:**

Land Norway

**FYLKE/COUNTY:**

Fylke

**KOMMUNE/MUNICIPALITY:**

Kommune

**STED/LOKALITET:**

Sted

**GODKJENT /APPROVED**

Inger Martinussen

NAVN/NAME

**PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER**

Mette Goul Thomsen

NAVN/NAME



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Forord

I Håvamål står det mange kloke ord, blant annet,  
«Betre byrði  
du ber´kje i bakken  
enn mannavit mykje»

Fra vi begynner å planlegge sesongen til grønnsakene er ferdig høstet og satt på lager, legger vi grønnsakprodusenter ned stor innsats i form av tid og penger og det investeres store beløp i driftsapparat, blant annet i lager. En nødvendighet for at vi skal kunne ta best mulig vare på verdiene vi har skap gjennom sesongen.

Kunnskap om de beste dyrkingsmetoder og hvordan bygge de beste lagrene og hvordan bruke de optimalt, er avgjørende for å oppnå et godt økonomisk resultat. Det er også avgjørende for at vi skal kunne utføre vårt samfunnsoppdrag, å betjene det norske markedet på best mulig måte samtidig som vår produksjon er så miljøvennlig som mulig.

Proessen med Optirot-prosjektet og resultatene som kommer ut av det har gitt og vil gi vesentlige bidrag til at vi skal kunne oppnå disse målene.

Dette produktet er et resultat av god innsats fra alle som har deltatt, både forskere, forskningsingeniører, produsenter, firmaer og Norsk Landbruksrådgivning. Prosjektet har vært finansiert av Norges Forskningsråd og Gartnerhallen.

En stor takk til alle sammen!

En spesiell takk til Mette Goul Thomsen som har holdt og samlet trådene hele veien!

På vegne av prosjekteier Toten Kålrotpakkeri AS

Johannes Dyste

Kolbu, 23.04.20

Johannes Dyste

# Innhold

Sammendrag .....	7
Summary .....	9
1 Innledning.....	11
2 Gjødslingsstrategi med bor og lagringskvalitet i knollselleri og kålrot .....	12
2.1 Materiale & metoder.....	13
2.1.1 Knollselleri .....	13
2.1.2 Kålrot.....	14
2.2 Resultater for knollselleri .....	15
2.2.1 Kvalitet etter lagring.....	15
2.2.2 Kjemisk innhold i blad .....	15
2.2.3 Kjemisk innhold i røtter.....	16
2.2.4 Kjemisk innhold i jord.....	17
2.3 Resultater for kålrot .....	18
2.3.1 Kjemisk innhold i blad .....	19
2.3.2 Kjemisk innhold i røtter.....	19
2.3.3 Kjemisk innhold i jord.....	19
2.4 Diskusjon og konklusjon .....	20
2.5 Referenser .....	21
3 Forbedrede strategier for innlagring.....	22
3.1 Materiale og metoder .....	23
3.1.1 Nedkjøling og/eller sårheling .....	23
3.1.2 Sårheling og ventilasjon .....	24
3.1.3 Vekttap, respirasjon, kvalitet og polyacetylen.....	25
3.1.4 Forsøksfeltet på NIBIO Apelsvoll .....	26
3.2 Resultater gulrot.....	26
3.2.1 Vekttap.....	26
3.2.2 Respirasjon i gulrot.....	28
3.2.3 Sykdommer .....	29
3.2.4 Polyacetylen.....	31
3.3 Diskusjon og konklusjon gulrot.....	32
3.4 Resultater kålrot .....	33
3.4.1 Vekttap.....	33
3.4.2 Respirasjon .....	34
3.4.3 Sykdommer .....	34
3.5 Diskusjon og konklusjon kålrot.....	35
3.6 Resultater knollselleri .....	36
3.6.1 Vekttap.....	36
3.6.2 Respirasjon .....	37
3.6.3 Sykdommer .....	37
3.7 Diskusjon og konklusjon knollselleri .....	38
3.8 Konklusjon .....	39
3.9 Referanser .....	39

4	Eksisterende lager- og kuldesystemer.....	41
4.1	Kartlegging av eksisterende kjølelager for rotgrønnsaker.....	41
4.2	Luftdistribusjonsløsninger, lagertyper.....	41
4.2.1	Omluft-lager.....	42
4.2.2	Findus-lager.....	43
4.2.3	Græe-lager.....	44
4.2.4	Lager-typer: Fordeler og ulemper.....	44
4.2.5	Stabling av kasser – luftsirkulasjon.....	45
4.2.6	Tekniske egenskaper for kjølelagrene.....	46
4.2.7	Viktige faktorer ved bygging av nye lager.....	48
5	Klimaets påvirkning på lagerluften.....	50
5.1	Temperatur og relativ fuktighet i uteluft.....	50
5.2	Relativ fuktighet i grønnsaklager.....	51
5.3	Oppfuktingsløsninger.....	51
5.4	Måling av relativ fuktighet, temperatur og effektbruk.....	52
5.5	Uttørking av produkter i tørr lagerluft.....	52
6	Lagerluft- og produkt-temperatur i grønnsak-lager.....	53
6.1	Lagerluft-temperatur i grønnsak-lager.....	53
6.2	Produkt-temperatur i grønnsak-lager.....	54
6.3	Produkt-temperaturens påvirkning på respirasjonstap og holdbarhet.....	56
6.4	Simuleringer av luftstrømmer og temperatordistribusjon i lager.....	57
7	Beregning av nødvendig kuldekapasitet i kjølelager.....	58
7.1	Kuldebehov.....	58
7.2	Beregning av nødvendig kuldekapasitet i kjølelager.....	59
7.3	Kuldekapasiteter målt i grønnsaklager.....	60
7.4	Vedlikehold av kuldesystemer.....	61
8	Fremtidens kuldesystemer til rotgrønnsaklagring.....	62
8.1	Utfasing av tradisjonelle kuldemedium.....	62
8.2	Kompakte kuldesystemer.....	63
8.3	Design av miljøvennlige kuldesystemer.....	64
8.4	Tekniske løsninger for fremtidens kuldesystem.....	65
8.4.1	Miljøvennlig kuldemedium.....	66
8.4.2	Utnyttelse av overskuddsvarmen.....	67
8.4.3	Utnyttelse av kald uteluft.....	67
8.4.4	Direktefordampning mot sirkulerende glykol.....	68
8.4.5	Oppfuktings-systemer, stabil relativ fuktighet.....	68
8.5	Diskusjon – tekniske løsninger.....	71
9	Optimalisering av foringssekker til lagerkasser.....	73
9.1	Materialer og metoder.....	73
9.1.1	Testing av CO <sub>2</sub> sensor høsten 2016.....	73
9.1.2	Forforsøk med logging av CO <sub>2</sub> i gulrotkasser sesongen 2016/2017.....	73
9.1.3	Hovedforsøk med logging av CO <sub>2</sub> i gulrotkasser sesongen 2017/2018.....	74
9.1.4	Effekt av ulike foringssekker på vekttap og sykdomsutvikling sesongen 2018/2019.....	75
9.2	Resultater og diskusjon.....	76
9.2.1	Testing av CO <sub>2</sub> sensor høsten 2016.....	76

9.2.2	Forforsøk med logging av CO <sub>2</sub> i gulrotkasser sesongen 2016/2017 .....	77
9.2.3	Hovedforsøk med logging av CO <sub>2</sub> i gulrotkasser sesongen 2017/2018 og effekt av ulike foringssekker på vekttap og sykdomsutvikling for sesongene 2017/2018 og 2018/2019 .....	77
9.3	Konklusjon .....	79
9.4	Anbefalinger .....	80
<b>10</b>	<b>Optimalisering av forbrukerpakninger .....</b>	<b>81</b>
10.1	Materialer og metoder .....	81
10.2	Resultater .....	83
10.2.1	Temperatur i lagringsrommene: .....	83
10.2.2	Gasskonsentrasjon i pakningene .....	83
10.2.3	Andel syke og spiselige røtter .....	85
10.2.4	Vekttap, innhold av etanol, groing og bustete røtter .....	86
10.3	Diskusjon .....	88
10.3.1	Effekt av ulik startkvalitet på gulrotpartiene .....	88
10.3.2	Effekt av temperatur i distribusjonskjeden på gulrotkvalitet .....	88
10.3.3	Effekt av perforering på gulrotkvaliteten .....	89
10.4	Anbefalinger .....	90
<b>11</b>	<b>Effekt av forbehandlinger med naturlig sopphegger fra BioCHOS og klor på utvikling av mørke snittflater på kålrot .....</b>	<b>91</b>
11.1	Materialer og metoder .....	91
11.1.1	Laboratorieforsøk 1 .....	91
11.1.2	Laboratorieforsøk 2 .....	91
11.1.3	Industrielt forsøk hos pakkerier i to regioner (INN og OSL) .....	92
11.2	Resultater .....	92
11.2.1	Laboratorieforsøk 2 .....	92
11.2.2	Industrielt forsøk ved to kålrotpakkerier (INN og OSL) .....	93
11.3	Diskusjon .....	94
11.4	Konklusjon .....	95
<b>12</b>	<b>Litteratur .....</b>	<b>96</b>
<b>13</b>	<b>Kartlegging av lagre - kvalitet og lagerforhold .....</b>	<b>97</b>
13.1	Material og metodikk .....	97
13.2	Statistikk .....	98
13.3	Kartlegging av gulrot .....	98
13.3.1	Kartlegging av gulrot 2016-17 .....	98
13.3.2	Kartlegging av gulrot 2017-18 .....	100
13.4	Kartlegging av Knollselleri .....	102
13.4.1	Kartlegging av knollselleri 2016-17 .....	102
13.4.2	Kartlegging av knollselleri 2017 - 18 .....	104
13.5	Kartlegging av kålrot .....	105
13.5.1	Kartlegging av kålrot 2016-17 .....	105
13.5.2	Kartlegging av kålrot 2017-18 .....	107
13.6	Diskusjon og konklusjon .....	110

# Sammendrag

I prosjekt OPTIROT samarbeider 26 produsenter, to kjøleteknologiselskaper, en sensorutvikler, en biopesticidutvikler, to emballasjeprodusenter, fire regioner under NLR, Gartnerhallen og fem forskningsinstitutter (Nofima, Sintef, NMBU, Århus universitet og NIBIO) i gjennomføring av undersøkelser for å redusere svinn under lagring av gulrot, kålrot og sellerirot.

Sammendrag av arbeidspakkene:

i) Optimal gjødsling med bor og kalsium for bedre lagringskvalitet. Det er testet ut 6 ulike metoder/tidspunkter for tildeling av bor. Vi så liten effekt av de ulike metodene og tidspunktene for tildeling av bor til knollselleri (felter LI & ST) og kålrot (felter APP & INN). Symptomene bormangel og brune flekker ses inne i røttene og bedømmes ved deling av roten. I begge kulturer var det stor variasjon mellom felt. For knollselleri var det størst forekomst av brune flekker og lavest andel friske røtter i ST, som hadde lavest Ca/B-forhold i blader, lavest innhold av Zn i blader og røtter og lavest pH. I kålrot var det symptomer på bormangel i begge felt i 2017, sterkest i INN. For begge felt var symptomene sterkest i behandling uten tilførsel av B. Andel friske røtter var lavest i INN. Vi anbefaler flere undersøkelser for å konkludere ytterligere.

ii) Innlagringsstrategi og sårheling. Det ble gjennomført forsøk med ulike temperaturstrategier i innlagringsperioden i tre kulturer, gulrot, kålrot og knollselleri. I gulrot ble temperatur kombinert med ulike ventilasjonsstrategier. En sårhelingsperiode ved høy temp i gulrot reduserte sykdomsforekomst og lagringssvinn og økte innholdet av sopphekkende stoffer i gulrot. I kålrot var det ikke effekt av sårheling i 2017, mens sårheling reduserte lagringssvinn i 2018. I knollselleri viste forsøket i 2017 at sårheling med lav relativ luftfuktighet kan redusere lagringstapet på grunn av sykdom, men a dette samtidig gir større vekttap.

iii) Kartlegging og optimalisering av eksisterende lagerløsninger er utført på 28 produsentlager. Alle produsentene har fått personlig oppfølging og fremvisning av resultatene. Resultatene viser et fremtidig behov for oppgradering av kuldesystemer, samt økt fokus på vedlikehold av eksisterende systemer. Undersøkelser på uteluftens betydning viser at det er utfordringer med for tørre lagre i kystnære strøk, og at tiltak som oppfukning bør iverksettes. Lavere temperatur i lageret fører til mulighet for lengre lagringstid for produktene. Betydning av lagerforhold for produktkvalitetene er komplisert og mange faktorer spiller inn. Av 6 hovedtyper lager er det vist at det er flest utfordringer med Grae-lager plassert i regioner med høyere vintertemperaturer, samt Findus-lager for gulrot hvor temperatur i de øvre kasser, og internt i kasse, stiger uhenksommessig høyt. Valg av store kasser (spesielt for gulrot) bør revurderes.

Sammenstilling av kvalitet med temperatur data viser for gulrot en tendens til at andelen friske røtter økte og forekomsten av tuppråte falt med en økt snitt temperatur på lager de første to ukene. En økning i akkumulert temperatur i lagringsperioden viste en tendens til å øke forekomsten av tuppråte og redusere %-andelen friske røtter ut fra lager. For knollselleri varierte effekten av temperatur mellom år og det var derfor vanskelig å dra en entydig konklusjon. Dette kan blant annet skyldes den veldig store forskjellen i kvalitet på røttene og et lite antall av lagrer og kasser andre året. I kålrot tyder resultatene på at en nedgang i temperatur de første to ukene på lager medfører økt risiko for svart ring i ledningsvevet.

iv) Gjennom kartlegging av 28 lager, er det kommet frem mer optimale løsninger for grønnsaklagring i fremtiden. Simuleringer av temperatur og luftstrømmer viser nødvendigheten av god stabling av produktkasser og muligheter for regulering av lufthastigheter og kuldekapasiteter. Tradisjonelle kuldemedier med høy GWP vil fortløpende fases ut, og næringen må forvente fremtidig investeringer i nye kuldesystemer. Dimensjonsgrunnlag for fremtidige kuldetekniske systemer er beskrevet, og data fra et nytt beregningssystem for kuldebehov for grønnsakslager viser reduserte nødvendige kapasiteter. Ett fremtidsrettet standardssystem tilpasset norske produksjonsmengder, med økt luftstabilitet, økt energieffektivisering og gjenbruk av overskuddsvarme er vist.

v) Optimalisering av foringssekker til lagerkasser og forbrukeremballasje. Undersøkelsene av CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner i foringssekker med ulik perforering viste at sekkene med lavest andel perforeringer utviklet litt høyere CO<sub>2</sub> nivå gjennom lagringssesongen. Gulrøttene i disse sekkene hadde ikke signifikant høyere forekomst av sykdom, og dagens foringssekker med få hull vil potensielt gi lavest vekttap uten økt risiko for sykdom/råte. For å redusere potensielt matsvinn hos forbruker er det viktig å sikre en ubrutt kjølekjede fra pakking til konsum. Hvis pakningene oppbevares noen dager ved romtemperatur i butikk, vil en pakning med flere perforeringer enn dagens gi lavere risiko for skadelige høye CO<sub>2</sub>-nivåer med påfølgende risiko for utvikling av etanollukt og -smak og mer sykdom og svinn. I plastpakket kålrot er utvikling av mørke flekker i snittflaten en utfordring. Behandling med antimikrobielle kitosan-oligomer-løsninger hadde ikke reduserende effekt på forekomst av mørke snittflater i denne undersøkelsen. Klor hadde en liten, men signifikant lavere forekomst av mørke snittflater enn de andre behandlingene.



# Summary

In OPTIROOT 6 vegetable producers, 2 cooling technology companies, 1 sensor developer, 1 biopesticide developer, 2 packaging manufacturers, 4 regions under the Norwegian Agricultural Service, Gartnerhallen and five research institutes (Nofima, Sintef, NMBU, Aarhus University and NIBIO) cooperates to reduce storage loss of carrots, swede and celeriac. The project consist of 5 work packages.

I) Optimal fertilization for better storage quality. Six different methods for allocation of Boron was tested in celeriac and swede. We found little effect of the methods of allocation to both celeriac and swede, but high variation between sites. For celeriac highest incidence of brown spots and lowest proportion of fresh roots was found in the site with the lowest Ca/B ratio in leaves and lowest content of Zn in the leaves and roots and also lowest soil pH. Content of Boron was high in both sites. In swede Boron deficiency symptoms inside the roots were found in both sites in 2017, and correlated to treatment with no B application. We recommend more surveys to conclude further.

II) Storage strategy and wound healing. We tested different temperature strategies during storage in three cultures (carrot, swede cabbage and celeriac) combined with ventilation strategies (in carrot). A wound healing period at high temp reduced disease incidence and storage loss in carrot. The treatment increased the content of polyacetylenes in carrot. In swede wound healing had no effect in 2017 while high temp for ten days reduced storage loss in 2018. In celeriac the experiment in the first storage season showed that wound healing with low relative humidity reduced storage losses, but also increased weight loss of the roots.

III) Mapping and optimization of existing storage solutions has been performed in 28 storages. The results show a future need to upgrade refrigeration systems as well as increased focus on maintenance of existing systems. Investigations on the significance of the outdoor air show that there are challenges with drying out of produce in coastal areas and that measures such as humidification should be taken. Stable, lower temperature during storage period increases storage time for the products. The significance of storage conditions for the product qualities is complex and numerous factors interact. Of the 6 main storage types, more challenges has been revealed for the 'Grae' type storage when located in regions with higher winter temperatures, as well as the 'Findus' storage for carrot where the temperature in the upper crates, and internally in the crate, rises inappropriately high.

Coorelating data on quality with temperature data shows for carrot a tendency to increase in the proportion of fresh roots and reduction in incidence of tip-rot by an increased average temperature during the first two weeks of storage (see also II). An increase in accumulated temperature during the storage periods showed a tendency to increase the emergence of tip-rot and reduce the proportion of fresh roots. For celeriac, the effect of temperature varied between years, possibly due to a large difference in quality in the two test years, and it was difficult to draw any conclusion. In swede, the results suggest that a decrease in temperature in the first two weeks of storage increased the risk of the symptom shown as black rings in the phloem.

IV) Through mapping of 28 vegetable stores, more optimal solutions for vegetable storages are presented. Simulations of temperature and air currents demonstrate the necessity of good stacking of product crates and options for regulating air speeds and cold capacities. Traditional used cold media with high GWP will be phased out in the near future, and the industry must expect coming investments in new refrigeration systems. Dimension for future refrigeration systems are described, and data from a new calculation system for cold demand for vegetable stock shows reduced necessary capacities. A future-oriented standard system adapted to Norwegian production volumes, with increased air stability, increased energy efficiency and reuse of surplus heat is shown.

V) Optimization of storage bin liners and consumer packaging. Surveillance of CO<sub>2</sub> concentrations in storage bin liners for carrot, with varying number of perforations showed that liners with the lowest number of perforations developed a slightly higher CO<sub>2</sub> level during the storage period. No difference

was found in disease incidence between the liners. Today's liners with fewest perforations provided the lowest weight loss without increased risk of disease/rot. To reduce potential food waste at the consumers, it is important to ensure an unbroken cold chain from packaging to consumption. If the packages are stored at room temperature for a few days in the grocery store, more perforations in the packages than today will reduce the risk of harmful high CO<sub>2</sub> levels with subsequent risk of developing ethanol odour and flavour and more disease and loss. Development of dark spots in the cut surface for plastic packaged swede is a challenge. Treatment with antimicrobial chitosan oligomer solutions did not reduce the incidence of dark cut surfaces in this study. Chlorine had a small but significantly lower incidence of dark cut surfaces than the other treatments.

# 1 Innledning

Et viktig element i den omfattende satsingen på bioøkonomi nasjonalt og internasjonalt er å redusere alle former for svinn, og å øke produktutnyttelsesgraden markant. For rotgrønnsakene utgjør langtidslagringen en stor utfordring i Norge, med estimerte tap på ca. 20-30 % på grunn av vekttap, groing og sykdommer. En reduksjon av disse vil ha både økonomisk og økologisk gevinst. Både internasjonalt, nasjonalt og fra bransjeaktører og produsenter etterspørres knowhow på lagerstyring og lagringskrav til råvarene, samt faglig støtte ved nyinvesteringer og oppgraderinger.

En rekke produsenter og kommersielle aktører har også i dag tildels høy kompetanse rundt teknisk lagerutstyr og råvareproduksjon. Likevel oppleves det store svinn under lagring. En del av dette kan tilskrives kunnskapshull i koplingen mellom biologiske prosesser og tekniske løsninger gjennom HELE produksjonskjeden fra råvare til salg. Etter nedbygging av nasjonal lagringskompetanse over mange tiår er det stort behov for å bygge opp denne kompetansen om **samspeillet mellom råvarekvalitet, innlagringsforhold og lagringsteknikk for rotgrønnsaker**. I OPTIROT prosjektet samarbeider 26 produsenter, 2 kjøle-teknologi selskaper, 1 sensor utvikler, 1 biopesticid utvikler, 2 emballasje produsenter, 4 regioner under NLR, Gartnerhallen og fem forskningsinstitutter (Nofima, Sintef, NMBU, Århus universitet og NIBIO) i gjennomføring av undersøkelser for å redusere svinn under lagring av gulrot, kålrot og knollselleri. Toten kålrotpakkeri har vært eier av prosjektet og NIBIO Apelsvoll leder. Finansering har vært oppnådd gjennom 50% egenfinansiering fra partnere og 50 % finansiering fra Norges forskningsråd og bidrag fra Gartnerhallen.

Målet har vært å øke lagringsutbyttet gjennom bedre definert råvarekvalitet og mer stabil produktspesifikk lagerstyring og smart bruk av emballasje.

Resultatene fra OPTIROT prosjektet vil bidra til en signifikant økning i lagringsevne og lagringskvalitet for rotgrønnsaker. Dette igjen øker det økonomiske utbyttet og reduserer miljøeffektene av de aktuelle produksjonene. Gjennomføringen av prosjektet og de oppnådde resultatene har økt bevisstheten og kompetansen på lagring og de ulike prosesser som påvirker lagringskvalitet, hos produsenter, pakkerier, rådgivere, industripartnere og forskere. Kompetansen vil bidra til redusert svinn i rotgrønnsaker på lager, etter pakking og ut til konsumenter. Resultatene vil bidra til redusert miljøpåvirkning gjennom bedre kvalitet av råvare, redusert svinn samt en energioptimalisering under lagring og bruk av mindre miljøskadelige kjølemidler. Det forventes at beslutningstakere og tilskuddsordninger tar inn over seg viktigheten av høy kompetanse på prosesser i forbindelse med lagring og anerkjenner sammenhengen med økt utbytte, bedret økonomi og redusert miljøpåvirkning i hele produksjonen.

## 2 Gjødslingsstrategi med bor og lagringskvalitet i knollselleri og kålrot

Lagring er en viktig del av de grovere grønnsakers livsforløp og ulike næringsemner påvirker kvaliteten. Bor er et av de essensielle mikronæringsstoffene og har en meget viktig rolle for å opprettholde funksjoner i plantene. Mangel på bor kan hemme veksten av vegetative og reproduktive plantedeler, transport av sukker, dannelse av cellevegger og en rekke andre plantefysiologiske prosesser (Parr og Loughman, 1983). I kålrot ses bormangel som vanntrukket, brunlig felt inne i kålroten og i knollselleri som indre hulrom og gulbrune flekker (Aasen 1986) (symptomer illustrert i bilde 1). Plantetilgjengelig bor frigis fra jorda inn i jordvæsken. Fra jordvæsken tas bor opp i planterøttene og transporteres med veskestrømmen opp i planten. Tørke vil redusere frigivelsen av bor fra jorda og mye nedbør øker risikoen for utvasking. Avhengig av art og sort, har bor begrenset mobilitet i planten, med lite transport fra eldre til yngre plantedeler (Brown og Shelp, 1997). Mobiliteten ser likevel ut til å øke ved lavt innhold av bor (Chander et al. 2014). Balansen mellom mangel og forgiftning av bor er ganske snever og borforgiftning kan derfor også forekomme (Aasen 1986). Her kan andre næringsstoffer som for eksempel sink (Zn) ha en beskyttende virkning i plantecellene og redusere skadevirkningen ved høyt opptak av bor (<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2016.1270308>).

Norsk jordsmonn har et naturlig lavt innhold av bor (Shorrocks 1997). Videre har jord med lavt innhold av organisk materiale og sandige jordarter lite bor. Tilgjengeligheten av bor påvirkes også av andre næringsstoffer i jorda. Det betyr at mangel på bor kan forekomme selv ved høyt innhold i jorda (Shelp et al., 1995). Blant annet kan høyt innhold av kalsium (Ca) binde bor og hindre tilgjengeligheten for planten og optimalt pH for boropptak er angitt å ligge mellom pH 4,5 – 6,5 (Fadhel 2014). Også høyt innhold av natrium (Na) eller kalium (K) i jorda kan redusere opptak av bor. Videre kan høyt innhold av bor redusere opptak av fosfor (Umesh et al., 1985). Forholdet mellom næringsstoffer som Ca og B kan derfor si noe om tilgjengeligheten (Chander et al. 2014). Et Ca/B forhold i jorda på over 170 kan ha en negativ effekt på tilgjengeligheten av bor (Beauchamp og Hussain, 1974). Aasen (1986) viste til at bormangel kan oppstå ved <1 mg B/kg jord og forgiftning ved >5 mg B/kg jord. Undersøkelser i blomkål har vist at Ca: B forhold >900 i blad ved høsting var relatert til mangel på B og forhold <280 til forgiftning. For B tilsvarer dette henholdsvis 11 og 37 mg/kg blad (ppm) som kritiske grenseverdier (i Chander et al. 2014). I kålrot er et innhold i blad ved høsting på 20-38 mg/kg angitt som mangel, 38-140 mg/kg tilstrekkelig og >250 mg/kg forgiftning og Ca/B >3300 antydning på mangel på bor (i Gupta 1979). Aasen (1986) angir et innhold i blader i juli på 35-80 mg/kg som optimalt. Det finnes imidlertid få nyere undersøkelser som ser på sammenheng mellom de ulike metodene for tildeling av B og hvorvidt dette påvirker opptak og kvalitet under lagring.

Vi har i forsøkene som presenteres her undersøkt hvordan tidspunkt og metode for tildeling av bor påvirker kvalitet i kålrot og knollselleri.



*Bilde 1a & 1b. Typiske kjennetegn på bormangel i kålrot til venstre og indre hulrom og brune flekker i knollselleri til høyre (siste kan ikke med sikkerhet relateres til bormangel) (Fote M.G.Thomsen og L.A. Høgtveit).*

## 2.1 Materiale & metoder

Forsøkene i knollselleri ble utført i Lier og Stokke og de i kålrot på Østre Toten. Alle felt er lagt ut i et split-plot design med tre gjentak. Prøver til analyse av blad og røtter ble begge årene tatt ut, rutevis, en uke før høsting. Prøvene ble analysert ved YARA Mega lab i England. Jordprøver fra feltene ble også tatt ved høsting. I 2017 ble prøvene slått sammen for hver behandling mens de i 2018 ble analysert? rutevis. Jordartene på feltene med knollselleri var siltig lettleire og på de med kålrot moldholdig lettleire.

### 2.1.1 Knollselleri

Undersøkelsene i knollselleri ble utført ved NLR Viken, to felter per år i 2017 og 2018. På grunn av tilpassing til avler var det ulike sorter de to årene i feltet i Stokke (Markiz/Ilona), mens det i Lier var samme sort begge årene (Prinz). Gjødslingstildelingene ble gitt for hånd. Bladgjødning ble rørt ut i vann for vanning med kanne. For å få hele gjødselregnskapet til å gå opp ble det i alle behandlinger grunnjødning med 12-4-18. Det innebar at det f.eks. i behandling 1, som skulle være uten bor, ble tilført en lav dose av bor (30 g/daa) med sistnevnte gjødseltype. For øvrig ble NPK og B tilført som angitt i tabell 1.

Tabell 1. Behandlingene i de seks forsøksleddene med knollselleri i 2017 og 2018.

Ledd	Bor grunn-gjødsel	Bor tilleggs gjødsel som bladgjødsel (1 gjødsling pr. gitt tidspunkt)	Grunngjødsel	3 x N-tilleggsjødsel
1			12-4-18 + Kaliumsulfat + OPTI-P 0200	Kalksalpeter
2	Solubor		12-4-18 + Kaliumsulfat + OPTI-P 0200	Kalksalpeter
3	Solubor	1 x Solubor + 1x Bortrac	12-4-18 + Kaliumsulfat + OPTI-P 0200	2 x Kalksalpeter + 1 x Nitrabor
4		1 x Solubor + 2 x Bortrac	12-4-18 + Kaliumsulfat + OPTI-P 0200	3 x Nitrabor
5		3 x Bortrac	12-4-18 + Kaliumsulfat + OPTI-P 0200	3 x Nitrabor
6	Solubor		12-4-18 + Kaliumsulfat + OPTI-P 0200	3 x Nitrabor

N, P, K og B ble tilført med følgende mengder: 23 kg N/daa, 5 kg P/daa, 24 kg K/daa og 330 g B/daa (beh 2-6)

### 2.1.2 Kålrot

I 2017 ble kålrot dyrket på to nabofelter, APE og INN og i 2018 på ett felt, APE. I alle felt ble sorten 'Vigod' brukt. Gjødslingstildelingen ble gitt for hånd og bladgjødsel ble rørt ut i vann for vanning med kanne (se Tabell 2).

Tabell 2. Behandlingene i de seks forsøksleddene med kålrot i 2017 og 2018

Ledd	Bor grunn-gjødsling	Bor tilleggsjødsel som bladgjødsel	Grunngjødsel	N-tilleggsjødsel
1	Uten bor		OPTI-KAS + OPTI-P + Kaliumsulfat	Kalksalpeter
2			OPTI-KAS + OPTI-P + Kaliumsulfat	Nitrabor
3	Solubor		OPTI-KAS + OPTI-P + Kaliumsulfat	Nitrabor
4		Boraks el. Solubor	OPTI-KAS + OPTI-P + Kaliumsulfat	Nitrabor
5			12-4-18	Nitrabor
6	Solubor	Boraks el. Solubor	OPTI-KAS + OPTI-P + Kaliumsulfat	Nitrabor

N, P, K og B ble forsøkt tilført med følgende mengder: 8 kg N/daa, 3 kg P/daa, 15 kg K/daa og 400 g B/daa (beh 2-6).

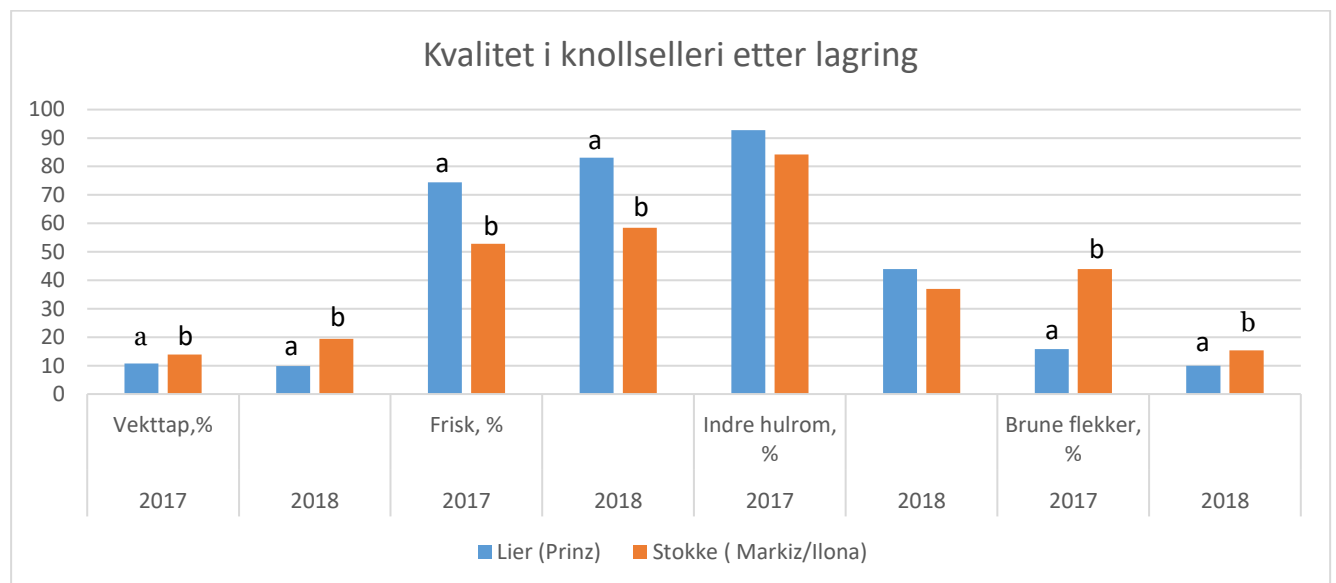
### Statistikk

Data er analysert statistisk i Minitab med ANOVA Mixed modell og statistisk sikre forskjeller er angitt ved  $p < 0.05$ , og ikke sikre (is) forskjeller is =  $p \geq 0.05$ .

## 2.2 Resultater for knollselleri

### 2.2.1 Kvalitet etter lagring

Det var ingen sikre utslag på lagringskvalitet i knollselleri i forhold til de ulike tidspunktene og metodene for tilførsel av bor (Figur 1). Derimot var det sikker forskjell mellom de to områdene, Lier og Stokke. En del av denne forskjellen kan muligvis forklare med sort. På feltet i Lier ble Prinz dyrket begge årene mens det i Stokke ble dyrket Markiz i 2017 og Ilona i 2018. Trenden i forskjellene mellom de to områdene var likevel den samme mellom år (Figur 1). Forekomsten av indre hulrom var større i 2017 enn i 2018 i begge områder ( $P < 0,0001$ ). Det samme var forekomsten av røtter med brune flekker ( $p < 0,0001$ ) og forekomsten var lavest i Lier i begge årene. Det ble ikke funnet gråskimmel eller storknollet råtesopp i 2017. I 2018 var forekomsten av gråskimmel lik i de to områdene (20% i begge) mens forekomsten av storknollet råtesopp var størst i Stokke (22 % av røttene mot 1,4 % i Lier).



Figur 1. Kvalitet etter lagring i knollselleri fra to felt. I parentes er angitt sort av knollselleri anvendt i hhv. 2017 og 2018. Forskjellige bokstaver over de to kolonner innen enkeltår angir sikre forskjeller mellom felt.

### 2.2.2 Kjemisk innhold i blad

Kjemisk analyse av bladprøver viste at det var stor forskjell mellom Lier og Stokke i innholdet av næringsstoffene (Tabell 3), mens det var lite forskjell mellom de ulike behandlingene. I 2018 var innholdet av bor lavest i behandling 1 på begge felt, mens innholdet av Zn var høyest i behandling 5 på feltet i Lier. Ca:B forholdet var begge årene lavt i Stokke sett i forhold til feltene i Lier.

Tabell 3. Kjemisk innhold i blad ved høsting av knollselleri (bare stoff med sikre forskjeller er vist). Sorter Lier – ‘Prinz’; Stokke – ‘Markiz’ i 2017, ‘Ilona’ i 2018

År	Mg, %		Zn, mg/kg		Ca, %		K, %		B, mg/kg		Ca/B	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Lier	0,15	0,16	61,46	70,01	2,16	1,90	4,27	5,00	41,23	28,26	526	670
Stokke	0,22	0,33	28,28	28,64	0,72	0,80	4,13	4,37	38,39	49,02	189	163
P, Felt	0,004	>0,001	>0,001	>0,001	>0,001	>0,001	is	0,004	is	0,001		
P, ledd	is	is	is	0,05	is	is	is	is	is	0,001		

### 2.2.3 Kjemisk innhold i røtter

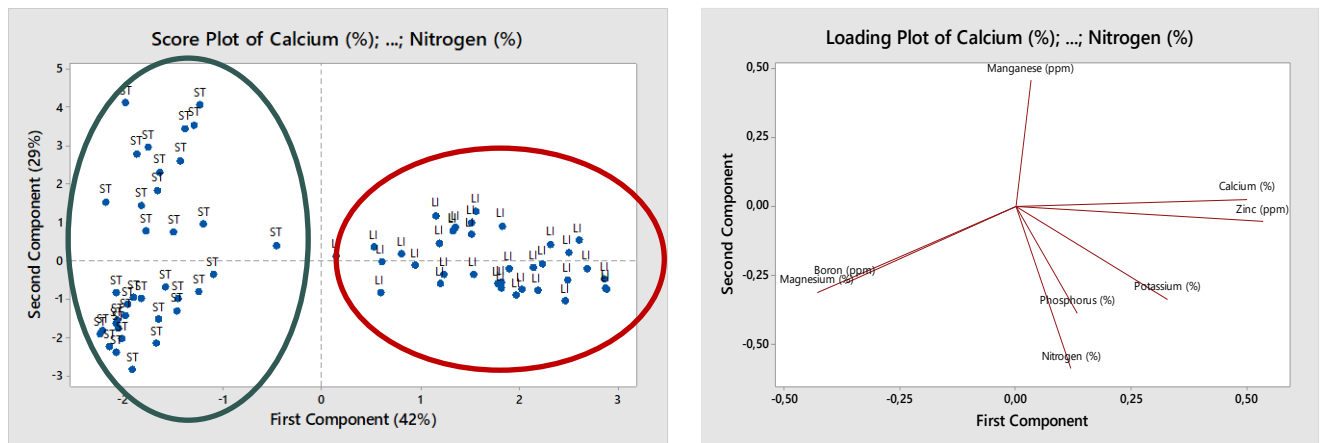
Analyser av innholdsstoff i røtter viste samme bilde som for blad. Det var forskjell mellom feltene men lite utslag av behandling (Tabell 4). Innholdet av Ca og B fulgte samme mønster som for innholdet i blad og var for Ca størst i Lier begge årene mens B var lavest i Lier i 2017.

Tabell 4. Kjemisk innhold i røtter av knollselleri ved høsting (bare stoff med sikre forskjeller er vist). Sorter som i tabell 3

År	Mg, %		Mn, mg/kg		Zn, mg/kg		Ca, %		P, %		K, %		B, mg/kg	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Lier	0,12	0,09	11,7	14,4	44,1	48,6	0,44	0,43	0,99	0,63	6,78	5,75	60,8	40,0
Stokke	0,15	0,16	26,0	17,6	27,2	26,8	0,31	0,32	0,68	0,70	5,54	5,50	40,0	43,1
P, Felt	0	>0,001	>0,001	>0,001	>0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	is	0,02	is	0,02	is
P, ledd	0,016	is	is	0,06	is	is	0,001	is	is	is	is	is	0,02	0,009

Når man ser på hvordan feltene fordeler seg i forhold til kjemisk innhold i blad ved hjelp av en prinsipalkomponent analyse (PCA) fremkommer en klar gruppering av de to områdene (Figur 2). Ved å se på ‘Loading Plot’ ser man at det er innholdet av B og Mg som i størst grad er årsak til grupperingen av Stokke-feltene, mens for Lier-feltene er det innholdet av Ca og Zn.





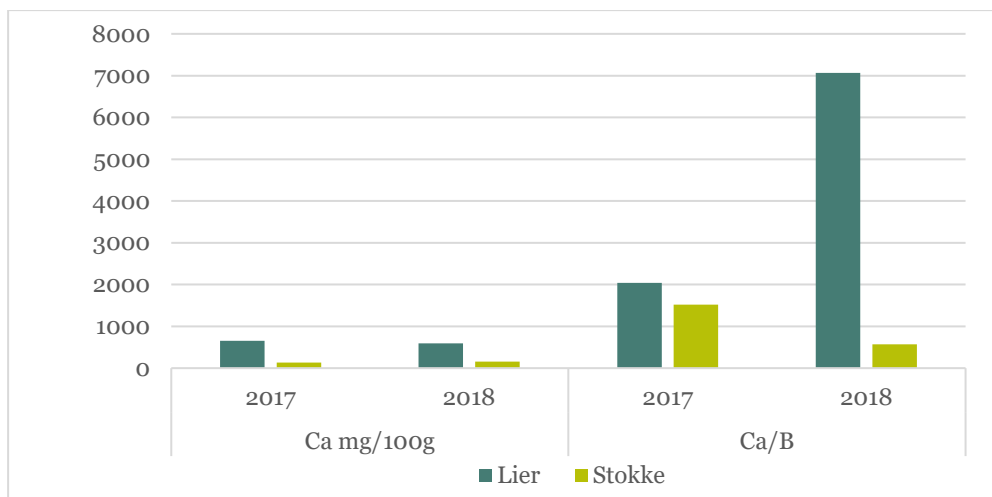
Figur 2. Fordeling av de to feltene ut fra data på bladkjemi fra begge forsøksår (ST= Stokke-felt, LI=Lier-felt).

## 2.2.4 Kjemisk innhold i jord

De ulike behandlingene ga ikke forskjell i kjemisk innhold i jorda. I begge år var pH høyest i Lier (Tabell 5). Det samme var innhold av P, K og Ca, mens innhold av Mg var høyere i Stokke i 2018. Høyt innhold av Ca i Lier medførte et høyt Ca:B forhold, spesielt i 2018 (Figur 3). Innhold av B var høyt på begge felt og i begge år (innhold i jorda >0,7 mg/kg angis som høyt av Maynard og Hochmuth, 1997).

Tabell 5. Kjemisk analyse av jord i de to forsøksårene med knollselleri.

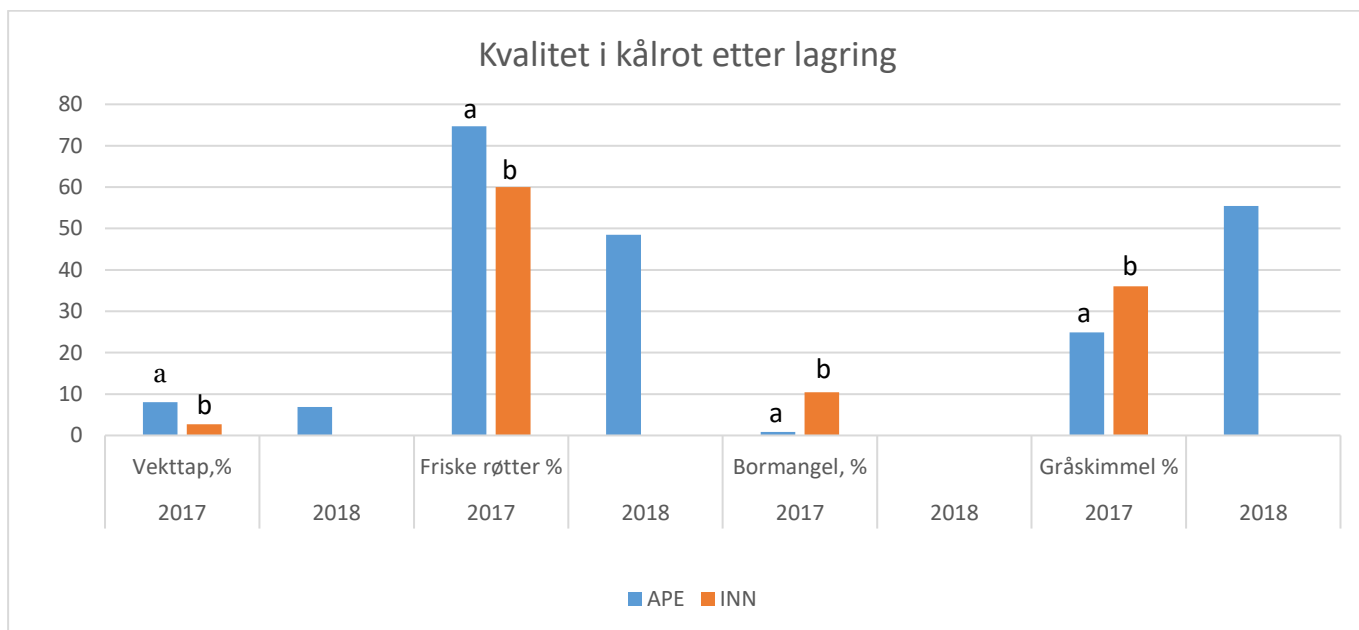
	pH		Bor mg/kg		P mg/kg		K mg/kg		Mg mg/kg	
År	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Lier	7,77	7,8	3,2	2,5	927	922	262	396	118	152
Stokke	6,9	6,6	0,9	2,9	217	226	193	266	77	265
P, Felt		0,001		is		0,001		0,001		0,001
P, ledd		is		is		is		is		is



Figur 3. Innhold av Ca og Ca:B forholdet i jord i feltene med knollselleri

## 2.3 Resultater for kålrot

Vi fant lite forskjell i kvalitet mellom forsøksbehandlingene i kålrot begge årene (Figur 4). I ledd 1, hvor ingen bor ble gitt utover det som fantes i grunnjødsla, ble det i 2017 funnet røtter med symptomer på bormangel, sterkest på feltet INN. I 2018, da forsøket ble utført bare på APE, så vi ingen røtter med symptomer på bormangel og ingen sikre utslag av behandling på andre næringsstoffer.



Figur 4. Kvalitet i kålrot etter lagring. Årstall angir såtid og røttene er tatt ut fra lager året etter. Friske røtter er bedømt før deling

### 2.3.1 Kjemisk innhold i blad

Innhold av næringsstoff i blad var i liten grad påvirket av forsøksbehandlingene (Tabell 6). I ledd 1, hvor det ble tilført lite bor, var det lavere innhold enn i de øvrige behandlingene (ca 38 mg/kg). Det var forskjell mellom felter i kjemisk innhold, men ikke for Ca.

Tabell 6. Kjemisk innhold i blad ved høsting av kålrot (bare stoff med sikre forskjeller er vist)

År	Zn (mg/kg)		Ca (%)		P, (%)		K, (%)		N, (%)		B (mg/kg)		Ca:B	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
APE	23,2	19,2	3,4	1,5	0,6	0,4	4,5	3,9	3,6	3,0	53,3	54,7	670	287
INN	15,2		3,4		0,3		3,1		3,1		40,6		102	
P, felt	0,01		is		0,001		0,001		0,01		0,001			
P, beh	is	is	is	is	is	0,005	is	is	is	is	0,001	1		

### 2.3.2 Kjemisk innhold i røtter

Analysene i røtter viste samme tendens som for blad (Tabell 7). Her var det imidlertid ikke forskjell mellom felt i innholdet av B, men igjen var innholdet lavest på ledd 1 hvor det var tilført lite bor.

Tabell 7. Kjemisk innhold i røtter av kålrot ved høsting (bare stoff med sikre forskjeller er vist)

ROT	Mg (%)		Zn (mg/kg)		Ca (%)		P (%)		K (%)		N (%)		B (mg/kg)	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
APE	0,06	0,08	7,1	10,8	0,3	0,2	0,4	0,3	2,3	2,4	0,9	1,1	16,5	20,9
INN	0,07		8,3		0,2		0,2		2,1		1,0		16	
P, felt	0,03		0,06		0,05		0,001		0,001		is		is	
P, ledd	is	is	is	is	is	is	0,01	0,001	0,001	0,04	is	0,04	0,001	0,01

### 2.3.3 Kjemisk innhold i jord

Sammenlikner vi innhold i jord ser vi at det i feltet INN var høyere pH enn i APE feltet (Tabell 8). Det kan ha bundet B sterkere i jorda og bidratt til de lavere målingene i blader i INN. Innholdet av B varierte fra behandling 1 med lavest innhold på 0,38 til behandling 6 med høyest innhold, 1,8 mg/kg.

Tabell 8. Kjemisk analyse av jord i de to forsøksårene med kålrot.

År	Bor mg/kg		pH		P mg/100g		K mg/100g		Mg mg/100g		Ca mg/100g		Ca/B	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
APE	1,3	1,2	6,8	5,8	81	8,5	113	96	10,7	8,1	283	119	3328	1363
INN	1,3		7,1		6,6		123		14,3		241,7		2923	
P, Felt	is		0,02		is		is		0,0001		is		is	
P, ledd	0,0001	is	is		is	is	is	is	is	is	is	is	0,0001	is

## 2.4 Diskusjon og konklusjon

Bladprøvene i forsøkene ble tatt ved høsting. Konsentrasjonen av de målte næringsstoffene kan derfor avvike fra prøver tatt midt i vekstsesongen. Generelt vil vi forvente at for eksempel innholdet av B vil være lavere ved høsting enn tidligere i sesongen. Dessuten vil forskjeller trolig variere mellom år og i tillegg med sorten (Sandersson et al. 2002).

I knollselleri var andel røtter med indre hulrom mindre i 2018 enn i 2017. Teoretisk kunne det tenkes at røttene var mindre i 2018 enn i 2017, på grunn av den varme og tørre sommeren, og at de dermed hadde mindre hulrom. Dette var imidlertid ikke tilfellet, da 20 røtter i snitt veide 19,5 kg i 2018 mot 16 kg i 2017. Forklaringen ligger derfor trolig i at større røtter i 2018 var mer utsatt for dannelsen av hulrom.

Generelt var det høyere andel røtter med brune flekker i feltene i Stokke enn i Lier (29,6 vs. 12,9%) og andel friske røtter var høyere i Lier enn i Stokke. Ca:B forholdet i blad av knollselleri var høyere i Lier enn i Stokke. Sammenlikner man Ca:B i Stokke med observasjoner i blomkål, kan det være så lavt at B kan være begrensende for planteveksten (Kotur og Kumar, 1989). Innholdet av B i jorda var i 2017 høyere i Lier enn i Stokke. Det samme var innholdet av Ca og pH, derfor kan Ca ha bundet B og hindret økt opptak i planten. Dette så vi kanskje spesielt i 2018, da bladinnhold av B i Lier var signifikant lavere enn i Stokke og innholdet av Ca i både jord og blad var signifikant høyere. Innholdet av Zn ligger i den lave enden av normalområdet for Stokke og i den høye enden for Lier (Åsen 1986, bladprøver tatt midt i vekstsesongen). Zn kan beskytte cellene i planten mot forgiftning ved høyt opptak av B, men Zn er også et viktig mikronæringsstoff og mangel kan oppstå (<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2016.1270308>). Forskjellen mellom feltene Lier og Stokke kan derfor muligens relateres til noen av disse forholdene.

I 2017 fant vi større andel friske kålrøtter på APE feltet enn på INN. Ut fra bladanalysene var også innholdet av B høyere og det samme var innholdet av de øvrige næringsstoffer. Det er derfor vanskelig å si om dette kan skyldes noen enkelte næringsstoffer. Innholdet av B skulle ligge innenfor de satte grenseverdiene, hvor optimale verdier ved høsting er angitt til 38-140 mg/kg av Gupta /1979) og 35-80 mg/kg av Aasen (1986) i blader ved prøvetaking i juli. B-innholdet i jorda var relativt lavt på begge feltene. Aasen (1986) angir 1 mg B/kg som nedre grense og innhold i jordprøvene her lå i gjennomsnitt på mellom 1,2-1,3 mg/kg. Ut fra resultatene her er det vanskelig å gi noen entydig forklaring på forskjellene mellom de to feltene og det var liten effekt av de ulike tildelingsmåtene av borgjødsel på kvaliteten i kålrot. Mikronæringsstoffene og ikke minst bor er i søkelyset på grunn av minkende innhold i jorden generelt. For å konkludere videre på dette området anbefaler vi ytterligere studier og kontrollerte modell forsøk.

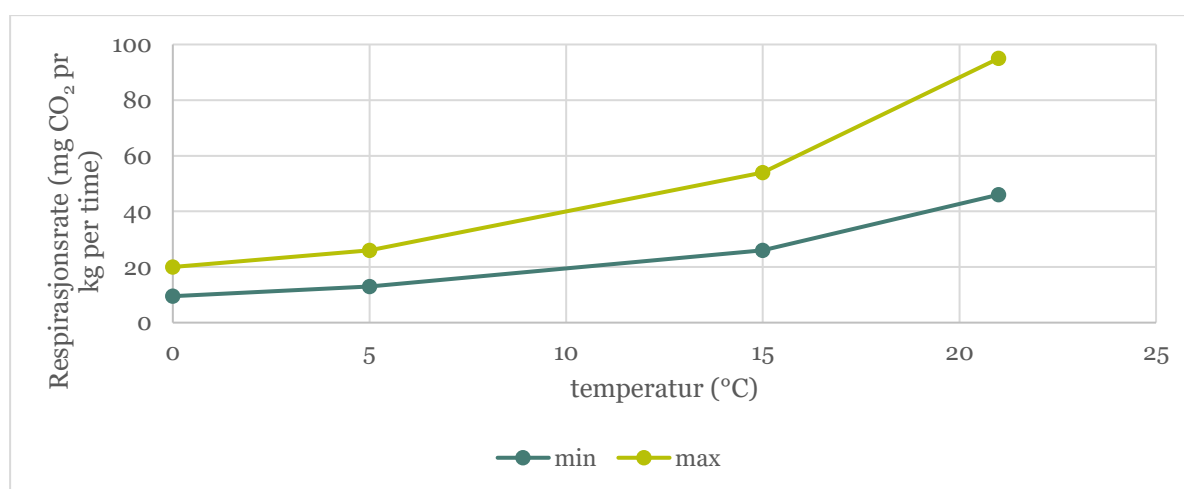
## 2.5 Referenser

- Brown, P.H. and Shelp, B.J. 1997. Boron mobility in plants. *Plant and Soil* 193: 85–101.
- Gupta, U. 1979. Boron Nutrition of crops. *Advances in Agronomy*. 31.
- Beauchamp, E. G. og Hussain, I. 1974. Brown heart in rutabagas grown on southern ontario soils. *Can. J. Soil Sci.* 54: 171-178
- Chander, G., Sharma, S., Sharma, V., Sharma, S., Verma, S. and Verma, T.S. 2014. Effects of Boron Fertilization on Calcium: Boron Ratio and Boron Mobility in Cauliflower. *Res Punjab agric Univ* 51 (2) : 128-131.
- Fadhel, F. T. 2014. The genetics and Physiology of Abiotic Stress Disorder in Swede (*Brassica napus* var. Napobrassica) PhD-thesis. University of Plymouth.
- Parr, A.J. and Loughman, B.C. (1983) Boron and Membrane Function in Plants. In: Robb, D.A. and Pierpoint, W.S., Eds., *Metals and Micronutrients, Uptake and Utilization by Plants*, Academic Press, New York, 87-107.
- Sanderson, K.R., Sanderson, J. B., Gupta, U. C. 2002. Boron for brown-heart control on two rutabaga cultivars. *Can. J. Plant Sci.* 82: 561-565
- Shelp B J, Marentes E, Kitheka A M and Vivekanandan P 1995. Boron mobility in plants. *Physiol. Plant.* 94, 356–361.
- Shorrocks, V.M. 1997. The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil* 193: 121–148.
- Aasen, I. 1986. Mangelsjukdomar og andre ernæringsforstyringer hos kulturplanter. Landbruksforlaget 1986.
- Umesh C. Gupta, Y. W. Jame" C. A. Campbell, Leyshon, A.J. and Nicholaichuk. W. 1985. Boron Toxicity and Deficiency: A Review. *Canadian Journal of Soil Science.* 65 – 3.
- Parr, A.J. and Loughman, B.C. (1983) Boron and Membrane Function in Plants. In: Robb, D.A. and Pierpoint, W.S., Eds., *Metals and Micronutrients, Uptake and Utilization by Plants*, Academic Press, New York, 87-107.
- Chander, G., Sharma, S., Sharma, V., Sharma, S., Verma, S. and Verma, T.S. 2014. Effects of Boron Fertilization on Calcium: Boron Ratio and Boron Mobility in Cauliflower. *Res Punjab agric Univ* 51 (2) : 128-131, June 2014

### 3 Forbedrede strategier for innlagring

Riktig styring av temperatur den første delen av lagringsperioden kan påvirke lagringskvalitet i gulrot, kålrot og knollselleri. Livsprosessene i planteproduktenes celler holdes i gang også etter høsting, og det er behov for energi for å opprettholde disse prosessene. Energien blir gjort tilgjengelig gjennom ånding (respirasjon) (Hoftun og Apeland, 1981).

Etter høsting og under lagring vil rotgrønnsakene fortsette å respirere. Omdannelsen av sukker og O<sub>2</sub> til CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O og energi er avhengig av produkttemperaturen, og er derfor høyest rett etter inntak og ved lagring ved høy temperatur. Figur 5 viser minimum og maximum respirasjonsrate ved ulike lagringstemperaturer i gulrot. Høy respirasjon betyr raskere nedbryting av roten. Ved rask nedkjøling vil kvalitetsforringelse på grunn av ånding (respirasjon) reduseres. Som hovedregel blir det regnet med at produktkvaliteten er redusert dramatisk når det er utskilt 20 g CO<sub>2</sub> per kg plantemateriale (Hoftun, 1980; Hoftun 1993).



Figur 5. Respirasjonsrate (mg CO<sub>2</sub>/kg/time) ved ulike temperaturer i gulrot (etter Hoftun, 1980)

Langringstap kan også skyldes transpirasjon (fordampning). Transpirasjonen er en fysisk prosess, som resulterer i vanntap fra produktet. Friske grønnsaker inneholder ca. 95% vann og mange grønnsaksslag har en oppbygging som gjør dem utsatte for uttørking (Hoftun, 1980). Uttørkede produkter har i tillegg et svekket plantevev, der svake parasitter kan ha gode utviklingsvilkår. Det er viktig å holde en høy luftfuktighet i lageret for å unngå for høy transpirasjon, og dermed vekttap fra det lagrede produktet. Luftsirkulasjonen i lageret har også betydning for transpirasjonen. For høy lufthastighet kan føre til uttørking av produktet. Samtidig er det viktig at luftsirkulasjonen er så stor at den kan fjerne varme fra lagringsproduktet. Luftsirkulasjonen er også med på å holde en jevn temperatur i lageret.

Ulike sykdomsorganismer på lageret har ulike minimum-, optimum- og maksimumstemperaturer for vekst. Felles for lagringspatogenene i rotgrønnsaker er at de er i stand til å vokse ved svært lave temperaturer. Dette gjelder bl.a. gråskimmel (*Botrytis cinerea*), klosopp (*Mycocentrospora acerina*), hvitflekk (*Fibularhizoctonia carotae*), og gulrotsvartflekk (*Rhexocercosporidium carotae* (syn. *Acrothecium carotae* og *pseudocercosporidium carotae*)), som kan vokse ved temperaturer ned mot -3 °C. (Hermansen, 2008; Dik and Wubben, 2004),

Det kan likevel settes spørsmåltegn ved hvor raskt temperaturen på lageret skal senkes etter høsting. En sårhelingsperiode, hvor suberin innleires i cellene og danner en fysisk barriere mot sårpatogener, vil kunne redusere svinn på grunn av sykdom (Hoftun, 1984; Hoftun, 1993; Suojala, 1999), men også kunne redusere holdbarhetstiden på grunn av økt respirasjon og transpirasjon. Den positive effekten ved å bruke sårheling i innlagringsfasen forsterkes ved at det kan skje en økning av polyacetylen i

sårøverflater på roten (Lewis et al., 1981). Noen av disse kan bidra til å beskytte produktene mot sykdommer. I gulrot finnes det flere polyacetylenere. Polyacetylenet falcarinol finnes i alle deler av roten, falcarindiol og falcarindiol-3-acetate finnes i øvre og ytre deler av roten (Kreutzmann et al., 2009). Falcarindiol menes å ha en sopphekkende effekt og denne blir forsterket med stoffet 6-methoxymellein, som finnes i ytre deler av roten og dannes som en respons på ytre stress (sopp eller insektangrep) (Lewis et al., 1983).

Hvor lang nedkjølingsperioden blir i praksis vil blant annet være avhengig av kjølekapasiteten i lageret, tettheten av lagret produkt i kassene, lengde på høstperioden og temperaturer under innhøsting.

I prosjektet har vi undersøkt hvordan ulike nedkjølingsstrategier påvirker produktkvaliteten i gulrot, kålrot og knollselleri. I gulrot og kålrot ble det også gjennomført kontrollerte forsøk med ventilasjon i kombinasjon med sårheling/ikke-sårheling. På kommersielle grønnsaklagre er det gjort temperatur- og fuktighetsregistreringer under innlagringsperioden og det er gjort kvalitetsvurdering etter langtidslagring av gulrot, kålrot og knollselleri. Hovedfokus i denne delen av rapporten er på de kontrollerte forsøkene i småskala lagre.

## 3.1 Materiale og metoder

Materiale til lagringsforsøkene ble dyrket på NIBIO Apelsvoll (gulrot 2016 og 2017, kålrot og knollselleri 2017) eller hos en produsent i nærområdet (kålrot og knollselleri 2018). Fire sorter av gulrot (Triton, Nelson, Romance og Nominator) ble lagret i to sesonger (2016-17 og 2017-18). Alle sorter ble høstet til samme tid og lagt på småskalalager rett etter høsting. En sort av kålrot (Vigod) og en sort av knollselleri (Prinz) ble lagret i to sesonger (2017-18 og 2018-19). Forsøkene ble gjennomført under kontrollerte forhold, med kontroll på temperatur og relativ luftfuktighet, i småskala lagre på NIBIO Apelsvoll. Gulrøttene (100 røtter per prøve) ble lagret i perforerte plastsekker. Kålrot og knollselleri ble lagret i småkasser (20-25 røtter per prøve).

### 3.1.1 Nedkjøling og/eller sårheling

De valgte strategiene for nedkjøling og sårheling er vist i tabell 9. Strategiene inkluderte sårheling (med høy eller lav relativ luftfuktighet) eller ikke-sårheling. Ulike strategier hadde forskjellig antall dager og nedkjølingshastighet til nådd stabil temperatur på 0 °C.

Tabell 9. Temperatur- og sårhelingsstrategier i første del av lagringsperioden

Strategi	Sårheling	Sårheling/ lager temperatur	Temperatur nedsenkning	Relativ luftfuktighet	Antall dager til nådd stabil temperatur på 0 °C
1	Ingen	Ingen	direkte til 0 °C	95-98 %	1
2	Ingen	Ingen	1 °C per dag	95-98 %	10
3	Ingen	Ingen	0.2 °C per dag	95-98 %	50
4	2 uker	10 °C	direkte til 0 °C	95-98 %	14
5	2 uker	10 °C	1 °C per dag	95-98 %	24
6	2 uker	10 °C	direkte til 0 °C	60 %	14
7	2 uker	10 °C	1 °C per dag	60 %	24

### 3.1.2 Sårheling og ventilasjon

I forsøkene ble det valgt en starttemperatur ved innlagring og en sårhelingstemperatur på 10 °C. Denne sårhelingstemperaturen er fastsatt fra tidligere praksis og vurdert ut fra produkttemperatur ved høsting.

For to sorter av gulrot (Nominator og Triton) og en sort av kålrot (Vigod) ble lagret med to ulike ventilasjonsstrategier (lav eller høy lufthastighet) i kombinasjon med eller uten sårheling (10 °C i 2 uker) og høy luftfuktighet i 2017-18 sesongen.

Røttene ble lagret i spesialbyggede ventilasjonskasser (bilde 2 og 3) og lagret i småskala lagre med kontroll på temperatur og relativ luftfuktighet. Gulrot ble lagret i 8 kg kasser og kålrot i 15 kg kasser med mulighet for ventilering og regulering av lufthastighet.



*Bilde 2. Gulrot ble lagret i spesialbyggede ventilasjonskasser med vifte med regulerbar hastighet i bunn. Gulrøttene var lagret i «rør» med netting i bunn og åpning i topp med mulighet for regulering med kran. Hvert rør inneholder ca. 8 kg gulrot.*





Bilde 3 Kålrot ble lagret i ventilasjonskasser med vifte med regulerbar hastighet i bunn og åpning på topp. Kålroten ble lagret i 20 kg's kasser med netting i bunn. På lokket er det en åpning på topp med mulighet for regulering av luft med kran.

Oversikt over materiale og metode brukt i alle innlagingsforsøk er vist i tabell 10.

Tabell 10. Oversikt over utprøvede lagringsstrategier i ulike grønnsaksvekster og sorter.

Lagringsstrategi	Rotvekst	Sort
Strategi 1-7 (se tabell 1)	Gulrot	Nominator, Triton, Nelson, Romance
Ventilasjon (høy/lav lufthastighet) Sårheling 10 °C to uker/Direkte til 0 °C	Gulrot	Nominator Triton
Strategi 1-7 (se tabell 1)	Kålrot	Vigod
Ventilasjon (høy/lav lufthastighet) Sårheling 10 °C to uker/Direkte til 0 °C	Kålrot	Vigod
Strategi 1-7 (se tabell 1)	Knollselleri	Prinz

### 3.1.3 Vekttap, respirasjon, kvalitet og polyacetylen

Gjennom lagringsperioden på seks måneder (oktober-april) ble det månedlig registrert vekttap og målt respirasjon (ånding) fra røttene. Respirasjonsmålinger ble gjort i lukket beholder med CO<sub>2</sub>-måler av merket Toray PG 100. Det ble målt respirasjon i gulrotsortene Triton og Nelson, i kålrot (Vigod) og i knollselleri (Prinz). I knollselleri ble siste respirasjonsmåling gjort ved fem måneders lagring. Etter seks måneder var målingene påvirket av mye råte på røttene.

Etter lagringsperioden ble røttene visuelt vurdert for fysiologiske skader og sykdommer. Sykdomspatogener ble verifisert med mikroskopi og/eller molekylær metode på NIBIO Plantehelse. I gulrot ble det i tillegg målt innhold av ulike polyacetylenere (falcarinol, falcarindiol og falcarindiol-3-acetate, samt phytoalexin, 6-metoxy-mellein) i den ytre delen av roten etter endt nedkjøling med temperaturlagringsstrategi 1 til 5.

I forsøkene med kombinert sårheling og ventilasjonsbehandling ble det registrert månedlig vekttap og det ble gjort en visuell kvalitetsvurdering med verifisering av patogener ved forsøkets avslutning.

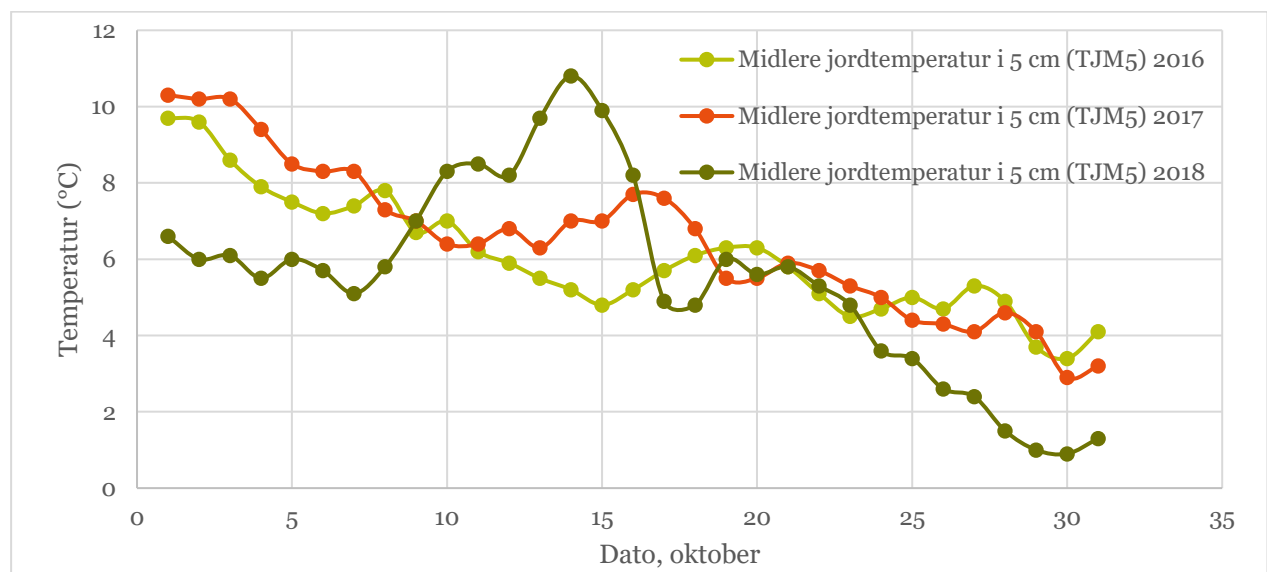
### 3.1.4 Forsøksfeltet på NIBIO Apelsvoll

Figur 6 viser jordtemperatur i 5 cm dybde på NIBIO Apelsvoll, hvor materiale til lagringsforsøkene ble dyrket i 2016, 2017 og 2018.

- Gulrot ble høstet 1. oktober 2016 (9,7 °C) og 10. oktober i 2017 (6,4 °C)
- Kålrot ble høstet 9. oktober i 2017 (7 °C) og 11. oktober i 2018 (8,5 °C)
- Knollselleri ble høstet 12. oktober 2017 (6,8 °C) og 11. oktober i 2018 (8,5 °C)

Gjennomsnittlig jordtemperatur for høstedataene var 7,8 °C. Det ble valgt en starttemperatur og en sårhelingstemperatur på 10 °C, som betyr at produkttemperaturen ble hevet ved inntak på lager.

I praksis vil høsting av lagringgulrot, -kålrot og -knollselleri skje i september, oktober og november. Temperaturen vil variere mellom lokaliteter og år og gjennom døgnet.



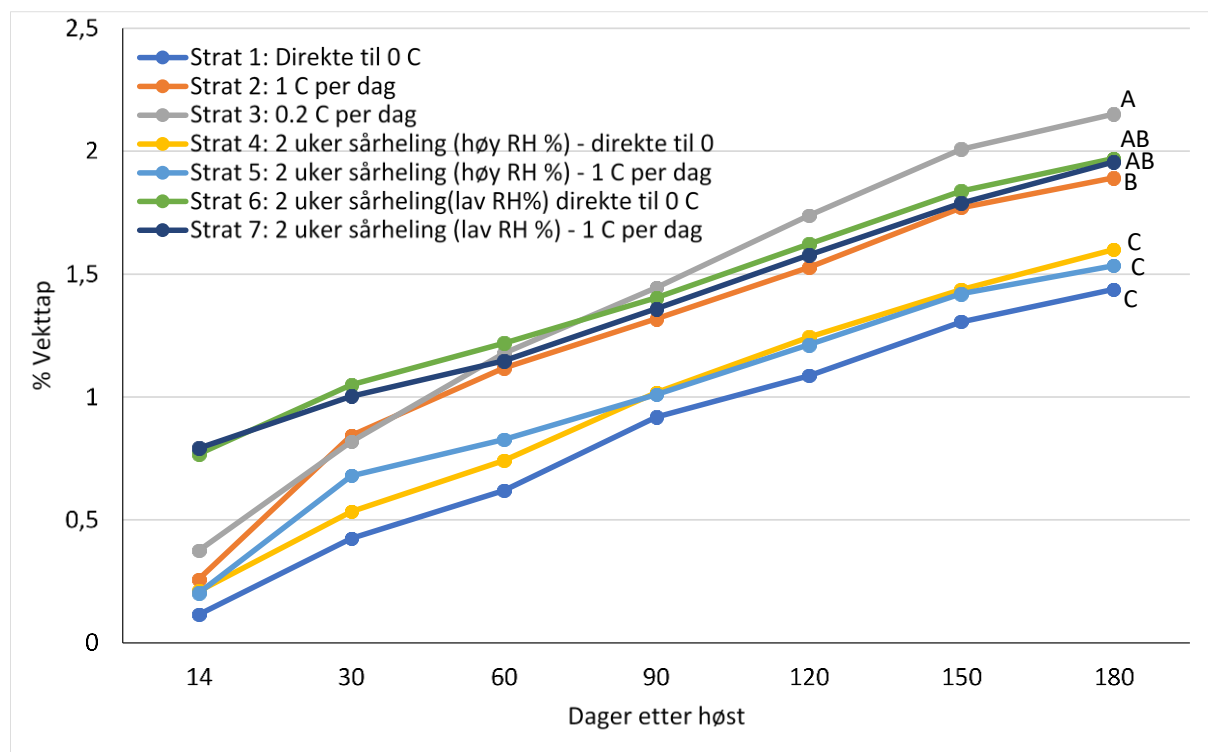
Figur 6. Jordtemperatur i 5 cm dybde på NIBIO Apelsvoll i høstetmåneden (oktober) i tre år (2016-2018).

## 3.2 Resultater gulrot

### 3.2.1 Vekttap

Etter seks måneders lagring ble det registrert et vekttap på 1,8 % i gjennomsnitt for alle prøvene (fire sorter, syv temperaturbehandlinger og to sesonger). Det var sikre forskjeller mellom nedkjølingsstrategier. Figur 7 viser vekttapet fordelt på de ulike temperatur- og sårhelingsstrategiene. Strategi 6 og 7, begge med tørr sårheling (2 uker med 10 °C og lav relativ luftfuktighet (60%)), ga størst vekttap de første 30 dagene ( $P < 0,05$ ). Dette skyldes at den lave relative luftfuktigheten ga større fordampning (transpirasjon) fra røttene. Etter 6 måneders lagring var det sikre forskjeller på

strategiene 2, 3, 6 og 7, sammenlignet med de andre strategiene ( $P < 0,05$ ). Det var fortsatt størst vekttap for guloten innlagret med tørr sårheling (lav RH %). I tillegg ble det registrert større vekttap for gulrøtter lagret med sakte nedkjøling (0,2 °C per dag, strategi 3) sammenlignet med en raskere nedkjøling (strategi 1-2) og med sårheling ved høy relativ luftfuktighet. Et vekttap på 1-2 % er ikke mye, men i et stort lager kan det utgjøre et betydelig økonomisk tap.



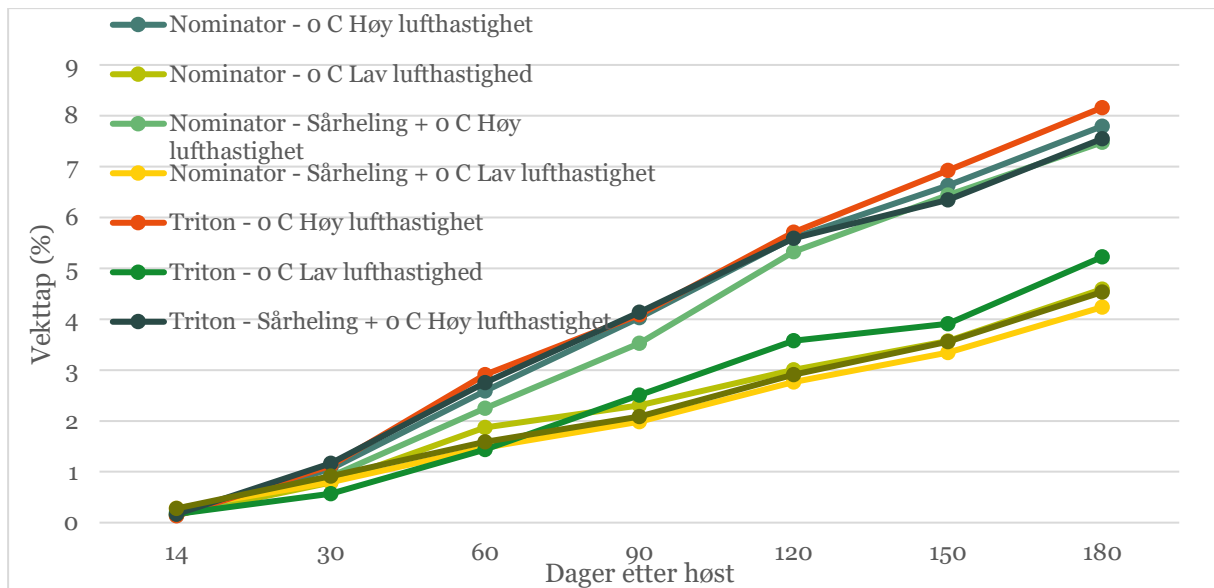
Figur 7. Vekttap i fire sorter av gulrot (gjennomsnitt av Nelson, Triton, Romance og Nominator) under lagring ved syv ulike nedkjølings- og sårhelingsstrategier (2016-17 og 2017-18). Forskjellige bokstaver angir sikre forskjeller.

Det var forskjeller mellom sorter når det gjaldt det totale vekttapet etter lang tids lagring. Romance hadde størst vekttap av de fire sortene (tabell 11).

Tabell 11. Vekttap (%) i fire ulike gulrotsorter etter langtidslagring. Forskjellig bokstav angir sikre forskjeller.

Sort	Romance	Nominator	Triton	Nelson
Vekttap (%)	2,00 <sup>a</sup>	1,79 <sup>ab</sup>	1,75 <sup>b</sup>	1,71 <sup>b</sup>

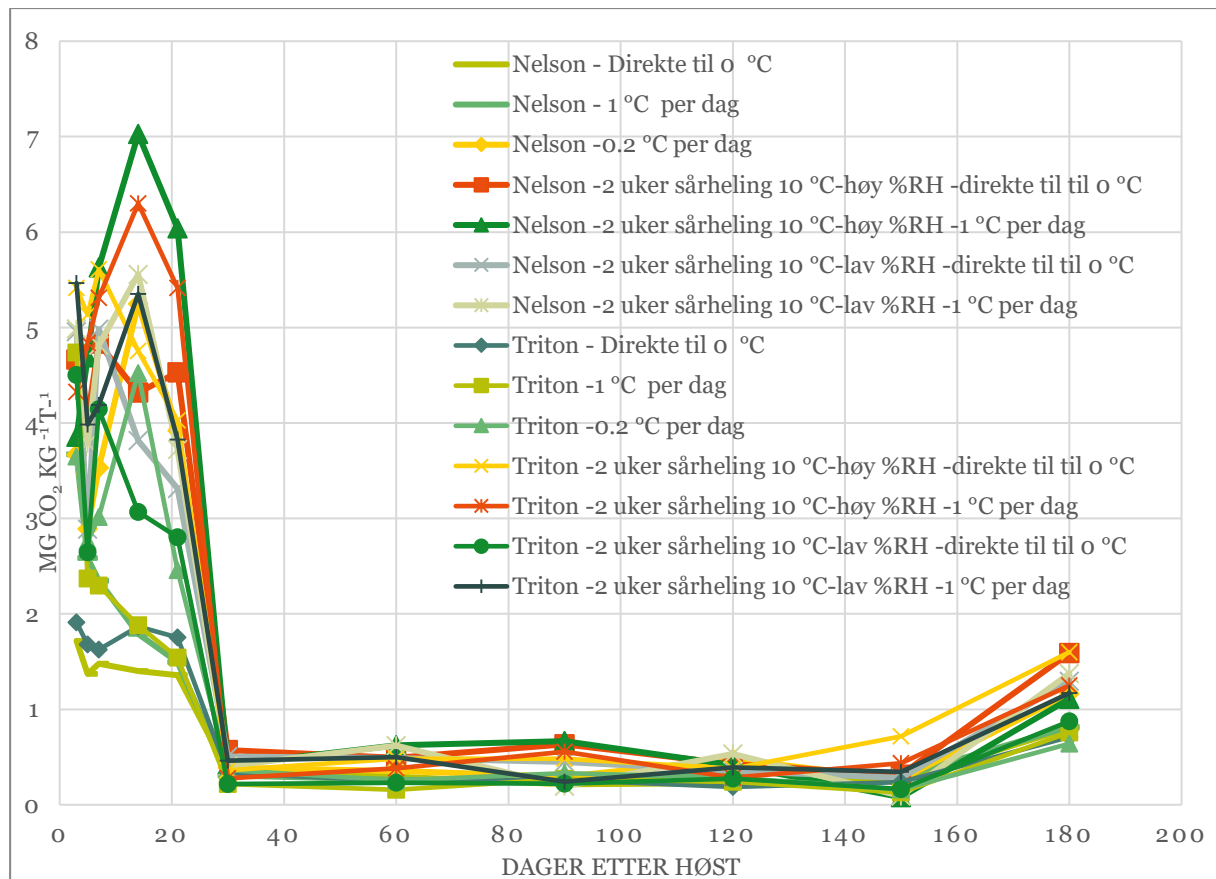
I ventilasjonforsøket ble det registrert vekttap fra 4,2 til 8,2 % etter lagringssesongen 2017-18 (figur 8). Det var signifikant større vekttap i gulrot som ble ventilert med høy lufthastighet ( $P < 0,001$ ). Det var ikke forskjeller mellom sårheling og ikke-sårheling. Ved høy lufthastighet ble luften rundt roten fjernet konstant og det har skjedd en større fordampning (transpirasjon) i røttene som har resultert i stort vekttap.



Figur 8. Vekttap i gulrot (Nominator og Triton) lagret ved konstant 0 °C og ventilert med høy eller lav lufthastighet eller ved 0 °C med forutgående sårheling i 14 dager ved 10 °C.

### 3.2.2 Respirasjon i gulrot

Det var en raskere nedgang i respirasjonsraten (figur 9) i røttene lagret ved umiddelbar lav temperatur (direkte til 0 °C, strategi 1) og ved lagring med nedgang på 1 °C per dag (strategi 2), enn i røttene lagret med sårheling (både høy og lav relativ luftfuktighet, strategi 4-7) eller en langsom temperaturnedgang (0,2 °C per dag, strategi 3). Det var ikke sikre forskjeller mellom sorter. Etter en måneds lagringda var temperaturen stabil på rundt 0 °C, og etter dette var det ikke sikre forskjeller i respirasjonsraten mellom temperaturstrategiene. Respirasjonsraten er høyere i produkter som lagres ved høy temperatur (se figur 5). Vi ser derfor høyere respirasjon ved sårhelingsstrategiene og ved langsom temperatursenkning. Ved rask nedkjøling så vi umiddelbart et fall i respirasjonsraten. Dette stemmer den viste sammenhengen mellom produkttemperatur og respirasjonsrate.



Figur 9. Respirasjonsrate (mg CO<sub>2</sub>/kg/time) i Nelson og Triton gjennom lagringssesongen, gjennomsnitt av to sesonger (2016-17 og 2017-18).

### 3.2.3 Sykdommer

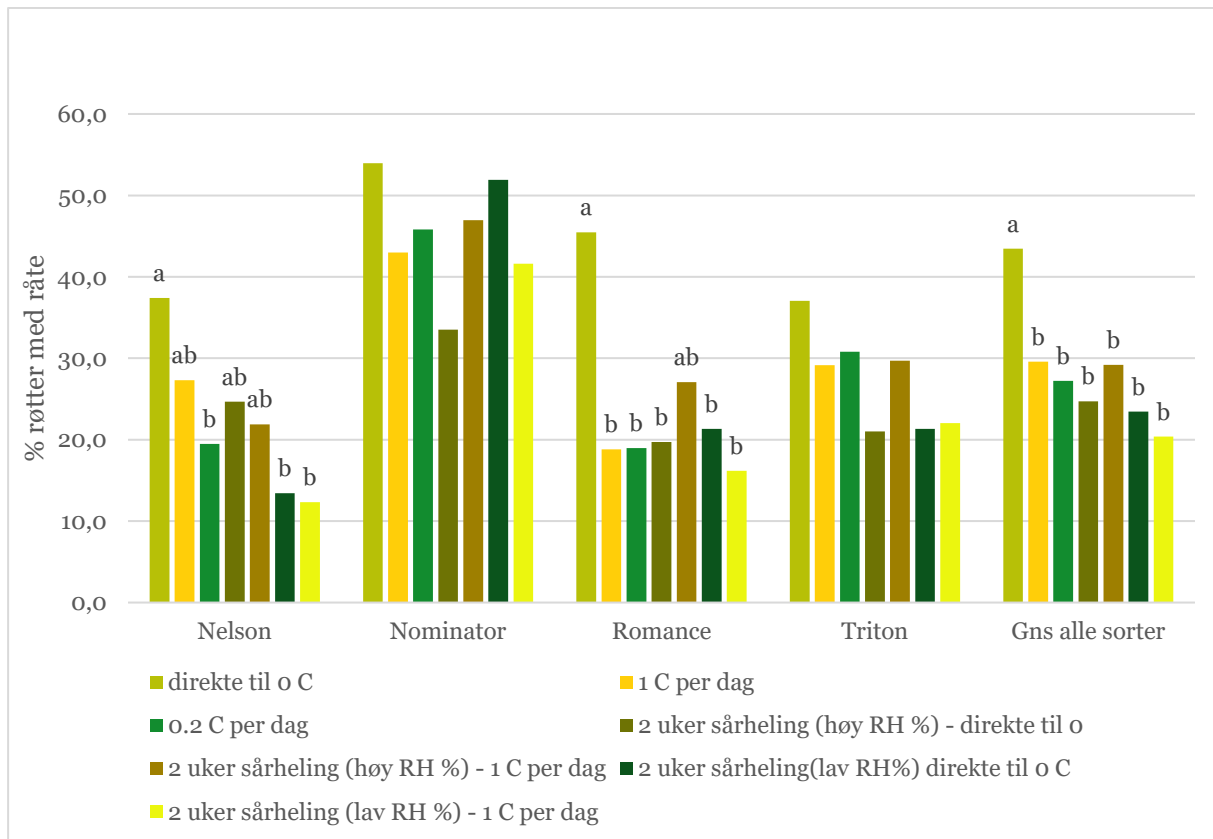
De største lagringstapene i gulrotforsøkene skyldes sykdommer. Lagringssykdommene som dominerte i de gjennomførte forsøkene var:

- Gråskimmel (*Botrytis cinerea*)
- Klosopp (*Mycocentrospora acerina*)
- Tuppråte

Det ble også funnet:

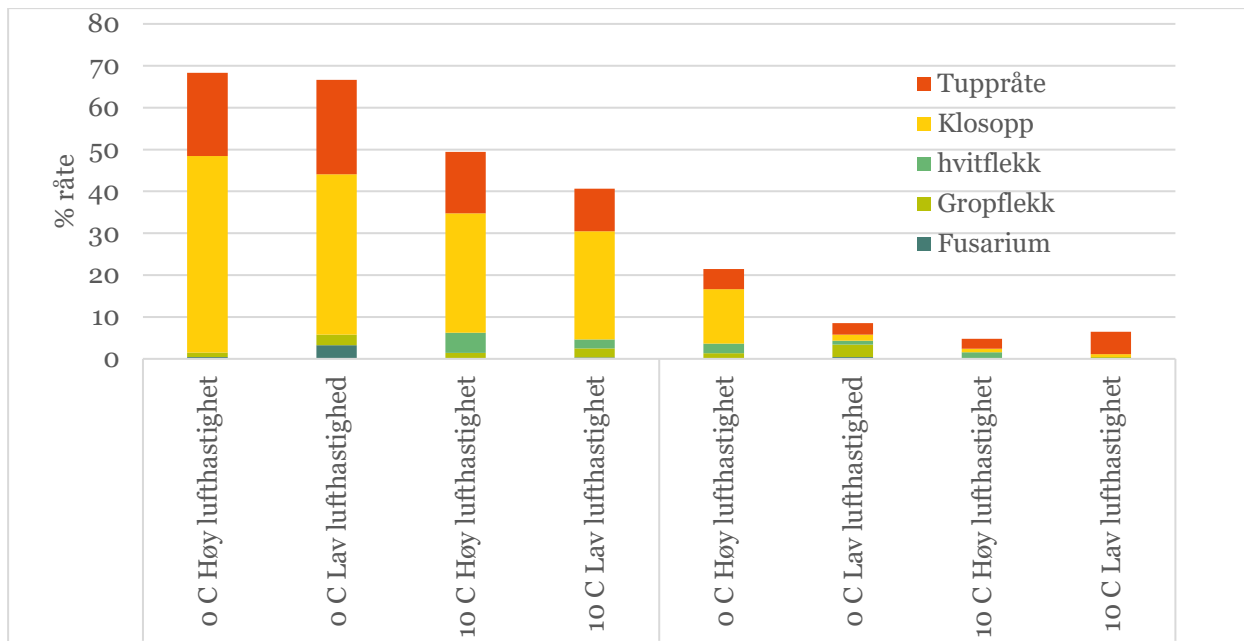
- Hvitflekk (*Fibularhizoctonia carotae*),
- Storknolla råtesopp (*Sclerotinia sclerotiorum*, *S. subarctica*),
- Gropflekk (*Pythium* spp.),
- Svartflekk (*Rhexocercosporidium carotae* (syn. *Acrothecium carotae* and *pseudocercosporidium carotae*))
- Fusarium (*Fusarium* sp.)

I snitt over år og strategier var det mest råte i sorten Nominator, med 44,8 % svinn fra lager, sammenlignet med de andre sortene (22,4-28,5% svinn) ( $P < 0,05$ ). Forekomsten av lagringssykdommer var størst når gulrøttene ble lagret inn direkte på 0 °C (43,5 % i snitt over sorter og år) (figur 10). Det var ikke sikre forskjeller mellom de andre nedkjølingsstrategiene. Det var sikre forskjeller mellom nedkjølingsstrategier for Nelson og Romance, men ikke for Nominator og Triton.



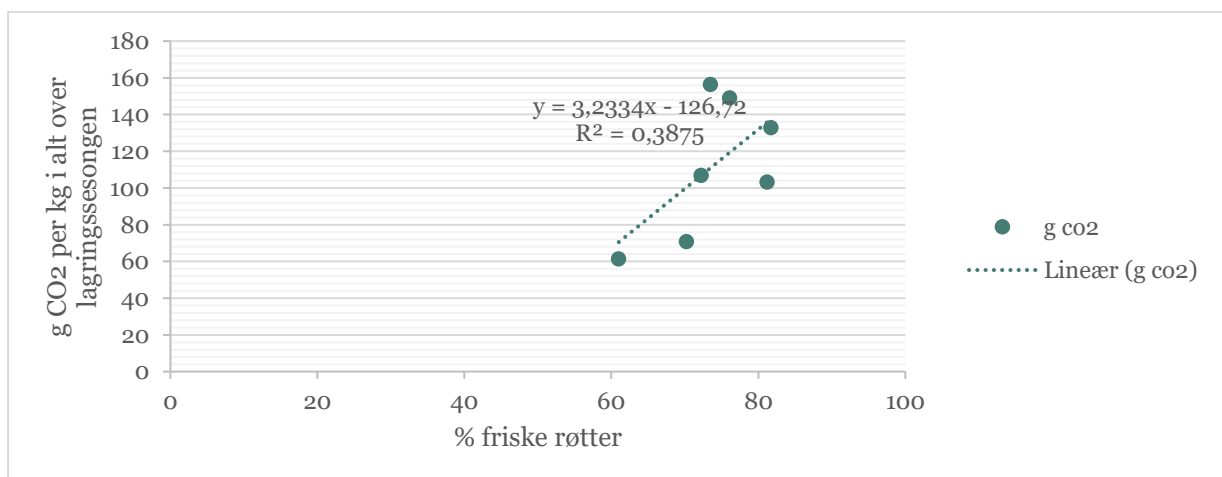
**Figur 10. Prosent gulrøtter med råtesymptomer ved uttak fra lager etter 6 mdr. lagring. Gulrøtter av 4 ulike sorter lagret med 7 ulike nedkjølingsstrategier. Forskjellig bokstav indikerer signifikante forskjeller mellom strategier for de ulike sortene og for alle fire sorter samlet.**

I ventilasjonsforsøket ble det registrert mer råte etter langtidslagring i Nominator enn i Triton ( $P < 0,000$ ) (figur 11). Det var også mer råte i røtter som ble kjølt ned direkte enn i røtter som hadde fått sårhelingsbehandling ( $P < 0,001$ ).



Figur 11. Prosent gulrøtter med råtesymptomer ved uttak fra lager etter 6 mdr. lagring. To sorter av gulrot (Triton og Nominator) lagret med/uten sårheling og ventilert med høy/lav lufthastighet.

Figur 11a viser sammenheng mellom total respirasjon gjennom lagringssesongen og det samlede lagringstap. Det var mer friske røtter ved samlet høy respirasjonsrate. Dette har sammenheng med en relativt høy respirasjonsrate under sårhelingen, samtidig som sårhelingen ser ut til å virke beskyttende mot sykdomsangrep.

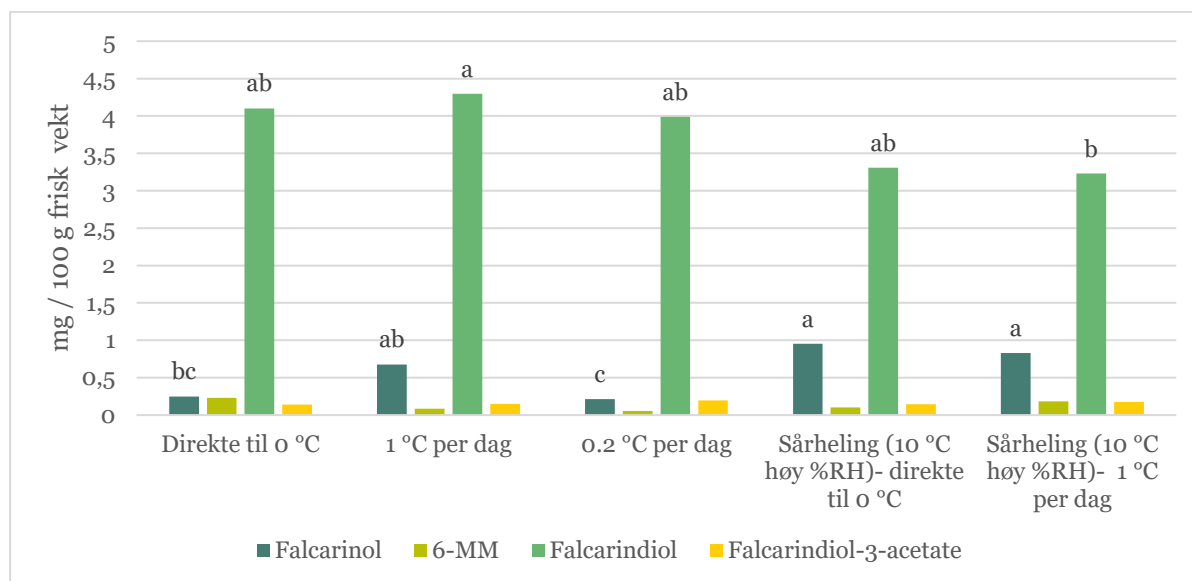


Figur 11a Korrelasjon mellom total CO<sub>2</sub> produksjon og prosent friske gulrot etter langtidslagring.

### 3.2.4 Polyacetylen

Det ble funnet flere ulike typer polyacetylen (faltarindiol, faltarindiol-3-acetate, faltarinol og 6-MM) i røttene (figur 12). Målingene viste et høyere innhold av faltarinol når gulrøttene gjennomgikk sårheling (strategi 4 og 5) og ved nedkjøling på 1 °C per dag (Strat 2) enn de andre strategiene (direkte til 0 °C og 0,2 °C per dag) (P<0,05). For faltarindiol var det høyere innhold med 1°C reduksjon per dag enn med sårheling og deretter 1 °C reduksjon per dag. Faltarindiol er ofte forbundet med

sopphemming. Det var ikke forskjeller mellom temperaturstrategier for falcarindiol-3-acetate og 6-MM.



Figur 12. Innhold av falcarinol, falcarindiol, falcarindiol-3-acetate og 6-MM i gulrot (gjennomsnitt av Nelson og Triton) lagret ved fem ulike nedkjølingsstrategier. Forskjellig bokstav indikerer signifikante forskjeller mellom behandlingsstrategier innen henholdsvis falcarinol og falcarindiol.

Det ble funnet mer falcarindiol og falcarindiol-3-acetat i sorten Triton enn i Nelson (tabell 12).

Tabell 12. Innhold (mg/100 frisk vekt) av falcarinol, falcarindiol, falcarindiol-3-acetate og 6-MM i gulrotsortene Triton og Nelson.

	Triton	Nelson
6-MM	0,2	0,1
Falcarindiol	4,2 <sup>a</sup>	3,3 <sup>b</sup>
Falcarindiol-3-acetate	0,2 <sup>a</sup>	0,1 <sup>b</sup>
Falcarinol	0,5	0,6

### 3.3 Diskusjon og konklusjon gulrot

I forsøket med temperaturstrategier ga rask nedkjøling (direkte til 0 °C) lavere vekttap etter 6 måneder enn sårheling og langsom temperatursenkning (0,2 °C per dag). I forsøket med sårheling og ventilasjon var vekttapet minst fra røtter som var ventilert med lav lufthastighet. Forskjellen skyldes ulik grad av uttørring/transpirasjon. Ventilasjon ved lav lufthastighet er gunstig, og i praksis er det ofte lav lufthastighet mellom røttene i kassene når de lagres i kasser dekket med perforert plast (se figur 35). Det var forskjeller mellom sorter og Romance hadde størst vekttap. Gulrøtter som gjennomgikk sårheling hadde høyere respirasjon de første ukene etter innlagring sammenlignet med røtter som ble nedkjølt raskt. Det er en positiv korrelasjon mellom temperatur og respirasjon og det vises ved at respirasjonsraten var høyere i røttene de første ukene etter høsting i røttene som ikke ble kjølt direkte. Det er tidligere vist at lagringstapet øker når samlet respirasjonsrate øker (Hoftun, 1993). I disse forsøkene fant vi ingen slik sammenheng mellom høy samlet respirasjonsrate og høyt samlede tap fra lager. Dette har trolig sammenheng med at sårhelingsperioden økte den samlede respirasjonsrate uten å ha negativ effekt på de samlede tapene.



Det var større lagringstap på grunn av sykdommer i røtter som hadde rask nedkjøling (snitt av fire sorter). Dette ble observert både i forsøk med ulike temperaturstrategier og i sårhelings-ventilasjonsforsøket. Dette samsvarer med funn fra kartlegging av kommersielle lagre presentert i kapittel 13. Det var forskjeller mellom sorter og det var mer sykdomsutvikling i Nominator enn i de andre sortene. Det var også forskjeller mellom sorter når det gjaldt effekt av nedkjølingsstrategier. Romance og Nelson fikk mer råte når røttene ble nedkjølt raskt, mens andelen friske røtter av Triton og Nominator ikke ble påvirket av nedkjølingsstrategien.

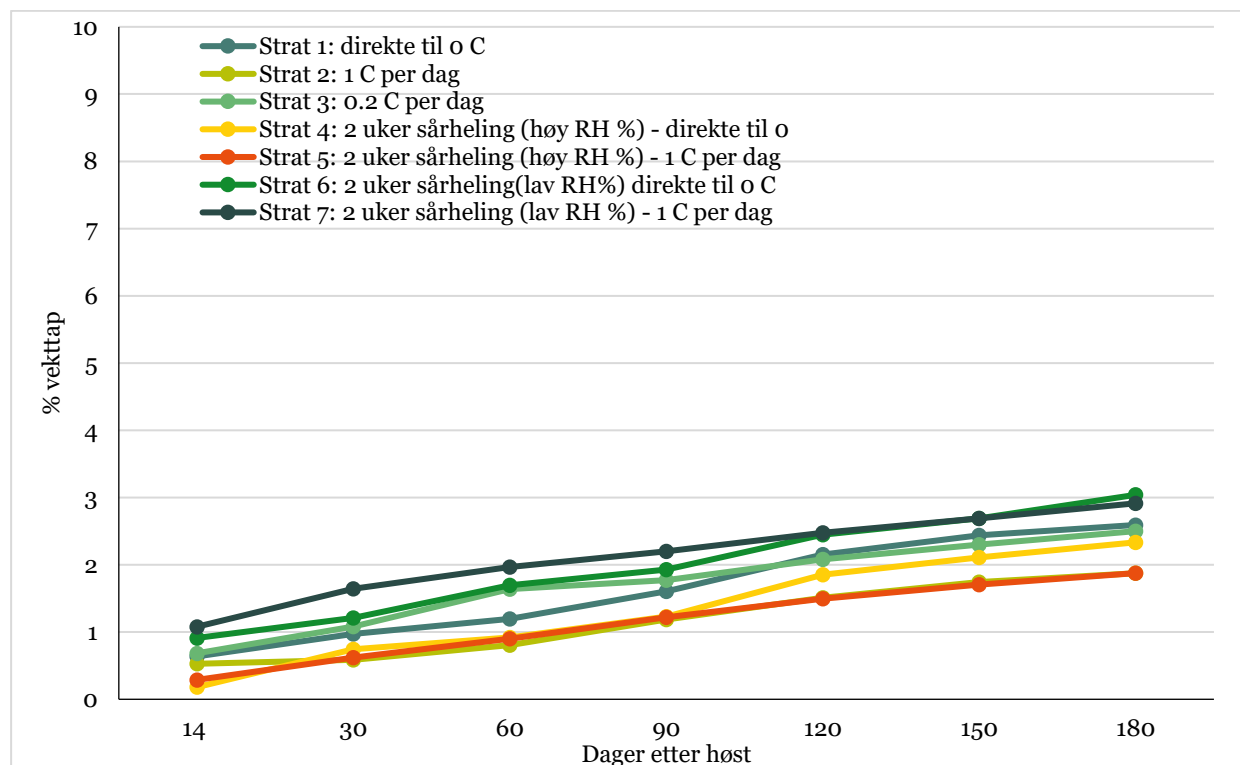
De ulike temperaturbehandlingene ved innlagring påvirket også innholdet av polyacetylen i gulrøttene. Det var mest falcarinol, men relativt mindre falcarindiol, i røtter som var sårhelet enn ved de andre strategiene. Falcarindiol er ofte dannet som en respons på 6-MM og skal ha en sopphekkende effekt. Det var mer av disse to polyacetylene i sorten Triton enn i Nelson. Sammenhengen med mindre sykdomsutvikling i gulrot med sårheling eller temperatursenkning over tid er nok et resultat av suberininnleiring og heller en fysisk barriere mot soppen enn effekten av sopphekkende stoffer.

De konkluderes med at det kan være gunstig for gulroten å ha en sårhelingsperiode før temperaturen senkes til stabilt lav temperatur. Dette for å unngå tap på grunn av sykdommer. I praksis vil det ofte være en form for sårheling i gulroten da røttene ligger kompakt pakket i storkasser på lager, dekket med plast. Dermed tar det flere uker å nå en stabil kald temperatur (se også figur 38 og 39). Gulroten respirerer mye og avgir varme, så selv med god kjølekapasitet kan det være vanskelig å få temperaturen raskt ned.

## 3.4 Resultater kålrot

### 3.4.1 Vekttap

Etter seks måneders lagring ble det registrert et vekttap på 2,5% i gjennomsnitt for alle syv temperaturbehandlingene over de to sesonger. Det var ikke sikre forskjeller mellom de ulike strategiene når det gjaldt vekttap etter 180 dager (figur 13).

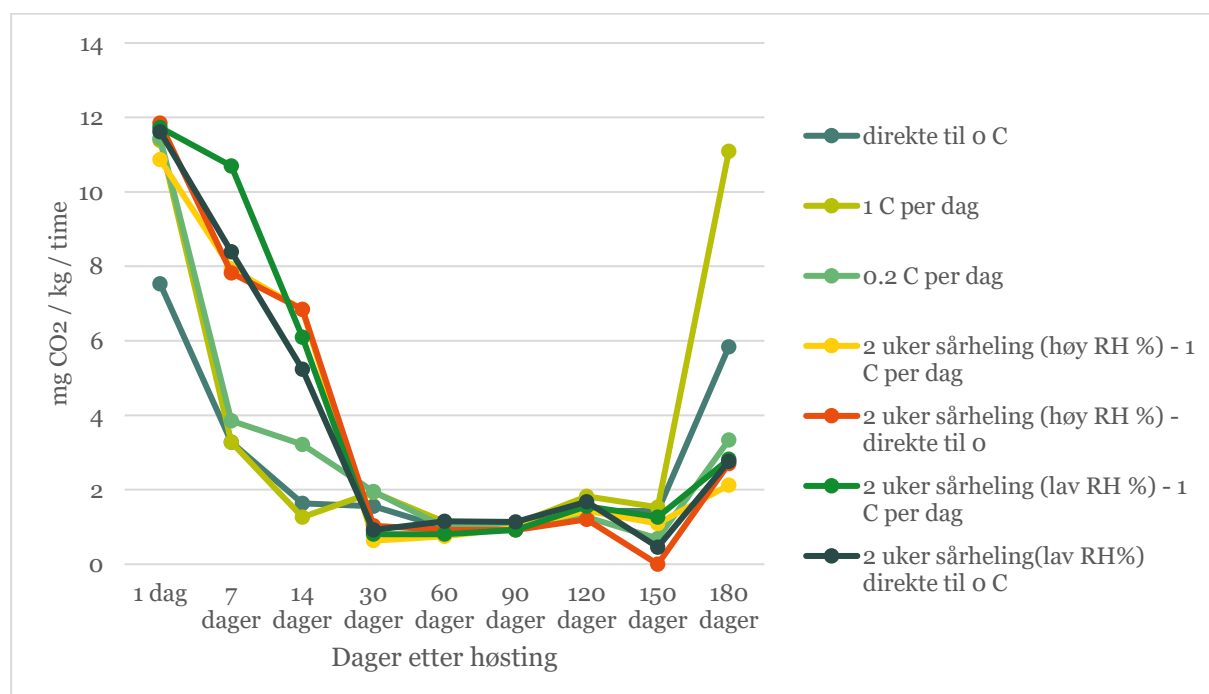


Figur 13. Vekttap i kålrot (Vigod) lagret ved syv ulike nedkjølings- og sårhelingsstrategier (2017-18 og 2018-19).

I ventilasjon-sårhelingsforsøket var det generelt et stort vekttap etter langtidslagring (18-21 %)(data ikke vist). Det var ikke forskjeller i vekttap fra kålrot lagret med høy lufthastighet eller lav lufthastighet og det var ikke forskjeller mellom sårheling og ikke-sårheling

### 3.4.2 Respirasjon

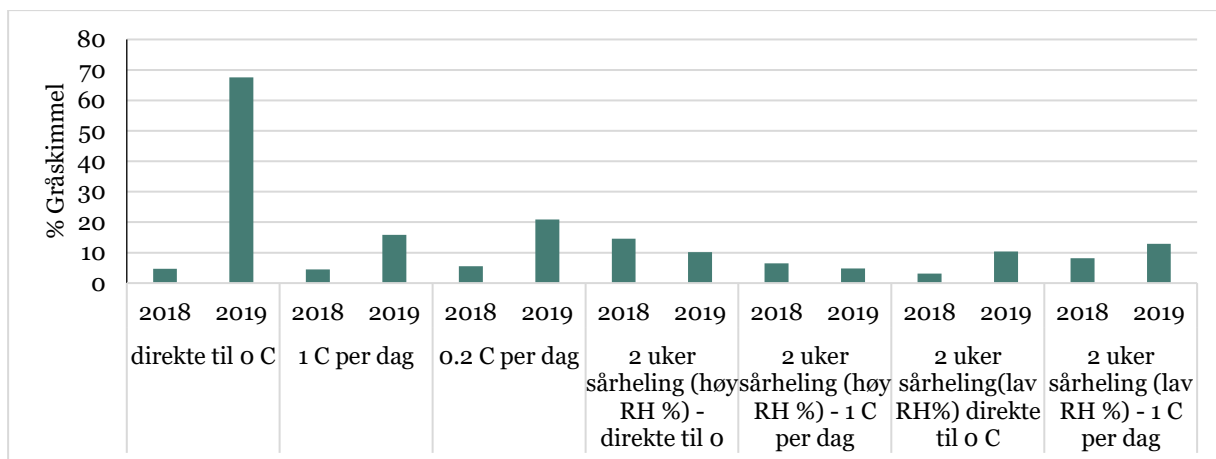
Kålrot som ble lagret med rask nedkjøling direkte til 0 °C (strategi 1), og 1 °C og temperatursenkning per dag (strategi 2), hadde lavere respirasjonsrate etter de første dagene (1, 7 og 14 dager) av lagringsperioden, sammenlignet med kålrot som ble sårhelet ved 10 °C i 14 dager (figur 14). Allerede en dag etter innlagring var det signifikant lavere respirasjon i kålrot lagret direkte på 0 °C sammenlignet med de andre strategiene ( $P > 0,001$ ). Etter 7 og 14 dager var det signifikant lavere respirasjon med strategi 1-3 sammenlignet med strategiene med sårheling ( $P < 0,001$ ). Etter 2-4 måneders lagring var det lav respirasjon for alle temperaturstrategier, og ingen forskjeller. Etter 5-6 måneders lagring var der derimot høyere respirasjon i kålrot lagret uten sårheling. Mot slutten av lagringen kan det være at stressfaktorer som sykdomsutvikling og respirasjon fra patogener kan påvirke den målte respirasjonsraten.



Figur 14. Respirasjonsrate (mg CO<sub>2</sub>/kg/time) i kålrot (Vigod) gjennom lagrings sesongen 2018-19.

### 3.4.3 Sykdommer

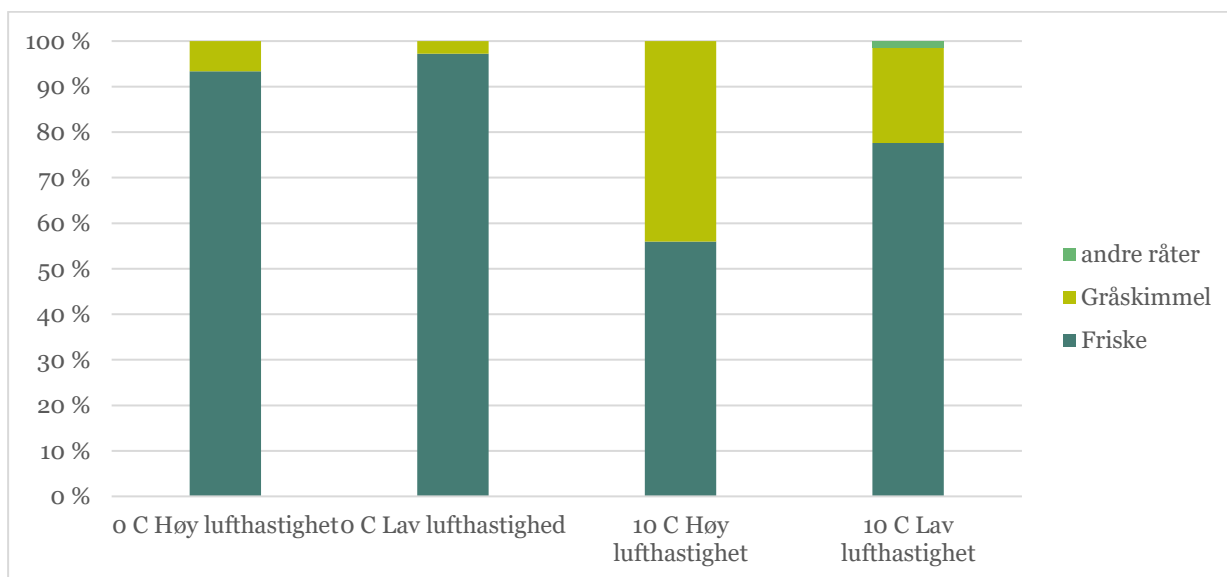
Av sykdommer i kålrot var gråskimmel dominerende. Det ble stort sett ikke funnet andre lagringssykdommer (figur 15 og 16). Det var store forskjeller mellom år. I 2018-19 sesongen ble det registrert mer gråskimmel enn i 2017-18 sesongen (figur 15). Gråskimmel forårsaket store tap (22-100%) i røtter behandlet med strategi 1 (direkte til 0 °C) i 2018-19. Derimot var det ikke forskjeller mellom nedkjølingsstrategier i 2017-18 sesongen. Respirasjonsraten i røtter lagret uten sårheling var også stigende på slutten av lagrings sesongen i 2019, noe som høyst sannsynlig var påvirket av smitte med gråskimmel.



Figur 15. Prosentandel kålrot(Vigod) med gråskimmel i kålrot lagret ved 7 ulike nedkjølingsstrategier i lagringssesongene 2017-18 og 2018-19.

Det var ingen sammenheng mellom høy samlet respirasjon gjennom lagringssesongen og samlet tap fra lager ( $R^2=0,073$ ).

I ventilasjons-/sårhelingsforsøket med kålrot var det mer gråskimmel i røtter lagret med en forutgående sårhelingsperiode, sammenlignet med rask temperatursenkning direkte til 0 °C (figur 16).



Figur 16. Prosent kålrot(Vigod) med råtesymptomer (gråskimmel og andre råter) og prosent friske røtter lagret med høy eller lav lufthastighet og med eller uten sårheling i lagringssesongen 2017-18.

### 3.5 Diskusjon og konklusjon kålrot

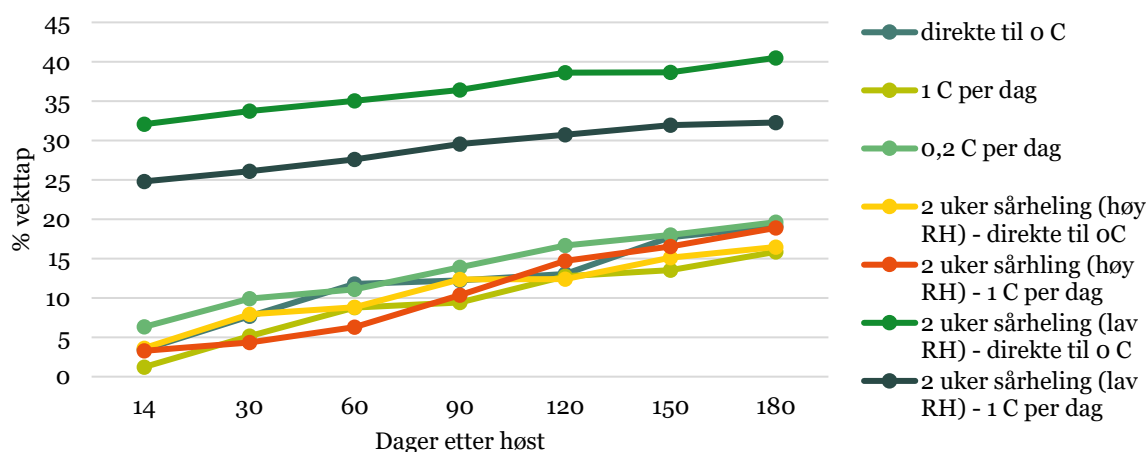
Det var ikke sikker effekt av de ulike temperaturstrategiene på vekttap. Ulike ventilasjonshastigheter påvirket heller ikke vekttapet. Kålroten hadde generelt lav transpirasjon og er mindre utsatt for uttørking enn gulrot. Det var mer respirasjon i starten av lagringsperioden ved sårheling, men den høye respirasjonsraten i starten av sesongen påvirket ikke vekttapet. Det ble funnet gråskimmel etter lagring, som eneste sykdom. I 2017-18 sesongen var det ikke forskjeller i forekomst av gråskimmel mellom temperaturstrategier. I 2018-19-forsøket var det mer gråskimmel ved rask nedkjøling, sammenlignet med de andre strategiene. I ventilasjons-sårhelingsforsøket var det motsatt, med mer gråskimmel i røtter lagret med forutgående sårheling. Basert på resultatene fra to sesongers forsøk

med ulike nedkjølingsstrategier og ventilasjons-sårhelingsforsøket er det vanskelig å konkludere i forhold til om kålroten har nytte av en sårheling, eller om det er gunstig å senke temperaturen raskt for å unngå lagringstap på grunn av sykdommer. I kartleggingen av produsentlagre ble det vist at det i praksis er mulig å få temperaturen raskt ned i kålrotlageret, hvis lageret har stor nok kjølekapasitet. (figur 40 og 41). . Det var ingen sammenheng mellom en samlet høy respirasjonsrate og størrelsen på lagringstapet.

## 3.6 Resultater knollselleri

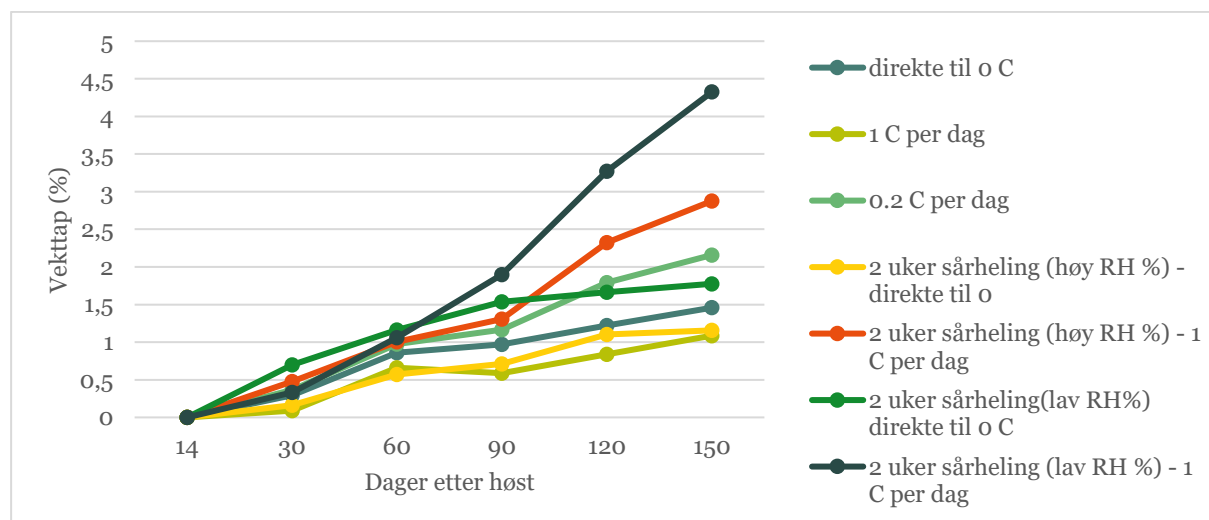
### 3.6.1 Vekttap

Figur 17 og 18 viser vekttapet utover i lagringssesongen i henholdsvis 2017-18 og 2018-19. Det var generelt stort vekttap i sesongen 2017-18. Det var signifikant større vekttap med sårheling med lav luftfuktighet sammenlignet med de andre strategiene ( $P < 0,01$ ) (figur 17).



Figur 17. Vekttap i knollselleri (Prinz) lagret ved syv ulike nedkjølings-og sårhelingsstrategier (2017-18).

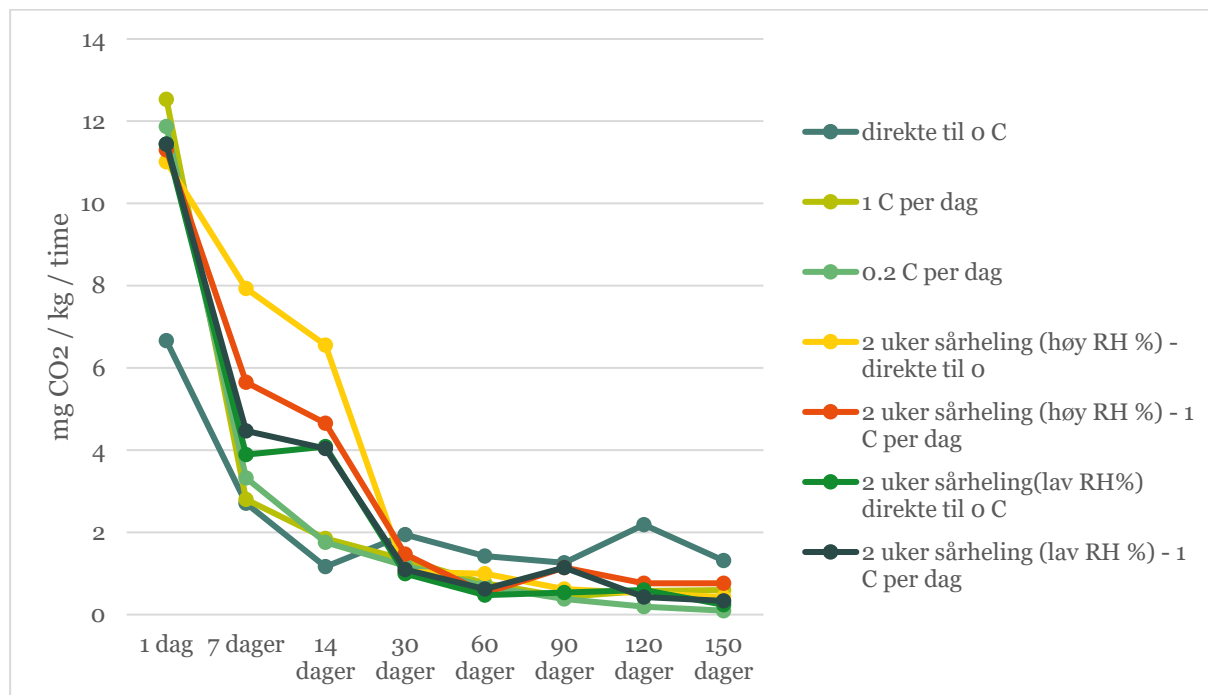
I 2018-19 sesongen var det betydelig lavere vekttap etter 5 mdrs lagring (1,1-4,3 %) enn i første lagringssesong (figur 18). Det var ikke sikre forskjeller mellom temperaturstrategier.



Figur 18. Vekttap i knollselleri (Prinz) lagret ved syv ulike nedkjølings-og sårhelingsstrategier (2018-19).

### 3.6.2 Respirasjon

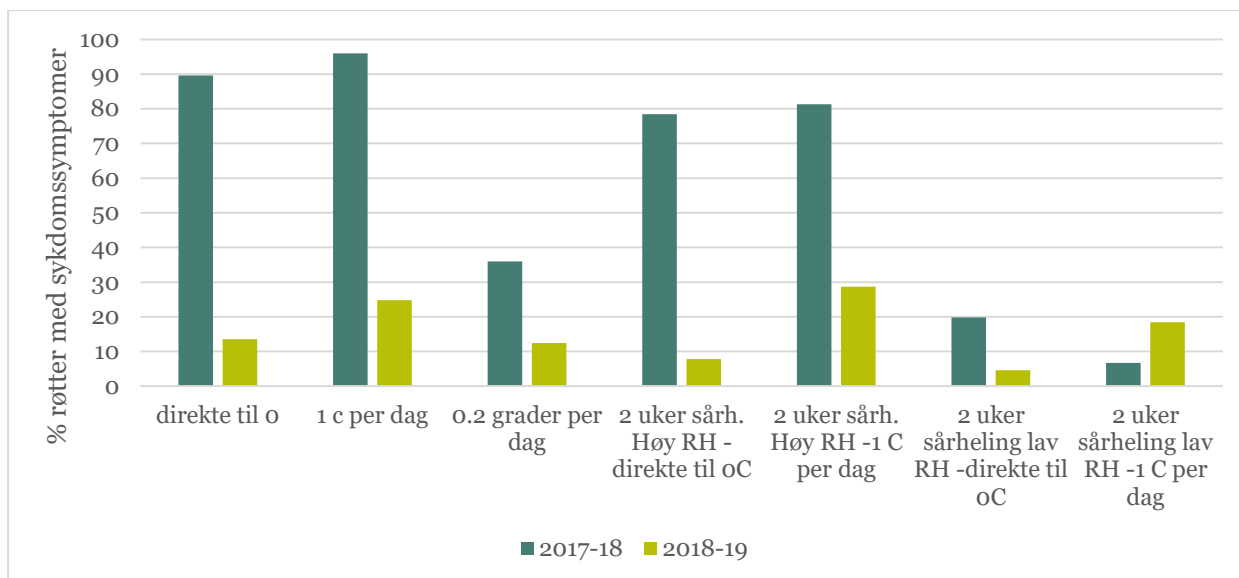
Knollselleri som ble lagret med rask nedkjøling direkte til 0 °C hadde signifikant lavere respirasjon etter første dag på lager sammenlignet med de andre strategiene ( $P < 0,001$ ) (figur 19). Etter 7 dager var det lavere respirasjon med strategi 1 og 2 (0 °C og 1 °C per dag) ( $P < 0,05$ ) og etter 14 dager var det signifikant lavere respirasjon med strategiene uten sårheling (strategi 1-3) enn med sårheling ved høy luftfuktighet.



Figur 19. Respirasjonsrate (mg CO<sub>2</sub>/kg/time) i knollselleri (Prinz). Lagrings sesongen 2018-19.

### 3.6.3 Sykdommer

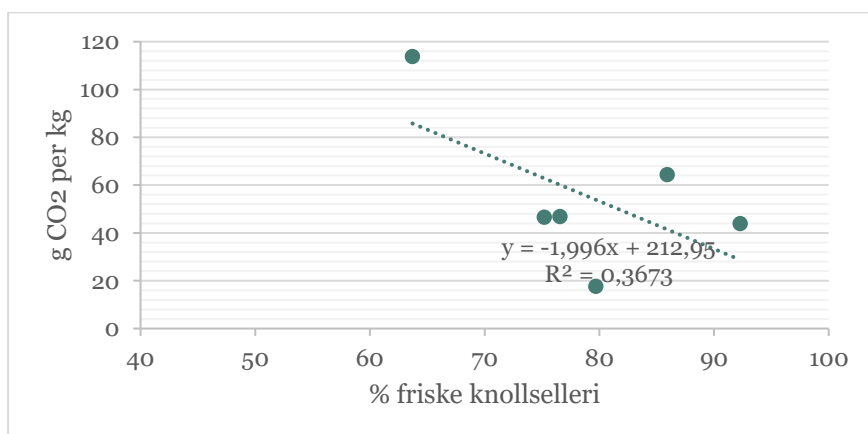
Det var generelt mye sykdom i røttene i 2017-18 sesongen (figur 20). Det ble funnet gråskimmel (*Botrytis cinerea*), klosopp (*Mycocentrospora acerina*) og fusarium råte (*Fusarium* sp.). I 2017-18 sesongen var det vanskelige høsteforhold for knollsellerien. Det kom mye nedbør før høsting og røttene var av varierende kvalitet ved høsting. Dette kan være med på å forklare både det høye vekttapet og mye sykdomsutvikling i røttene under lagring. Det var forskjeller mellom temperaturstrategier. Sårheling med lav luftfuktighet gav signifikant mindre råte enn de andre strategiene i 2017-18. Denne behandlingen ga imidlertid også et høyt vekttap, sannsynligvis som en følge av høy transpirasjon fra produktet.



Figur 20. Prosentandel knollselleri med sykdomsutvikling ut fra lager 2017-2018 og 2018-19.

Etter 2018-19 sesongen var det generelt mindre sykdom i røttene. Det ble funnet gråskimmel, klosopp og storknolla råtesopp i røttene. Det var mye storknolla råtesopp i noen få prøver, men det var tilfeldig fordelt mellom de ulike temperaturstrategiene. I motsetning til første lagringssesong (2017-18), da det ble mindre sykdomsangrep med sårheling ved lav temperatur, var det ikke sikre forskjeller mellom temperaturstrategier under lagring i 2018-19 sesongen.

Figur 20a viser korrelasjon mellom total respirasjon gjennom lagringssesongen og det samlede lagringstap. Denne viser en svak sammenheng mellom økt total respirasjon og en mindre andel friske knoller.



Figur 20a. Korrelasjon mellom total CO2 produksjon og prosent friske knollselleri etter langtidslagring.

### 3.7 Diskusjon og konklusjon knollselleri

Det var store vekttap og mye sykdom i første lagringssesong. Dette skyldes varierende kvalitet på røttene inn på lager og dårlige høsteforhold. Lav relativ luftfuktighet under sårheling ga mindre sykdom, men også høyere vekttap. I andre sesong var det bra kvalitet på røttene og været under innhøsting var bedre. Det året var det ikke forskjeller mellom temperaturstrategier hverken for vekttap eller sykdomsutvikling på lager. I et normalt år ser det ikke ut til å være noen fordel med sårheling i

forkant av kjøling til stabilt kald lagringstemperatur. I år med utfordrende værforhold og med varierende kvalitet på knollsellerien ser det ut til å være en fordel å sårhele ved lav luftfuktighet, eventuelt en rask opptørking, før temperaturen senkes til stabil lav temperatur for å unngå sykdomsutvikling i røttene. Ulempen med den lave luftfuktigheten er at knollsellerien kan tørke ut på grunn av transpirasjon. Respirasjonsraten er også høyere i starten av lagringsperioden for røtter som sårheles. Sårhelingsperioden bør derfor ikke være for lang. I praksis er det mulig å senke temperaturen raskt etter en eventuell sårhelingsperiode hvis det er god kjølekapasitet på lageret. Målinger i kommersielle lagre har vist at det ved god kjøling er mulig å senke temperaturen til ønsket sett-punkt etter 2-4 uker (figur 42 og 43). En sammenstilling av respirasjonsdata og samlet tap fra lager viser at det var større tap med høyere respirasjon. Dette stemmer overens med tidligere studier av Hoftun (1993). Se også avsnitt 6.3.

### 3.8 Konklusjon

Produktkvaliteten i gulrot, kålrot og knollselleri ble påvirket av ulike nedkjølingsstrategier og ventilasjonshastigheter. Gulrot er utsatt for uttørking og har høy transpirasjon, derfor er ventilasjon med lav lufthastighet gunstig. Gulrøtter som ble gitt en sårhelingsperiode hadde høyere respirasjon den første måneden etter innlagring, sammenlignet med røtter som ble nedkjølt raskt. I gulrot utgjorde sykdommer det største lagringstapet. Sårheling eller langsom nedkjøling hindret sykdomsangrep og det anbefales derfor, på tross av høyere respirasjonsrate, å gi gulroten en sårhelingsperiode før temperaturen senkes til stabilt lav temperatur.

Kålrot har lav transpirasjon og respirasjon og er ikke like utsatt for uttørking og store vekttap. Gråskimmel (*Botrytis cinerea*) var den viktigste sykdommen etter langtidslagring. Motstridende resultater i forhold til sykdomsutvikling gjør at det ikke kan konkluderes på hvilken nedkjølingsstrategi som anbefales.

Knollselleri er utsatt for uttørking og vekttap (høy transpirasjon). Ved god rotkvalitet ved høsting trenger knollsellerien ikke en sårhelingsperiode. Ved varierende kvalitet og våte forhold under innhøsting kan det være gunstig med en sårhelingsperiode. Her bør man da være oppmerksom på at roten ikke tørker ut og taper mye vekt. Derfor bør temperaturen raskt senkes til stabil lav temperatur i lageret etter endt sårheling.

### 3.9 Referanser

- Dik, A.J. and Wubben, J.P. (2004). Epidemiology of *Botrytis cinerea* diseases in greenhouses. In: Elad Y., Williamson B., Tudzynski P. and Delen N. (eds.), *Botrytis: Biology, Pathology and Control*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 319-333.
- Hermansen, A. 2008. Sjukdommer i grønnsaker. I: Meadow, R., Brandsæter, L. O., Birkenes, S. M. & Hermansen, A. (Eds.). *Plantevern og plantehelse i økologisk landbruk*. Bind 2 - Grønnsaker og potet. 2. oppl. Bioforsk Fokus, 3 (10); 47-78.
- Hoftun, H. 1980. Krav til lagringsklimaet. Etter utdaggingskurs ved Norges Landbrukshøgskole. «Plantevern i grønnsakkulturar» 24-26. mars 1980. J.nr. 13/80.
- Hoftun og Apeland 1981. Fatorer som verkar på åndingsprosessane hos grønnsaker. J.nr. 15/81. Norges landbrukshøgskole.
- Hoftun, H. o. N., M. (1984). Lagring av Kålrot. *Sluttrapport* Nr. 546.
- Hoftun, H. (1993) Nedkjøling av gulrot. Verknad på lagringsevne og kvalitet. *Norsk Landbruksforskning* 7: 147-155

- Kreutzmann, S., Christensen, L. P., Edelenbos M. (2008) Investigation of bitterness in carrots (*Ducus carota* L.) based on quantitative chemical and sensory analyses. *LWT -Food Science and Technology*. Vol. 41, Issue 2. Pp. 193-205.
- Lewis, B. G., Davies, W.P., Garrod, B. (1981) Wound-healing in carrot roots in relation to infection by *Mycocentrospora acerina*. *Annals of Applied Biology* 99: 35-42
- Lewis, B. G., Garrod, B., Sullivan, C. (1983) Accumulation of antifungal compounds on wound surfaces of carrot root tissue. *Transactions of the British Mycological Society* 80: 183-184.
- Suojala, T. (1999). Effect of harvest time on the storage performance of carrot. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74, 484-492.



## 4 Eksisterende lager- og kuldesystemer

Tap av produserte grønnsaker under lagring og distribusjon utgjør opp mot 30 % i Norge og er et av de største tap av produsert mat og tapte inntektskilder i både landbruk og matvarekjeden. Det er et mål å redusere lagringssvinn og øke holdbarheten av rotgrønnsaker under lagring. Målet skal nås gjennom å styrke og optimalisere kunnskapen mellom biologi og lagringsteknikk under innlagring, lagring og omsetting. Normalt har produsentene egne lager på gårdene, men det er også bygd noen større lagre hvor flere produsenter leier lagerplass sammen.

De eksisterende lagrene rundt omkring varierer stort med hensyn til størrelse, alder, utforming og kassestabling. Det har ikke vært en felles forståelse i næringen om hvilke lagertyper som egner seg best til rotgrønnsaklagring. Det er naturlig nok mer optimalt å bygge nye godt isolerte lager med nye kulde-tekniske løsninger, men realiteten tilsier at gamle lager vil være i drift i mange år fremover. Det er derfor viktig å optimalisere de eksisterende lagrene i påvente av en naturlig fornyelse av lagrene. Det har derfor vært gjennomført en kartlegging av eksisterende lagerløsninger, før forslag til optimalisering av de tekniske løsningene for å gi en energieffektiv drift og god klimakontroll av flere ulike typer av lager.

Det ble samtidig arbeidet med å etablere et design av fremtidens mest optimale, miljøvennlige og energieffektive lager for rot-grønnsaker, hvor fokus har vært på betydningen av ulike faktorer ved utformingen av lagrene for god distribusjon av kjøleluft i hele arealet.

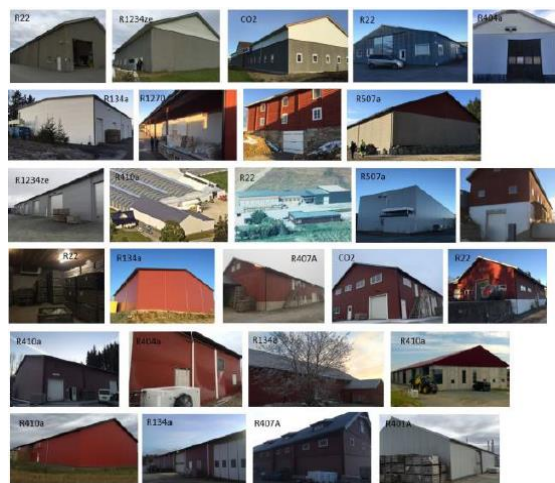
### 4.1 Kartlegging av eksisterende kjølelager for rotgrønnsaker

Totalt ble 28 produsentlagre med rotgrønnsaker kartlagt. Lagrene var fordelt på områdene Smøla og Frosta i Midt-Norge (Mid), Klepp-Jæren på Sørvestlandet (Rog), Sande og Rygge rundt Oslofjorden (Osl), samt Toten og Hedmark i Innland (Inn).

Størrelsen på lagrene varierte mellom 80 og 3050 tonn, og ble benyttet til hhv. gulrot, kålrot og knollselleri.

Lagrene var i hovedsak plassert hos de ulike produsentene, men noen større lager med flere kjøleceller var inkludert.

To av lagrene hadde ikke installert kuldesystem.



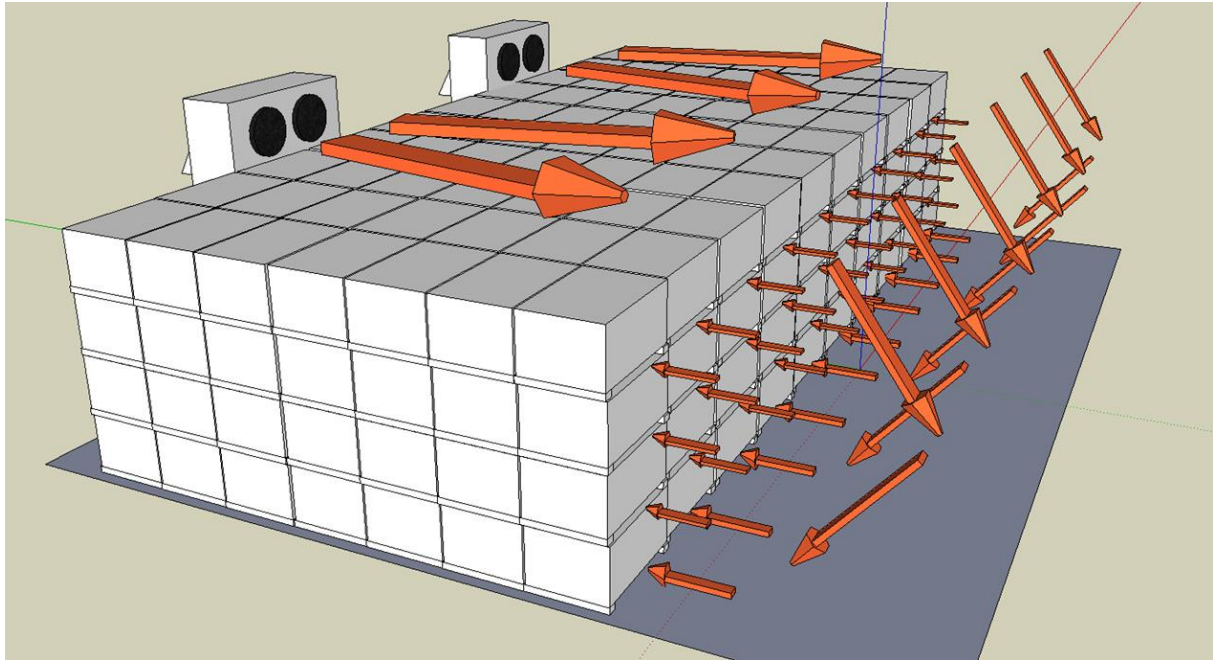
Figur 21. 28 kjølelager for grønnsaker ble kartlagt

### 4.2 Luftdistribusjonsløsninger, lagertyper

De 28 lagrene kan med bakgrunn i måten lagerluften fordeles og sirkuleres gjennom lageret, deles inn i tre hovedgrupper; Omluft-lager, Findus-lager og Græe-lager. Omluft-lager kan igjen deles inn i 4 ulike systemer.

## 4.2.1 Omluft-lager

Prinsippet for omluft-lager er at kjøleluften blåses ut lageret mellom de øvre kassene og taket, for så å gå mellom hver enkelt kasse tilbake til kjøleaggregatet. På denne måten vil hver enkelt kasse med produkt kunne få kontinuerlig tilførsel av kald sirkulerende luft.



Figur 22. Prinsipp med omluft-lager, hvor luft blåses ut fra kjøleaggregatene over produktet, og går tilbake mellom hver enkelt kasse.

Som nevnt blir det benyttet fire ulike typer omluft-lager:

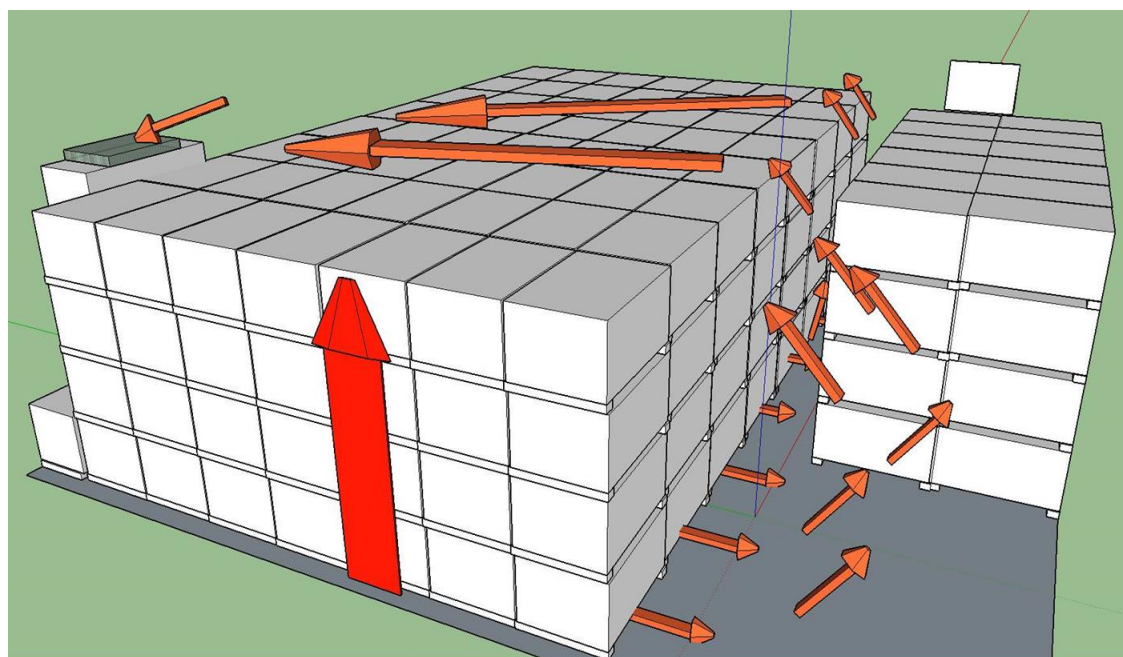


Figur 23. Fire ulike prinsipper med omluftslager.

- a) Tradisjonelt omluftslager (Fig 23, øverst til venstre), hvor den kalde luften blåses ut fra et kjøleaggregat plassert under taket bak i lageret. Luften blåses over de øverste kassene frem til fronten av lageret, hvor luften presses ned mot gulvet og tilbake mellom hver enkelt kasse til bakveggen og opp til kjøleaggregatet igjen.
- b) Omluftslager med kanalføringer (Fig 23, øverst til høyre). Løsningen er basert på en løsning hvor et ferdig komplett kuldesystem settes inn i bakveggen på lageret. Dette fører til at både vifter og fordamper plasseres over gulvet i bak-kant. Luften som kommer tilbake gjennom kassene suges derfor ned mot gulvet, før den blåses via ventilasjonsrør opp og over de øvre kassen på lik linje med de andre omluftsystemene.
- c) Omluftslager med midtstilt fordamper (Fig 23, nederst til venstre). Brukes ofte i større lager, hvor kjøleaggregatet plasseres under tak midt i lageret. Luften suges opp i midten av lageret gjennom aggregatet, og blåses videre til hver side. Man får dermed to soner i lageret, med egen luftsirkulasjon på hver side.
- d) Undertrykkslager, suction wall system (Fig 23, nederst til høyre). I motsetning til de tre andre omluftsystemene hvor vifter presser luften rundt i lageret, er det her etablert en falsk bakvegg med glipper som passer inn med luftstrømmen mellom hver kasserekke. Bak veggen danner viftene et undertrykk, et sug, som drar luften gjennom kassene. Samtidig plasseres presenninger over to og to kasserekker, noe som fører til at luften som suges inn mellom rekkene snur 90° gjennom kassene og ut til kjøleaggregatet bak falskveggen. Det kreves egne kasser for denne type lager, da luften må kunne gå begge retninger mellom kassene.

#### 4.2.2 Findus-lager

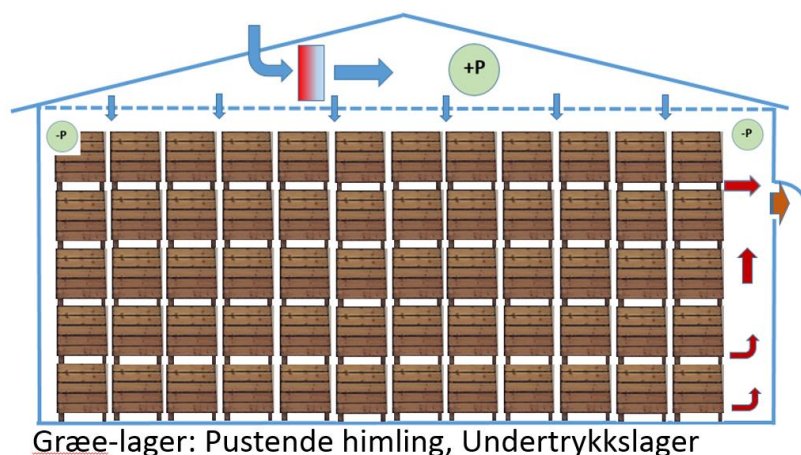
Også ofte kaldt Alf Johansen lager. Kald luft blåses ut under nederste kasserekke via en glippe i en kanal som dekker hele bakre vegg. Luften kommer ut i forkant av lageret, presses opp og går tilbake til tårnet i bak-kant av lageret. I tårnet er vifter og kjøleaggregat plassert, og her avkjøles luften på nytt og presses ut i kanalen. I dette systemet sirkuleres dermed ikke luft mellom hver enkelt kasse i lageret. Varmen fra produktene i kassene stiger opp gjennom de øvre kassene og ut til returluften under taket. I figuren vises også plassering av tverr-stilte kasser for å utnytte ledig plass i forkant av lageret.



Figur 24. Prinsippskisse av luftstrømmene i Findus-lager

### 4.2.3 Græe-lager

En tredje type lager som blir benyttet, men som ikke har blitt bygget de siste årene er Græe-lager. Denne typen fungerer på noe av de samme prinsippene som Findus-lager hvor det ikke går luft mellom hver enkelt kasse. Kuldeaggregatet er plassert over et perforert tak. Det sentrale er at det ved bruk av en vifte i veggen i lageret dannes et undertrykk i lageret som suger den kalde luften ned gjennom taket. På grunn av at den kalde lagerluften suges ut av lageret for å holde undertrykk, vil systemet bruke uforholdsmessig mye energi på å produsere ny kald luft i stedet for å sirkulere denne. Disse lagrene er plassert i områder med normalt kalde vintre, men det er likevel utfordringer spesielt på høsten og våren.

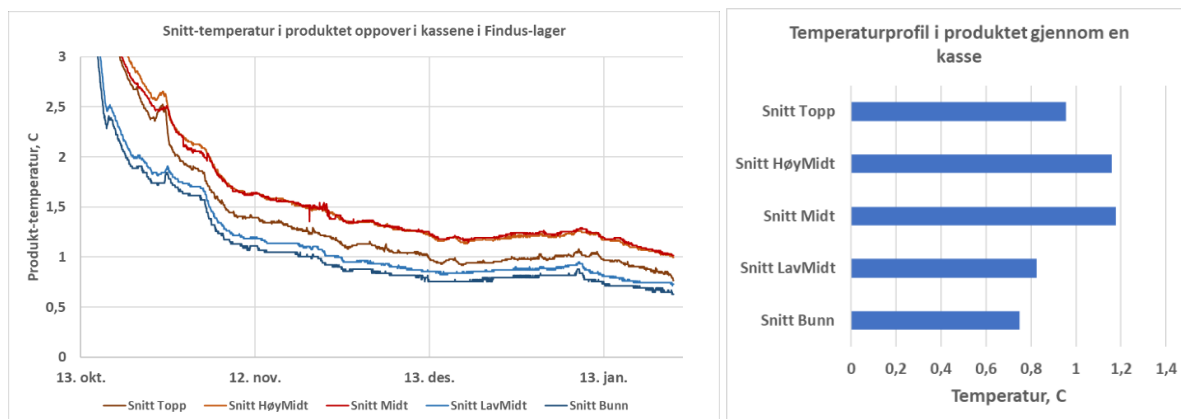


Figur 25. Prinsippkisse over Græe-lager, med undertrykk og kald luft som sildrer ned gjennom taket.

### 4.2.4 Lager-typer: Fordeler og ulemper

Både Findus- og omluft-lager er gode løsninger, men det forutsetter god styring av luftfordeling og lufthastighet, samt riktig temperatur og fuktighet på luften. Det er ikke observert større eller mindre svinn på produkter mellom de to lagerløsningene, men det er observert høyere vekttap på omluftslager med høy lufthastighet, og det registreres høyere produkttemperatur for gulrot i de øvre kassene i Finduslager (Figur 6 t.v.). Det er ikke observert slik temperaturøkning for kålrot og knollselleri, mulig pga. mindre produkt i hver kasse, og mer luft mellom produktene.

Internt inni kassene vil også produktet i øvre del av kassene som forventet ha noe høyere temperatur enn i nedre del (Figur 6, t.h.). Det kan derfor argumenteres for at store kasser (1000-1200 kg) ikke nødvendigvis er optimalt med tanke på lengst mulig lagringstid, da produkttemperaturen kan bli høyere enn i mindre kasser. Findus-lager vil være mest skånsom for kjølelagring av andre typer grønnsaker som er mer sensitiv for uttørking enn rotgrønnsaker, som f.eks. blad-grønnsaker. Som nevnt vil Græe-lager måtte bruke uforholdsmessig mye energi på produksjon av kald luft, spesielt på høst og vår, da temperaturen på uteluften kan være høy.



Figur 26. Temperaturen er høyere i de øvre kassene med gulrot i Findus-lager.

#### 4.2.5 Stabling av kasser – luftsirkulasjon

Som nevnt, så er de fleste av de eksisterende lagertypene gode løsninger, men det forutsetter god kontroll og styring av bl.a. luftfordelingen i lageret. Hos mange av produsentene var korrekt stabling av kassene ofte en utfordring. Luftstrømmene vil alltid gå minste motstands vei, og feil stabling fører til at luften går steder hvor den har liten nytte, dvs. falskluft. Man bruker da vifteenergi på å sirkulere luft uten nytte, og man må tillegg bruke energi til kuldeproduksjon for å fjerne denne viftevarmen igjen. Samtidig vil soner av lageret ikke få tilført sirkulert kald luft, og produktenes respirasjon vil øke temperaturen. Dette vil føre til økt svinn, og redusert holdbarhet.

Grønnsakene har en kontinuerlig respirasjon under hele lagringsperioden. Har man for eksempel et mindre lager på 100 tonn gulrot, kålrot eller knollselleri på lageret, vil varmen fra dette tilsvare 3-4 stk. panel-ovner på 1 kW stående på hele tiden. Det er derfor viktig at alle kassene får jevn tilførsel av sirkulert kald luft for å holde produkttemperaturen nede. En del produsenter har mulighet til å optimalisere luftsirkulasjonen, og det å få jevn og god luftfordeling i hele lageret. Ofte er det enkle tiltak som kan gjøres, med fokus på stabling av kasser.



Figur 27. Bildene viser de mest sentrale faktorene som hindrer god luftsirkulasjon.

Det er i hovedsak fire feil som gjøres med stablingen av kassene:

- 1) For å fylle opp ledig plass foran (eller i midten) i lagrene settes kassene ofte på tvers, 90° i forhold til de andre kassene i lageret. Plasseres disse tett inntil de andre kassene, så vil dette blokkerer luftstrømmen (Fig 27, t.v.)
- 2) De bakerste kassene settes for tett inntil veggen. Da vil luften som kommer ut bak mellom kassene ikke kunne komme opp igjen til kjøleaggregatet. Luftsirkulasjonen stopper, og luften spinner rundt på toppen og foran i lageret (Fig. 27, i midten, t.v.).

- 3) Kassene fylles for mye med produkt. Luften skal gå mellom hver kassehøyde helt fra foran i lageret til bakre vegg. Fyller man kassen så mye at produktet når opp til kassen over, vil dette hindre tilgang til luft i hele raden bakover (Fig. 27, i midten, t.h.).
- 4) Åpne rekker gjennom lageret, spesielt under tømning. Luften går minste motstands vei, og åpne områder vil føre til at luften går utenom kassene (Fig. 27, t.h.).
- 5) Bruk av ødelagte kasser. Kasser som er skadd, kan føre til at hele stabelen står noe høyde-justert i forhold til stabelen bak. Da vil ikke "kanalen" mellom to kassehøyder henge sammen gjennom hele lageret, og luftsirkulasjonen reduseres.

#### 4.2.6 Tekniske egenskaper for kjølelagrene

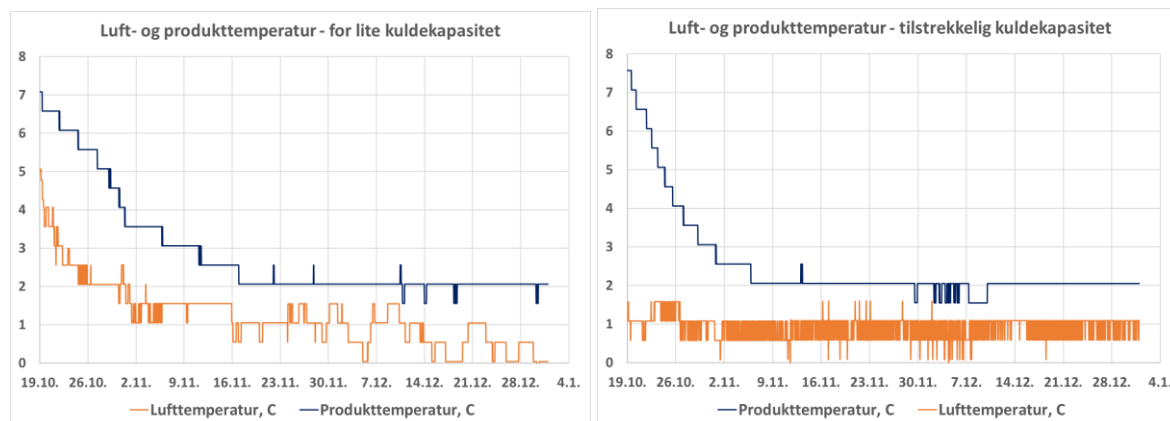
Tabell 13 oppsummerer de 28 produsentlagrenes tekniske egenskaper. Konsekvensene av lagrenes ulike funksjoner og egenskaper blir forklart og diskutert videre i notatet.

Tabell 13. Operasjonelle og tekniske parametere for 28 kjølelager.

Produsent kode	Produkt	Plastikk i kasser	Lagringskap, tonn	Luftsirk. system *1)	Oppfukting	Tilførsel uteluft	Kuldekap., kW *2)	Energi, Efficiency Ratio (EER), COP	kW kuldekapasitet pr tonn produkt	Abs. effekt, kW v ed 10°C	Installert kW/tonn	Tilstrekkelig kuldekapasitet *3)	Installert kW per 100 tonn	Kuldemedium	Dir. fordamp., DX
Mid1	Gulrot	Ja	250	a)	Dyse	Vifte	114*	3.00	0.46	38	0.15	++	15.2	R410a	nei
Mid2	Gulrot	Ja	1200	c)	nei	Vifte	170	4.05	0.14	42	0.04	+	3.5	410a	nei
Mid3	Kålrot	nei	350	e)	Dyse	Spjeld	62	3.44	0.18	18	0.05	+	5.1	1234z	Ja
Mid4	Kålrot	nei	520	a)	nei	-	123*	3.00	0.24	41	0.08	++	7.9	410a	nei
Mid5	Gulrot	Ja	1100	c)	nei	-	133*	3.00	0.12	44,4	0.04	-	4.0	R22	nei
Mid5b	Gulrot	Ja	345	c)	Ford.	-	165	3.37	0.48	49	0.14	++	14.2	R134a	Ja
Rog1	Gulrot	Ja	400	d)	nei	-	86	3.31	0.22	26	0.07	?	6.5	R22	Ja
Rog2	Gulrot	Ja	350	e)	Dyse	Spjeld	62	3.44	0.18	18	0.05	+	5.1	1234z	Ja
Rog3	Gulrot	Ja	1800	d)	nei	Vifte	166	3.29	0.09	50,4	0.03	-	2.8	CO2	Ja
Rog4	Kålrot	Ja	330	d)	nei	-	32	2.42	0.10	13,2	0.04	?	4.0	507a	Ja
Rog5	Kålrot	nei	360	d)	nei	-	90	2.81	0.25	32	0.09	++	8.9	401a	Ja
Inn1	Gulrot	ja	500	a)	nei	Spjeld	57	2.71	0.11	21	0.04	-	4.2	R407c	nei
Inn2	Gulrot	Ja	800	d)	Dyse	-	243*	3.00	0.30	81	0.10	++	10.1	R134a	Ja
Inn3	Gulrot	Ja	3050	c)	Dyse	Spjeld	265	4.05	0.09	65,5	0.02	+	2.1	R1270	nei
Inn4	Kålrot	nei	80	f)	nei	Port	Air	-	-	-	0.00		0.0		
Inn5	Kålrot	nei	180	a)*	nei	Vifte	Air	-	-	-	0.00		0.0		
Inn6	Kålrot	nei	300	b)	Ford.	Vifte	20	3.64	0.07	5,5	0.02	-	1.8	R404a	Ja
Inn7*	Kålrot	nei	3050	c)	Dyse	Spjeld	265	4.05	0.09	65,5	0.02	+	2.1	R1270	nei
Inn8	Kålrot	nei	200	d)	Dyse	-	30*	3.00	0.15	12,6	0.06	+		R22	Ja
Osl1	Gulrot	Ja	2700	c)	nei	Vifte	474*	3.00	0.18	158	0.06	+	5.9	R507a	nei
Osl2	Gulrot	Ja	110	c)	nei	-	66*	3.00	0.60	22	0.20	?	20.0	R22	Ja
Osl3	Gulrot	Ja	350	d)	nei	-	50*	3.00	0.14	16.5	0.05	+	4.7	R22	Ja
Osl4	Kålrot	nei	700	c)	nei	-	200	2.82	0.29	71	0.10	++	10.1	R134a	nei
Osl5	Kålrot	nei	400	a)	nei	Spjeld	126*	3.00	0.32	42	0.11	++	10.5	R407a	nei
Osl6	Kålrot	nei	220	d)	nei	-	50	3.33	0.23	15	0.07	+	6.8	CO <sub>2</sub>	Ja
Osl7	Selleri	nei	300	g)	Ford.	Spjeld	60*	3.00	0.20	20	0.07	+	6.7	134a	Ja
Osl8	Selleri	nei	360	a)	nei	-	114*	3.00	0.32	38	0.11	?	10.6	R410a	nei
Osl9	Selleri	nei	225	d)	nei	Spjeld	77*	3.00	0.34	25.6	0.11	++	11.4	R404a	Ja
Osl10	Selleri	nei	50	b)	Ford.	Vifte	8,4*	3.00	0.17	2.8	0.06	?	5.6	134a	Ja

\*1) Luftsirkulasjonsløsningene refererer til a) Findus, a)\* Findus uten kjøling, b) Græe, c) Omluft-lager med midtstilt fordampner, d) Tradisjonell omluft-lager, e) omluft-lager med kanalføringer, f) betongkjeller uten kjøling. \*2) Kjølekapasiteter merket med \* er ukjent, men kalkulert med energy efficiency ratio (EER/COP) på 3.0. \*3) Tilstrekkelig kuldekapasitet bestemt ved å den sirkulerende lagerluften holder sett-punkt under innlagring, (-) Ikke nok, (+) ok, og (++) mer enn nok. Inn7\* - sammen kjølesystem som Inn3, men et annet kjølerom.

Fra data i Tabell 13 kan man gjennomføre en empirisk bestemmelse av nødvendig kuldekapasitet til lagring av rotgrønnsaker. Vurderingen om de ulike lagrene har tilstrekkelig med kuldekapasitet er gjennomført med bakgrunn i temperaturforløp på lagerluft og produkt under innlagring, som vist i Figur 28.



Figur 28. Eksempler på lufttemperatur (oransje kurver) og produkttemperatur (gulrot) i lager under innlagring med for lite kuldekapasitet (t.v.) og med tilstrekkelig kuldekapasitet (t.h.).

Hvis den sirkulerte lagerluften (oransje kurve) holder en jevn temperatur nært ønsket sett-punkt under innlagring, har kuldesystemet tilstrekkelig kuldekapasitet. Dette kan ses i Figur 28 til høyre. Har kuldesystemet for liten kapasitet, som vist i Figur 28 til venstre, så vil lagerluften ikke holde ønsket kjøletemperatur, og det vil ta lengre tid å kjøle ned produktet, noe som øker respirasjonen. Det er vist i Kap. 3 at det er fordel med en sårhelingsperiode for gulrot etter innlagring. For gulrot vil det ta 3-6 uker å få senket produkttemperaturen, og man har dermed en sårhelingsperiode naturlig. For kålrot og knollselleri vil produkttemperaturen komme ned til ønsket nivå normalt etter 1-3 uker.

#### 4.2.7 Viktige faktorer ved bygging av nye lager

Ulike produsenter vil ha ulike behov og muligheter ved eventuell bygging av nytt lager. Det er derimot en del faktorer som er viktige å vurdere under planlegging av nytt bygg.

**Størrelsen** på lageret må tilpasses kassene i både lengde, bredde og høyde. Valg av kassetype er derfor viktig allerede før lageret bygges. Passer ikke kassene for eksempel i bredderetningen vil man kunne få en større tom kanal langs hele veggen i lengderetningen hvor mye falskluft vil gå. Dette fører til at man bruker vifteenergi på å sirkulere luft som ikke har noen nytte. Man ønsker at luften går over produktet mellom kassene for å sikre like god kjøling av alle kassene. Riktig stabling av kassene for å dekke hele tverrsnittet i lengderetningen er derfor viktig. Dette gjelder også når man tømmer lageret. I høyden bør man ha omkring en kassehøyde opp til taket for å sikre god sirkulasjon av luften.



Figur 29. Eksempel på lagerbygg

I lengderetningen er det flere faktorer å ta hensyn til. Ønsker man å bygge et stort lager, er det viktig å heller bygge et bredere lager med eventuelt flere kjøleaggregater. Blir lageret for dypt (over 12-15 kasser) vil man kunne få utfordringer med luftsirkulasjonen pga. høyt trykkfall gjennom lageret. **Porten** bør i slike lager plasseres i fronten av lageret, slik at man kan kjøre trucken og stable kassene



mot luftretningen. Man vil få et område i front av lageret hvor det ikke er mulig å stable i luftretningen pga. trucken. Her kan man benytte området til å tverrsette kasser 90° i forhold luftretningen. Det er viktig at disse kassene ikke settes tett inntil kassene i luftretningen slik at sirkulasjonen blokkeres. Dette er vist tidligere i Figur 24.

Alternativt kan man bygge et større lager hvor kjøleaggregatene plasseres under taket midt på lageret, og hvor luften suges opp i midten og blåses til hver side. Man skaper da to separate luftstrømmer og deler lageret i to. Det er her viktig at porten plasseres på midten av langsiden slik at man kan bruke trucken til på å plassere kassene til hver side. Man vil få et tomt område på rundt 3 m i midten under aggregatet ved slik stabling. Dette området kan benyttes ved å tverrsette kasser 90° i forhold til de andre, men det er viktig at man ikke blokkerer luftsirkulasjonen mellom kassene til sidene (Figur 27, t.v.), og at det er god nok plass til at luft kan suges opp til aggregatet.

Det vil være en fordel om man etablerer **et flatt tak, eller med liten takvinkel** for å gi jevn lufthastighet over de øvre kassene. Ved stor takvinkel vil luften ut fra kjøleaggregatet miste hastighet når takhøyden øker, for så å måtte presses sammen igjen når taket blir lavere på den andre siden. Dette skaper et trykkfall som i en viss grad reduserer effekten på viften.

**Isolasjonsmaterialer** hvor materialet ikke absorberer fukt er viktig, som f.eks. elementplater. I forhold til varme bygg hvor fuktsperre legges på varm side, vil et kjølelager kunne få utfordringer på grunn av at utelufttemperaturen i lange perioder vil kunne være både over og under temperaturen i lageret, og man vil kunne få kondens i isolasjon som tradisjonell glass- og steinull. For å hindre unødvendig og uønsket varme- eller kuldetap fra lageret må det benyttes isolasjon med U-verdier (isolasjonsevne) mindre enn 0,25 W/m<sup>2</sup>·K for vegger og tak, og mindre enn 0,5 W/m<sup>2</sup>·K for gulv.

## 5 Klimaets påvirkning på lagerluften

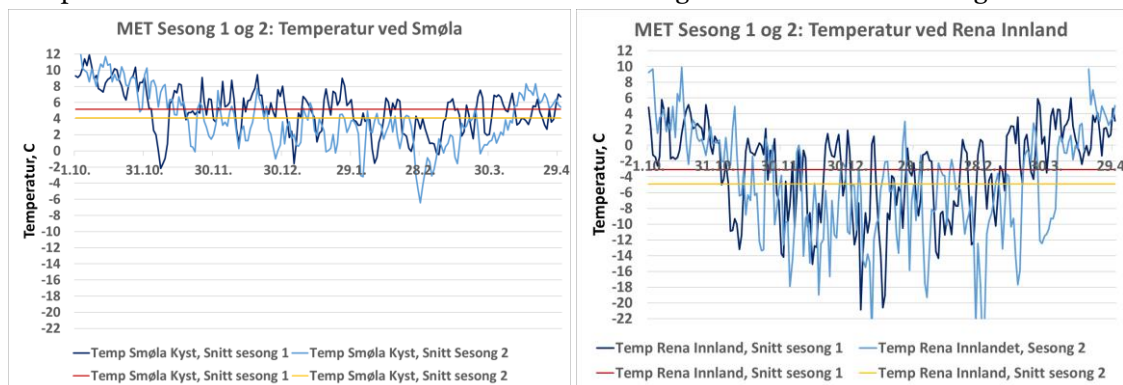
Norge er langstrakt, og ulike områder kan ha svært forskjellig klima. Ved å benytte Meteorologisk institutt sine værdata, og sammenligne disse med målt temperatur og relativ fuktighet inni lagrene, ble det funnet at klimaet påvirker lagerluften.



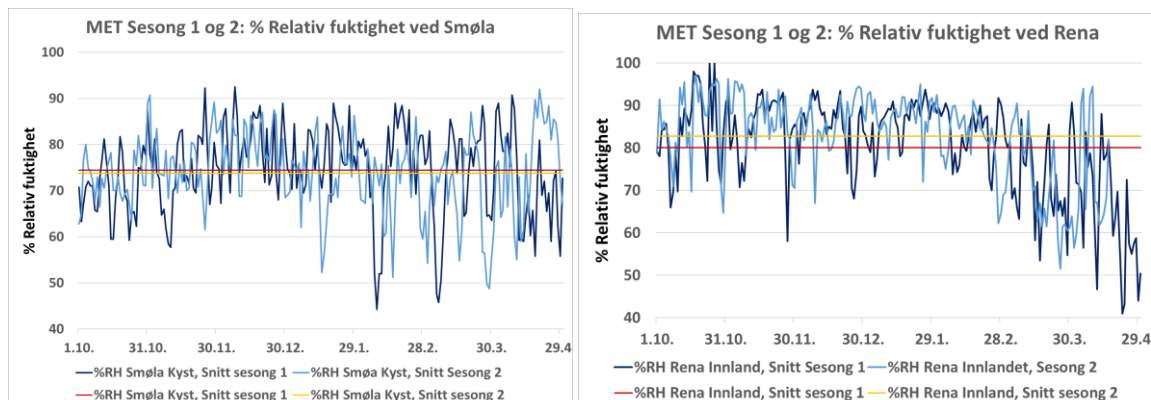
Figur 30. Ulike områder i Norge hvor produsentlagrene er plassert

### 5.1 Temperatur og relativ fuktighet i uteluft

Data fra de meteorologiske målingene for hvert enkelt område er bestemt, og det er stor variasjon i både temperatur og fuktighet mellom områdene. Varmest og tørrest er kystområdene Smøla og Rogaland, og kaldest og fuktigst er Innlandet. Registreringene av ytterpunktene er vist i Figur 31, og de andre lokalitetene ligger mellom disse. Resultatene viser at gjennomsnittstemperaturen under lagringsperioder er 6-8°C høyere i Rogaland og Smøla i forhold til Toten og Rena. Relativ fuktighet er tilsvarende 5-10% høyere i Innlandet i forhold til kystområdene i Rogaland og ved Smøla. Temperaturen er 1-2°C lavere i alle områdene siste sesong i forhold til første sesong.



Figur 31. Registrering av temperatur i uteluft (MET) ved Smøla (t.v.) og Rena (t.h.)



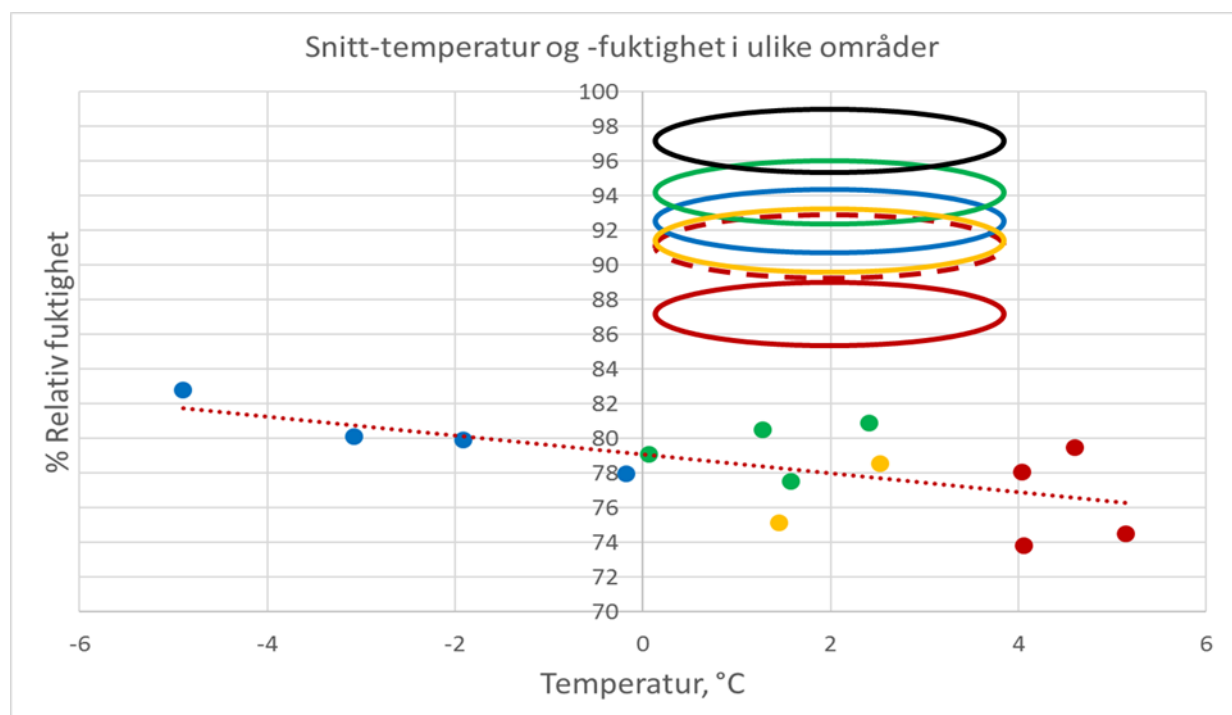
Figur 32. Registrering av relativ fuktighet i uteluft (MET) ved Smøla (t.v.) og Rena (t.h.)

## 5.2 Relativ fuktighet i grønnsaklager

Lagerluft-temperaturen og -fuktigheten ble målt i 17 kjølelager som ikke hadde installert oppfuktere, og 10 lager med oppfuktere. Temperatur og fuktighet varierte noe mellom lager, og mellom ulike områder. Spredningen av temperatur og fuktighet ligger innenfor de fargede ellipsene som vist i Figur 13. (Blå = Innlandet, Grønn = Oslofjord, Gul = Midt-Norge, Rød = Rogaland, Rød-prikket = Smøla).

Ved å plote gjennomsnittlig temperatur mot relativ fuktighet i uteluft ved de ulike områdene (Figur 13, fargede prikker), ser man at områdene med lavere utelufttemperatur (Innlandet, blå prikker) har høyere gjennomsnittlig fuktighet enn kystområdene med høyere temperatur (gule og røde prikker). Plottene refererer til snittverdier pr lagringsperiode (1.okt-30.april) over to sesonger.

Gjennomsnittlig relativ fuktighet i de 10 lagrene med oppfukting (Figur 13, sort ellipse), viser at ved oppfukting vil man kunne øke relativ fuktighet opp til 95-99% fuktighet i lageret, selv ved områder med lav fuktighet i uteluften.



Figur 33. Ved å iverksette oppfukting i lagrene, vil gjennomsnittlig relativ fuktighet i lagrene kunne økes til 95-99% (sort ellipse).

## 5.3 Oppfuktingsløsninger

Som nevnt, så vil relativ fuktighet i kjølelager påvirkes av uteluften og kunne skape utfordringer med uttørking. Dette spesielt i områder av landet med høyere gjennomsnittlige vintertemperaturer som bl.a. ved kysten. Det er i hovedsak tre systemer som benyttes til oppfukting av grønnsaklager, og man vil kunne øke relativ fuktighet opp til 95-99% i lageret.

- Installasjon av kassetter med mange membraner som suger opp fuktighet. En vifte blåser luft gjennom kassetten, og luften absorberer fuktighet fra membranene.
- Dyser plassert i luftkanalene, hvor vann forstøves og tas med av lagerluften som blåses forbi og inn i lageret.
- Duker som henger langs veggene blir dryppet av vann og fordelt over hele duken. Lagerluften tar opp fuktighet fra duken. Metoden skaper mye vann på gulv, og er sannsynligvis den minst effektive.



Figur 34. Ulike måter å oppfukte lagerluft: Gjennom oppfukning av membraner med vifte (t.v.), Tåke/dysespredning (midten), og oppfukning av store duker hengende på vegg (t.h.)

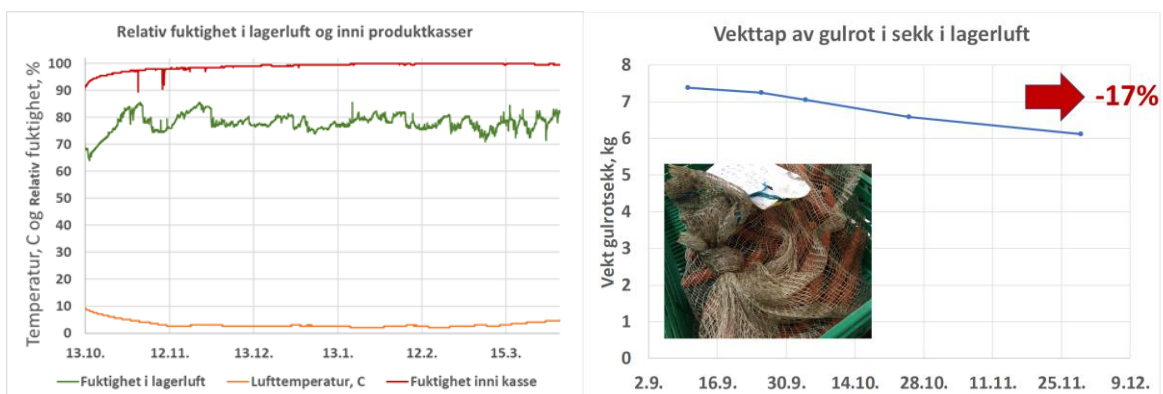
## 5.4 Måling av relativ fuktighet, temperatur og effektbruk

Målinger av relativ fuktighet og temperatur i sirkulerende lagerluft, luft mellom kasser og inni produkt i kassene ble utført med iButton og EasyLog EL-USB-1-LCD dataloggere. Lufthastigheter og -mengder ble målt med TSI 9565 med 995-Probe. Effektmålinger ble utført med Tinytag Energylogger. Kurvene presentert i Kap. 6, viser temperatur fra 1 av de 4 kassene fra hvert lager.

Produktvekttap ble gjennomført ved å veie 4 nettingsekker med produkt (ca 10 kg) før og etter lagring. Sekkene ble gravd ned i 4 forskjellige kasser med produkt ved hvert lager. Produktene for analyse ble høstet fra ett felt og plassert hos de ulike lagrene i samme område.

## 5.5 Uttørking av produkter i tørr lagerluft

Sekkene med produkt ble som nevnt gravd ned i produktkassene. Som vist i Figur 35, er relativ fuktighet inni kassene tilnærmet 100%, og man måler derfor kun respirasjonstap på de sekken som er gravd ned. Det ble gjennomført ett enkelt separat forsøk hvor sekk med produkt ble lagt direkte i den sirkulerende lagerluften. Målinger viser at produkt øverst i hver kasse som er i direkte kontakt med den sirkulerende lagerluften kan tørke ut hvis luften har for lav relativ fuktighet. For rotgrønnsaker er det ønskelig med en lagerluft med lav temperatur rundt 0°C, og høy relativ fuktighet 97-99%. Gulrotprodusenter bruker i all hovedsak plastikk-sekker inni kassene. Figur 35 t.v. viser at relativ fuktighet i lagerluften kan være lav (grønn kurve), men inni produkt-kassene vil fuktigheten være nær 100% (Rød kurve). Vekttap pga. tørking skjer derfor kun i ytre del av kassene hvor produktet er i kontakt med den sirkulerende luften. Vekttap pga. respirasjon øker med økende produkt-temperatur.



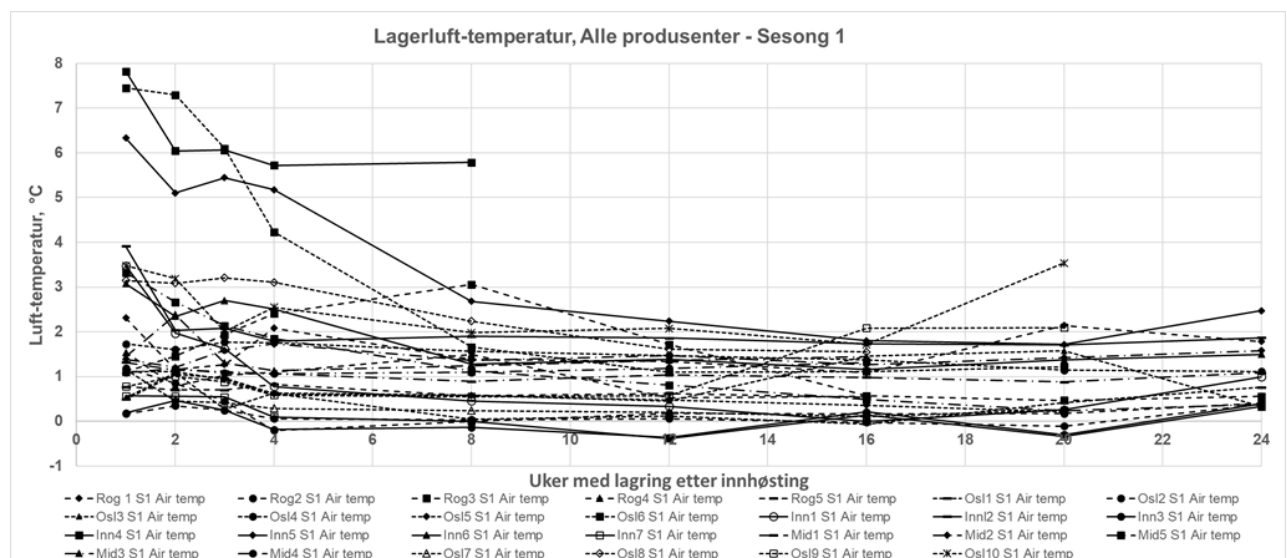
Figur 35. Kurven til venstre viser fuktighet i lager og i kasse med plastliner. Til høyre eksempel på uttørking av røtter i nettingpose lagt direkte i den sirkulerende lagerluften.

## 6 Lagerluft- og produkt-temperatur i grønnsak-lager

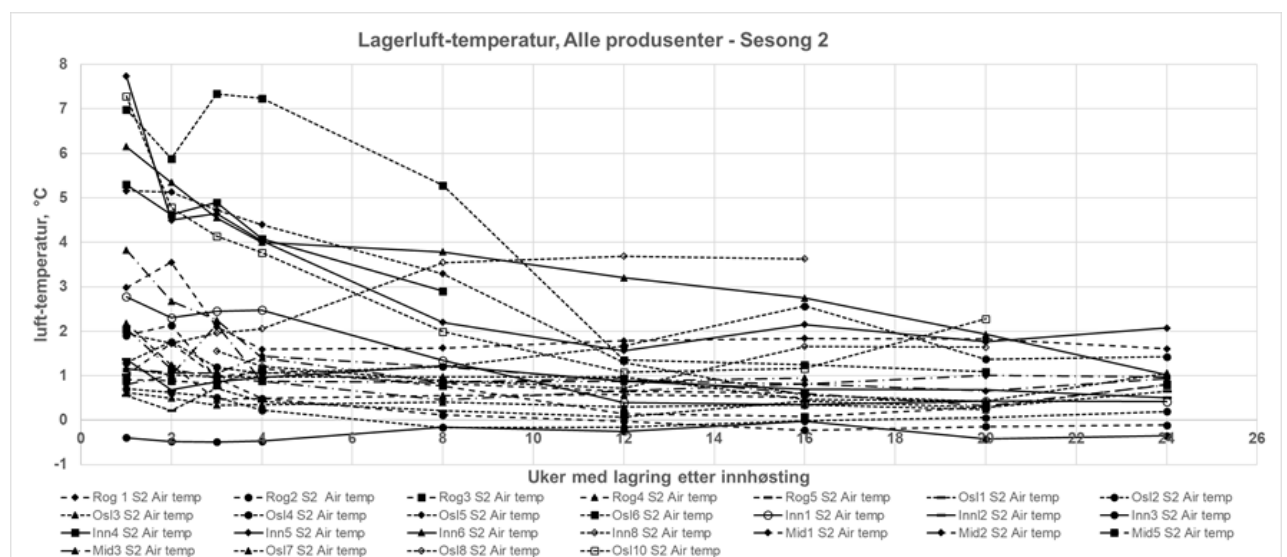
Temperatur og relative fuktighet ble målt i lagerluften ut fra kjøle-aggregatet, i luften mellom kassene og inni produktet i kassene ved 28 kjølelager. Fra figurene 36-43, ser man at både produkt- og lagerluften varierer en god del i temperatur, både når det gjelder tiden det tar å få ned temperaturen til ønsket sett-punkt, og temperaturnivået når lageret er stabilt. Dette vil påvirke maksimal lagringstid. Grafene viser ukentlig gjennomsnittstemperatur gjennom lagringstiden fra september og ut april.

### 6.1 Lagerluft-temperatur i grønnsak-lager

Figur 36 og 37 viser lagerluft-temperaturen i alle kjølelager under lagringsperioden i sesong 1 og 2.



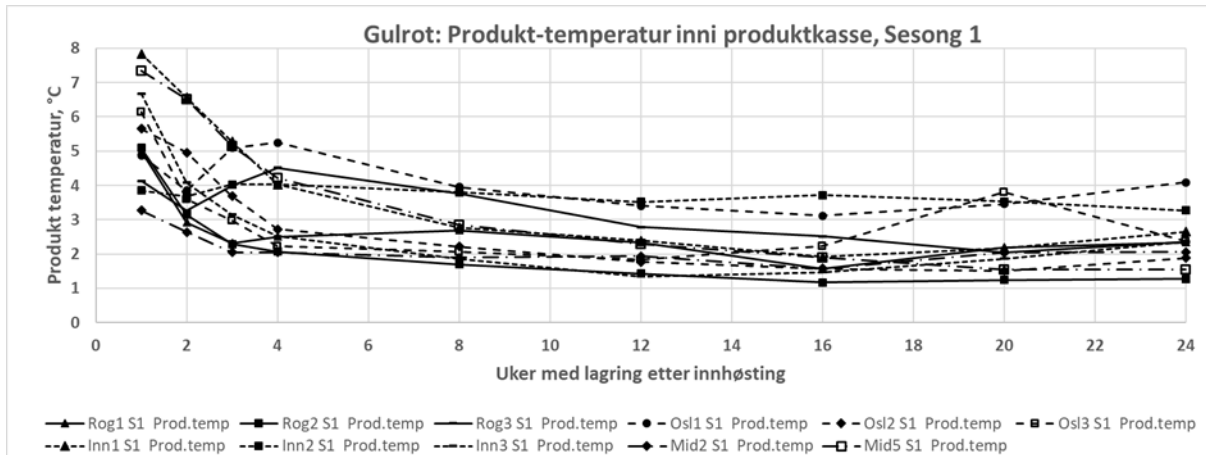
Figur 36. Lufttemperatur gjennom lagringsperiode hos 27 kjølelager i sesong 1, alle produsentene



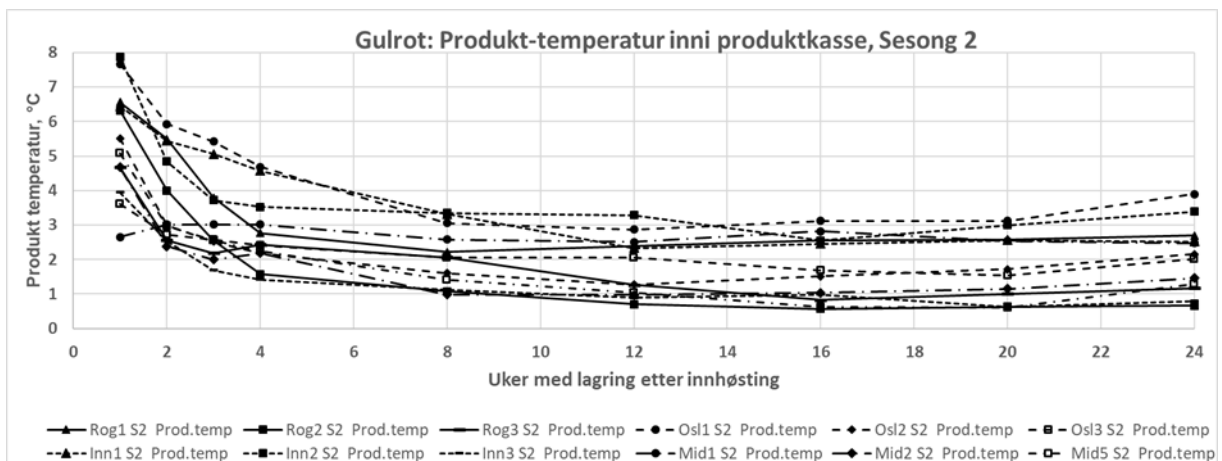
Figur 37. Lufttemperatur gjennom lagringsperiode hos 25 kjølelager i sesong 2, alle produsentene

## 6.2 Produkt-temperatur i grønnsak-lager

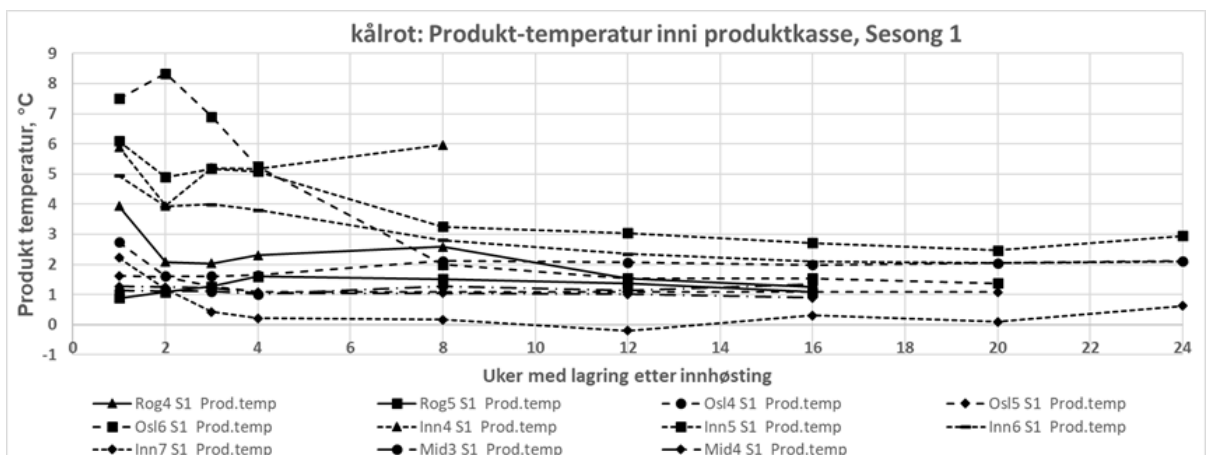
Figur 38 og 39 viser produkt-temperaturen inni kasser i de kjølelager som lagrer gulrot under lagringsperioden i sesong 1 og 2. Figur 40-41 og Figur 42-43 viser tilsvarende produkt-temperatur i de kjølelager som lagrer hhv. kålrot og knollselleri.



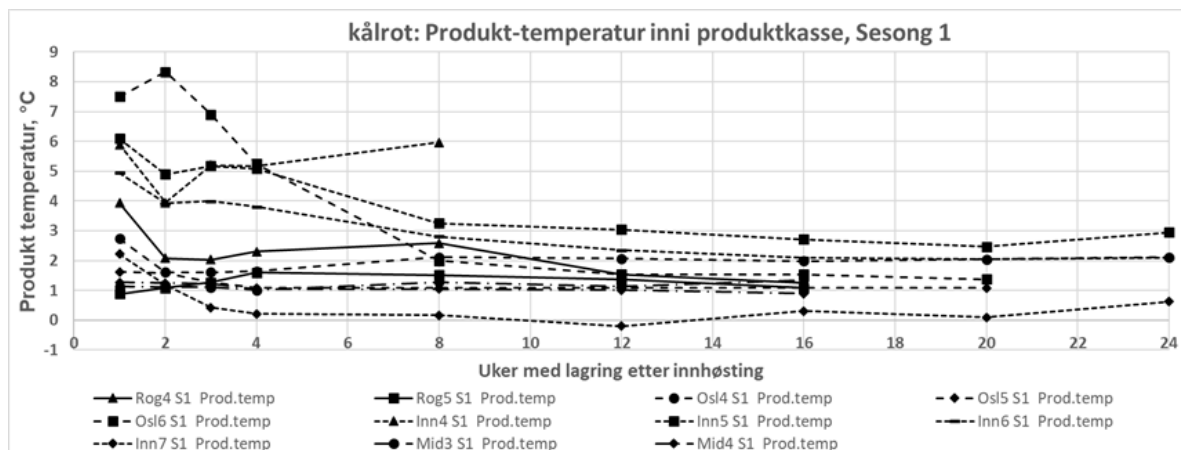
Figur 38. Produkt-temperatur inni gulrot-kasser gjennom lagringsperioden sesong 1.



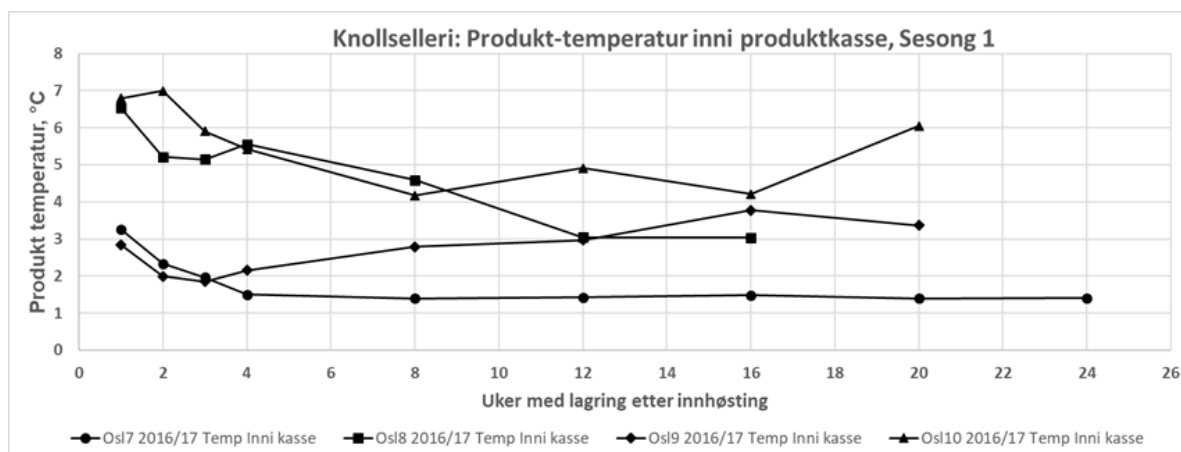
Figur 39. Produkt-temperatur inni gulrot-kasser gjennom lagringsperioden sesong 2.



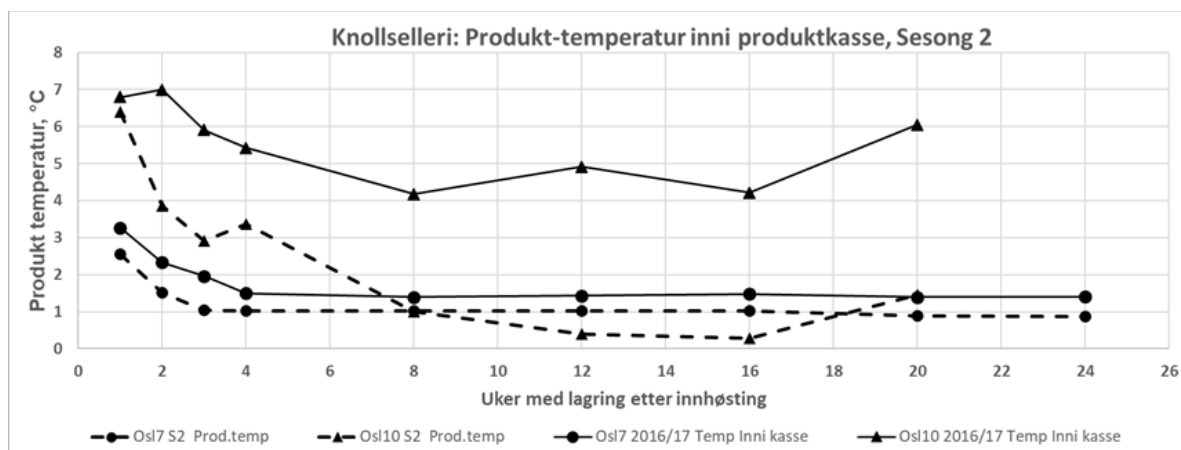
Figur 40. Produkt-temperatur inni kålrot-kasser gjennom lagringsperioden sesong 1.



Figur 41. Produkt-temperatur inni kålrot-kasser gjennom lagringsperioden sesong 2.



Figur 42. Produkt-temperatur inni knollselleri-kasser gjennom lagringsperioden sesong 1.

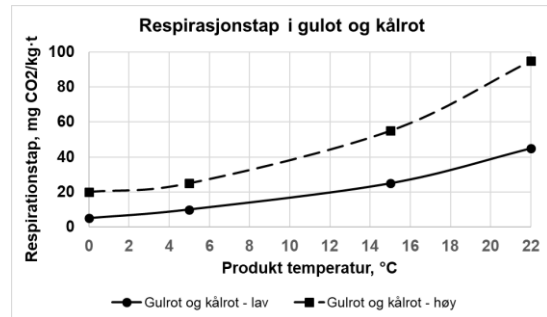


Figur 43. Produkt-temperatur inni knollselleri-kasser gjennom lagringsperioden sesong 2.

### 6.3 Produkt-temperaturens påvirkning på respirasjonstap og holdbarhet

Høstede grønnsaker vil under lagring ånde og respirere kontinuerlig ved at sukker og O<sub>2</sub> omdannes til CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>O. Dette fører til vekttap av produkt og varmeproduksjon i kjølelageret.

Som vist i Figur 44, så er respirasjonstapet avhengig av produktets temperatur. Produkt-temperaturen over tid er viktig fordi holdbarhet reduseres ved økt respirasjon, og belastningen på produktet defineres som døgngader. Med døgngader menes summen av gjennomsnittlig produkttemperatur pr dag over tid. Når vekttapet fra respirasjon er kommet til 20-25 g per kg produkt (Hoftun, 1980) anses produktet for ikke salgbar. Den totale respirasjonen er imidlertid avhengig av flere faktorer, som diskutert i Kap. 3.

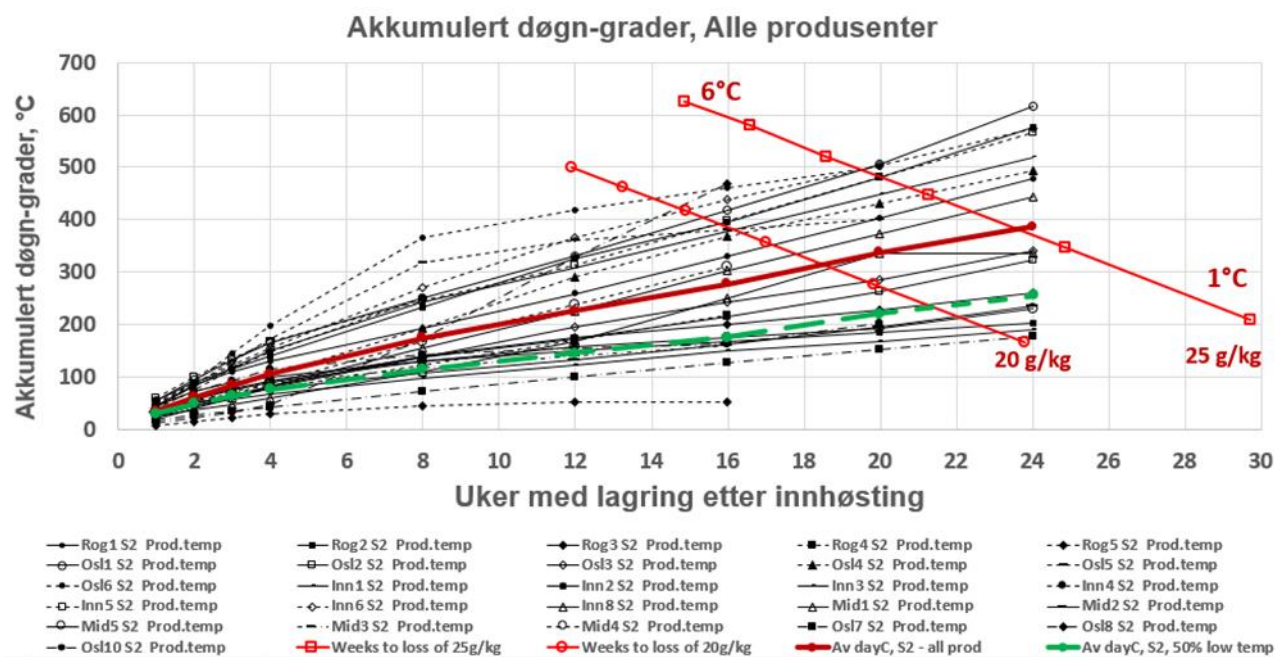


Figur 44. Respirasjonstap avhengig av temperatur

Produktenes akkumulerte døgngader, som er summen av gjennomsnittlig produkttemperatur per dag under lagringsperioden, er presentert i Figur 45. Respirasjon som funksjon av temperatur er ganske lik for gulrot, kålrot og knollselleri, og de ulike produktene er derfor samlet og vist i figuren. De sorte kurvene viser akkumulert produkttemperaturen i kassene hos 28 produsentene over en lagringssesong. Den røde kurven viser gjennomsnittet av alle produsentene, og de lineære røde kurvene viser grensene der akkumulert døgngader kommer til et forventer vekttap på 20-25g/kg og hvor produktene ikke lenger er salgbare.

Den forventede holdbarhetstiden på lager øker fra 12-15 uker til 24-30 uker hvis gjennomsnittlig produkt-temperaturen er 1°C i stedet for 6°C. Gjennomsnittlig døgngrad (rød kurve) for alle produktene viser en forventet lagringstid på 18,5-24 uker. Hvis kjølelagrene med de 50% høyeste produkt-temperaturen optimaliserer og klarer å senke produkttemperaturen til et nivå likt de 50% av lagrene med lavest temperatur (grønn kurve), forventes det at lagringstiden øker med 6 uker, fra 21 til 27 uker.

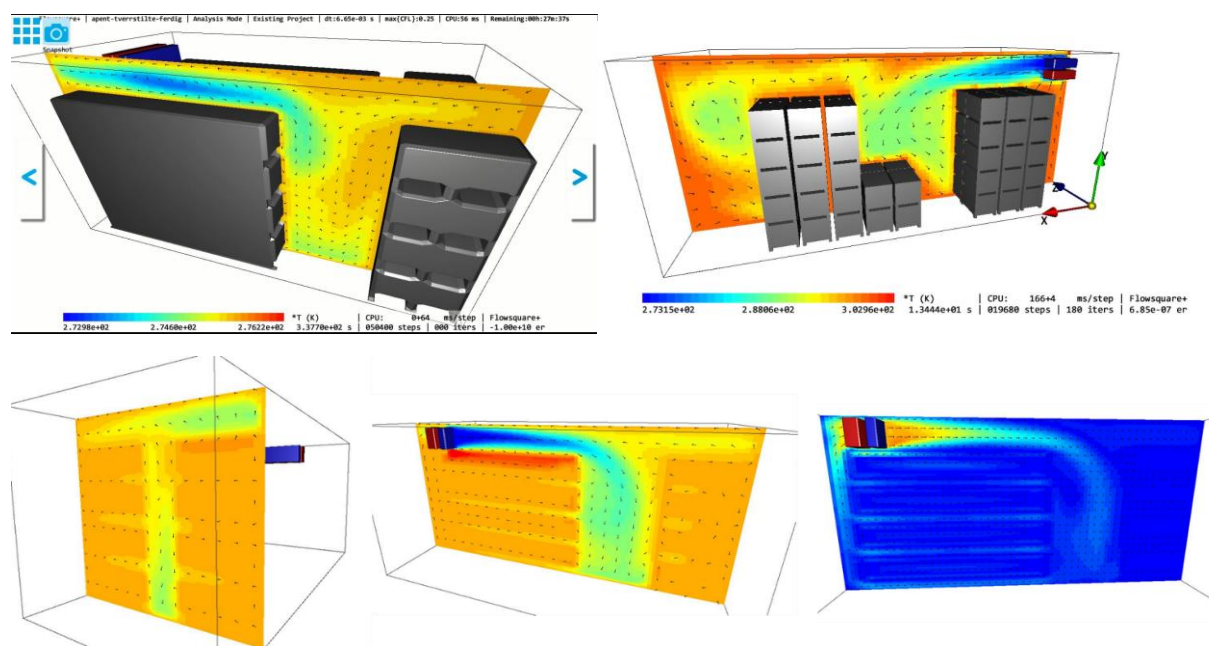




Figur 45. Akkumulert døgngrader for produkt har påvirkning på forventet holdbarhet på lager.

## 6.4 Simuleringer av luftstrømmer og temperaturdistribusjon i lager

CFD simuleringer av luft- og temperatur-distribusjonen under ulike scenarier av kassestablinger i et kjølelager ble utført med FlowSquare+ programvare. Simuleringene verifiserer hvordan luftstrømmer blokkeres hvis kasser stables feil, og viser dannelse av soner med liten luftsirkulasjon hvis kassene i lageret plasseres slik at man får kanaler med større mengder falskluft. Bortsett fra verifikasjonene, har simuleringen mindre betydning for optimalisering av lagerløsninger, da det i realiteten vil være mye endring av kasse-plasseringene under lagrings-perioden med både inn- og uttak av kasser underveis.



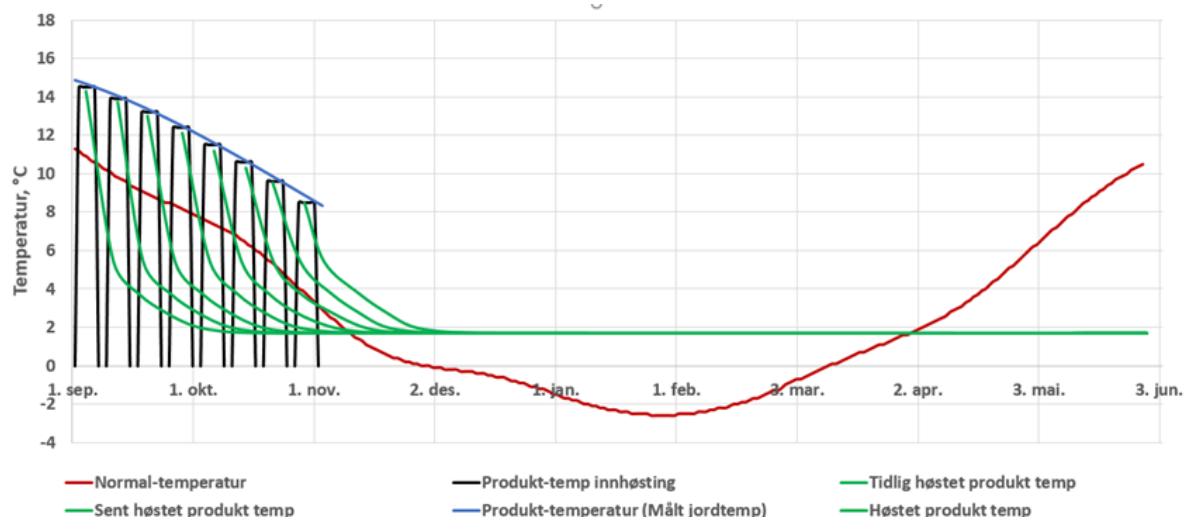
Figur 46. Simuleringer av temperaturfordelingen i kjølelager viser nødvendigheten med riktig kassestabling for å sikre god distribusjon av den sirkulerende luften.

## 7 Beregning av nødvendig kuldekapasitet i kjølelager

Det er vist at produkt-temperaturen under lagring har stor betydning for respirasjon, vekttap og forventet maksimal lagringstid. Dette betyr at lagrene bør ha kuldekapasitet nok til å holde lufttemperaturen på rundt 0°C også under perioden med innsats av større mengder grønnsaker. Selv i lager med produkt som trenger en sårhelingsperiode, som f.eks. gulrot, er det viktig å holde en lav lufttemperatur da det reelt vil ta 4-6 uker før gulrot-temperaturen har kommet ned til ønsket lagringsstabil nivå (Figur 38 og 39).

### 7.1 Kuldebehov

Under kjølelagring av rotgrønnsaker, så vil det være en konstant tilførsel av varme til lageret som vil kreve at man har et kuldesystem som fjerner denne varmen. Varmetilførselen til lageret vil være svært høy under og etter inntak av varme produkter, og bli mindre når produkttemperaturen og dermed respirasjonsvarmen har blitt redusert. Uteluftens temperatur vil samtidig påvirke varmetilførselen, og Figur 47 viser hvordan varmebelastningen fra uteluft og produkt varierer gjennom en lagringsperiode fra september til ut mai.



Figur 47. Varmebelastningen til kjølelageret fra uteluft og produkt varierer gjennom lagrings-perioden.

Gjennomsnittlig temperaturen på uteluften (Figur 47, rød kurve, MET normaltemperatur, her Frosta) synker utover høsten og vinteren og øker igjen på våren. Varmetilførsel gjennom lagerets tak og vegger er derfor høyest på høsten, samtidig med inntak av produkter, og på våren. Produkt-temperaturen ved innhøsting kan følge jordtemperaturen (blå linje, MET, Frosta), selv om produkttemperaturen ved inntak kan variere mye. Ofte blir kasser satt ute over natt for avkjøling, og av og til står kassene i solen, før de kjøres inn på lager. De sorte søylene i Figur 47 simulerer innsats av varmt produkt. Mengde pr dag, og antall dager på rad med høsting er avhengig av sesongvariasjoner, og kan bli ujevnt fordelt innen perioden mellom september og begynnelsen av november. De grønne kurvene viser en fallende varmetilførsel fra produktene etter hvert som produkt-temperaturen går ned.

Kuldebehovet er betydelig større på høsten under inntak og nedkjøling av produktene, enn etter at lageret har blitt stabilt. Det er 4 sentrale belastninger i denne perioden: a) Varmelekkasje inn til bygget, b) nedkjølingsbehovet for produktene, c) fjerning av respirasjonsvarme og d) kondensering på

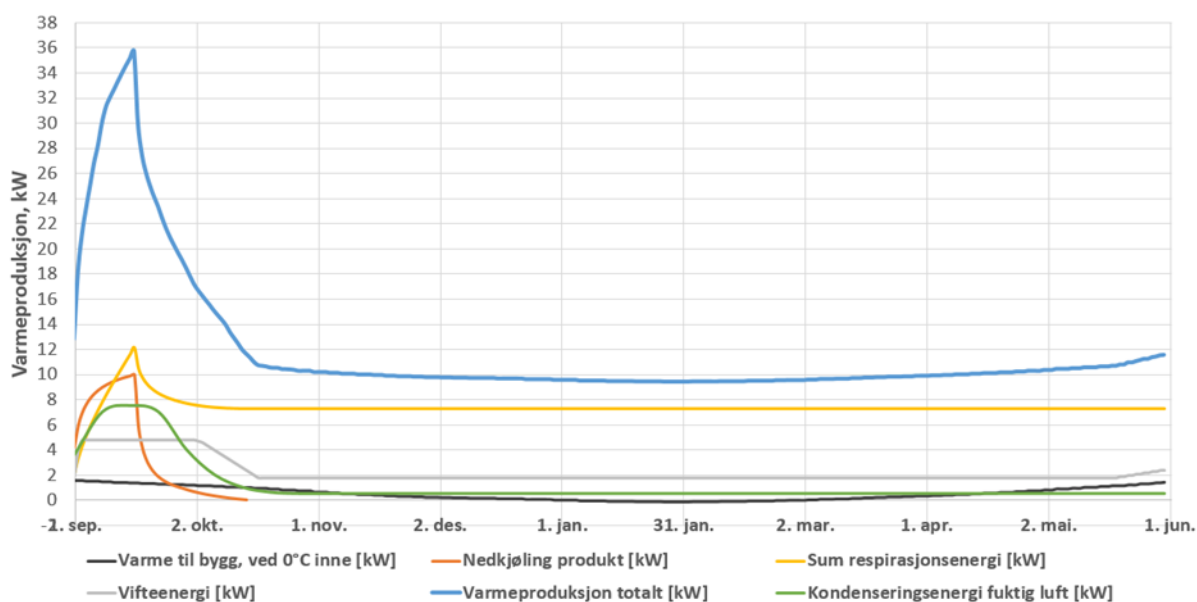
fordamperen av vanndamp fra tørking og respirasjon, som stjeler kjølekapasitet fra kuldesystemet. Denne vil sterkt variere avhengig av flere faktorer som bl.a. fuktig jord.

## 7.2 Beregning av nødvendig kuldekapasitet i kjølelager

Som vist, så vil nødvendig kuldekapasitet i et kuldesystem være betydelig høyest under og etter innhøsting. Det er utviklet et nytt regneverktøy (NLR) som benytter Meteorologiske temperaturdata (luft og jord, MET) fra hele landet, bygningsmessige egenskaper, samt de ulike grønnsakenes respirasjonsenergi til å beregne nødvendig kuldekapasitet i kjølelager. Regneverktøyet har vist at man i enkelte områder av landet har grunnlag for å designe kuldesystemer som har 20% mindre kapasitet, og som dermed er rimeligere, enn tidligere tradisjonelle beregningsverktøy.

Figur 48 viser beregnet kuldekapasitet i et tradisjonelt lager med kapasitet på 300 tonn gulrøtter. Det benyttes varmetilførsel som vist i Figur 47. Innfylling av produkt foregår her over 18 døgn, og med 4 uker nedkjølingstid på produktet. Jordtemperatur er benyttet som inngangstemperatur på produkt.

- Sort kurve: Varmetilførsel fra uteluften gjennom tak, vegger og gult
- Grå kurve: Vifteenergi for å skape luftsirkulasjon i lageret.
- Grønn kurve: Kondenseringsenergi på fordampere pga. vanndamp i lagerluften. Variabel.
- Oransje kurve: Varme tilført lagerluften fra produktet under nedkjøling i kassene.
- Gul kurve: Respirasjonsvarme fra produktene.
- Blå kurve: Total varmeproduksjon gjennom lagringsperioden.

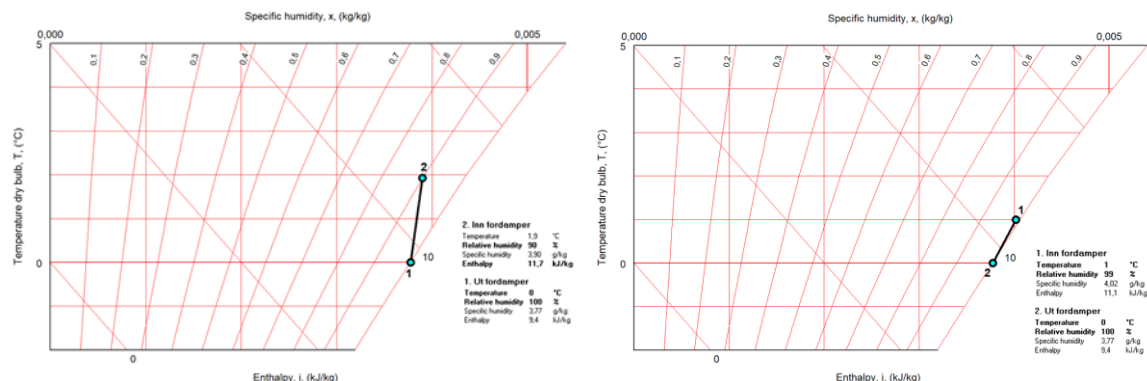


Figur 48. Varmeproduksjon i under kjølelagring av 300 tonn produkter gjennom lagringsperioden

Bakgrunnsdata for beregningene:

- Varmetilførsel fra uteluft med snittemperatur på  $10,7^{\circ}\text{C}$ , gjennom tak ( $133\text{m}^2$ ,  $U = 0,19$   $\text{kW/m}^2\text{K}$ ), vegger ( $292\text{m}^2$ ,  $U = 0,18$   $\text{kW/m}^2\text{K}$ ), og gulv ( $128\text{m}^2$ ,  $U = 0,36$   $\text{kW/m}^2\text{K}$ ),
- Vifteenergi fra 2 fordampere med til sammen 6 stk.  $0,8$  kW vifter.

- c) Kondenseringsenergi på fordamper pga. vanddamp i lagerluften. Lagerluften inn på fordamper under inntaksperioden er 1,9°C, 90%RH, og etter stabilt lager er denne 0,7°C, 99%RH. Ut av fordamper er luften satt til 0°C, 100%RH. Beregning av kondensert vann på fordamper fra software Mollier sketcher 2.1b

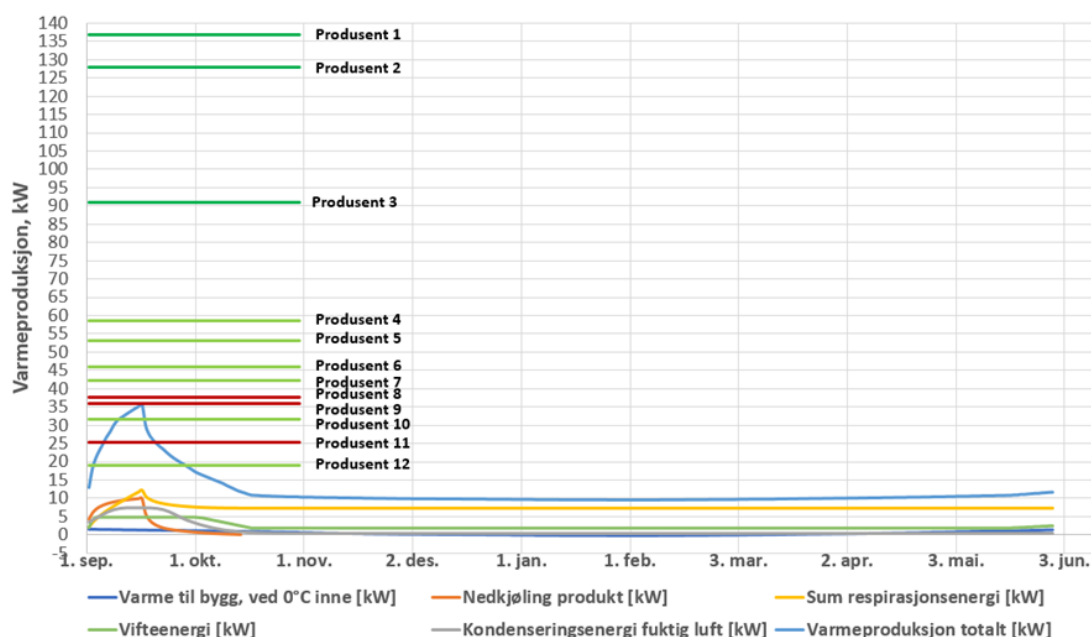


Figur 49. Luftparametere i lagerluft satt inn i Fuktluft-diagram (Mollier)

- d) Varme under nedkjøling av produkt. Produkttemperatur satt til 14,8°C, snittemperatur ved inntak i henhold til MET jordtemperatur. Temperaturforløp under nedkjøling av produktene er satt lik målt produkttemperatur som vist i Figur 38 og 39.
- e) Respirasjonsvarme fra gulrøtter beregnes ut fra formelen  $Q = 0,286x^2 + 2,286x + 20,3$ , hvor x er produkttemperatur og variabel i henhold til temperaturforløpet på produktet under kjøling.
- f) Total varmeproduksjon gjennom lagringsperioden er summen av alle varmebelastningene.

### 7.3 Kuldekapasiteter målt i grønnsaklager

Kuldekapasiteter er bestemt for 28 kjølelager, og vurdert opp mot reelle temperaturmålinger på produkter under innlagring og avkjøling for bestemmelse om lagrene har tilstrekkelig med kuldekapasitet. Figur 50 viser kuldekapasiteten i lager til 12 gulrotprodusenter.



Figur 50. Beregnet kuldekapasitet i 12 gulrotlager mot beregnet nødvendig kuldekapasitet.

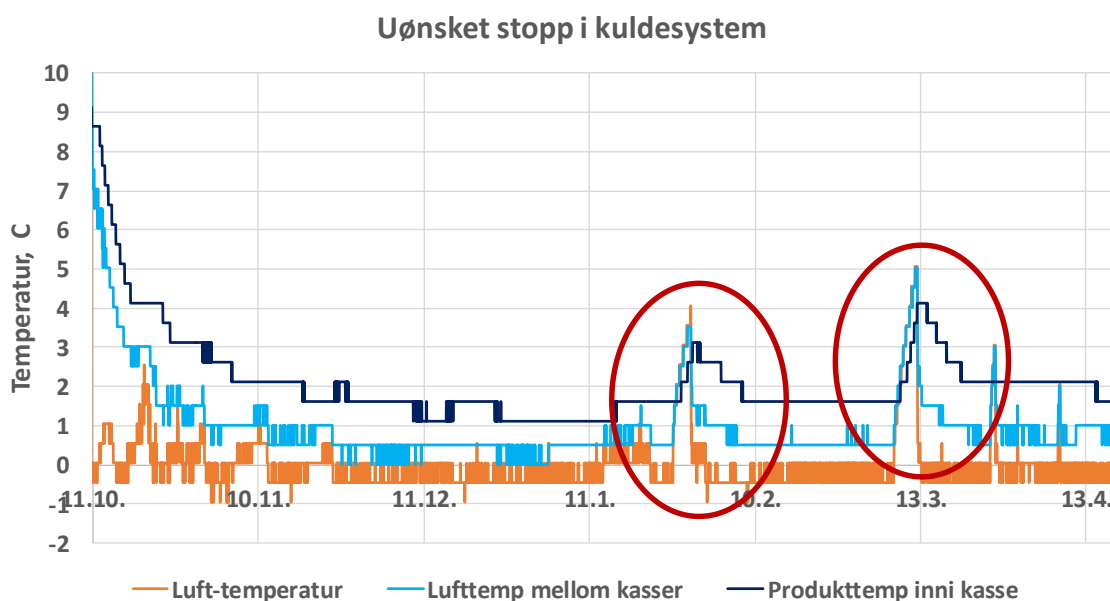
De spesifikke kuldesystemene hos hver produsent er mer beskrevet i Tabell xx. Ut fra Figur 50 er det noen punkter det er verdt å merke seg når det gjelder nødvendig kuldekapasitet.

- a) Kuldekapasiteten i et lager med 300 tonn gulrot må være over 40 kW, eller rundt 13 kW pr 100 tonn. Det samme lageret kan ha litt lavere kuldekapasitet hvis man lagrer kålrot eller knollselleri, da det er 15-20% mindre vekt pr kasse i forhold til gulrot som er vist i Figuren.
- b) To av produsentene merket med røde linjer (Produsent 8 og 9) synes å ha tilstrekkelig med kuldekapasitet, men dette er eldre systemer, sannsynligvis med lavere virkningsgrad COP enn 3. Det er installert effekt på kompressor og COP = 3 som ligger til grunn for kuldekapasiteten på anlegget.
- c) To kjølelager med lavere kuldekapasitet enn det som er beregnet nødvendig viser god nok kjøling (lysegrønne linjer, produsent 10 og 12). Dette er større lager, men flere kjøleceller og felles kuldesystem. Produktene og belastningen under inntak fordeles over en lengre periode, og toppbelastningen vil derfor kunne være mindre enn vist i figuren.
- d) Tre kjølelager (Produsent 1, 2 og 3) har installert store kuldesystemer med mye høyere kapasitet enn beregnet nødvendig. Investeringskostnaden for disse kuldesystemene vil nødvendigvis bli noe høyere enn nødvendig, men energieffektiviteten kan være minst like god. Dette forutsetter god styring på systemet, med frekvenskontroll på både kompressorer og vifter.

## 7.4 Vedlikehold av kuldesystemer

Som alt annet mekanisk utstyr, må kuldesystemene få jevnt og godt vedlikehold. Dette krever innleie av kuldetechnikere, og vil medføre en kostnad. Det er mange eldre kjølesystemer rundt omkring, og vedlikeholdet har vært svært variabelt. I løpet av sesong 1 hadde 11 av 25 produsenter stopp på kjølemaskinen, og 7 av 25 i sesong 2. Selv korte stopp på en dag eller to, vil føre til å respirasjonen i produktene øker produkttemperaturen, og det tar gjerne en uke å senke denne igjen.

Dette er spesielt kritisk mot slutten av lagringsperioden, da sykdommer har blitt undertrykt av lav temperatur i lang tid. Produsenten det refereres til i Figur 51 hadde den ene sesongen to uønskede stopp under lagrings-perioden. I løpet av to uker etter siste temperatur-brudd ble det registrert et enormt sykdomsutbrudd som gav stort svinn. Det er derfor viktig å gjennomføre vedlikehold for å redusere risikoen for maskinbrudd.



Figur 51. Viktig med vedlikehold av kuldesystemer for å hindre brudd i kjølekjeden

## 8 Fremtidens kuldesystemer til rotgrønnsaklagring

28 eksisterende kjølelager har blitt undersøkt med hensyn til egnede egenskaper for lagring av rotgrønnsaker. Uavhengig av om lagrene har systemer med nok kuldekapasitet eller ikke, så er en generell utfordring i næringen at de aller fleste lager har kuldesystemer med kuldemedier som vil bli faset ut i årene som kommer. Dette fører til at produsenter må planlegge for utskifting av kuldesystemer for å sikre kontinuerlig kuldekjede gjennom lagringsperioden. Miljøvennlige og fremtidsrettede kuldesystemer vil måtte være energieffektive, ha god styring og regulering, effektive avrimingsløsninger, og kunne utnytte overskuddsvarmen.

### 8.1 Utfasing av tradisjonelle kuldemedium

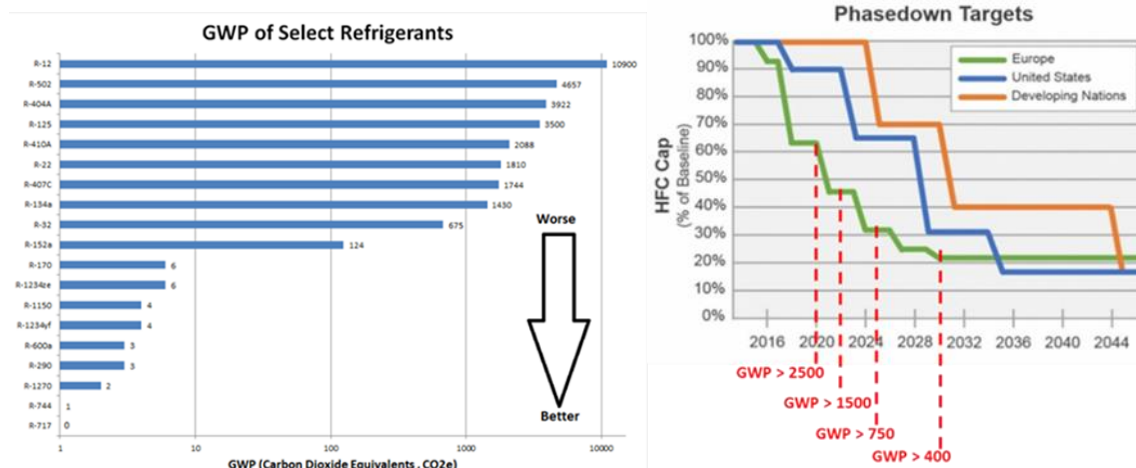
I alle kuldesystemer sirkulerer et kuldemedium, og tradisjonelle kuldemedier fases nå ut på grunn av svært høy CO<sub>2</sub>-effekt hvis disse gassene slippes ut i atmosfæren. Gassene har spesifikke tall på GWO (Global Warming Potential) som vist i Figur 53. Ser man f.eks. på kuldemediet R404a som har en GWP på rundt 4000, så betyr dette at hvis man får lekkasje på kuldesystemet, så vil ett kilo gass tilsvare 4000 kg CO<sub>2</sub> ut til atmosfæren. Mengde gass i kuldesystemer til grønnsak-lager varierer fra mellom 10-200 kg avhengig av teknologi. Ser man bort fra energi-bransjen (olje, gass og kull), så er kuldesystemer den faktoren i verden som alene kan påvirke CO<sub>2</sub>-utslipp mest. Dette har ført til at over 170 land i FN har signert klimaavtalen som pålegger alle land å fase ut kuldemedier med høy GWP. Frem til dato for utfasing, vil avgiften på gassene øke betydelig. Flere av de undersøkte lagrene vil måtte betale over 100.000,-, kun i avgift for å etterfylle gass hvis man får fullstendig lekkasje.

De undersøkte kjølelagrene har stor variasjon i bruk av kuldemedier, og dette er vist i Tabell xx. Seks av produsentene har kuldesystemer med kuldemedium det lenge har vært forbudt å fylle på nytt (R22 og R401a), og det vil bli flere i årene som kommer. Dette betyr at om produsentene får lekkasje på systemet, så vil det ikke være sikkert mulig å kjøre anlegget i gang igjen. Det er vist at 10-15% av kuldemedium i industrielle anlegg lekker ut hvert år (EU), så risikoen er reell.

Figur 52 viser med rødt kryss de lagrene som frem til 2030 vil få utfordring med etterfylling av ny gass hvis man får lekkasje.



Figur 52. Rødt kryss viser de lagrene med kuldemedium som fases ut.



Figur 53. Mange tradisjonelle kuldemedier har høy GWP (t.v.), og fases ut i kommende år (t.h.).

Tabell 14. Kjølemedium i de undersøkte grønnsakslagrene

Produsent	Kuldemedium	GWP	Utfasingsår (EU)
Rog4, Osl1	R507a	3985	2020
Inn6, Osl9	R404a	3922	2020
Mid1, Mid2, Mid4, Osl8	R410a	2088	2022
Inn1, Osl5	R407a	2107	2022
Mid5b, Inn2, Osl4, Osl7, Osl10	R134a	1430	2025
Rog5	R401a	1182	Forbudt pga Ozon-nedbrytn.
Mid5, Rog1, Inn8, Osl2, Osl3	R22	1810	Forbudt pga Ozon-nedbrytn.
Mid3, Rog2	R1234ze	7	
Inn3 = Inn7	R1270	2	
Rog3, Osl6	CO <sub>2</sub> /R744	1	

Det har de siste 10 årene blitt utviklet et bredt spekter av miljøvennlige kuldesystemer med forskjellige kuldekapasiteter, hvor CO<sub>2</sub>, propan/butan, ammoniakk, og det syntetiske stoffet R1234ze er alternativer. Alle har fordeler og ulemper, men er svært gode og miljøvennlige kuldemedier. De tradisjonelle kuldemediene har også mange ulemper. Når det gjelder kuldemediene med lav GWP vil de negative egenskapene være: CO<sub>2</sub> er en kvelningsgass, ammoniakk er giftig, propan og butan er brannfarlig, og R1234ze avgir ekstremt giftige gasser ved brann. Gode og sikre deteksjonssystemer gjør likevel at slike kuldesystemer er svært trygge løsninger.

## 8.2 Kompakte kuldesystemer

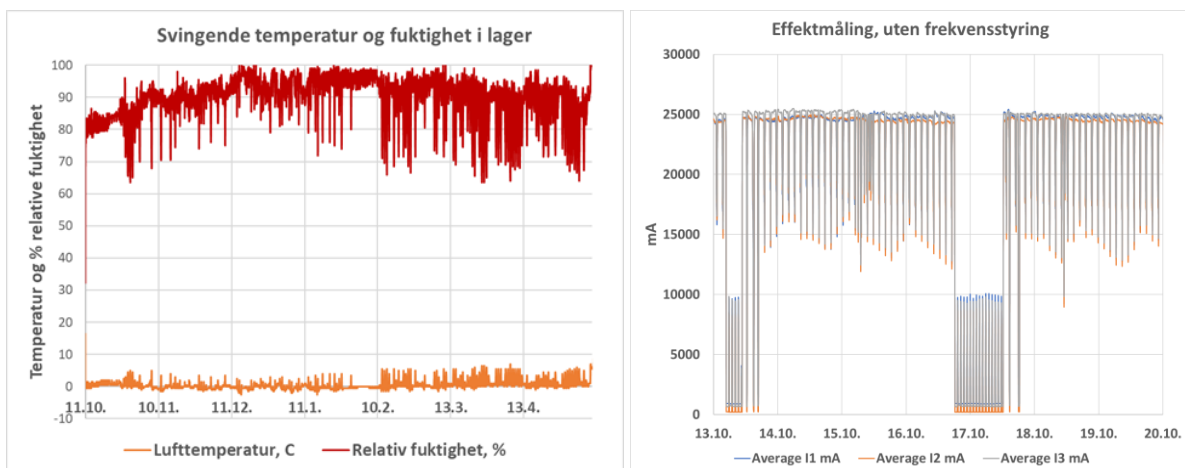
Et par kuldeleverandører har utviklet spesielt kompakte kuldesystemer beregnet for grønnsaklagring. Det er erfart at disse kan leveres med både R1234ze og propan som kuldemedium. Flere av produsentene har bygd nye lager med dette systemet som er standardisert mot 300-tonns lager, og har oppgitt 62 kW kuldeytelse, med 18 kW installert effekt på kompressor, samt 3 vifter og oppfukning med bruk av dyser i luftkanalene. Løsningen er vist i Figur 54.



Figur 54. Kompakt kuldesystem for grønnsaklager. Inne-del med fordampere og kanalføringer (t.v.) og ute-del med kompressor-rom og kondensator (t.h.). Oppfuktingsdyser kan plasseres i kanalene som blåser luften opp og over kassene (Foto: Grimme Skandinavia AS).

Systemene leveres standard uten frekvenskontroll på kompressor og store vifter noe som gjør at anlegget leverer svært mye luft, og vil starte og stoppe ofte når kuldebehovet varierer. Det ble gjennomført effektmåling på systemet, og Figur 55 viser hvordan effektforbruket svinger mye når anlegget starter og stopper ofte. Målingene viser et effektforbruk på 17,4 kW (400V·25.200mA·1,73) når kompressoren går med maksimal effekt, noe som er i henhold til oppgitt installert effekt fra leverandør.

Erfaringsmessig må produsenter dekke til øvre del av produktet med presenning for å redusere uttørking pga. den høye lufthastigheten. Samtidig vil temperatur og relativ fuktighet svinge mye i lageret pga. start og stopp på kuldesystemet og ikke trinnvis regulering. Dette vil igjen føre til økt uttørking av produktene.



Figur 55. Kompakt kuldesystem for grønnsaklager uten frekvensomformere gjør at anlegget starter og stopper ofte (t.h.), og gir svingende temperatur og fuktighet (t.v.).

### 8.3 Design av miljøvennlige kuldesystemer

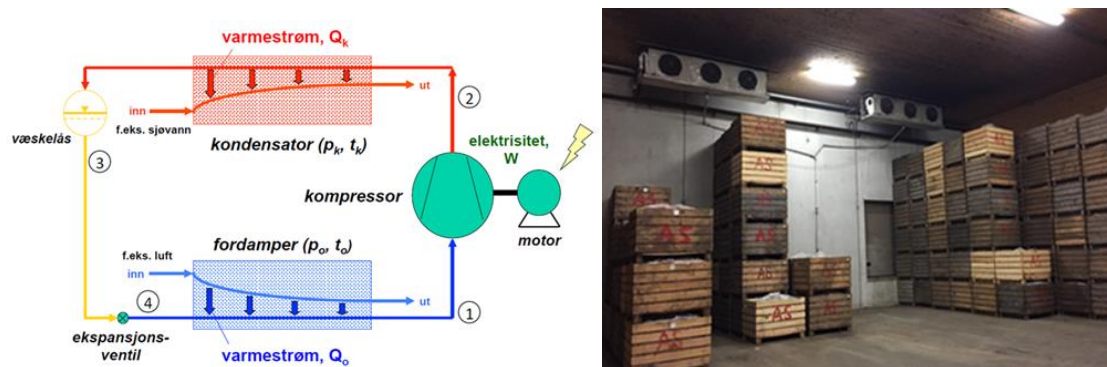
Med de utfordringene rundt utfasing av tradisjonelle kuldemedier, og et forholdsvis høyt energiforbruk rundt drift av kjølelager, så er det viktig å bygge miljøvennlige og energieffektive



kuldesystemer i fremtiden. Forenklet kan man si at de 4 viktigste komponentene i et kuldesystem (Figur 56) er

- kompressorsystemet bruker strøm, og som normalt står plassert i eget maskinrom eller inni en kjølemaskin ute,
- fordamperen som avkjøler den sirkulerende luften på lageret. Denne plasseres avhengig av valg av lagertype som presentert i kap. 4.
- kondensatoren som dumper overskuddsvarmen til uteluft. Ved bruk av CO<sub>2</sub>: kondensator = gasskjøler.
- Ekspansjonsventil til trykkregulering av kuldemediet

Har man bestemt hvor stor kuldekapasitet man ønsker å ha i lageret, så vil optimalt valg av komponentene i kuldesystemet best utføres av seriøse kuldeleverandører som jobber med miljøvennlige kuldemedier. Disse har beregningsprogrammer og god oversikt over hvilke komponenter fra hvilke leverandører man kan velge. Beregningsprogrammene finner forventet energieffektivitet for ulike valg av komponenter.



Figur 56. Prinsippkisse av et kuldesystem (t.v.) og plassering av fordamper i tradisjonelt omluftslager (t.h.)

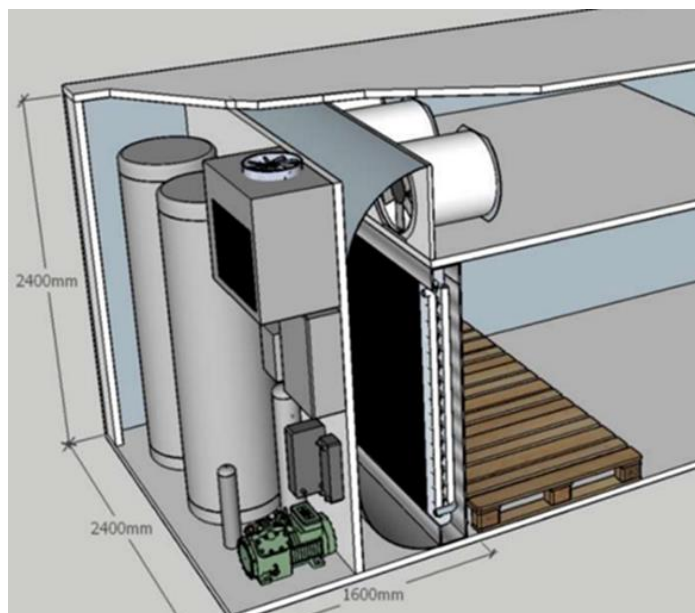
Det er en del faktorer for design av kuldesystem som gir mer optimale, stabile og energieffektive systemer. Oppsummert er dette:

- Miljøvennlig kuldemedium
- Utnyttelse av overskuddsvarmen
- Utnyttelse av kald uteluft
- Direktefordampning mot sirkulerende glykol
- Stabil relativ fuktighet i lageret, oppfukting-systemer
- Stabile temperaturer i lageret
  - Fordamperoverflate
  - Frekvensregulering av kompressorer og vifter
  - Avriming

## 8.4 Tekniske løsninger for fremtidens kuldesystem

For å synliggjøre mulighetene og viktigheten med riktig valg av komponenter, systemer og løsninger, er det her valgt å benytte et design av et nytt system med CO<sub>2</sub> som kuldemedium som eksempel. Dette

systemet er laget for en kjøletunnel, men kan enkelt tilpasses et kjølelager. Systemet utnytter overskuddsvarmen til å produsere varmt vann.



Figur 57. Nytt CO2 kuldesystem med utnyttelse av overskuddsvarmen til produksjon av varmt vann (Foto: Winns AS)

CO<sub>2</sub>-kjølesystemet er designet med en kjølekapasitet på 36 kW, tilsvarende det som er nødvendig til å kjøle 300 tonn rotgrønnsaker i et lager. Systemet består av en elektronisk ekspansjonsventil, og en frekvensstyrt stempelkompressor (12 kW installert effekt) hvor effekt faktoren er beregnet til å være 3,0, dvs. man bruker 1 kW strøm for å produsere 3 kW kulde. Viftene sirkulerer 30.000m<sup>3</sup> luft pr time ved 4,5 kW. Fordamperen har stor overflate for å minimere nødvendig  $\Delta T$  over fordamperen. Gasskjøleren (kondensator) varmer springvann fra 6-10°C til 70°C, og lagrer dette i 2x 400 liters isolerte tanker. En 3-veis ventil regulerer overskuddsvarmen til en sekundær gasskjøler som dumper denne til uteluft hvis behov for varmt vann ikke er tilstrekkelig.

#### 8.4.1 Miljøvennlig kuldemedium

Det er viktig at nye kuldesystemer bygges med bruk av kuldemedier med lav GWP, da tradisjonelle kuldemedier fases ut i årene som kommer. CO<sub>2</sub>, propan/butan, ammoniakk, og det syntetiske stoffet R1234ze er alternativer. Alle har fordeler og ulemper, men er gode og miljøvennlige kuldemedier. CO<sub>2</sub>-systemer har en særdeles fordel hvis man ønsker å utnytte overskuddsvarmen til å produsere varmt vann.



Figur 58. Aktuelle miljøvennlige kuldesystem: CO<sub>2</sub> (t.v.), propan (midten) og R1234ze (t.h.) Foto: SINTEF, Felzer og Grimme AS.

## 8.4.2 Utnyttelse av overskuddsvarmen

Med bakgrunn i et 300 tonn kjølelager vil man måtte fjerne rundt 36 kW med varme, samt over 4 kW vifteenergi. Dette betyr at over 40 kW varme er tilgjengelig når kuldesystemet går maksimalt. Vanligvis dumpes denne varmen til uteluften gjennom kondensatorer ute. Ved å fange denne varmen i vann og produsere varmt vann, kan denne energien "gratis" brukes til f.eks. varmtvann til vasking av produksjonslokaler, oppvarming av lager og bygninger, eller til oppvarming av veksthus. Ved maksimal drift på kuldesystemet vil over 500 liter vann med 70°C kunne produseres pr time med bruk av CO<sub>2</sub> som kuldemedium.

$$(m_{\text{vann}} = C_{p_{\text{vann}}} [\text{kJ/kgK}] / (\Delta T [\text{K}] * Q [\text{kW}]) = 4,2 [\text{kJ/kgK}] / (63 [\text{K}] * 40 [\text{kW}])$$



Figur 59. Overskuddsvarme til varmtvann (t.v.), bygningsoppvarming (midten) og veksthus (t.h.)

## 8.4.3 Utnyttelse av kald uteluft

Alle kjølelager til grønnsaker er utstyrt med en form for luftutskifting ut fra lageret for å kunne redusere CO<sub>2</sub> nivået i lagerluften slik at produktkvaliteten opprettholdes. Noen benytter vifter i vegg, mens andre bruker spjeld som kan være både manuell eller automatisk styrt. Innsug av for mye, og feil uteluft forstyrrer stabiliteten på lageret. Det er mest optimalt å suge inn uteluften i forkant av fordampere, slik at kulden fra uteluften avlaste kuldesystemet og dermed sparer energi. Viftene i fordampere skaper et undertrykk slik at uteluften suges inn uten egne vifter. For å regulere luftfuktigheten i lageret bør oppfuktere plasseres etter fordampere.

Justering av spjeld for å slippe inn uteluft bør styres automatisk hvor både temperatur og CO<sub>2</sub>-nivå styrer åpningen av spjeldet. Utskifting av lagerluft med høy CO<sub>2</sub> er nødvendig også når uteluften har høyere temperatur enn lageret. Den varme uteluften vil øke belastningen på kuldesystemet både i form av å senke lufttemperaturen, men også ved at fukt kondenseres på fordampereoverflaten. Ved for brå innslipp av uteluft vil ikke kjøleaggregatet kunne holde en stabil temperatur i lageret.



Figur 60. Automatisk spjeld for innslipp av uteluft

Det er viktig å vite at uteluft som er kaldere enn lagerluften blir tørrere inne i lageret ettersom denne får en viss oppvarming når den blandes med lagerluften, og relativ fuktighet faller. Med dette som bakgrunn skulle man anta at lagerluft i indre kalde strøk i Norge hadde større utfordringer med tørre lager enn varmere kyst-strøk. Som vist i kap. 4 er imidlertid dette ikke reelt. Dette skyldes at det i varmere kyst-strøk er større varmebelastning på lageret fra uteluften, og at kjøleaggregatet går i lengre perioder og tørker ut luften

#### 8.4.4 Direktefordampning mot sirkulerende glykol

Kuldesystemet overfører kulde til den sirkulerende lagerluften ved at kuldemediet fordampner inni fordampneren. Det kreves energi for at kuldemediet skal kunne fordampe fra væske til gass, og denne henter den fra luften som blåses igjennom fordampneren, og avkjøles. Dette kalles direktefordampning. Her sirkulerer kuldemediet i rør fra kompressor-systemet ut til fordampneren som er plassert i lageret. Dette er en svært energieffektiv måte å overføre kulden, men trenger større mengde kuldemedium. CO<sub>2</sub>-systemer er svært godt egnet til dette da gassen er rimelig, og produktet i lageret vil ikke påvirkes hvis man får gass-lekkasje i fordampneren. Lekkasje av ammoniakk eller propan/butan er noe man ikke ønsker inni lageret, og innen næringsmiddelindustrien brukes derfor ofte en glykolkrets hvor kulden transporteres fra kompressor-systemet til varmeveksleren inni lageret.

Kuldemediet fordampner inni en mindre varmeveksler like ved kompressoren, hvor glykol sirkulerer og avgir varme til fordampningen. Den kalde glykolen pumpes deretter ut til kjøleaggregatet inni lageret. På denne måten blir nødvendig mengde kuldemedium svært begrenset, og vil være en stor fordel ved bruk av f.eks. propan/butan som kuldemedium. Et stort kjølelager med kapasitet på 3000 tonn kan ha så lite som 18-20 kg propan totalt inni systemet. Propan-aggregater plasseres ofte ute under tak, og risiko ved lekkasje er svært lav.

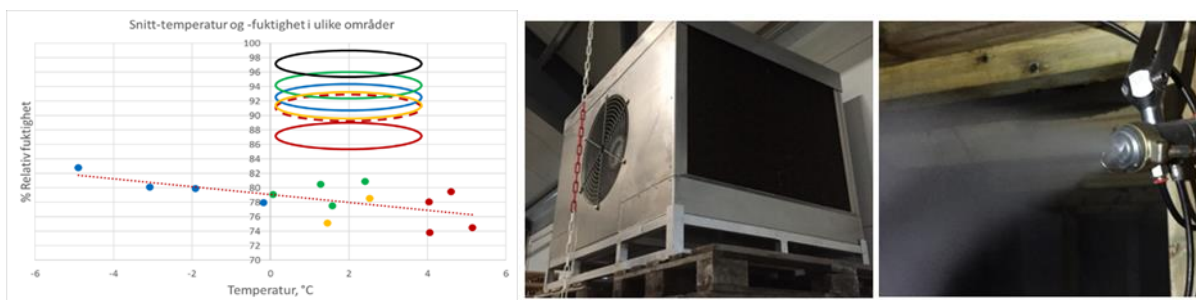
Bruk av direktefordampning i fordampner-aggregatene i lagrene er mest energieffektivt. Glykolkrets krever ekstra pumper, men sikrer lav mengde kuldemedium og risiko for lekkasjer.



Figur 61. To løsninger for å overføre kulde til lagerluften. a) Kuldemediet fordampner direkte (DX) inni fordampneren, b) Kald glykol sirkulerer gjennom varmeveksleren. Foto: Maurofiorese

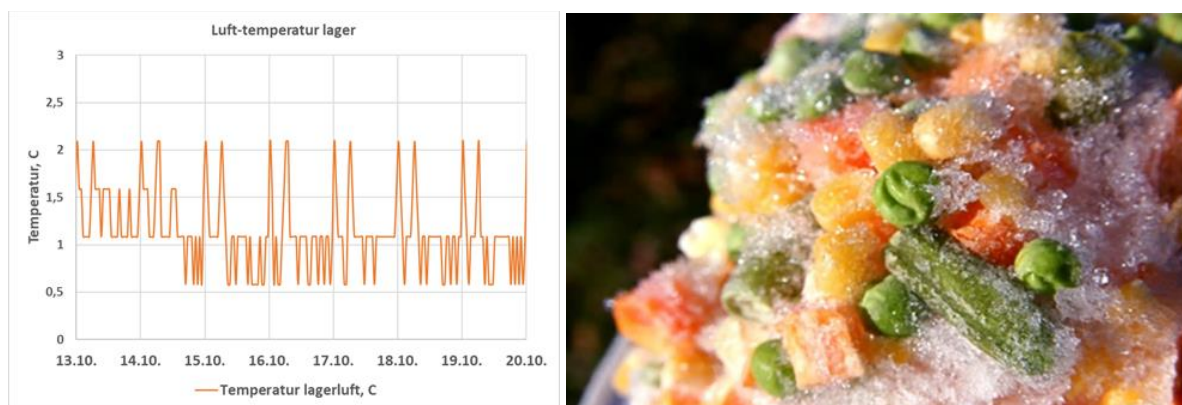
#### 8.4.5 Oppfuktings-systemer, stabil relativ fuktighet

Det er spesielt viktig med stabil og høy relativ fuktighet i lager hvor produktene lagres uten plastikk i kassene. Dette ble diskutert i kap. 4, og viser at lager med oppfuktingsløsninger lå jevnt høyere i relativ fuktighet enn lagrene uten. De to beste metodene for oppfuktning er å benytte en kassett med fuktige membraner og vifte, eller å benytte tåke/dysespredning av vannpartikler i luftstrømmen. Det første metoden har høyest investeringskostnad, og den andre metoden kan gi områder med kondensering og fuktproblematikk i f.eks. luftkanaler.



Figur 62. De to beste måtene å oppfukke lagerluft: Gjennom oppfuktning av membraner med vifte (midten), og tåke/dysespredning (t.h.)Stabile temperaturer i lageret

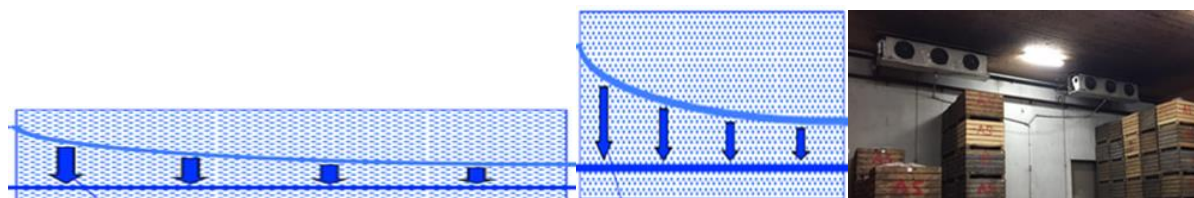
Lagerlufttemperaturen bør være så stabil som mulig, men man ser ofte at temperaturen svinger noen grader opp og ned (Figur 63, t.v.), noe som igjen fører til at relativ fuktighet (som er avhengig av temperatur) også svinger mye. Når relativ fuktighet endres, vil damptrykket på overflaten av produktet også endres, og man vil få en vanntransport ut av produktet. Svingninger vil derfor føre til økt uttørking av produktene. Henter man en pose med frosne grønnsaker (Figur 63, t.h.) med mye rim og is mellom bitene, så skyldes dette svingninger i temperatur i frysedisken. Årsaken til disse temperatursvingningene skyldes som oftest kuldesystemer uten frekvensstyring og dermed starter og stopper med full kapasitet, noe som er spesielt utfordrende hvis man i tillegg har for liten fordamperoverflate da man vil få stor differanse mellom temperaturen på kuldemediet og lagerluften. Dårlig kontroll på avrimingen vil også føre til svingninger i lagerlufttemperaturen, ved av varmen til ismelting blir distribuert i lagerluften.



Figur 63. Temperatursvingninger i lagerluften vil gi store svingninger i relativ fuktighet i lageret, og kunne tørke ut produkter raskere

#### 8.4.5.1 Fordamperoverflate

Kulden som skal tilføres lagerluften overføres fra overflaten av fordamperen til luften som blåses forbi. Ved et gitt kuldebehov som f.eks. her 36 kW, vil variasjon i utforming av fordamperen nødvendigvis gi ulike overflater og dermed ulike mengder kulde som kan overføres. Har man en liten overflate må kuldemediet være kaldere for å kunne overføre nok kulde, i forhold til en større overflate. Å fordampe kuldemediet ved en lavere temperatur krever mer energi. Samtidig vil fordamper-systemer med stor temperaturredifferanse ( $\Delta T$ ) mellom kuldemediet og lagerluften kunne føre til større temperatursvingninger i lagerluften. Man ønsker derfor å designe fordampere med lavest mulig  $\Delta T$ . Ved å øke bredde og høyde på fordamperen vil overflaten naturligvis også øke, men samtidig må flere eller større vifte settes inn for å fordele luften over hele arealet. I kanaler hvor man har begrenset plass som f.eks. i Finduslager, kan dybden på fordamperen økes. Også her vil man kunne måtte sette inn større vifte pga. økt trykkfall. Design av fordampere vil kunne utføres av kompetente kuldeleverandører, og vil være en faktor av pris og energibruk.



Figur 64. Design av fordampere er viktig for å hindre større temperatursvingninger i lagerluften

#### 8.4.5.2 Frekvensregulering av kompressorer og vifter

Med bruk av frekvensomformere kan vifter og kompressorer trinnvis styres for å tilpasse kuldeproduksjonen til det som er nødvendig. I et kjølelager for grønnsaker der man har stor kuldeproduksjon under inntak av produkter på høsten, og kun 25-30 % av dette resten av sesongen, er det spesielt viktig med god styring på kuldeproduksjonen og luftdistribusjonen. Når lageret er stabilt vil mengde sirkulert luft kunne reduseres, og selv med en svak kontinuerlig omluft vil viftene bruke lite energi ved bruk av omformer.

Valg av type kompressor er også viktig. En stempelkompressorer med frekvensomformer vil kunne levere jevnt 50% av maksimal kuldekapasitet med omtrent 50% energibruk. En sleideregulert skruekompressor vil levere jevnt 50% av kuldekapasiteten, men med 80-90% energibruk. Dette er kjent av kulde-leverandørene, og ingen av de undersøke lagrene hadde installert skruekompressorer. Ved installasjon av 2 stk. mindre kompressorer vil den ene kunne gå med maksimal kapasitet, og den andre frekvensstyrt. Da har man også back-up hvis den ene kompressoren skulle havarere.



Figur 65. Frekvensomformere på både vifter og kompressorer er viktig for god regulering av kuldeproduksjon og luftdistribusjon

#### 8.4.5.3 Avriming

Fuktigheten fra luften som avkjøles i lageret fryser på fordamperoverflaten under kjøleperioden. Mengde vann som fryser på overflaten pr time vil variere i forhold til luftfuktigheten, og spesielt mye fukt vil fryse på under og rett etter innlagring. Når lageret er stabilt, vil en mindre og mer jevn påfrysing skje. Denne isen vil redusere varmeovergangen i fordamperen som dermed blir mindre effektiv. Til slutt vil fordamperen fryse helt til, slik at ingen luft går igjennom fordamperen. For å opprettholde en effektiv kuldeoverføring til lagerluften i fordamperen, må isen som fryses på overflaten tines vekk. Dette kan gjøre på to måter; ytre og indre issmelting.

- a) Elektriske varmekabler på utsiden som smelter isen (Figur 66, t.v.)
- b) Med bruk av varmgass fra kompressoren (Fig 66, t.h.), eventuelt med bruk av oppvarmet glykol (Figur 66, t.h.). Disse løsningene smelter isen fra innsiden av fordamperen og gir god kontroll på avisingsprosessen, samtidig som man sparer energi ved å bruke overskuddsvarmen til avrimingen.



Figur 66. Avising av fordampere med bruk av elektriske varmekabler (t.v.), retur av varm glykol (midten) og retur av varmgass fra kompressor (t.h.)

Energien til å avrime fordampere vil variere og er vanskelig å bestemme nøyaktig, men generelt regner man med et effektbehov som er 3 ganger kuldekapasiteten. I tilfellet med et lager på 300 tonn og en kapasitet på 36 kW kulde, så kan energibruk til avrimingen vurderes til 108 kW. Setter man 30 min avriming 2 ganger pr døgn, så vil 108 kWh pr døgn gå til avriming, tilsvarende rundt 3000,- pr måned ved 90 øre/kWh.

Ofte reguleres avrimingen ved å tilføre energi en viss tid. Er isen smeltet før denne tiden, vil varmen bli distribuert i lagerluften, og man får temperatursvingninger. En bedre måte er å regulere avriming med trykkfall over fordampere ved bruk av elektriske varmekabler, eller ved å måle returtemperatur på varmgass eller glykol hvis man sirkulerer dette internt i fordampere. I et lager med kapasitet på 300 tonn er det naturlig, og en fordel, at man har to eller flere fordampersystemer, slik at den ene produserer kald luft til lageret mens den andre avrimes.

## 8.5 Diskusjon – tekniske løsninger

Tap av produserte grønnsaker under lagring og distribusjon utgjør opp mot 30 % i Norge og er et av de største tap av produsert mat og tapte inntektskilder i både landbruk og matvarekjeden. Mange faktorer vil påvirke tap under lagring, inkl. tekniske. Det er viktig å kjenne til, og benytte, de tekniske mulighetene som eksisterer for å kunne redusere svinn og øke lagringstiden for norske grønnsak-lagre.

De ulike lagertyperne og luftdistribusjonsløsningen er beskrevet for omlufts-lager, Findus-lager og Græe-lager. Alle lagertyper er gode løsninger, såfremt de driftes riktig mht. temperatur, fuktighet og luftdistribusjon. Findus-lager for gulrot, og Græe-lager kan ha utfordringer. Korrekt stabling av kasser for å sikre god luftfordeling er essensielt.

Resultater fra forsøk med nedkjølingshastigheter ved innlagring viste at en langsom nedkjøling eller sårheling hindret sykdomsangrep på gulrot (se kapittel 3).

I knollselleri så vi at behandlingen med sårheling varierte med år, og for kålrot er det vanskelig å konkludere pga. motstridende resultater. For knollselleri bør man derfor prøve å få ned produkttemperaturen så raskt som mulig hvis kvaliteten ved høsting er god (se kap 3). Resultater for industriell nedkjøling av gulrot viser at det tar 3-6 uker å få ned produkttemperaturen i kassene til ønsket nivå. På grunn av denne langsomme avkjølingen, vil gulrøttene få en naturlig sårhelingsperiode, selv om kjølelageret driftes med full kapasitet.

Temperatur, fuktighet og kuldesystemer er kartlagt i 28 eksisterende lager, og viser store variasjoner både i driftsforhold og teknisk nivå. En optimalisering av styring av lagrene for å senke produkttemperaturen, har vist potensiale for å øke maksimal lagringstid med inntil 6 uker. Klima ved kystnære områder gir økt utfordring med tørre lager, og oppfukningsløsninger er diskutert.

Grønnsaklagrenes behov for kuldeproduksjon er beregnet gjennom hele lagringsperioden. Mange produsenter har i dag kuldesystemer med kuldemedium som vil bli fast ut i årene som kommer, og næringen bør planlegge fremtidig investeringer i nye kuldesystemer. Miljøvennlige alternativer er diskutert.

Når det gjelder fremtidens kuldesystem, så er det en del faktorer for design som gir mer optimale, stabile og energieffektive systemer. Dette inkluderer a) Miljøvennlige kuldemedium, b) utnyttelse av overskuddsvarmen til produksjon av varmt vann, c) utnyttelse av kald uteluft for å redusere energibruk, d) oppfuktingsløsninger, e) fordamper-design, og styring og kontroll av vifter, kompressorer og avriming.

God kontroll av lufttemperatur, luftfuktighet og luftfordeling er sentralt for å sikre god kvalitet og lang holdbarhet på produktene.



## 9 Optimalisering av foringssekker til lagerkasser

Gulrøtter har stort vekttap på grunn av ånding når de langtidslagres på kjølelager fra opptak i oktober til mai. Forsøk utført ved Kvithamar i perioden 1967-1971 viste at 0.02 mm perforerte polyetylen (PE) plastsekker (12 hull à 5 mm i diameter) som foring i 350-400 kg trekasser reduserte vekttapet fra 13-17 % til 1-2 % (Flones, 1973). I disse forsøkene ble det også registrert at gråskimmel (*Botrytis cinerea*) og klosopp (*Centrospora acerina*) gjorde mest skade på gulrøttene under lagring. Det ble funnet mest gråskimmel i uforede kasser, mens det var mest klosopp i plastsekker og i plastforede kasser.

Gulrotkassene kles i dag med PE foringssekk for å hindre uttørking og vekttap. Foringssekkene må ha ventilasjon (makro hull) for å unngå «kvelning» og dannelse av skadelig høye CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner, og det diskuteres hvor mange hull som er tilstrekkelig for å unngå skader på gulrøttene. Lagring i kontrollert atmosfære (CA-lagring) er ikke anbefalt for gulrøtter siden effekten er begrenset (Edelenbos et al., 2020). Kontrollert atmosfære med 1-10% O<sub>2</sub> og 3-4% CO<sub>2</sub> hemmer groing og vekst av røtter, men kan stimulere til vekst av muggsopp og bakterier. Hvis gulrøtter langtidslagres i CA, anbefales 17-18 % O<sub>2</sub> og 3-4 % CO<sub>2</sub>. Det er dermed viktig å holde CO<sub>2</sub> nivået under 4% i foringssekkene.

Det antas at CO<sub>2</sub> konsentrasjonen er høyest i midten av lagringskassene. Det har til nå vært vanskelig å måle CO<sub>2</sub> konsentrasjonen inne i kassene. Firmaet 7Sense har nylig lansert et instrument som måler CO<sub>2</sub> opptil 10.000 ppm (1%) som kan legges inn i kassene.

Gjennom Optirot prosjektet ønsket man å undersøke CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i kasser med ulike foringssekker for å avklare hvor mange hull som er nødvendig i sekkene for å holde CO<sub>2</sub>-nivået tilstrekkelig lavt.

### 9.1 Materialer og metoder

#### 9.1.1 Testing av CO<sub>2</sub> sensor høsten 2016

Innledningsvis ble CO<sub>2</sub> sensoren fra 7Sense testet mot andre typer gassmåleutstyr tilgjengelig på NIBIO og Nofima. Ulike kalibrerte testgasser og også poser med gulrøtter ble benyttet til disse forsøkene.

#### 9.1.2 Forforsøk med logging av CO<sub>2</sub> i gulrotkasser sesongen 2016/2017

Forforsøk med logging av CO<sub>2</sub> i gulrotkasser kledd med ulike foringssekker ble utført i samarbeid med produsenter og lager i Osloregionen (OSL). Gulrøtter dyrket på ulike steder i regionen ble fylt i kasser med tre varianter kasseforing (Bilde 4) levert av Tommen Gram Folie (nå en del av BEWI Produkter AS): 1) Gammel perforering (33 hull, 6 mm diameter), 2) Ny perforering (ca. 145 hull, 6 mm diameter) og 3) Ny perforering der bunnen ble kuttet av.



Bilde 4. Foringssekker med gammel (venstre) og ny (høyre) perforering. Foto: Mette Goul Thomsen (NIBIO).

Etter at foringssekkene var lagt inn i lagringskassene (800 kg), ble kassene fylt med gulrøtter direkte fra opptaker på jordet (Bilde 5). I kassene ble det logget temperatur, luftfuktighet og CO<sub>2</sub> i totalt 8 kasser med følgende kombinasjoner: produsent 1 og 2: gammel og ny perforering; produsent 3: ny perforering og produsent 4: gammel og ny perforering og ny perforering uten bunn. Gulrøtter (3 x 50 røtter per kasse) ble tatt ut til kvalitetsvurdering 18. april 2017.



Bilde 5: CO<sub>2</sub> sensor fra 7Sense lagt i beskyttende plastbøtte plassert i midten av en gulrotkasse. Forsøksstart 27. september 2016. Foto: Pia Heltoft (NIBIO).

### 9.1.3 Hovedforsøk med logging av CO<sub>2</sub> i gulrotkasser sesongen 2017/2018

Høsten 2017 (13. oktober) ble 12 lagringskasser (800 kg) kledd med de samme foringssekkene som benyttet i forforsøket: 1) Gammel perforering (33 hull, 6 mm diameter), 2) Ny perforering (ca. 145 hull, 6 mm diameter) og 3) Ny perforering der bunnen ble kuttet av. Det ble benyttet fire gjentak av hver type sekk, med randomisert plassering av kassene som vist i Tabell 15.

Tabell 15. Randomisert plassering av forsøkkassene sesong 2017/2018.

	Blokk 1	Blokk 2	Blokk 3	Blokk 4	
Kasse	Toppkasse	Toppkasse	Toppkasse	Toppkasse	Kasse
Kasse	A8 (Gammel perf)	C110 (Ny perf u/b)	B15 (Ny perf)	C140 (Ny perf u/b)	Kasse
Kasse	B12 (Ny perf)	A9 (Gammel perf)	C130 (Ny perf u/b)	B16 (Ny perf)	Kasse
Kasse	C100 (Ny perf u/b)	B13 (Ny perf)	A10 (Gammel perf)	A11 (Gammel perf)	Kasse
Kasse	Bunnkasse	Bunnkasse	Bunnkasse	Bunnkasse	Kasse
Kasse	Bunnkasse	Bunnkasse	Bunnkasse	Bunnkasse	Kasse

For å kunne følge utviklingen i CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen under lagringsperioden, ble loggere fra 7Sense lagt i en striesekk med 100 gulrøtter som igjen ble lagt inn i midten av de 12 kassene under høstning og fyllingen av kassene (Bilde 6). Gulrøttene kom fra samme produsent og ble høstet på samme jorde. I lagringsperioden registrerte loggerne temperatur, fuktighet og CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (ppm) inne i kassene.



Bilde 6. Plastbøtta ble lagt i midten av gulrotkassa sammen med 100 gulrøtter i en striesekk. Foto: Mette Goul Thomsen.

Sekken med gulrøtter ble veid før de ble lagt i kassene 13. okt-2017 og ved uttaket av kassene 5. april-2018 for registrering av vekttap i lagringsperioden. Ved uttak av kassene ble forekomst av sykdom i de ulike foringssekkene registrert.

#### 9.1.4 Effekt av ulike foringssekker på vekttap og sykdomsutvikling sesongen 2018/2019

Formålet med dette forsøket var å verifisere funnene i hovedforsøket sesongen 2017/2018 ved å teste de tre foringssekk-variantene i 3 regioner. Loggere ble ikke lagt inn i kassene i dette forsøket idet dataene fra hovedforsøket var tilfredsstillende og det var begrensende midler tilgjengelig. Forsøket ble utført i samarbeid med rådgivere fra NLR Rogaland, NLR Innlandet og NLR. Foringssekker og striesekker til 10 kg gulrot ble sendt til rådgiverne før forsøksstart.

Forsøksfaktorene i dette forsøket var: 3 produsenter i 3 regioner: Rogaland (ROG), Trøndelag (MID) og Innlandet (INN) og 3 typer foringssekker som testet i tidligere forsøk.

Det ble benyttet fire gjentak av hver type sekk, med randomisert plassering av kassene som vist i Tabell 16.

Tabell 16. Randomisert plassering av forsøkskassene sesong 2018/2019.

	Blokk 1	Blokk 2	Blokk 3	Blokk 4	
Kasse	<b>Toppkasse</b>	<b>Toppkasse</b>	<b>Toppkasse</b>	<b>Toppkasse</b>	<b>Kasse</b>
Kasse	<b>101 (Gammel perf)</b>	<b>201 (Ny perf u/b)</b>	<b>301 (Ny perf)</b>	<b>401 (Gammel perf)</b>	<b>Kasse</b>
Kasse	<b>102 (Ny perf)</b>	<b>202 (Gammel perf)</b>	<b>302 (Ny perf u/b)</b>	<b>402 (Ny perf)</b>	<b>Kasse</b>
Kasse	<b>103 (Ny perf u/b)</b>	<b>203 (Ny perf)</b>	<b>303 (Gammel perf)</b>	<b>403 (Ny perf u/b)</b>	<b>Kasse</b>
Kasse	<b>Bunnkasse</b>	<b>Bunnkasse</b>	<b>Bunnkasse</b>	<b>Bunnkasse</b>	<b>Kasse</b>
Kasse	<b>Bunnkasse</b>	<b>Bunnkasse</b>	<b>Bunnkasse</b>	<b>Bunnkasse</b>	<b>Kasse</b>

Kassene ble om mulig plassert i 2. eller 3. rekke fra veggen og 2. eller 3. rekke inn fra porten. Plasseringen ble tilpasset det enkelte lager avhengig av plassforholdene.

100 gulrøtter i toppen av kassene ble tatt ut på jordet eller da kassene ble kjørt inn på lager. Disse 100 røttene ble lagt i tilsendte og merkede striesekker før veiing. Etter veiing ble sekkene gravd ned (1 striesekk i hver kasse) med 20 cm gulrot over sekkene. Ved uttak av lagringskasse i mars-mai 2019, ble strieposene veid og gulrøttene ble vurdert med hensyn på kvalitet og sykdom i henhold til et tilpasset og standardisert sykdomsregistreringsskjema utviklet i Optirot prosjektet.

Vekttap og sykdomsangrep ble registrert for følgende gulrotsorter lagret i ulike lagertyper:

- Rogaland: Produsent 1, Sort: Natalje, Kassestørrelse: 400 kg, Lagertype: omluftslager med CO<sub>2</sub> kuldesystem.
- Trøndelag: Produsent 2, Sort: Romance, Kassestørrelse: 400 kg, Lagertype: Findus type.
- Innlandet: Produsent 3, Sort: Yareda eller Nominator, Kassestørrelse: 600 kg, Lagertype: Findus type.

Følgende ble registrert ved uttak: Vekt av sekk ved uttak (g), totalt antall friske røtter, groing i toppen, bustete (nye røtter), saftspenning (1-9, 9 = frisk). En rot kunne registreres i flere kategorier hvis det var flere ulike symptom på rota.

## 9.2 Resultater og diskusjon

### 9.2.1 Testing av CO<sub>2</sub> sensor høsten 2016

Testene høsten 2016 viste at de tre måleinstrumentene (Agrimon fra 7Sense, CheckMate ved Nofima og Toray CO<sub>2</sub> måleinstrument ved NIBIO) viste like verdier ved testing på en kalibrert gass med 0,3 % CO<sub>2</sub>.

Det ble konkludert med at Agrimon fra 7Sense kan benyttes til forsøk med CO<sub>2</sub> logging i kassene, men med den begrensningen at sensoren ikke måler over 1 % CO<sub>2</sub>. Sensoren logger også temperatur og fuktighet.

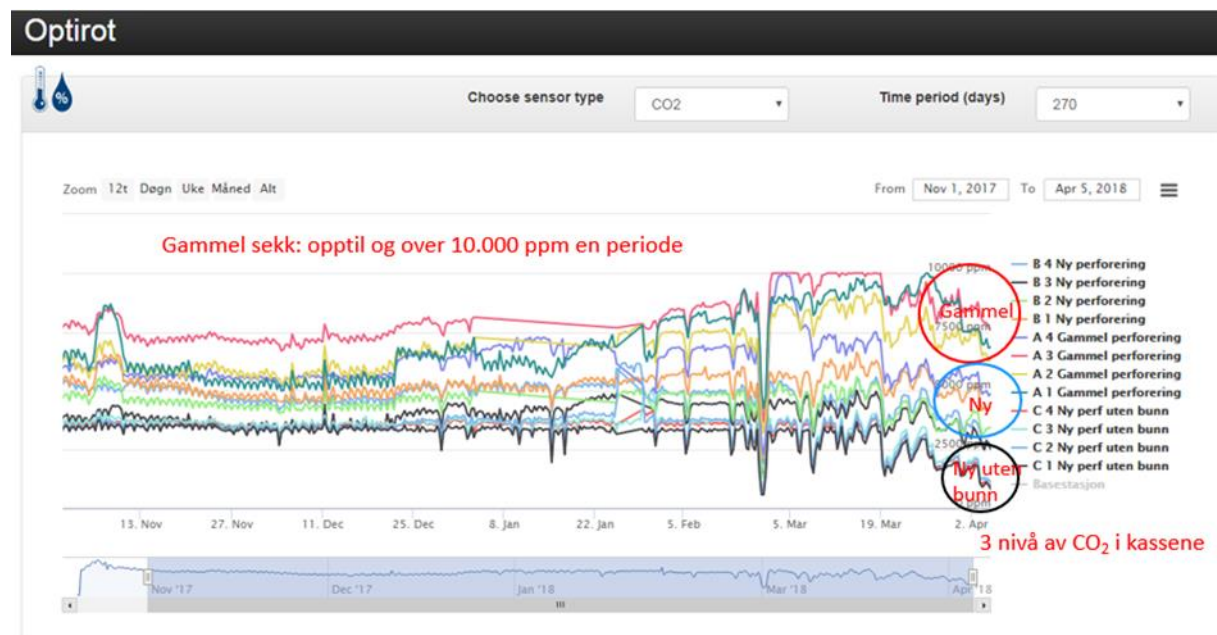
## 9.2.2 Forforsøk med logging av CO<sub>2</sub> i gulrotkasser sesongen 2016/2017

Loggerne i de 8 kassene viste at temperaturen lå på ca. 2,5 °C i snitt én uke etter innsetting på lager. Relativ fuktighet var ca. 75 % på basestasjonen og opp mot 100% inne i kassene. CO<sub>2</sub> konsentrasjonen i alle kassene unntatt én lå under 10000 ppm innen én uke etter innlagring. Kassen med gammel foringssekk hos produsent 1 hadde verdier over 10000 ppm i to perioder første måned.

Resultatene viste en tydelig trend der kasser med ny foringssekk med flere hull i bunnen hadde lavere CO<sub>2</sub>-verdier enn kasser med gammel foringssekk. Ny foringssekk med mange hull og uten bunn hadde de laveste CO<sub>2</sub>-verdiene, men var bare litt lavere enn ny foringssekk med bunn. Det ble påvist en tendens til litt lavere andel råte i kasser med ny foringssekk (flere perforeringer). På bakgrunn av disse forsøkene ble det besluttet å gjennomføre et mer kontrollert hovedforsøk sesongen 2017/2018.

## 9.2.3 Hovedforsøk med logging av CO<sub>2</sub> i gulrotkasser sesongen 2017/2018 og effekt av ulike foringssekker på vekttap og sykdomsutvikling for sesongene 2017/2018 og 2018/2019

Temperatur, relativ fuktighet og CO<sub>2</sub> ble logget i 12 kasser for sesongen 2017/2018. Siden resultatene fra CO<sub>2</sub> målingene var av størst interesse i dette forsøket, er kun resultatene fra CO<sub>2</sub> målingene vist (Figur 67).

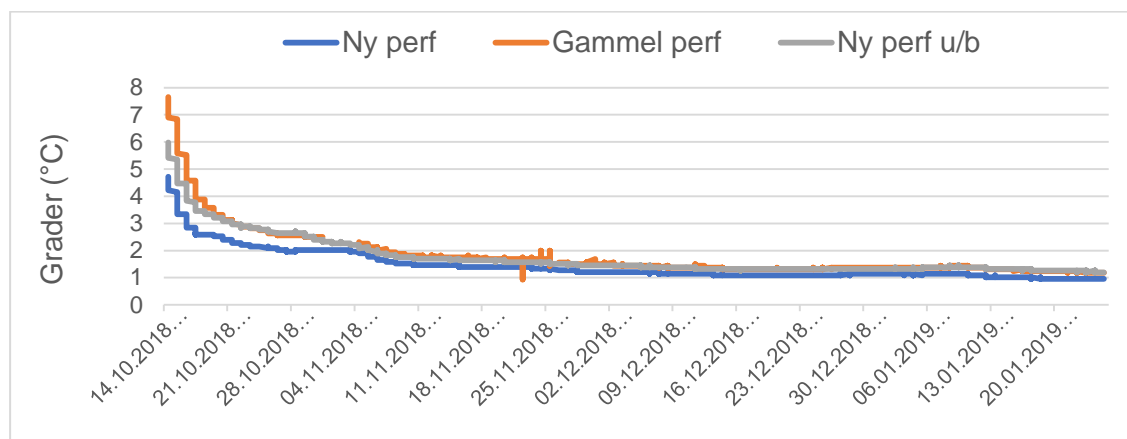


Figur 67. Utvikling i CO<sub>2</sub> i gulrotkasser med 3 typer perforering i foringssekkene (gammel, ny og ny uten bunn) i sesongen 2017/2018 ved et lager i Osloregionen.

Det var tydelig forskjell i CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i kassene med ulik hullsetting i sekkene og sekker uten bunn. Gammel sekk med færrest hull hadde høyest CO<sub>2</sub>-nivå (0,8% til 1%) mot slutten av lagringsperioden. Ny sekk med ekstra hull i bunnen hadde nivået i midten (ca. 0,5%) og ny sekk med avkuttet bunn hadde lavest nivå (ca. 0,3%).

To av kassene med ny sekk uten bunn hadde også de laveste temperaturene gjennom lagrings-sesongen.

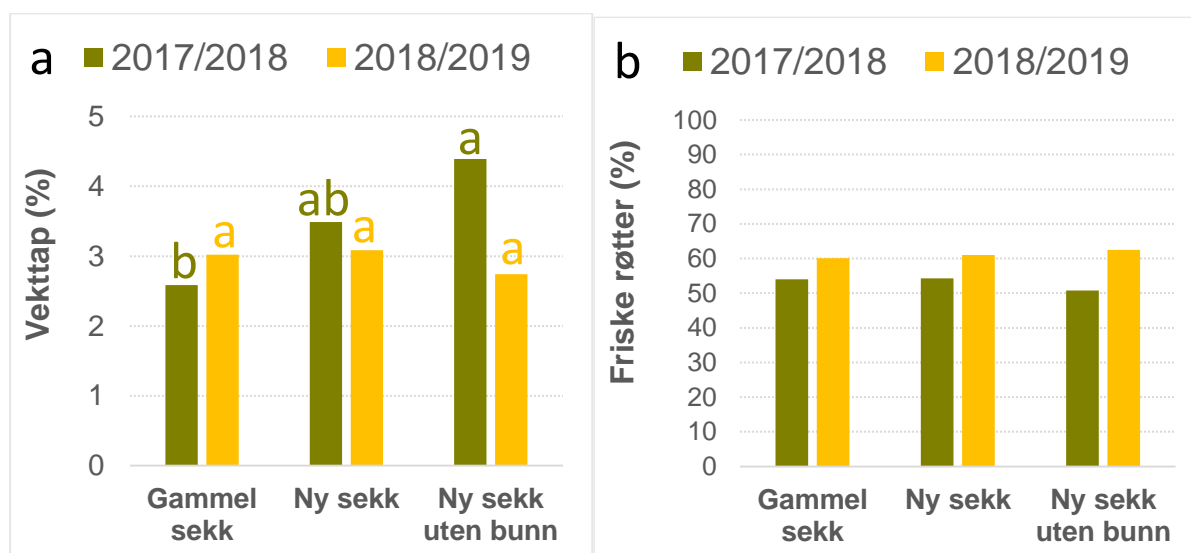
CO<sub>2</sub> ble ikke logget i sesongen 2018/2019. Temperatur ble imidlertid logget i kassene på lageret hos produsent 2 i Trøndelag (Figur 68).



Figur 68. Sesong 2018/2019: Gulrøtter fra Stjørdal lagret hos produsent 2 på Frosta i Trøndelag. Temperatur registrert i midten av gulrotkasser med ulike perforeringssekker.

Figur 68 viser at temperaturen lå under 2 °C fra starten av november, og relativt stabilt på mellom 1 og 1,5 °C fra starten av desember. Det var en liten tendens til høyere temperatur i kasse med gammel foringssekk, mens kassen med ny foringssekk lå lavest gjennom hele lagringsperioden.

I hovedforsøket ble vekttap over de 6-7 månedene på lager for de 100 gulrøttene i striesekkene beregnet for begge sesongene (Figur 69, a), og ved uttak av kassene i april 2018 og i perioden mars til mai i 2019 ble forekomst av sykdom i kassene med de ulike foringssekkene registrert (Figur 69, b).

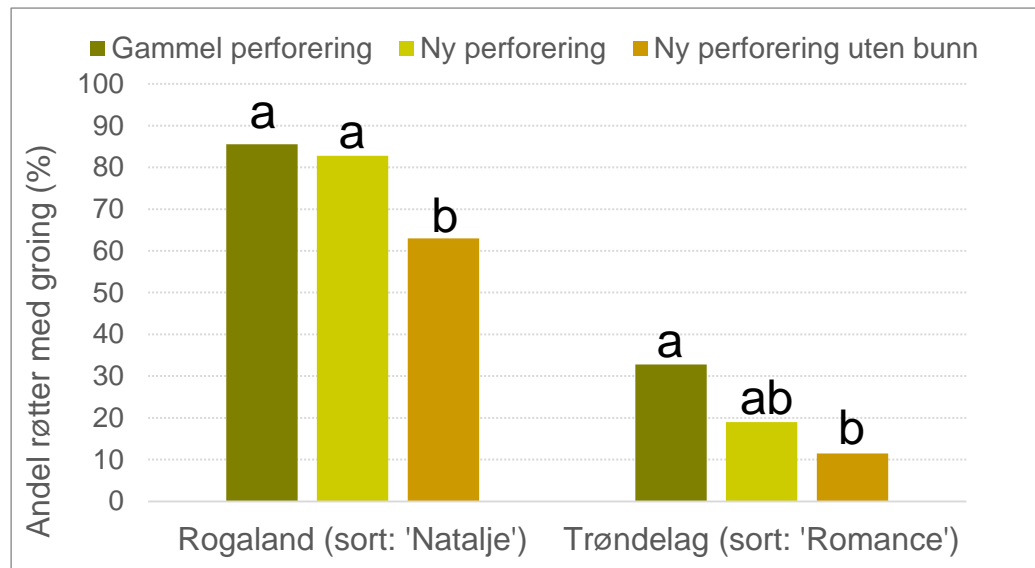


Figur 69. Vekttap over to sesonger for gulrøtter i foringssekker med ulik perforering (a) og gjennomsnittlig andel friske røtter (%) over to sesonger for gulrøtter i foringssekker med forskjellig perforering (b). Datasettene for de to sesongene er analysert separat. Forskjellig bokstav indikerer signifikante forskjeller mellom de tre typene perforering.

Vekttapet varierte fra 2,6 til 4,4 %. I følge Edelenbos et al. (2020) kan gulrøtter tåle å miste 8 % av original vekt og fortsatt være salgbare. Det var signifikant forskjell i vekttap mellom sekker med ulik perforering for sesongen 2017/2018. For sesongen 2018/2019 ble det ikke påvist forskjell i vekttap

mellom de ulike typene foringssekker. Gjennomsnittlig andel friske røtter var litt over 50 % i alle kassene i sesongen 2017/2018. For sesongen 2018/2019 (datasettet fra Innlandet er utelatt pga. usikre data) var gjennomsnittlig andel friske røtter i overkant av 60 % for alle kassene. Det ble ikke påvist signifikante effekter av ulik hullsetting i foringssekkene på sykdomsforekomst.

De eneste egenskapene utenom vekttaap der det ble påvist signifikant effekt av ulike foringssekker var for groing i toppen (Figur 70) og bustete røtter.



Figur 70. Andel (%) gulrøtter med groing i toppen for foringssekker med gammel, ny perforering og ny perforering uten bunn (sesong 2018/2019). Datasettene for de to regionene er analysert separat. Forskjellig bokstav indikerer signifikante forskjeller mellom de tre typene perforering.

Det ble registrert signifikant mindre groing i toppen i ny foringssekk uten bunn. Det var også mindre andel bustete røtter i disse sekkene (7,8 %) sammenlignet mot gammel sekk (20,5 %). Kontrollert atmosfære med 1-10% O<sub>2</sub> og 3-4% CO<sub>2</sub> hemmer groing og vekst av røtter, men kan stimulere til vekst av muggsopp og bakterier (Edelenbos et al., 2020). Forsøkene med logging av CO<sub>2</sub> konsentrasjonen inne i kassene viste at CO<sub>2</sub> nivået lå under 1 % det meste av lagringstiden, og et forhøyet CO<sub>2</sub> nivå kan dermed ikke forklare forskjellene i groing mellom foringssekkene i vårt forsøk. Våre resultater indikerer også en motsatt tendens enn beskrevet av Edelenbos et al (2020). Foringssekkene med ny perforering uten bunn med høyest tilgang på O<sub>2</sub> og de laveste CO<sub>2</sub> nivåene hadde lavest andel groing.

### 9.3 Konklusjon

Ingen av foringssekk variantene utviklet CO<sub>2</sub>-nivåer over 10.000 ppm (1%) i løpet av lagringsperioden med unntak av korte perioder for én av kassene med gammel foringssekk i begge sesongene med testing av loggerne fra 7Sense. Dette CO<sub>2</sub> nivået er dermed i trygg avstand fra den øvre grensen på 3-4 % CO<sub>2</sub> angitt av andre forskere.

Det var forskjellige CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner i sekker med ulik perforering. Gamle sekker med færrest hull hadde høyest nivå, nye sekker med økt perforering hadde noe lavere nivå og nye sekker med mye perforering og uten bunn hadde det laveste nivået.

For sesongen 2017/2018 ble det vist at gammel sekk hadde signifikant lavere vekttaap enn ny sekk uten bunn. Det ble i denne sesongen ikke påvist signifikante effekter av ulik hullsetting i foringssekkene på sykdomsforekomst.

Ved gjentak i sesongen 2018/2019 ble det ikke påvist signifikante forskjeller i vekttap for de 3 samme typene foringssekker. Det ble heller ikke påvist signifikante effekter av ulik hullsetting i foringssekkene på sykdomsforekomst. For sesongen 2018/2019 var det signifikant mindre groing i toppen og bustete røtter i ny foringssekk uten bunn.

I hovedforsøket i sesongen 2017/2018 ble det registrert en forskjell i vekttap for gammel sekk og ny sekk uten bunn på 127g i vekttap (1,34%). Dette er ikke så mye for hver enkelt kasse. Men, for en kasse på ca. 800 kg utgjør dette 10 kg. Norsk produksjon i 2017 var 35.952 tonn, og 1,34 % av dette utgjør 4835 tonn. Dette viser at selv et lite vekttap pr kasse kan bli store beløp for en produksjon med så stort volum som gulrøtter.

## 9.4 Anbefalinger

Gamle foringssekker med få hull vil potensielt gi lavest vekttap uten at dette medfører økt risiko for sykdom/råte. Gulrøtter i nye foringssekker uten bunn hadde en tendens til mindre groing i toppen.

CO<sub>2</sub>-nivået i foringssekkene som er målt i disse forsøkene er lavt og forskjellene i CO<sub>2</sub>-nivå for de tre typene foringssekker er så små at det ikke har praktisk betydning for gulrotkvaliteten. Det har med andre ord liten betydning hvilken foringssekk man benytter.



# 10 Optimalisering av forbrukerpakninger

Tidligere forsøk har vist at pakninger med for lite perforering fører til mer råte i gulrøttene, spesielt ved lagring ved romtemperatur i butikk. Utilstrekkelig perforering gir skadelige høye nivåer av CO<sub>2</sub>, og gulrøtter er mer utsatt for bakterievekst («sliming») hvis de utsettes for CO<sub>2</sub>-nivåer over 5% (Suslow et al., 2002). Ved høye CO<sub>2</sub>-nivå i pakningene produserer også gulrøttene etanol som gir en kjemisk og litt søtlig smak. Den friske og litt bitre gulrotsmaken forsvinner (Larsen og Wold, 2016).

Pakkeriene benytter i dag sommerfilm (fra juni til oktober) og vinterfilm (fra oktober til mai). Sommerfilmen har ca. dobbelt så mange perforeringer som sommerfilmen siden tidlig-gulrøttene har høyere respirasjon enn lagringsgulrøttene.

Innledende forsøk i 2017/2018 indikerte at gulrøttene kan være ekstra sensitive mot høye CO<sub>2</sub>-verdier mot slutten av lagrings-sesongen – spesielt når det er mye sykdom på røttene. Det antas dermed at det vil være gunstigere å pakke med sommerfilmen også mot slutten av sesongen.

I Optirot ønsket vi opprinnelig å teste filmer med ulik grad av perforering tidlig og sent i lagrings-sesongen ved to ulike pakkerier. Av praktiske grunner ble det besluttet å endre oppsettet til å pakke gulrøtter fra et godt og et dårlig parti på samme tidspunkt litt ut i sesongen.

Målet var å finne den «optimale» perforeringen for gulrøtter lagret ved to temperaturbetingelser; a) kjøling i hele lagringsperioden (optimalt) og b) et lagringsregime som simulerer dagens praksis i mange butikker med oppbevaring ved romtemperatur (kjøl + romtemperatur + kjøling hos forbruker).

## 10.1 Materialer og metoder

Gulrøtter ble pakket 19. mars 2019 ved ett pakkeri i Oslo regionen (sort: Triton) og ett pakkeri i Rogaland (sort: Panther). Det ble benyttet 2 kvaliteter i forsøket – godt og dårlig parti. Utvelgelse av godt og dårlig parti ble subjektivt utført ved pakkeriene. Pakkemateriale ble levert fra NORGRO og bestod av 40 µm biaksialt orientert polypropylen (BOPP) film, bredde 470 mm, høyde 330 mm (uten trykk) med tre typer perforering som vist i forsøksoppsettet (Tabell 17). Som kontroll ble en serie med filmen som normalt benyttes (Dagens) pakket. Etter pakking ble gulrøttene sendt til Nofima med kjølebil for lagring ved to ulike testbetingelser:

- Kjøling: 4 °C i 3 dager + 6 °C i 12 dager = 15 dager.
- Kjøling-romtemperatur-kjøling (K-R-K): 4 °C i 3 dager + 20 °C i 3 dager + 6 °C i 9 dager = 15 dager.

Tabell 17. Forsøksoppsett for pakkeforsøk med 2 sorter gulrøtter med 2 kvaliteter pakket i 4 filmer med ulik perforering.

Sort/pakkeri	Gulrot-kvalitet	Filmtype	Kjøle-kjede	Kasser	Poser pr kasse
Triton (OSL) og Panther (ROG)	God kvalitet	Åpen (ekstra lav CO <sub>2</sub> ): 2 hullrekker: en på hver side med 7 mm mellom hvert hull (hulldiameter: 100 µm), totalt 94 hull.	Kjøøl	1	15
			K-R-K	1	15
		Sommer (lav CO <sub>2</sub> ): 1 hullrekke på siden med 7 mm mellom hvert hull (hulldiameter: 100 µm), totalt 47 hull.	Kjøøl	1	15
			K-R-K	1	15
		Vinter (høy CO <sub>2</sub> ): 1 hullrekke på siden med 14 mm mellom hvert hull (hulldiameter: 100 µm), totalt 24 hull.	Kjøøl	1	15
			K-R-K	1	15
		Dagens: 1 midtstilt hullrekke (sammenligning av gassverdier mot testfilm med hullrekke i siden)	K-R-K	1	15
		<b>Totalt</b>		<b>7</b>	<b>105</b>
Triton (OSL) og Panther (ROG)	Dårlig kvalitet	Åpen (ekstra lav CO <sub>2</sub> ): 2 hullrekker: en på hver side med 7 mm mellom hvert hull (hulldiameter: 100 µm), totalt 94 hull.	Kjøøl	1	15
			K-R-K	1	15
		Sommer (lav CO <sub>2</sub> ): 1 hullrekke på siden med 7 mm mellom hvert hull (hulldiameter: 100 µm), totalt 47 hull.	Kjøøl	1	15
			K-R-K	1	15
		Vinter (høy CO <sub>2</sub> ): 1 hullrekke på siden med 14 mm mellom hvert hull (hulldiameter: 100 µm), totalt 24 hull.	Kjøøl	1	15
			K-R-K	1	15
		Dagens: 1 midtstilt hullrekke (sammenligning av gassverdier mot testfilm med hullrekke i siden)	K-R-K	1	15
		<b>Totalt</b>		<b>7</b>	<b>105</b>

Analyser under lagringsperioden:

- Vekttap og gass (O<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub>): 5 poser av hver variant (begge pakkeriene).

Vekttap ble bestemt ved veiing av 5 gulrotpakker ved mottak av gulrøttene én dag etter pakking, og etter 13 dagers lagring. Vekttapet ble beregnet som prosentvis tap av den opprinnelige vekten.

Gass ble analysert etter 1, 3, 6, 9 og 14 dagers lagring med en CheckMate gassanalysator (Dansensor, DK) ved å stikke en nål gjennom et septum festet på pakningen.

Kvalitetsvurdering etter 15 dagers lagring:

- Triton (OSL): Ved mottak hadde en stor andel av pakningene lekkasjer (dårlig sveis) og disse posene kunne dermed ikke benyttes videre i forsøket. De samme 5 posene som ble benyttet til gass og veiing ble også benyttet for kvalitetsvurdering (antall friske/syke, annet (råte) og andel ikke spisbare).
- Panther (ROG): 10 poser ble vurdert for antall friske/syke, groing, bustete røtter, annet (råte) og andel ikke spisbare.

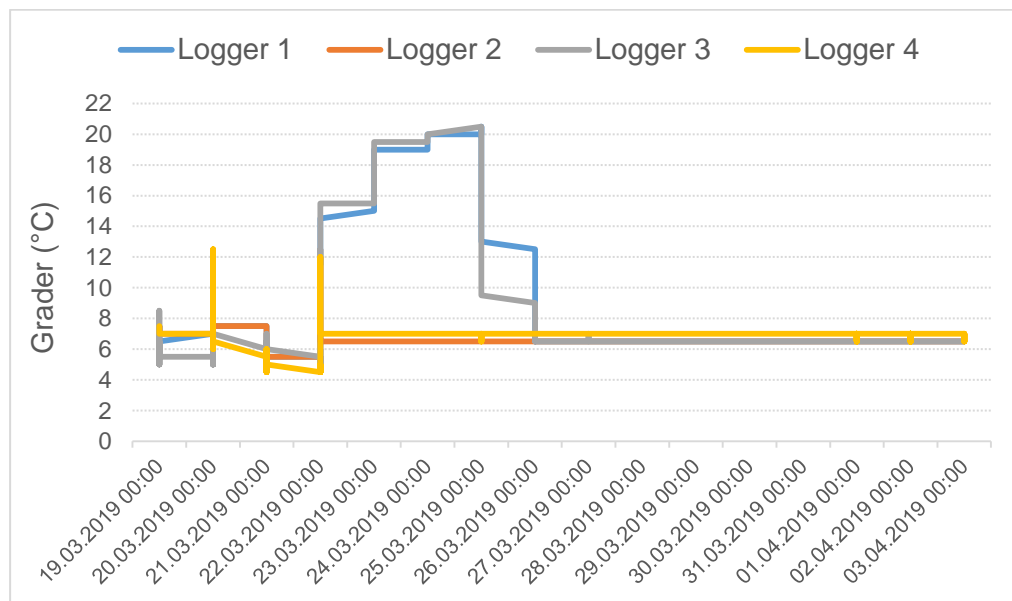
Etanol ble analysert for 12 prøver (3 av hver filmtype) for godt parti av Panther lagret i 15 dager under K-R-K betingelser. Fem gulrøtter fra hver pose ble delt i lengde retningen, der den ene halvparten av gulrøttene ble skåret i små skiver for etanol analyse (100 g). Prøvene ble etter kutting pakket i aluminiumsfolie, som igjen ble vakuumpakket i plastposer før frysing ved -40 °C. Etanol i gulrøttene ble analysert som beskrevet av Larsen og Wold (2016).

Variansanalyse (ANOVA) ble utført for datasettet (sikker forskjell ved  $p < 0.05$ ) ved bruk av generell lineær modell i Minitab 17 Statistical Software (Minitab Inc., State College, PA, USA). Middelerverdiene ble separert ved Tukeys multiple sammenligningstest for de to pakkeriene (OSL og ROG) og de to lagringsbetingelsene (kjølt og K-R-K) separat.

## 10.2 Resultater

### 10.2.1 Temperatur i lagringsrommene:

Temperaturloggere ble lagt i 4 av kassene med gulrøtter (Figur 71).

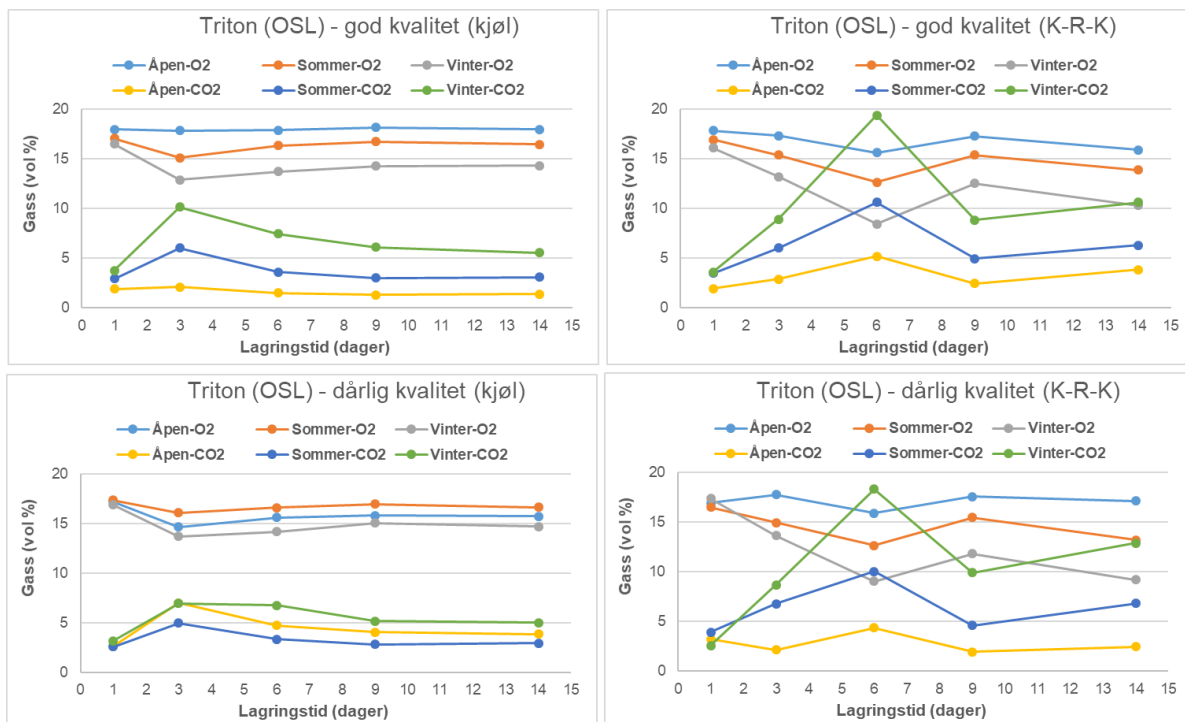


Figur 71. Temperatur i kasser med gulrøtter lagret ved kjølte og K-R-K betingelser.

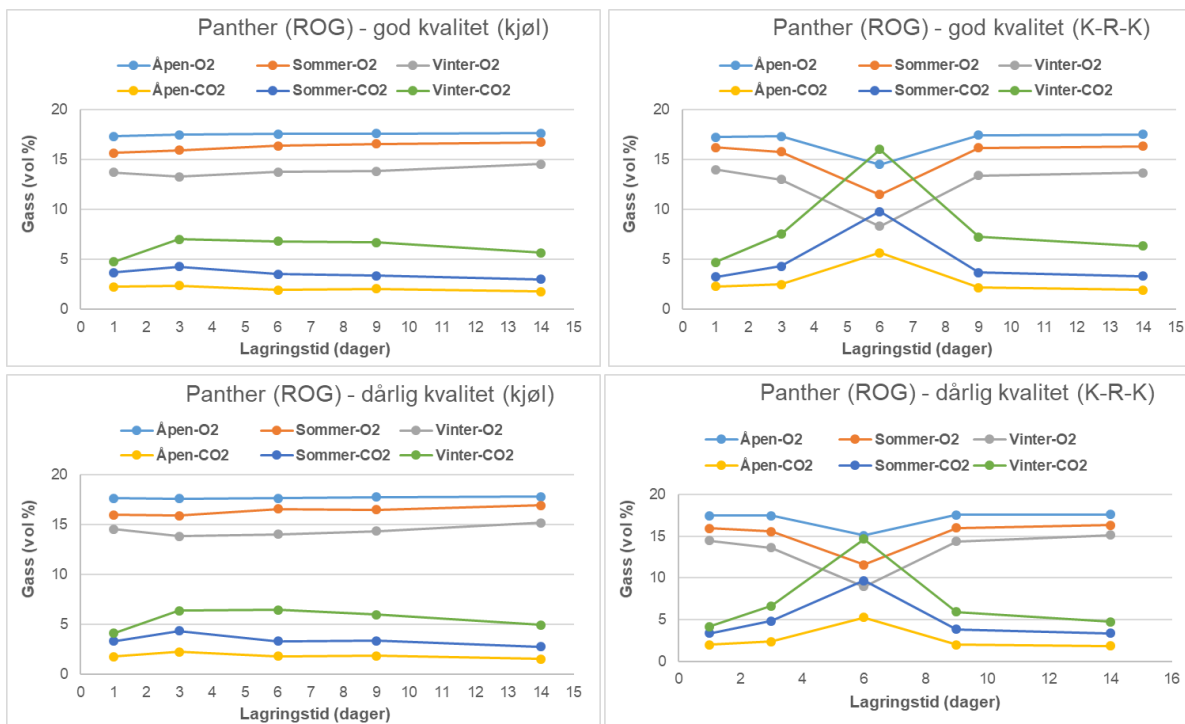
Temperaturloggingen viste høyere lagringstemperatur enn planlagt de første 3 dagene med nærmere 6 enn 4 °C i gjennomsnitt. Temperaturen på kjølerommet kan ha vært noe lavere idet tidligere forsøk med knappe-temperaturloggere har vist at loggerne viser 0,5 til 1 grad høyere enn reelt. De 2 andre temperaturene (20 og 6 °C) var som planlagt.

### 10.2.2 Gasskonsentrasjon i pakningene

Gass i pakningene ble målt etter 1, 3, 6, 9 og 14 dager for Triton (Figur 72,a) og Panther (Figur 72, b).



Figur 72, a. Gass konsentrasjoner (O<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub>) i gulrotpakninger (sort: Triton) med god og dårlig kvalitet ved lagring i 14 dager ved kjølte og K-R-K betingelser.



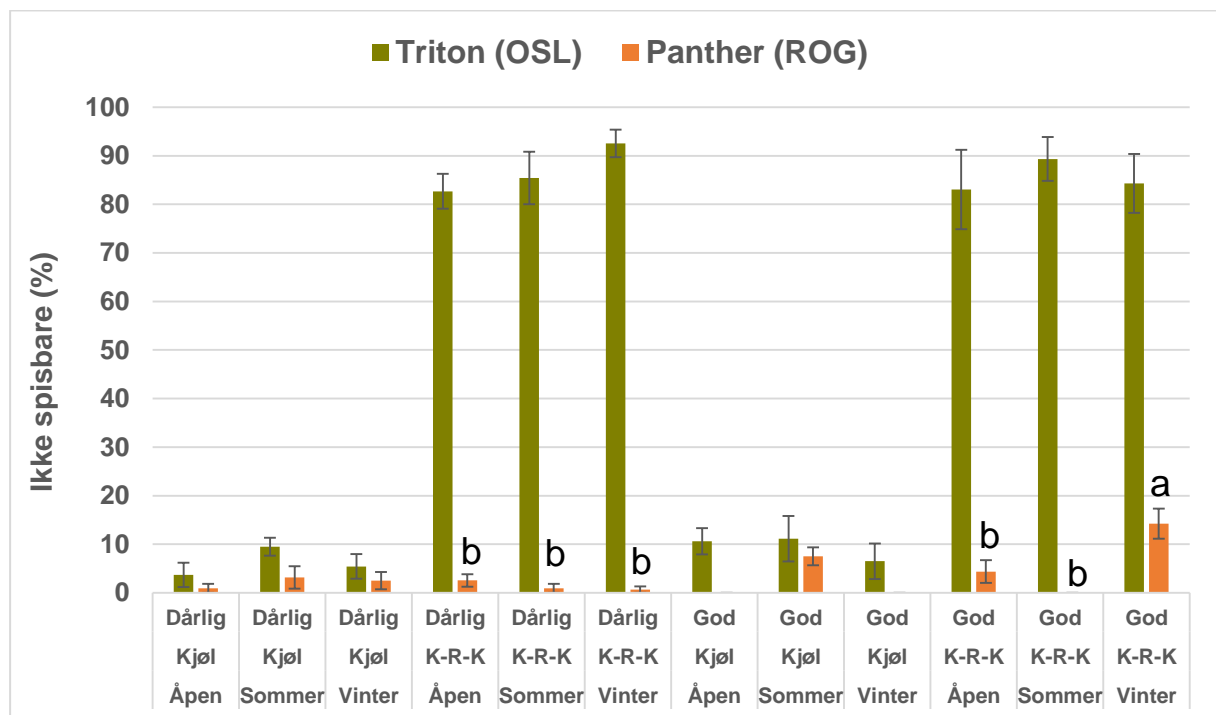
Figur 72, b. Gass konsentrasjoner (O<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub>) i gulrotpakninger (sort: Panther) med god og dårlig kvalitet ved lagring i 14 dager ved kjølte og K-R-K betingelser.

Gulrøttene fra Oslo regionen (Triton) hadde litt høyere CO<sub>2</sub> produksjon (høyere respirasjons kvotient (RQ) = CO<sub>2</sub> produksjon/O<sub>2</sub> forbruk) enn gulrøttene fra Rogaland (Panther). Høyeste CO<sub>2</sub>-nivå ble målt i vinterfilmen med ca. 20 % for Triton gulrøtter, mens tilsvarende CO<sub>2</sub>-nivå i vinterfilmen for Panther var ca. 16 %. Gassverdiene for Dagens emballasje lå mellom sommer- og vinterfilmen i forsøket (ikke vist i Figur 72).

### 10.2.3 Andel syke og spiselige røtter

**Andel syke røtter** ble vurdert etter 15 dagers lagring (resultater er ikke vist). Røttene ble klassifisert som syke uansett om de hadde bare et lite område med sykdom (f.eks. gropflekk) eller de hadde store områder med råte og slim. Lagringstemperatur hadde størst effekt på andel syke røtter. Det var stor forskjell i sykdomsgrad for de to sortene/pakkeriene. Triton fra Oslo regionen hadde i snitt 10 % syke røtter ved kjølelagring og 84 % ved K-R-K lagring. Panther fra Rogaland hadde i snitt 1 % syke røtter ved kjølelagring og 7,6 % ved K-R-K lagring. Svært lite tuppråte ble registrert i dette forsøket, noe som sannsynligvis var påvirket av en svært tørr og varm sommer i 2018.

Siden gulrøttene ble vurdert med hensyn på sykdom etter 15 dager, simulerte dette ikke kvalitet ved salg i butikk, men kvalitet etter en ukes lagring hos forbruker. **Andel ikke spiselige røtter** (Figur 73) ble dermed vurdert som et bedre estimat for kvalitet og matsvinn enn andel syke røtter. Slimete eller mugne røtter (flesteparten under kategorien annet) ble vurdert som ikke spiselige. Røtter med annen sykdom ble vurdert som spiselige hvis det kun var små områder (flekker) med skade/sykdom. Enkelte pakninger kunne ha 1-2 røtter som ble vurdert som ikke spiselige. Hvis de resterende røttene i pakningen så bra ut, ble de vurdert som spiselige. Det antas imidlertid at en del forbrukere kaster hele pakningen når de ser at enkelte av røttene er dårlige. Vårt estimat for matsvinn er dermed relativt forsiktig.



Figur 73. Andel ikke spiselige røtter for Triton (OSL) og Panther (ROG) etter 15 dagers lagring ved kjøletemperatur (4 °C i 3 dager + 6 °C i 12 dager) eller K-R-K betingelser (4 °C i 3 dager + 20 °C i 3 dager + 6 °C i 9 dager). Stolpene angir standard feil for middelveidene (SEM). Forskjellig bokstav indikerer signifikante forskjeller mellom de tre typene perforering for dårlig og god kvalitet lagret ved K-R-K betingelser.

Figur 73 viser at det var stor forskjell i andel ikke spisbare røtter for de to gulrotsortene, og at en kort periode med lagring på romtemperatur ga dårlig kvalitet etter ytterligere kjølelagring i 9 dager. Etter lagring ved kjøletemperatur i 15 dager var ca. 10 % av Triton gulrøttene ikke spisbare. Ved K-R-K betingelser med 3 dager ved 20 °C var 90 % av røttene ikke spisbare. Bilde 7 viser at en stor andel av disse pakkene hadde hvitlimete gulrøtter og de luktet gjær og råte ved åpning.

Etter 15 dager på kjøle var under 7 % av Panther gulrøttene ikke spisbare. Ved K-R-K betingelser var under 3 % ikke spisbare for dårlig parti og 4 til 14 % ikke spisbare for godt parti.

Ved kjølelagring hadde sommerfilmen signifikant høyere andel (5,5 %) ikke spisbare gulrøtter i pakkene enn de andre prøvene. Ved K-R-K lagring hadde vinterfilmen signifikant høyere andel (14,2 %) ikke spisbare røtter enn åpen film og sommerfilmen.

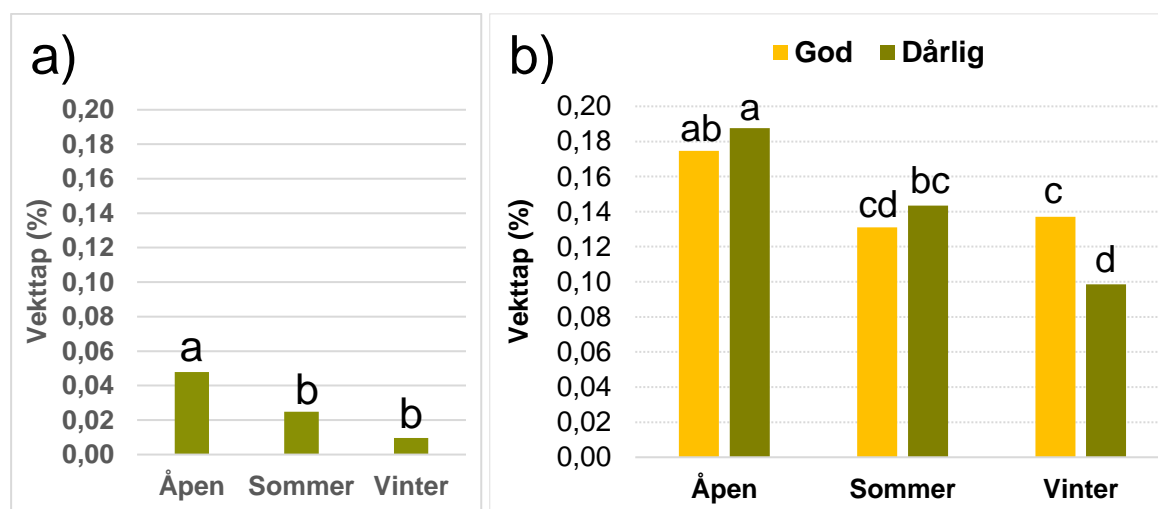


Bilde 7. Triton gulrøtter (OSL) lagret i 15 dager ved K-R-K betingelser (4 °C i 3 dager + 20 °C i 3 dager + 6 °C i 9 dager). Foto: Hanne Larsen (Nofima).

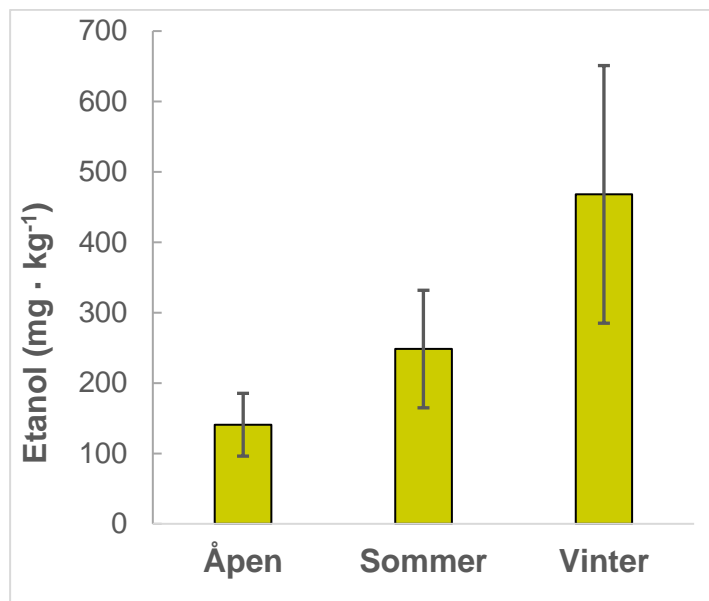
#### 10.2.4 Vekttap, innhold av etanol, groing og bustete røtter

Siste veiing for vekttap og andre kvalitetsanalyser ble ikke utført for Triton gulrøttene idet kvaliteten var svært dårlig etter 15 dagers lagring. For Triton gulrøttene ble det heller ikke påvist signifikante forskjeller mellom de to kvalitetene eller de tre filmtypene.

Panther gulrøttene fra Rogaland ble analysert for vekttap (Figur 74a og b) og innhold av etanol ved K-R-K-betingelser (Figur 75), og andel røtter med groing og bustete røtter ble vurdert i tillegg til andel syke og ikke spisbare røtter.



Figur 74. Vekttap for Panther gulrøtter (ROG) pakket i åpen, sommer og vinterfilm etter 14 dagers lagring ved a) kjøletemperatur (4 °C i 2 dager + 6 °C i 11 dager) og b) K-R-K betingelser (4 °C i 2 dager + 20 °C i 3 dager + 6 °C i 8 dager). Forskjellig bokstav indikerer signifikante forskjeller mellom de tre typene perforering.

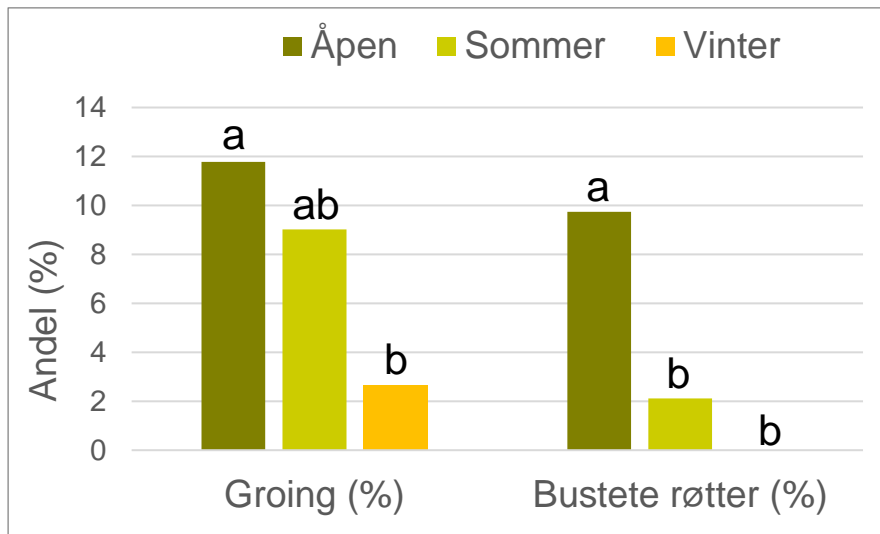


Figur 75. Etanol (mg/kg) i Panther gulrøtter (ROG) av god kvalitet pakket i åpen, sommer og vinter film etter 15 dagers lagring ved K-R-K betingelser (4 °C i 3 dager + 20 °C i 3 dager + 6 °C i 9 dager). Stolpene angir standard feil for middelveiene (SEM).

Ved kjølelagring hadde vinterfilmen med færrest hull lavest vekttap, men vekttapet var ikke signifikant lavere enn i sommerfilmen. Åpen film med to rader perforering hadde signifikant høyest vekttap. Lagring ved K-R-K betingelser viste at lagring ved romtemperatur i 3 dager 4-doblet vekttapet sammenlignet mot kjølelagring i hele lagringsperioden. Vinterfilmen med færrest hull hadde signifikant lavest vekttap. Det høyeste vekttapet var 0.2 %.

Resultatene viste en tendens til høyere etanol innhold i gulrøtter pakket i vinterfilm med det høyeste CO<sub>2</sub>-nivået i frivolumet. De fleste av vinterfilm pakningene (og flere av dagens pakninger) luktet etanol ved åpning, mens tilsvarende etanol lukt ikke ble observert for de to andre filmtypene. På grunn av stor variasjon i prøvene for hver filmtyp, ble det ikke påvist signifikante forskjeller i etanolinnhold for gulrøtter i de tre filmtypene.

For egenskapene groing og bustete røtter var det ved kjølelagring ikke signifikante forskjeller mellom de tre typene perforering. Ved K-R-K betingelser var det signifikante forskjeller mellom type perforering for groing og bustete røtter (Figur 76).



Figur 76. Andel groing og bustete røtter for Panther gulrøtter (ROG) pakket i åpen, sommer og vinter film etter 15 dagers lagring ved K-R-K betingelser (4 °C i 3 dager + 20 °C i 3 dager + 6 °C i 9 dager). Forskjellig bokstav indikerer signifikante forskjeller mellom de tre typene perforering.

Ved realistiske lagringsbetingelser var det lavest andel groing og bustete røtter i vinterfilm og høyest andel i åpen film.

## 10.3 Diskusjon

### 10.3.1 Effekt av ulik startkvalitet på gulrotpartiene

Ved kjølelagring hadde dårlig parti av Panther gulrøttene fra Rogaland noe mer råte og mindre groing enn godt parti. Ved K-R-K lagring var det motsatt slik at godt gulrotparti hadde noe mer råte og mindre groing enn dårlig parti. Sorteringen av godt og dårlig parti ble subjektivt vurdert ved pakkeriene og ga ikke entydige forskjeller i denne undersøkelsen.

### 10.3.2 Effekt av temperatur i distribusjonskjeden på gulrotkvalitet

Lagringstemperatur hadde størst effekt på andel syke og ikke spisbare røtter. Simulering av dagens praksis i mange butikker med oppbevaring på romtemperatur ga betydelig økt risiko for sykdomsutvikling i gulrøttene senere i lagringsperioden hos forbruker. Triton fra Oslo regionen hadde i snitt 10 % syke røtter ved kjølelagring og 84 % ved realistisk lagring. Panther fra Rogaland hadde i snitt 1 % syke røtter ved kjølelagring og 7,6 % ved realistisk lagring. Forskjellene i sykdomsomsfang kan skyldes både regionale forhold og ulik sykdomsresistens hos de to gulrotsortene. Pakkeriet i Oslo regionen var overrasket over den dårlige kvaliteten som ble registrert på deres Triton gulrøtter i dette forsøket, idet pakkeriet ikke registrerte økt andel klager i den perioden disse gulrøttene ble pakket. Vi vet ikke om det har skjedd noe spesielt med de to Triton gulrotpartiene før pakking, eller om disse gulrøttene var representative for den kvaliteten som ble pakket og solgt i tiden rundt pakkeforsøket.

Pakkeforsøket viste tydelig effekt av brutt kjølekjede i butikkledet. Å sikre en ubrutt kjølekjede er det viktigste tiltaket for å redusere svinn fra pakking til konsum.

#### 10.3.2.1 Effekt av perforering på gasskonsentrasjon i pakningene

Gassanalysene viste tydelig effekt av ulik perforering i pakningene med følgende rekkefølge fra laveste CO<sub>2</sub> konsentrasjoner (og høyeste O<sub>2</sub> konsentrasjoner): Åpen film (2 laserhullrekker med 7 mm mellom



hullene) < sommerfilm (1 laserhullrekke med 7 mm mellom hullene) < vinterfilm (1 laserhullrekke med 14 mm mellom hullene). Dagens film analysert for gass konsentrasjoner ved K-R-K betingelser lå mellom sommer og vinterfilmen.

I dette pakkeforsøket var det høyeste CO<sub>2</sub>-nivå for Triton røttene (OSL) i vinterfilmen med ca. 20 %, mens tilsvarende nivå for Panther (ROG) var ca. 16 %. Dette indikerte at Triton gulrøttene hadde litt høyere CO<sub>2</sub> produksjon (høyere respirasjonskvotient (RQ) = CO<sub>2</sub> produksjon/O<sub>2</sub> forbruk) enn Panther gulrøttene. Tidligere målinger av respirasjon for flere norske gulrotsorter viste at gulrøtter av sorten Nelson høstet tidlig i sesongen hadde dobbelt så høy respirasjon som lagringsgulroten Triton høstet i oktober (Larsen og Wold, 2015). De andre sortene var på et tilsvarende nivå som Triton, med litt høyere respirasjon om høsten like etter høsting enn senere i sesongen. Dette viser at perforeringen må tilpasses både gulrotsort og tid på året.

### 10.3.3 Effekt av perforering på gulrotkvaliteten

Tidligere undersøkelser utført av Larsen og Wold (2016) har vist at utilstrekkelig perforering i forbrukerpakningene kan gi O<sub>2</sub> konsentrasjoner under 5% og CO<sub>2</sub> konsentrasjoner over 30% når pakningene lagres ved romtemperatur i 3 dager. Disse betingelsene ga gulrøttene lukt og smak av etanol og høyere risiko for utvikling av råte. Pakker med tilsvarende perforering som ble lagret kjølig i hele lagringsperioden hadde gasskonsentrasjoner rundt 10% O<sub>2</sub> og 10 % CO<sub>2</sub>. Gulrøttene i disse pakningene utviklet ikke etanol lukt og smak, men de var imidlertid mer utsatt for råte enn pakninger med større andel perforeringer og tilnærmet luftatmosfære. Edelenbos (2010) hevder at gulrøtter er relativt sensitive for reduserte O<sub>2</sub> og forhøyede CO<sub>2</sub> konsentrasjoner og tolererer bare ca 18 % O<sub>2</sub> og 3 % CO<sub>2</sub>. Suslow et al (2002) hevder at gulrøtter er mer utsatt for kvalitetsforringelse hvis de utsettes for CO<sub>2</sub>-nivåer over 5%, og lave oksygenkonsentrasjoner, under 3%, tolereres ikke godt og resulterer generelt i økt bakteriell råte.

I etterkant av undersøkelsen utført av Larsen og Wold i april 2014 (Larsen og Wold, 2016) har pakkeriene doblet antall perforeringer i filmene. CO<sub>2</sub> konsentrasjonen er imidlertid fortsatt over 5 % hvis gulrøttene lagres ved 20 °C, og det sentrale spørsmålet i dette forsøket var hvorvidt en kort periode med CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner i området 16-20% ville påvirke gulrotkvaliteten negativt og om åpnere filmer ville gi bedre kvalitet og holdbarhet. Dette forsøket viste en tendens til mer råte (registrert som annet) og høyere andel ikke spisbare gulrøtter i vinterfilmen med CO<sub>2</sub> konsentrasjoner over 10 %. De fleste av vinterfilm pakningene (og flere av dagens pakninger) luktet også etanol ved åpning, mens tilsvarende etanol lukt ikke ble observert for pakninger med sommerfilm og åpen film. Analyser av gulrøttene i vinterfilmen lagret under K-R-K betingelser viste også en tendens til høyere etanol innhold selv om forskjellene mellom filmene ikke var signifikante.

Forsøket viste en tendens til mer groing og bustete røtter ved økende perforeringsgrad, det vil si økt tilgang på O<sub>2</sub> og redusert CO<sub>2</sub> konsentrasjon. Edelenbos (2010) fant at redusert O<sub>2</sub> tilgang og økt CO<sub>2</sub> konsentrasjon ved CA lagring (18 % O<sub>2</sub> + 3 % CO<sub>2</sub>) av gulrøtter i 7 måneder reduserte groing og utvikling av bustete røtter for gulrotsorten Nipomo. Men, de CA-lagrede røttene hadde samtidig høy forekomst av muggsopp som gav sorte flekker på gulrøttene.

En høy grad av perforering kan gi økt risiko for uttørking av gulrøttene. Det høyeste vekttapet i dette forsøket var 0.2 % for åpen film ved K-R-K betingelser. Dette vekttapet er så lavt at det i liten grad påvirket kvaliteten, og det ble ikke observert forskjeller i farge på gulrøttene («white blush») pakket i de ulike filmtypene. Gulrøtter kan tåle å miste 8 % av opprinnelig vekt og fortsatt være salgbare (Edelenbos et al., 2020).

## 10.4 Anbefalinger

Butikkene oppfordres til å lagre gulrøttene kjølig under eksponering (ubrutt kjølekjede) uavhengig av type film som benyttes. Hvis gulrøttene eksponeres ved romtemperatur i butikk vil pakking i sommerfilm gi lavere risiko for høye og skadelige CO<sub>2</sub> konsentrasjoner (> 10 % CO<sub>2</sub>) som igjen vil føre til:

- Lavere risiko for utvikling av etanol lukt og smak på gulrøttene.
- Lavere risiko for utvikling av slim og råte ved videre oppbevaring av gulrøttene hos forbruker (lavere risiko for matsvinn).

En overgang til sommerfilm hele året vil gi forenklet lagerhold ved pakkeriene og det er ikke nødvendig å bytte film avhengig av sesong.

# 11 Effekt av forbehandlinger med naturlig sopphegger fra BioCHOS og klor på utvikling av mørke snittflater på kålrot

Forbehandling med naturlig sopphegger for å redusere forekomst av mørke snittflater på kålrot inngikk som en arbeidspakke i H5. Kålrot er utsatt for utvikling av mørke flekker i snittflaten. Problemet er størst i plastpakket kålrot, og råten forårsakes av jordboende sopp og bakterier. Kitosan, som utvinnes fra rekeskall, er demonstrert å ha antimikrobielle egenskaper mot mange bakterier, sopp og gjær (Falguera et al., 2011; Shiekh et al., 2013). BioCHOS utvikler plantevernmidler som inneholder antifungale kitosan-oligomerer (naturlig sopphegger). Gjennom Optirod prosjektet ønsket man å teste om påføring av kitosan-oligomerer fra BioCHOS før pakking i plast krympefilm hadde effekt på utvikling av mørke snittflater i kålrot. Behandling med klor og kalsiumsalt ble også tatt med i oppsettet for å studere effekt av alternative behandlinger.

## 11.1 Materialer og metoder

Det ble utført to innledende laboratorieforsøk og ett industrielt forsøk ved kålrotpakkerier i to regioner (INN og OSL) der hensikten var å vurdere effekt av BioCHOS kitosan-oligomerer (AC) på ulike plantepatogene sopper på kålrot-biter i petriskåler. Resultatene fra disse forsøkene skulle brukes for å bestemme konsentrasjoner for behandling (dypping eller sprøyting) av kålrot på pakkeri før plasting.

### 11.1.1 Laboratorieforsøk 1

Tre patogener ble isolert fra kålrot og ble brukt for inokulasjon: *Fusarium avenacum*, *Botrytis cinerea* (gråskimmel) og Patogen X. Disse ble behandlet med 1) Kitosan 0.05%, 2) Kitosan 0.1%, 3) Kitosan 0.2% og 4) 10 % sitronsyre. Positiv kontroll var smittet kålrot og negativ kontroll var ubehandlet kålrot.

Fremgangsmåte: Kålrot ble skivet i kvadrater (5 x 5 cm) og dyppet ved hjelp av en pinsett i ulike løsninger av hhv. kitosan og sitronsyre. Deretter fikk hver bit renne av seg før de ble flyttet over i petriskåler. Deretter ble agarpluggen med de ulike patogenene satt på kålrotbitene, petriskålene ble lukket og forseglet med parafilm. Tre paralleller av hver behandling ble tillaget. Forsøket ble gjentatt for alle behandlinger og patogener ved både romtemperatur (20°C) og i kjølerom (4°C). Diameter av lesjoner ble målt ved hjelp av programmet ImageJ. Resultatene ble deretter bearbeidet i Excel.

Det første laboratorieforsøket viste en god indikasjon på at kitosan oligomerer har en fordelaktig effekt når det gjelder utvikling av sykdom på kålrot. Men, det var behov for å gjenta forsøket med noen modifikasjoner for å unngå høy fuktighet i skålene.

### 11.1.2 Laboratorieforsøk 2

Hensikten var å gjenta første laboratorieforsøk med modifikasjoner. Endringene var: inkubasjon kun ved romtemperatur, positiv kontroll (uten behandling) ble dyppet i vann for å få mest mulig like forhold, kålrotbitene ble lufttørket før patogenene ble tilsatt, og skålene ble ikke forseglet med parafilm.

Patogener isolert fra kålrot og brukt for inokulasjon var de samme som i laboratorieforsøk 1, men uten Patogen X. Behandlinger var som i laboratorieforsøk 1, og fremgangsmåte var lik med små modifikasjoner som over. Tre paralleller av hver behandling ble tillaget.

### 11.1.3 Industrielt forsøk hos pakkerier i to regioner (INN og OSL)

Forsøksoppsett er vist i oversikt i Tabell 18. Etter coating ble kålrøttene lagret i 7 (INN) eller 6 dager (OSL) ved pakkeriene. Etter 6-7 dagers lagring ved pakkeriene, ble kålrøttene fraktet til Nofima Ås og lagret ved 20 °C.

Tabell 18. Forsøksoppsett for coating av hele kålrøtter.

Pakkeri	Påføring	Behandling	Røtter/kasse	Kasser	Totalt - røtter
Innlandet (INN) Sort: Vigod * Metode: Dypping		Kontroll (vann)	12	3	36
		CaCl <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (klor)	12	3	36
		0.2% kitosan	12	3	36
		0.1% kitosan	12	3	36
Oslo regionen (OSL) Sort: Vigod ** Metode: Dypping		Kontroll (vann)	12	3	36
		CaCl <sub>2</sub> -salt (salt)	12	3	36
		CaCl <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (klor)	12	3	36
		0.2% kitosan	12	3	36
		0.1% kitosan	12	3	36
		Uemballert	12	3	36

\* Vasket og pusset ett døgn tidligere – på kjøøl over natt før coating

\*\* Pusset og vasket rett før coating (våte når dyppet i løsninger)

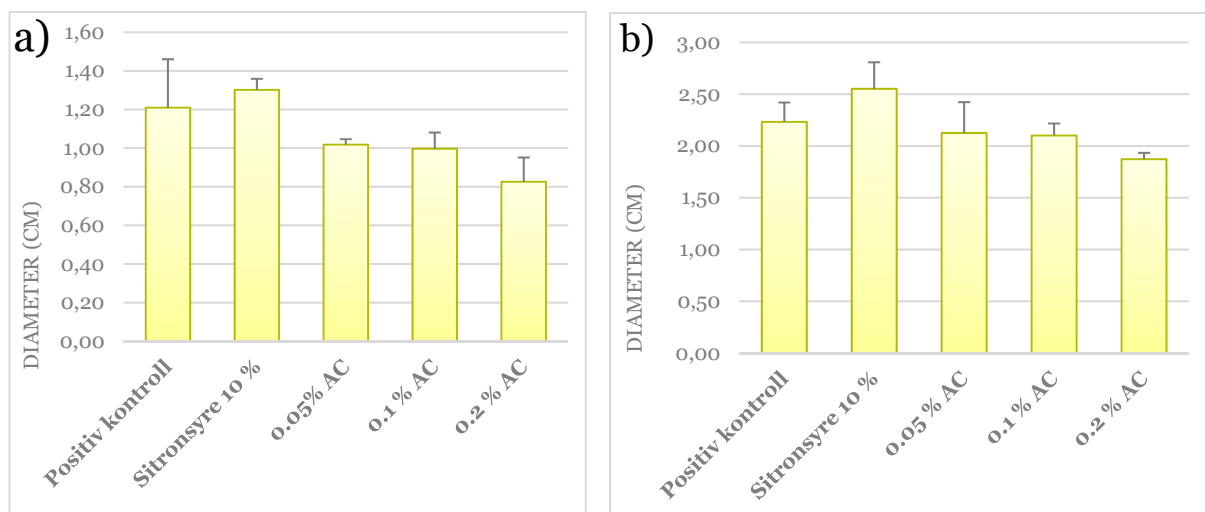
Sykdomsutvikling ved mottak og etter 3 og 8 dager ble vurdert i samarbeid med NIBIO Plantehelset.

- Forekomst ble registrert ved å telle antall røtter i en kasse som hadde et typisk sykdomssymptom i forhold til totalantallet røtter i kassen.
- Alvorlighetsgraden var det totale arealet av roten som var berørt av sykdommen eller den fysiologiske skaden (misfarging).
- Alvorlighetsgraden ble registrert for 6 av 12 røtter tilfeldig plukket i hver kasse.

## 11.2 Resultater

### 11.2.1 Laboratorieforsøk 2

Kun Excel-figurene med de viktigste resultatene er vist (Figur 77, a og b).



Figur 77. Diameteren av de ulike lesjonene for de ulike behandlingene av kålrot infisert med a) *Fusarium avenacum* og b) *Botrytis cinerea* og inkubert i 3 dager. Verdiene på y-aksen indikerer lesjon-størrelse i cm og stolpene standardavviket til middelverdiene.

Figur 77, a indikerer at sitronsyre ikke gir særlig effekt mot *Fusarium avenacum*. Kitosan (AC) ga beskyttelse mot infeksjon av *Fusarium avenacum*. Beskyttelsen økte med økt konsentrasjon.

Figur 77, b indikerte at sitronsyre ikke gir særlig effekt mot *Botrytis cinerea* sammenliknet med positiv kontroll. Kitosan (AC) ga beskyttelse mot infeksjon av *Botrytis cinerea*. Beskyttelsen økte med økt konsentrasjon, men kun konsentrasjon på 0.2 % hadde signifikant effekt.

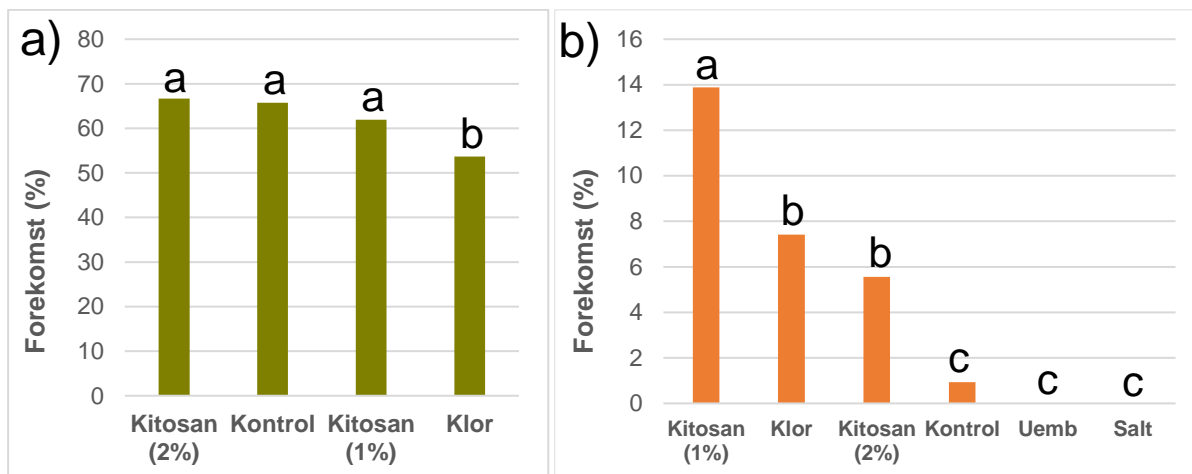
Resultatene indikerte at kitosan har en fordelaktig effekt når det gjelder utvikling av sykdom på kålrot, både for *Fusarium avenacum* og *Botrytis cinerea*. Metoden benyttet i disse forsøkene var ikke optimal da kålrota får fersk sårflate etter kutting og er derfor svært mottakelig for infeksjon; mer mottakelig enn hva tilfellet er for en kålrot med skall. Ut fra laboratorieforsøkene ble det besluttet å teste to kitosan-oligomer løsninger (0.1 % og 0.2 %) og sammenligne mot dypping i hypokloritt (klor) og vann som kontroll.

Pakkeriet i Innlandet besluttet å avvikle spraying med sitronsyre etter at resultatene fra disse testene forelå.

### 11.2.2 Industrielt forsøk ved to kålrotpakkerier (INN og OSL)

Kålrotpartiet behandlet og pakket i region Innlandet hadde høy forekomst og alvorlighetsgrad av mørke snittflater (Figur 78, a). Behandlingen med klor ga signifikant lavere andel røtter med mørke snittflater, men røttene hadde fortsatt over 50 % mørke snittflater.

Kålrotpartiet behandlet og pakket i Oslo regionen hadde lav forekomst og alvorlighetsgrad av mørke snittflater (Figur 78, b). Resultatene for dette pakkeriet viste signifikant lavere andel røtter med mørke snittflater for variantene kontroll, uemballert og salt (< 1%).



Figur 78. Middelerverdi for uttak etter 0, 3 og 8 dager for forekomst av mørke snittflater behandlet med a) 4 behandlinger ved pakkeriet i Innlandet og b) 6 behandlinger ved pakkeriet i Oslo regionen. Forskjellig bokstav indikerer signifikante forskjeller mellom de behandlingene.

Påføring av begge konsentrasjonene av kitosan førte til en fysiologisk reaksjon som ga misfargede snittflater på kålrøttene (Bilde 8).



Bilde 8. Misfarging av adaxial snittflate for kålrøtt behandlet med kitosan løsning. Foto: Belachew Adalf Tadesse (NIBIO).

### 11.3 Diskusjon

Det var stor forskjell mellom de to pakkeriene med hensyn på forekomst av sykdom og alvorlighetsgrad (spesielt for mørke snittflater). Pakkeriet i Innlandet hadde høy forekomst og alvorlighetsgrad av mørke snittflater der klor hadde litt lavere (liten men signifikant effekt) forekomst av mørke snittflater enn de andre behandlingene. Pakkeriet i Oslo regionen hadde relativt lav forekomst av mørke snittflater, der behandlingene med kitosan og klor (forekomst på henholdsvis 5,6 til 13,9 %) hadde signifikant høyere andel mørke snittflater enn kontroll, salt og uemballert (< 1 %). Resultatene fra dette pakkeriet viste at kontrollen og uemballert ga lavest andel total sykdom (mørke snittflater + Fusarium).

Kitosan behandling stimulerte til en fysiologisk reaksjon på adaxial snittflate av kålrøttene (misfarging = brun overflate) for begge konsentrasjonene av kitosan.

Våre forsøk viste at behandling med kitooligosakkarider fra BioChos ikke hadde reduserende effekt på forekomst av mørke snittflater. Dypping i klorløsning reduserte omfanget av mørke snittflater for kålrøtter fra Innlandet (relativt liten men signifikant effekt). Tilsvarende effekt for klorbehandling ble ikke påvist ved pakkeriet i Oslo regionen.

## 11.4 Konklusjon

Resultatene fra laboratorieforsøkene indikerte at kitosan har en fordelaktig effekt når det gjelder utvikling av sykdom på kålrot, både for *Fusarium avenacum* og *Botrytis cinerea*.

Forsøket med testing i industriell skala viste at behandling med kitosan-oligomer løsninger fra BioCHOS i dette forsøket ikke hadde reduserende effekt på forekomst av mørke snittflater. Kitosan-oligomer behandlingen stimulerte til en fysiologisk reaksjon (brun misfarging) på snittflatene mot stilken. Behandling av kålrøtter med klor ga litt lavere (liten men signifikant effekt) forekomst av mørke snittflater enn de andre behandlingene ved pakkeriet med høyest forekomst av mørke snittflater. Klorbehandling av røttene fra pakkeriet med lavest forekomst av mørke snittflater hadde ikke tilsvarende reduserende effekt.

## 12 Litteratur

- Edelenbos, M. 2010. How do alternative storage methods affect the storage potential of carrots? *Acta Hort.* p 287-294. ISBN 9066052066.
- Edelenbos, M., Wold, A.-B., Wieczynska, J. and Luca, A. 2020. Roots: Carrots. In: *Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce*. ed. Elsevier. pp 605-608. M. I. Gil and R. Beaudry, eds. Academic Press. p 605-608.
- Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A. and Ibarz, A. 2011. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*. 22; (6):292-303.
- Flones, M. 1973. Lagringsforsøk med gulrot. Statens forsøksgård Kvithamar, melding nr. 90. Særtrykk fra *Gartneryrket* 63, 42 (G-utgave nr. 6): 738-740.
- Larsen, H. and Wold, A.-B. 2015. Optimisation of packaging for carrot roots (*Daucus carota* L.) stored at different temperatures. Paper presented at 27th IAPRI Symposium on Packaging (Valencia, 8 – 11 June, 2015). ISBN 978-84-943398-3-7.
- Larsen, H. and Wold, A.-B. 2016. Effect of modified atmosphere packaging on sensory quality, chemical parameters and shelf life of carrot roots (*Daucus carota* L.) stored at chilled and abusive temperatures. *Postharvest Biology and Technology*. 114; 76-85.
- Shiekh, R. A., Malik, M. A., Al-Thabaiti, S. A. and Shiekh, M. A. 2013. Chitosan as a novel edible coating for fresh fruits. *Food Science and Technology Research*. 19; (2):139-155.
- Suslow, T., Mitchell, J. and Cantwell, M. 2002. Carrot: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. [http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity\\_Resources/Fact\\_Sheets/Datastores/Vegetables\\_English/?uid=9&ds=799](http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Vegetables_English/?uid=9&ds=799). (Accessed Nov 2019).



# 13 Kartlegging av lagre - kvalitet og lagerforhold

Kartleggingen av lagre er utført over et stort geografisk område. Kartlegging ble gjennomført i to lagringssesonger innen regionene Rogaland (ROG) Midt-Norge (MID), Innlandet (INN) og Oslo/Østfold/Vestfold (OSL).

## 13.1 Material og metodikk

Innen hver region ble den eller de aktuelle kulturene (se tabell 19) dyrket på ett felt respektivt. Etter høsting ble råvaren veid og registrert for eventuelle skader/sykdommer og fordelt på lagre for den aktuelle kulturen innen samme region. På hvert lager ble det lagret inn fire sekker med 100 gulrøtter/25 kålrot eller knollselleri i hver sekk og fordelt på fire kasser i lagret. I hver sekk ble det registrert temperatur og relativ fuktighet (se også kap. 4,5 og 6). Ved uttak fra lagre ble råvarene igjen veid og registrert for sykdommer og eventuelle fysiologiske skader. Aktuell sort varierer mellom regioner (ikke innen region da alt ble dyrket på et felt) og kan også variere fra år til år. Vurdering av sykdommer sier noe om forekomsten av gitte symptomer. Dette betyr ikke at en del av røttene ikke kan være salgbare etter vasking og pussing.

Tabell 19. Regioner innen prosjektet og kulturer dyrket og lagret innen disse.

Region	Kultur	Sort dyrket i dyrkings år		Antall lagrer med lagring av pågjeldende kultur
		2016	2017	
ROG Rogaland	Gulrot	Panther	Panther	3
	Kålrot	Neve	Neve	2
OSL Oslofjorden.	Gulrot	Namdal	Namdal	3
	Kålrot	Vigod	Vigod	3
	Knollselleri	Prinz	Prinz	4
INN Innlandet	Gulrot	Triton	Natalja	3
	Kålrot	Vigod	Vigod	4
MID Midt-Norge (med Smøla)	Gulrot	Romance	Romance	3
	Kålrot	Vige	Vigod	2

For å finne eventuelle sammenhenger mellom kvalitet og lagerforhold er data på kvalitet analysert i forhold til ulike temperaturdata. Temperaturdata er beregnet ut fra målingene beskrevet i kapittel 4, 5 & 6. Variablene er valgt dels ut fra andre undersøkelser i dette prosjektet, som for eksempel undersøkelser på sårheling og ellers ut fra eksisterende viten. De modellerte temperatur data var:

- Akkumulert temperatur gjennom lagringsperioden (akkumulert av ukes gjennomsnitt)
- Antall episoder med temperatur oppgang  $>0,5^{\circ}\text{C}$  mellom uker
- Gjennomsnittlig temperatur de første to ukene av lagringen – innlagring.

## 13.2 Statistikk

En generell lineær modell er tilpasset til dataene (General Linear Model i Minitab). I modellen uttrykkes ulike kvalitetsvariabler som funksjon av temperaturvariabler. Modellen tar høyde for forskjeller mellom regioner og mellom lagrer innen regioner.

## 13.3 Kartlegging av gulrot

### 13.3.1 Kartlegging av gulrot 2016-17

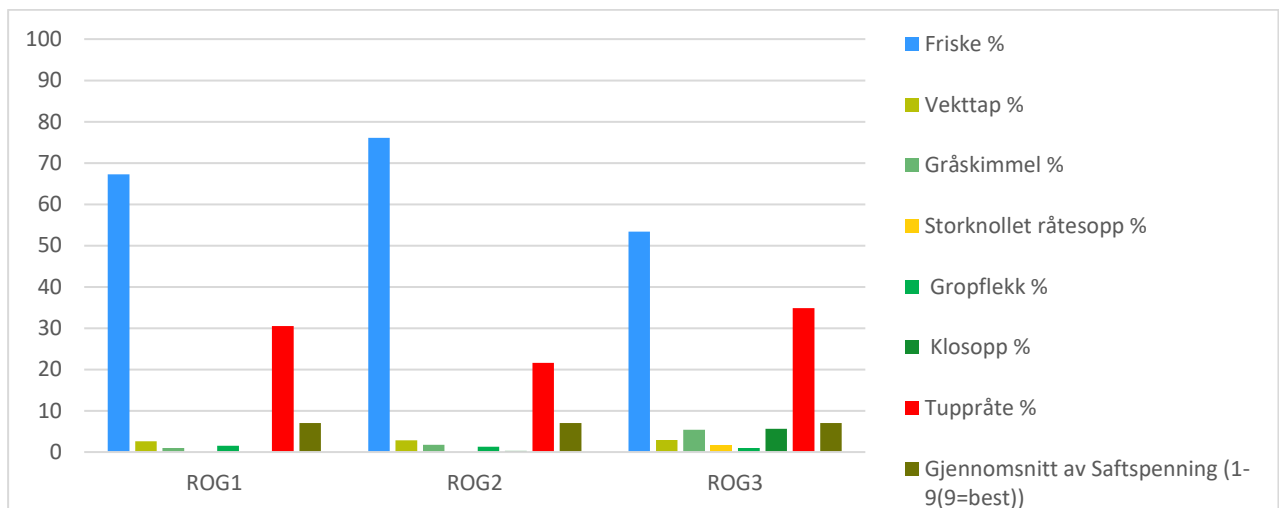
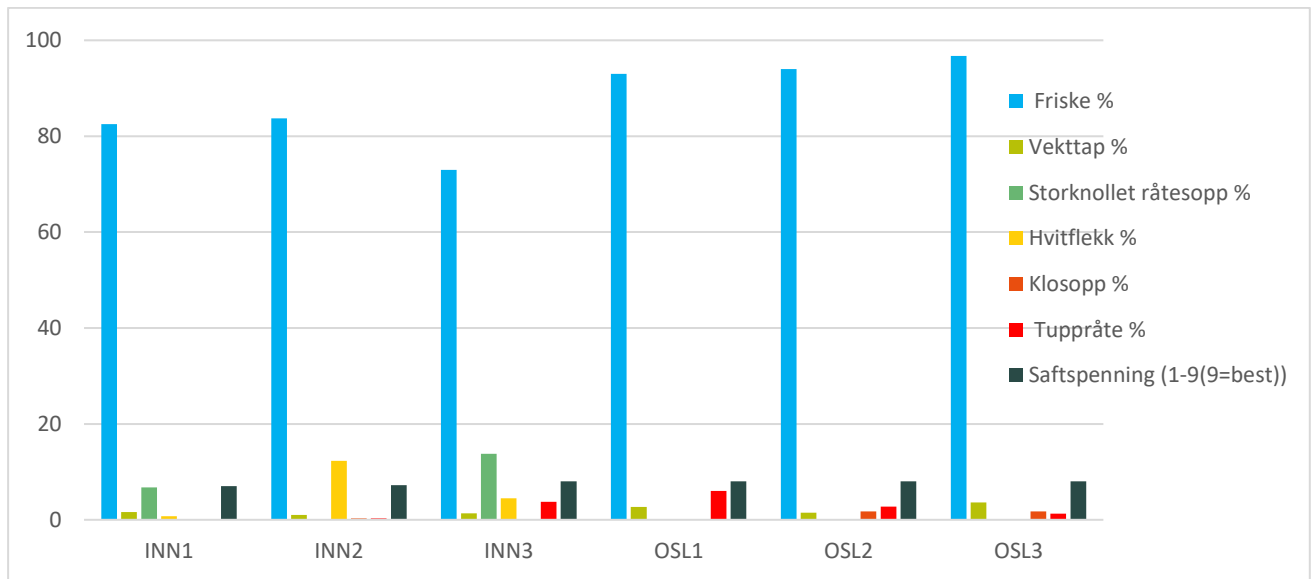
Temperaturforholdene varierte mellom lagrene både mellom lagre innen de enkelte regioner og også mellom regionene (Tabell 20).

Tabell 20. Variasjon i temperaturforhold på lagrene gjennom sesongen 2016-17. Akkumulert temperatur er summen av middel-temperatur per uke. Temperatur episoder  $>0,5^{\circ}\text{C}$  er differensen uke til uke og antall av disse hvor temperaturen har gått opp mere enn  $0,5^{\circ}\text{C}$  (snitt fra fire kasser). Forskjellige bokstaver etter kolonnen angir at det er sikre forskjeller mellom lagre.

Gulrot 2016-17						
Lager	Akkumulert temp, $^{\circ}\text{C}$		Temp episoder $>0,5^{\circ}\text{C}$ , antall		Snitt temp første 2 ukene, $^{\circ}\text{C}$	
INN1	79,27	ab	3	a	7,14	a
INN2	83,06	ab	1	a	2,89	e
INN3	67,29	abc	3	a	5,72	b
OSL1	92,70	a	2,25	a	4,49	cd
OSL2	72,74	ab	1	a	5,59	bc
OSL3	60,20	bc	1,33	a	3,89	de
ROG1	55,8964	bc	3,75	a	3,99	de
ROG2	42,4528	c	2,75	a	3,99	de
ROG3	77,6942	ab	2,5	a	3,66	de

INN og OSL er behandlet for seg på grunn av annen metodikk mellom disse og ROG for bedømming av Tuppråte. MID gulrot gikk dette året av ulike årsaker ut.

Figur 79a & 79b viser resultater fra kvalitetsvurderingen. Etter lagring så vi noe variasjon i %-andel friske røtter. Det var ingen observasjoner på gropflekk og gråskimmel i INN / OSL dette året. I ROG3 var det mye sykdom i gulroten ellers i kassen, dette kan ha virket negativt inn på gulroten lagret i sekk. Andelen av friske røtter var størst i region OSL, det samme var saftspenningen i røttene.



Figur 79 a & 79 b. Kvalitetsvurdering i gulrot i regionene OSL og INN 79a og i Rogaland 79b, etter lagring i sesongen 2016-17.

Sammenstiller vi kvalitetsdata for sesongen 2016-17 med de modellerte temperaturdata fant vi at det var en negativ sammenheng mellom forekomst av tuppråte og gjennomsnittstemperatur på lager de to første ukene. Mens forekomsten av tuppråte så ut til å øke med en økning i akkumulert temperatur gjennom lagringsperioden (Tabell 21 & 22). De modellerte temperaturvariablene sammen med lager og region, kan forklare mellom 73% - 94% av variasjonen i tuppråte og 40% - 97% av variasjonen i % friske røtter.

Tabell 21. Lagre i Innlandet(INN) og Oslo/Viken (OSL). Kvalitetsvurdering etter lagring analysert i forhold til modellerte verdier for temperaturforhold på lagrene i sesongen 2016-17. Fortegnet på koeffisient angir positive eller negativ sammenheng med kvalitetsparameteren

Kvalitetsparameter	Friske %		Tuppråte %		Vekttap %		Saftspenning	
Gulrot								
Forklaringsvariabler	Regressions Koeffisient	P-verd	Regressions Koeffisient	P-verd	Regressions Koeffisient	P-verd	Regressions Koeffisient	P-verd
Kontinuerlige variable								
Akkumulert temperatur	0,147	0,7	0,166	<b>0,006</b>	0,0315	0,281	-0,008	0,145
Temp oppgang episoder >0,5C	0,42	0,908	0,758	0,148	-0,071	0,795	-0,066	0,224
Snitt temp 2 første uker	5,47	0,559	-3,44	<b>0,017</b>	-0,845	0,238	0,069	0,609
Kategoriske variable								
Lager(Region)		0,72		<b>0,01</b>		0,39		0,001
Region		<b>0,03</b>		0,39		0,98		0,001
R <sup>2</sup> =		40 %		73%		36 %		88%

Tabell 22. Lagre i Rogaland (ROG) Kvalitetsvurdering etter lagring analysert i forhold til modellerte verdier for temperaturforhold på lagrene i sesongen 2016-17. Fortegnet på koeffisient angir positive eller negativ sammenheng med kvalitetsparameteren

Kvalitetsparameter	Friske %		Tuppråte %		Vekttap %	
Gulrot						
Forklaringsvariabel	Regressions Koeffisient	P-verd	Regressions Koeffisient	P-verd	Regressions Koeffisient	P-verd
Kontinuerlige variable						
Akkumulert temperatur	-0,257	0,355	0,418	0,11	0,028	0,802
Temp oppgang episoder >0,5C	0,62	0,642	-0,57	0,625	0,12	0,832
Snitt temp 2 første uker	7,65	0,132	-10,97	<b>0,028</b>	-1,46	0,461
Kategoriske variable						
Lager		0,503		<b>0,02</b>		0,928
R <sup>2</sup> =		97 %		94 %		24 %

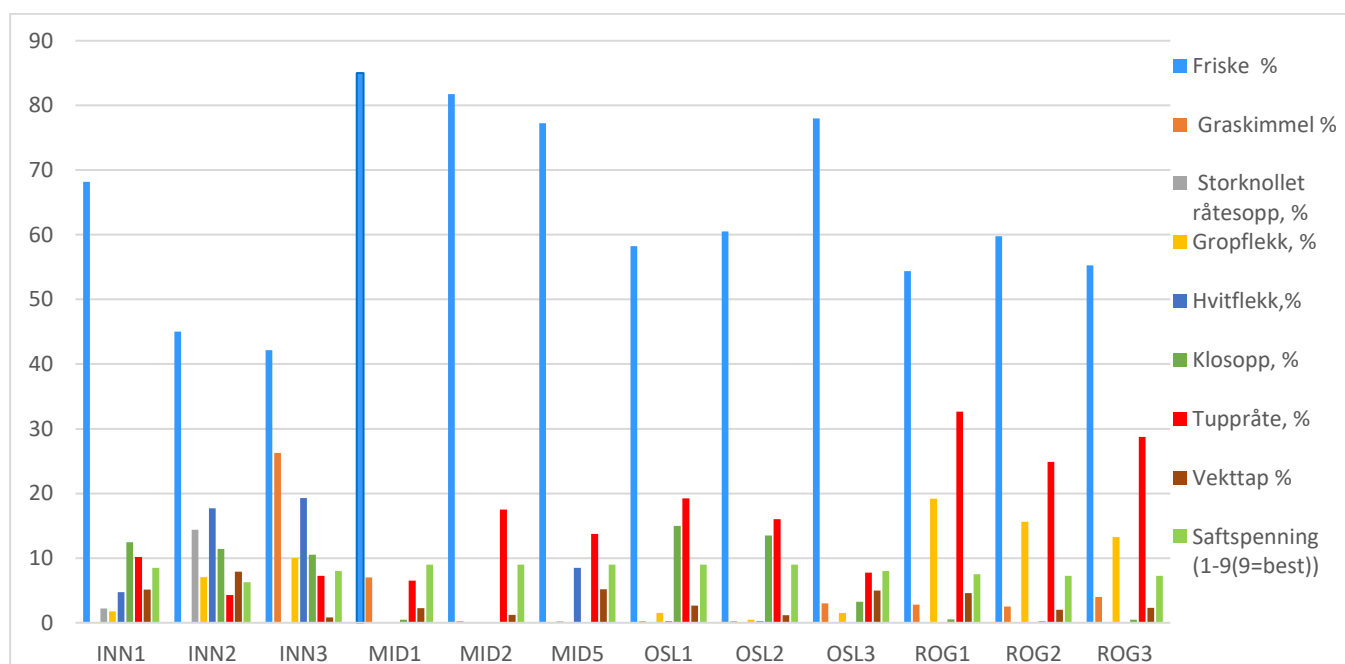
### 13.3.2 Kartlegging av gulrot 2017-18

I 2017-18 var data for alle lagrene med gulrot inkludert i undersøkelsen. Vi fant at det var stor variasjon mellom lagre innen og mellom regioner ang. temperaturforhold. De modellerte temperaturvariablene er vist i Tabell (23).

Tabell 23. Variasjon i temperaturforhold på lagrene gjennom sesongen 2017-18. Akkumulert temperatur er summen av middel-temperatur per uke. Temperatur episoder >0,5°C er differensen uke til uke og antall av disse hvor temperaturen har gått opp mer enn 0,5°C (snitt fra fire kasser). Forskjellige bokstaver etter kolonnen angir sikker forskjeller mellom lagrer.

Gulrot 2017-18						
Lager	Akkumulert temp		Temp episoder >0,5C, antall		Snitt temp første 2 ukene	
INN1	72,24	abc	1,67	bc	5,54	abcd
INN2	78,61	ab	0,5	bc	6,72	ab
INN3	40,94	def	3,75	a	1,62	g
MID1	71,46	abc	1,5	bc	2,87	fg
MID2	49,24	cdef	1	bc	4,1	ef
MID5	38,85	ef	1,5	bc	4,75	de
OSL1	87,2	a	2,25	ab	6,75	a
OSL2	62,56	bcd	1,25	bc	5,01	cde
OSL3	43,03	def	1	bc	2,95	f
ROG1	60,98	bcde	0,25	c	6,10	abc
ROG2	34,34	f	0	c	5,45	bcd
ROG3	34,49	f	1	bc	3,80	ef

Kvalitetsvurderingen viste også at det var variasjon mellom områder og mellom lagre. Forekomsten av tuppråte var størst i regionen ROG og minst i INN, mens MID og OSL lå midt imellom. %-andel friske røtter var størst i region MID (Figur 8o).



Figur 8o. Gulrot. Kvalitetsvurdering av gulrot etter lagring i sesongen 2017-18.

Ved sammenstillingen av data for kvalitetsvurdering med de modellerte temperaturverdier viste i 2017-18 en positiv sammenheng mellom gjennomsnittstemperatur de første to ukene og %-andel friske røtter. Vekttapet var derimot negativt korrelert med denne og det samme var forekomst av tuppråte, men ikke signifikant. Forekomst av røtter med symptomer på tuppråte økte med antallet av episoder hvor temperaturen i kassen gikk opp med mere enn 0,5°C (Tabell 24). Tilsammen kunne de modellerte temperaturvariablene forklare en god del av variasjonen i andel friske røtter, røtter med tuppråte og saftspenning. Andel friske røtter, forekomst av tuppråte og saftspenning var også påvirket av forskjellene mellom lagrer innen hver region samt av forskjellene mellom regioner (Tabell 24).

Tabell 24. Kvalitetsvurdering etter lagring analysert i forhold til modellerte verdier for temperaturforhold på lagrene i sesongen 2017-18. Fortegnet på koeffisient angir positive eller negativ sammenheng med kvalitetsparameteren

Kvalitetsparameter	Friske %		Tuppråte %		Vekttap %		Saftspenning	
Gulrot								
Forklaringsvariabel	Regressions Koeffisient	P-verdi	Regressions Koeffisient	P-verdi	Regressions Koeffisient	P-verdi	Regressions Koeffisient	P-verdi
Kontinuerlige variable								
Akkumulert temp	-0,537	<b>0,046</b>	0,013	0,92	0,154	0,149	0,004	0,63
Temp oppgang episoder >0C,5C	-3,71	0,125	3,27	<b>0,007</b>	1,004	0,296	-0,005	0,96
Snitt temp første 2 uker	11,66	<b>0,022</b>	-1,39	0,552	-4,26	<b>0,036</b>	-0,11	0,52
Kategoriske variable								
Lager (Region)		<b>0,002</b>		<b>0,049</b>		0,126		<b>0,001</b>
Region		<b>0,001</b>		<b>0,001</b>		0,208		<b>0,001</b>
R <sup>2</sup> =		76,00 %		85,00 %		36,00 %		91,00 %

## 13.4 Kartlegging av Knollselleri

Kartleggingen av knollselleri ble utført på lager i Oslofjord regionen. Første året omfattet kartleggingen fire lagre og andre året to lagre.

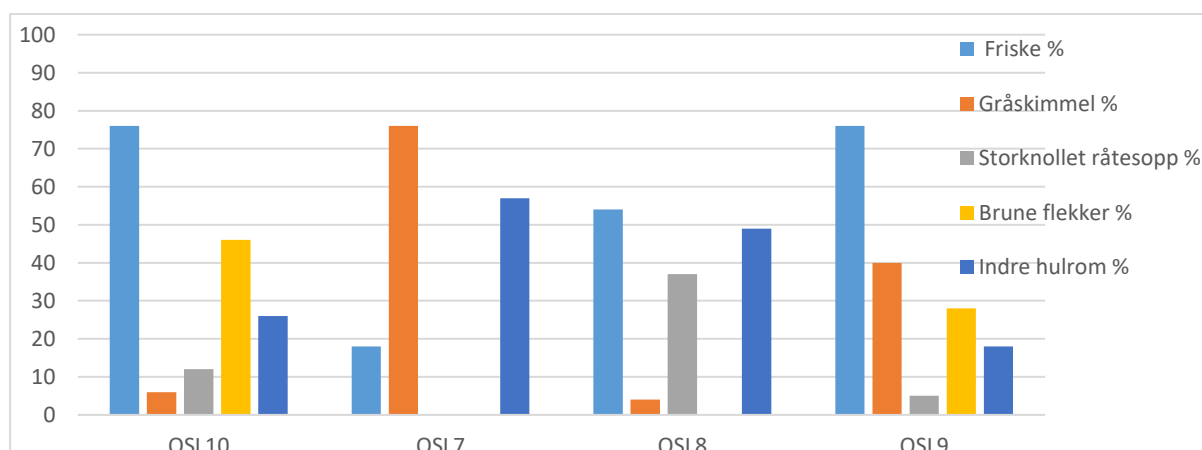
### 13.4.1 Kartlegging av knollselleri 2016-17

Temperaturforholdene utfra de modellerte temperatur data varierte mellom lagrer (Tabell 25).

Tabell 25. Knollselleri. Variasjon i temperaturforhold på lagrene gjennom sesongen 2016-17. Akkumulert temperatur er summen av middel-temperatur per uke. Temperatur episoder >0,5°C er differensen uke til uke og antall av disse hvor temperaturen har gått opp mere enn 0,5°C (snitt fra fire kasser). Forskjellige bokstaver etter kolonnen angir sikre forskjeller mellom lagre.

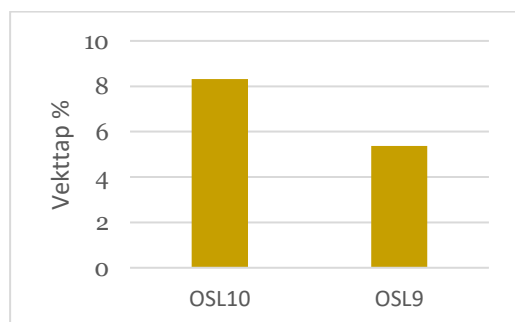
Knollselleri	2016-17							
Lager	Akkumulert temp, °C		Lager	Temp episoder >0,5°C, antall		Lager	Snitt temp første 2 ukene, °C	
OSL10	79,89	a	OSL10	4,5	a	OSL10	6,66	a
OSL7	28,07	c	OSL7	0,67	b	OSL7	1,92	b
OSL8	62,71	ab	OSL8	0	b	OSL8	5,61	a
OSL9	45,76	bc	OSL9	4,75	a	OSL9	2,12	b

Det samme gjaldt for %-andel friske røtter og fordeling av sykdommer (Figur 81).



Figur 81. Knollselleri. Kvalitet av knollselleri etter lagring 2016 – 17.

Vekttap ble registrert på to lagre og det ble her funnet en forskjell på ca. 3% (Figur 82)



Figur 82. Knollselleri. Vekttap i knollselleri etter lagring 2016-17

Sammenstilling av data på kvalitet og de modellerte temperaturdata viser at 95% av variasjonen i %-andel friske røtter kunne forklares med de modellerte temperaturdata (Tabell 26). Det var en tendens til økt %-andel friske røtter med en reduksjon i akkumulert temperatur under lagring og med en økt snitt-temperatur de første to ukene av lagringen (innlagring).

Tabell 26. Knollselleri. Kvalitetsvurdering etter lagring analysert i forhold til modellerte verdier for temperaturforhold på lagrene i sesongen 2016-17. Fortegnet på koeffisient angir positive eller negativ sammenheng med kvalitetsparameteren

Kvalitetsparameter	Friske %		Vekttap %		Indre hulrom %		Brune flekker %	
Knollselleri								
Forklaringsvariabel	Regressions Koeffisient	P-verdi	Regressions Koeffisient	P-verdi	Regressions Koeffisient	P-verdi	Regressions Koeffisient	P-verdi
Kontinuerlige variable								
Akkumulert temp	-0,917	<b>0,05</b>	0,019	0,951	0,327	0,656	-0,416	0,575
Temp oppgang episoder >0C,5C	-2,67	0,245	-1,98	0,287	-5,29	0,2	-1,96	0,621
Snitt temp første 2 uker	12,7	<b>0,04</b>	12,5	0,215	-2,76	0,772	-0,1	0,991
Kategoriske variable								
Lager		<b>0,001</b>		0,193		0,666		<b>0,045</b>
R <sup>2</sup> =		95,00 %		60,00 %		72,00 %		81,00 %

### 13.4.2 Kartlegging av knollselleri 2017 - 18

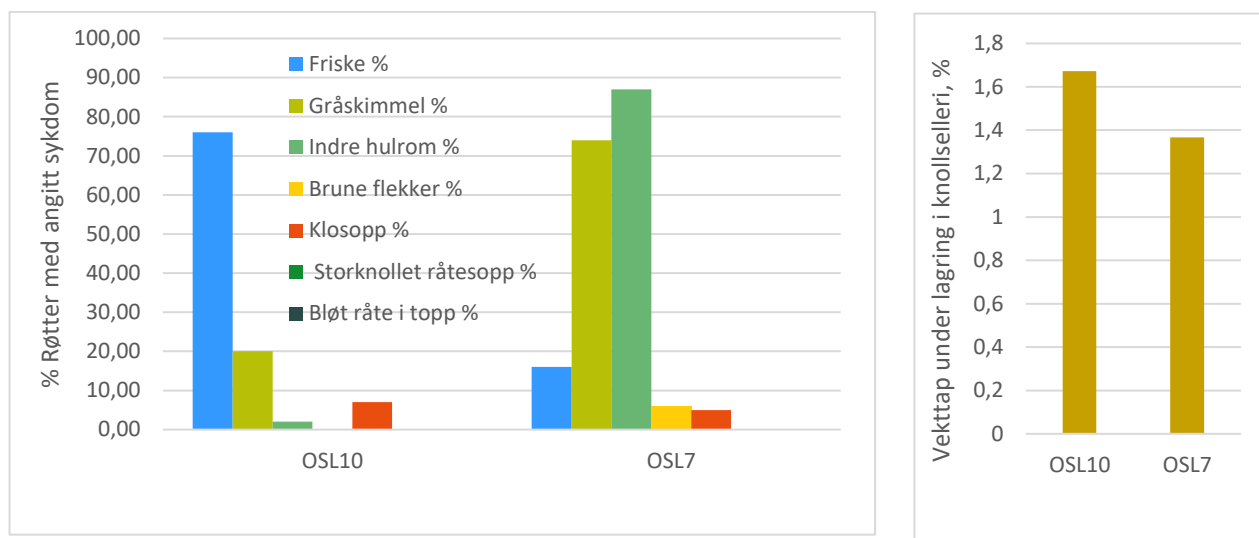
Det andre året ser vi igjen noe variasjon mellom lagre i de modellerte temperaturvariablene (Tabell 27).

Tabell 27. Knollselleri. Variasjon i temperaturforhold på lagrene gjennom sesongen 2017-18. Akkumulert temperatur er summen av middel-temperatur per uke. Temperatur episoder >0,5°C er differensen uke til uke og antall av disse hvor temperaturen har gått opp mer enn 0,5°C (snitt fra fire kasser). Forskjellige bokstaver etter kolonnen angir sikre forskjeller mellom lagre.

Knollselleri	2017-18							
Lager	Akkumulert temp, °C		Lager	Temp episoder >0,5°C, antall		Lager	Snitt temp første 2 ukene, °C	
OSL10	44,78	a	OSL10	2,5	a	OSL10	6,29	a
OSL7	32,90	a	OSL7	0,33	b	OSL7	2,39	b

Det samme også for variasjon av observerte sykdommer på lager og %- andel friske røtter (Figur 83). Forskjellene i vekttap var relativt små, ca. 0,3%.





Figur 83. Kvalitet av knollselleri etter lagring 2017-18.

Ved sammenstilling av modellerte temperaturdata med observert kvalitet finner vi igjen at de modellerte data kan forklare en stor andel av variasjonen i friske røtter, vekttap, indre hulrom og bruneflekker i røtter (Tabell 28). Resultatene avviker fra foregående sesong da en økning i akkumulert temperatur og snitt-temperatur de første to ukene økte %-andel friske røtter. %-andel friske røtter var påvirket av det enkelte lager.

Tabell 28. Knollselleri. Kvalitetsvurdering etter lagring (OSL 7 og 10) analysert i forhold til modellerte verdier for temperaturforhold på lagrene i sesongen 2017-18. Fortegnet på koeffisient angir positiv eller negativ sammenheng med kvalitetsparameteren.

Kvalitetsparameter Knollselleri	Friske %		Vekttap %		Indre hulrom %		Brune flekker %	
	Regressions Koeffisient	P-verdi	Regressions Koeffisient	P-verdi	Regressions Koeffisient	P-verdi	Regressions Koeffisient	P-verdi
Kontinuerlige variable								
Akkumulert temp	6,046	<b>0,005</b>	0,012	0,929	0,456	0,614	-1,47	0,156
Temp oppgang episoder >0C,5C	14,25	<b>0,019</b>	-0,122	0,845	0,99	0,802	-0,18	0,957
Snitt temp første 2 uker	-91,25	<b>0,005</b>	0,74	0,707	-10	0,454	20,05	0,163
Kategoriske variable								
Lager		<b>0,003</b>		0,582		0,246		0,126
R <sup>2</sup> =		99%		76%		99%		88%

## 13.5 Kartlegging av kålrot

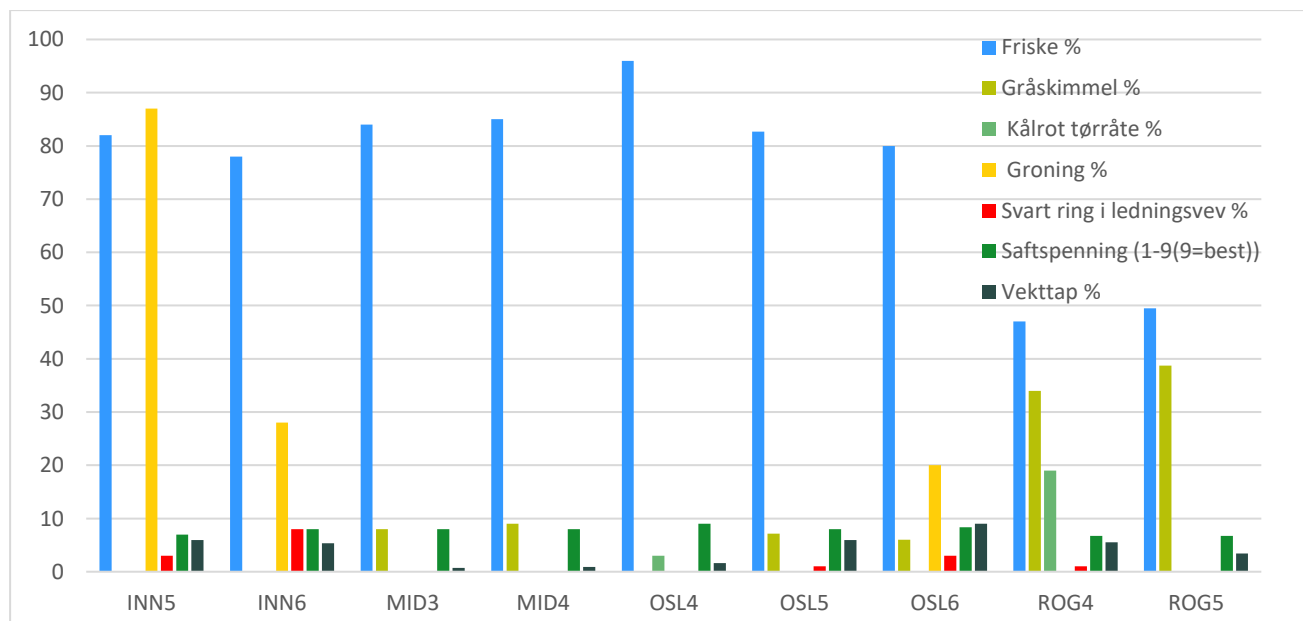
### 13.5.1 Kartlegging av kålrot 2016-17

Kålrot ble lagret i alle regioner. Verdier for de modellerte temperaturdata er vist i Tabell 29.

Tabell 29. Kålrot. Variasjon i temperaturforhold på lagrene gjennom sesongen 2016-17. Akkumulert temperatur er summen av middel-temperatur per uke. Temperatur episoder >0,5°C er differensen uke til uke og antall av disse hvor temperaturen har gått opp mer enn 0,5°C (snitt fra fire kasser). Forskjellige bokstaver etter kolonnen angir sikre forskjeller mellom lagre.

Kålrot	2016-17							
Lager	Akkumulert temp, °C		Lager	Temp episoder >0,5°C, antall		Lager	Snitt temp første 2 ukene, °C	
INN5	81,49	a	INN5	6	a	INN5	5,69	b
INN6	77,98	a	INN6	0,75	b	INN6	4,25	c
MID3	23,21	d	MID3	0	b	MID3	1,02	f
MID4	19,66	d	MID4	0,5	b	MID4	1,08	f
OSL4	51,73	b	OSL4	0,75	b	OSL4	2,20	e
OSL5	25,46	d	OSL5	0	b	OSL5	1,21	f
OSL6	51,07	b	OSL6	0,75	b	OSL6	7,63	a
ROG4	38,79	c	ROG4	1,5	b	ROG4	3,14	d
ROG5	20,28	d	ROG5	0,75	b	ROG5	1,21	f

Kvaliteten ut fra lagre varierte mellom regioner og innen regioner (Figur 84).



Figur 84. Kålrot. Kvalitet av kålrot etter lagring 2016-17.

Sammenstilling av de modellerte temperaturdata med observasjoner på kvalitet ut fra lager viste at temperaturdataene kunne forklare en stor del av variasjonen i kvalitet (Tabell 30) og at kvalitet også var påvirket av region og av lager innen region. Blant annet var forekomst av svart ring i ledningsvevet størst i region INN og lavest i MID. Andel friske røtter og saftspenning var lavest i region ROG hvor også vekttapet var størst. Det var en tendens til at andelen av røtter med svart ring i ledningsvevet ble redusert med en økning i snitt temperatur de første to ukene (innlagring).

Tabell 30. Kålrot. Kvalitetsvurdering etter lagring analysert i forhold til modellerte verdier for temperaturforhold på lagrene i sesongen 2016-17. Fortegnet på koeffisient angir positive eller negativ sammenheng med kvalitetsparameteren

Kvalitetsparameter Kålrot	Friske %		Vekttap %		Saftspenning (1-9(9=best))		Svart ring i ledningsvevet %	
Forklaringsvariabel	Regressions Koeffisient	P-verdi	Regressions Koeffisient	P-verdi	Regressions Koeffisient	P-verdi	Regressions Koeffisient	P-verdi
Kontinuerlige variable								
Akkumulert temp	-0,172	0,742	-0,009	0,851	-0,013	0,264	0,151	0,068
Temp oppgang episoder >0C,5°C	-2,97	0,382	-0,808	<b>0,022</b>	0,0106	0,888	-0,413	0,429
Snitt temp første 2 uker	2,8	0,811	-0,98	0,398	0,368	0,164	-6,26	<b>0,002</b>
Kategoriske variable								
Lager (Region)		0,706		<b>0,002</b>		<b>0,001</b>		<b>0,014</b>
Region		<b>0,001</b>		<b>0,001</b>		<b>0,001</b>		<b>0,018</b>
R <sup>2</sup> =		74,00 %		90 %		93 %		78 %

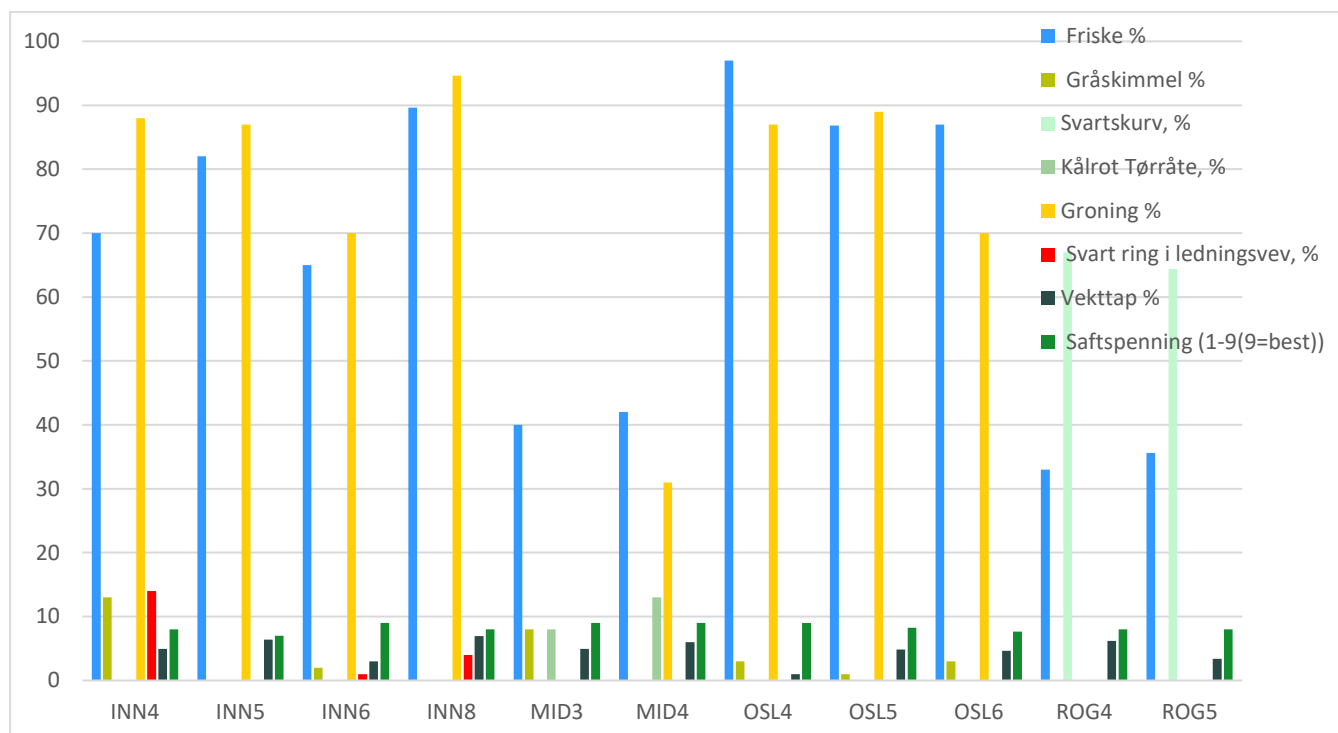
### 13.5.2 Kartlegging av kålrot 2017-18

I lagringssesongen 2017-18 så vi igjen stor variasjon i de modellerte temperaturdata mellom lagrene (Tabell 31).

Tabell 31. Kålrot. Variasjon i temperaturforhold på lagrene gjennom sesongen 2017-18. Akkumulert temperatur er summen av middel-temperatur per uke. Temperatur episoder >0,5°C er differensen uke til uke og antall av disse hvor temperaturen har gått opp mer enn 0,5°C (snitt fra fire kasser). Forskjellige bokstaver etter kolonnen angir sikre forskjeller mellom lagre.

Kålrot	2017-18							
Lager	Akkumulert temp, °C		Lager	Temp episoder >0,5°C, antall		Lager	Snitt temp første 2 ukene, °C	
INN4	84,80	ab	INN4	4,75	a	INN4	4,08	b
INN5	71,51	bc	INN5	4,5	a	INN5	1,60	d
INN6	103,68	a	INN6	0	d	INN6	3,33	bc
INN8	36,99	d	INN8	3	ab	INN8	1,62	d
MID3	24,98	d	MID3	0,25	cd	MID3	3,55	bc
MID4	73,96	bc	MID4	1,5	bcd	MID4	3,05	c
OSL4	63,80	c	OSL4	2,5	b	OSL4	3,32	bc
OSL5	71,51	bc	OSL5	1,5	bcd	OSL5	6,18	a
OSL6	71,35	bc	OSL6	2	bc	OSL6	5,91	a
ROG4	34,89	d	ROG4	0,25	cd	ROG4	4,08	b
ROG5	23,21	d	ROG5	0	d	ROG5	1,60	d

Forekomst av sykdommer og andre skader er vist i Figur 85. Svart ring i ledningsvevet forekom bare i region INN, mens svartskurv bare ble funnet i ROG. %-andel friske røtter var lavest i region ROG, mens saftspenningen var best i region MID.



Figur 85. Kålrot. Kvalitet av kålrot etter lagring 2017-18.

En sammenstilling av de modellerte temperaturdata mot kvalitet ga dette året lavere forklaring av variasjonen i vekttap og av svartring i ledningsvevet (Tabell 32). Igjen var det en negativ sammenheng mellom forekomst av svartring i ledningsvevet og snitt temperatur de første to ukene (innlagring). Videre økte antall røtter med denne skaden ved en økning i antall temperatur episoder med oppgang  $>0,5^{\circ}\text{C}$ .

Tabell 32. Kålrot. Kvalitetsvurdering etter lagring analysert i forhold til modellerte verdier for temperaturforhold på lagrene i sesongen 2017-18. Fortegnet på koeffisient angir positive eller negativ sammenheng med kvalitetsparameteren

Kvalitetsparameter Kålrot	Friske %		Vekttap %		Saftspenning (1-9(9=best))		Svart ring i ledningsvev %	
Forklaringsvariabel	Regressions Koeffisient	P-verdi	Regressions Koeffisient	P-verdi	Regressions Koeffisient	P-verdi	Regressions Koeffisient	P-verdi
Kontinuerlige variable								
Akkumulert temp	-0,001	0,999	-0,038	0,56	0,004	0,308	0,105	0,492
Temp oppgang episoder $>0\text{C},5\text{C}$	2,02	0,602	0,005	0,994	0,003	0,95	3,86	<b>0,018</b>
Snitt temp første 2 uker	-2,6	0,789	-0,14	0,934	0,065	0,538	-7,5	0,064
Kategoriske variable								
Lager (Region)		0,984		0,148		<b>0,001</b>		0,149
Region		<b>0,028</b>		0,806		<b>0,001</b>		0,305
R <sup>2</sup> =		75,00 %		44 %		95 %		46 %

## 13.6 Diskusjon og konklusjon

Ut fra kompleksiteten i en slik undersøkelse vil det være naturlig å anta at mange utenforliggende faktorer påvirker resultatene. Prosessen med å få produkt inn på de ulike lagrene er krevende på grunn av forskjellig tid for fylling av lager, transport til lager osv. Vi så at første forsøksåret med kartleggingen hadde flere utfordringer enn andre året.

Generelt fant vi at temperaturforholdene på lager har stor påvirkning på kvalitet av råvare og det var stor variasjon i de modellerte temperatur variablene mellom lagrene.

I gulrot fant vi en tendens til at andelen friske røtter økte og forekomsten av tuppråte falt med en økt snitt-temperatur på lager de første to ukene (innlagring). Dette samsvarer med resultatene fra forsøkene med sårheling presentert i kapittel 3 og med tidligere resultater (Thomsen et al 2015). Forekomst av tuppråte så ut til å øke med en økning i akkumulert temperatur i lagringsperioden. Generelt økte %-andelen friske røtter ut fra lager med en reduksjon i akkumulert temperatur under lagringsperioden.

I knollselleri forklarte de modellerte temperaturdata sammen med lager en stor del av variasjonen i %-andel friske røtter. Effekten av temperatur varierte mellom år og det var derfor vanskelig å dra en entydig konklusjon. Dette kan blant annet skyldes den veldig store forskjell i kvalitet på røttene (se også kap. 3) og et lite antall av lagre og kasser det andre året.

I kålrot så vi at det var regionale forskjeller i andel friske røtter begge årene. Forekomst av skaden svart ring i ledningsvevet var begge årene negativt korrelert til snitt temperatur de første to ukene. Hvor det tyder på at en lavere temperatur under innlagring medfører økt risiko for denne typen skade. Dette samsvarer med tidligere resultater funnet i prosjektet Totenrot (Thomsen et al 2015).

De modellerte data for temperatur ser ut til at dekke en del av variasjonen i lagringskvalitet for de undersøkte rotgrønnsakene. Overordnet er det tendens til at noen skader som tuppråte og svart ring i ledningsvevet kan reduseres med en sakte temperatur nedgang under innlagring. Dette samsvarer med den virkelige situasjonen på flere lagrer, men kan være en viktig variable å kontrollere ytterligere. Denne kartleggingen kan peke på tendenser i sammenhenger, men det må poengteres at en rekke praktiske og biologiske faktorer virker inn på data, og arbeidet bør følges opp med flere undersøkelser.

## 1.7 Referanser

Thomsen, M.G., Dyste, J., Heltoft, P. og Molteberg, E.L. 2015. Redusert svinn, bedre kvalitet og utvidet lagringssesong for norsk kålrot og gulrot (Totenrot). GY 10/2015



Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.