

Institutt for fruktdyrking  
Norges Landbrukshøgskole

Stensiltrykk nr. 12

REGULERING OG KONTROLL AV LAGERVILKÅRENE

Av

Rolf Landfald

NLH 1967

Institutt for fruktdyrking  
Norges Landbrukshøgskole  
Stensiltrykk nr. 12

REGULERING OG KONTROLL AV LAGERVILKÅRENE

Av

Rolf Landfald

NLH 1967

## Innhold

	Side
1. Temperatur .....	1
1.1. Ventilasjon .....	1
1.2. Maskinell kjøling .....	4
1.2.1. Kuldemedier .....	4
1.2.2. Kjølemaskinen .....	5
1.2.3. Kjølemaskinens automatikk .....	6
1.2.4. Avriming .....	7
1.2.5. Kapasitetsoverslag .....	8
1.3. Oppvarming .....	9
2. Luftfuktighet .....	10
2.1. Effekter av kjøleanlegg, varer og emballasje på luftfuktigheten .....	10
2.2. Tilføring av vann .....	11
2.3. Måling av luftfuktighet .....	11
3. Luftsammensetning .....	13
3.1. Karbondioksyd og oksygen .....	13
3.1.1. Prinsipper ved gasslagring .....	13
3.1.2. Teknisk utforming av gasslageret .	14
3.1.3. Nye metoder .....	15
3.2. Etylen .....	16

## REGULERING OG KONTROLL AV LAGERVILKÅRENE

### 1. Temperatur

#### 1.1. Ventilasjon

I prinsippet er det ventilerte lager (Common storage, Air-cooled storage, Normallager) et rom som ventileres, dvs. hvor det foregår et luftskifte mellom lagerrommet og omgivelsene. At det er luftskiftet som karakteriserer lagertypen, understreker hvor viktig dette luftskiftet er. Varmen fra respirasjonen må føres bort med lufta, ellers vil varetemperaturen stige.

Ved høstetid for vinterfrukta sist i september kan frukta ha en temperatur på 12-15°. Respirasjonsvarmen kan anslås til 1600 kcal pr. tonn og døgn. Hvis varme ikke blir bortført, ville temperaturen stige ca. 1,5° pr. døgn. I en undersøkelse over temperaturforholdene i et ventilert lager på Njøs 1951 og 1952 var temperaturstigningen i lageret i perioder uten ventilasjon ca. 0,8° pr. døgn etterat frukttemperaturen var kommet ned på 2-8°. (Frukt og Bær 1955.) En del av denne temperaturstigningen skyldtes nok varmeoverføring fra kjellerens gulv og vegger.

Det kan med full rett hevdes at det er bedre å la varene stå ute enn å sette dem inn i et lager med dårlig ventilasjon hvis temperaturen er over 10° i lageret.

Ikke bare varmen fra respirasjonen skal fjernes, men også feltvarmen (varmen i produktet). Målet er å få frukttemperaturen ned på et rimelig nivå snarest mulig.

Eksempel: Det settes inn 10 000 kg (600-700 kasser) med temperatur 13°. Lagerets vegger, gulv og tak har sannsynligvis omtrent samme temperatur som frukta - og som middeltemperaturen ute. Derfor kan en se bort fra transmisjonsvarme i dette eksemplet. For å unngå temperaturstigning på frukta må det daglig fjernes:  $10 \text{ tonn} \times 1600 \text{ kcal/tonn/døgn} = 16 \text{ 000 kcal}$ .

Skal dessuten varetemperaturen senkes, må det i tillegg til respirasjonsvarmen fjernes:  $10 \text{ 000 kg} \times 0,9 = 9000 \text{ kcal pr. grad (+ varme i emballasje og bygning)}$ .

Det antas at temperaturforholdene er slik at det kan ventileres halve døgnet med en midlere temperaturforskjell på 4°. Luftens spesifikke varme er 0,31 pr. m<sup>3</sup> (uten fuktighetsforandring) og luftskiftet 1500 m<sup>3</sup> pr. time.  $4 \times 0,31 \times 1500 \times 12 = 22 \text{ 500 kcal}$ .

Transpirasjonen binder en del varme. Under de oppgitte forhold kan transpirasjonen løst anslås til 0,1 % pr. døgn. Fordampingsvarmen er 590 kcal pr. kg.

$$\frac{10\ 000 \times 0,1 \times 590}{100} = 5\ 900 \text{ kcal}$$

Etter dette blir det 12 400 kcal til temperatursenkning (22 500 + 5 900 = 16 000).

Tas 70 % av varmen fra frukta, skulle temperatursenkningen bli

$$\frac{12\ 400 \times 70}{9\ 000 \times 100} = 1,0^{\circ} \text{ pr. døgn, med tilsvarende ventilasjonsmulighet.}$$

Eksemplet er sterkt forenklet, men illustrerer hvordan temperaturen i det ventilerte lager er avhengig av ventilasjonsmulighetene.

Når det gjelder ventilasjonssystemer, bør det skilles mellom luftskifte iverksatt av naturlig trekk og luftskifte iverksatt av elektriske vifter.

Naturlig trekk forutsetter en relativt stor temperaturforskjell eller en viss vindstyrke for å fungere. Til gjengjeld er slike lager fordringsløse m.h.t. ettersyn og påpasselighet.

Elektriske vifter er nå standardutstyr i ventilerte lager. Kjøleeffekten av luftskiftet er avhengig av luftmengden og temperaturforskjellen mellom vare og ventilasjonsluft. Når varetemperaturen er for høy, som den alltid er om høsten, er det derfor svært viktig at vifta er i gang nettopp når temperaturen<sup>ute</sup> er lavere enn varetemperaturen.

Skal dette ordnes manuelt, kreves det stor påpasselighet m.h.t. å følge temperaturbevegelsen ute og inne.

Ventilasjonen kan imidlertid styres mer eller mindre automatisk av termostater.

a. En vanlig termostat monteres utendørs og kobles slik at vifta går når utetemperaturen faller under det nivå termostaten innstilles på. Ved å regulere termostaten slik at dens bryternivå er litt lavere enn varetemperaturen i lageret, er en sikret at vifta starter og stopper ved passende temperaturomslag selvom en ikke er til stede når temperaturomslaget inntreffer. Brukes et regulerbart kontakttermometer som termostat, kan en uten vanskelighet se ved hvilken temperatur inn- og utkobling vil skje.

b. En differansetermostat (differensialtermostat) følger temperaturen både ute og inne. Den kobler vifta inn automatisk når utetemperaturen er lavere enn lagertemperaturen, uansett temperaturnivå. Det fins flere typer av differansetermostater. En relativt rimelig type er nevnt og illustrert i Gartneryrket 1960, s. 272.

- c. En minimumstermostat bryter viftestrømmen når temperaturen blir så lav at det er fare for at varene fryser. Den bør monteres nær luftinntaket inne i legeret. Det kan være en vanlig termostat eller et kontakttermometer.
- d. En spjeldmotor montert parallelt med viftebryteren vil kunne åpne lukene når vifta starter og lukke dem igjen når vifta stanser. I så fall må det settes inn spesielle luker eller spjeld.
- e. Er kanalsystemet utformet slik at ventilasjon kan skje med delvis "omluft", dvs. med en blanding av friskluft og lagerluft, kan en la spjeldmotoren styres av en egen termostat. Denne monteres nær inntaket, men inne i rommet. Den regulerer mengden av omluft etter hvor kaldt det er ute. Den tillater en viss ventilasjon med friskluft uten fare for frost selvom utetemperaturen er langt under frysepunktet.

Kombineres b, c og e får vi et helautomatisk ventilasjonssystem med differansetermostat, minimumstermostat og termostatstyrte blandingspjeld i et omluftsystem. Dette er de viktigste deler i de svenske Koldär-anleggene (se 450. Beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur).

Viftekapasiteten i ventilert lager for frukt bør være så stor at luftskiftet tilsvarer 20 til 25 ganger lagervolumet pr. time. Med 150 kg frukt pr. m<sup>3</sup> svarer dette til 150 m<sup>3</sup> luft pr. tonn pr. time. Lufthastigheten i viftekanalen kan være ca. 5 m pr. sekund.

Eksempel: 10 tonn frukt i et rom på 65 m<sup>3</sup>. Viftekapasitet: 65 x 23 = 1500 m<sup>3</sup> luft pr. time.

Kanalverrsnitt:  $\frac{1500 \text{ m}^3}{3600 \text{ sek.} \times 5} = 0,084 \text{ m}^2$ , tilnærmet 30 x 30 cm.

For å redusere luftmotstanden i anlegget og for i noen grad å kunne regulere luftfordelingen bør luketverrsnittet på motsatt side av rommet være tilnærmet dobbelt så stort som tverrsnittet i viftekanalen, uansett om vifta står i inntaket eller uttaket. Skarpe vinkler i kanaler må unngås.

Som pærelager spiller det ventilerte lager ingen rolle. Som eplalager er det på vikende front. Årsaken er først og fremst avhengigheten av utetemperaturen. Varmt vær i oktober og november kan lett nedsette lagringsmulighetene vesentlig, og på den måten tvinge fram markedsføring tidligere enn ellers nødvendig. Dårlig kontroll med luftfuktigheten gjør langtidslagring i ventilert lager vanskelig.

Likevel vil ventilert lager fortsatt være et tilfredsstillende lager for storparten av de epler som selges før 1. desember. Deriblant Gravenstein, som når det gjelder modning, kvalitet og fysiogene skader, ofte har klart seg

bedre i ventilert lager enn ved vanlige kjølelagertemperaturer. Torstein har stort sett klart seg næsten like bra i ventilert lager som i kjølelager fram til januar-februar. Sorter som passer dårlig i ventilert lager er: Åkerø, Filippa, Ribston, Laxton's Superb, Ingrid Marie.

Mulighetene for å holde lav temperatur i ventilert lager er bedre på Østlandet enn på Sør- og Vestlandet, både fordi middeltemperaturen om høsten er lavere og fordi temperaturamplitydene er større. Med effektiv ventilasjon kan en regne med en temperatur i ventilert lager som er lik med eller litt lavere enn middeltemperaturen ute (Frukt og Bær 1955).

## 1.2. Maskinell kjøling

Betegnelsen kjølelager (Cold storage, Refrigerated storage, Kaltlager) brukes nå praktisk talt bare om lager som kjøles ved hjelp av maskiner. Sammenliknet med ventilert lager krever et kjølelager større utlegg både til anlegg og drift. Det gjelder anskaffelse og vedlikehold av maskinene, det gjelder isolasjon og dører, og det gjelder utgifter til elektrisk kraft og eventuelt kjølevann.

Til gjengjeld kan en i kjølelageret beherske temperaturen uavhengig av temperaturen ute. Langt på veg kan en også beherske luftfuktigheten. I alle høve har en langt bedre kontroll over luftfuktigheten i et kjølelager enn i et ventilert lager.

I kjølelager for frukt, som til matvarer i det hele, brukes kjøleanlegg hvor fordampingsprosessen er kuldegivende. Etter fordampingen må gassen komprimeres, og til denne kompresjon brukes stempelkompressorer i anlegg som skal omtales her.

### 1.2.1. Kuldemedier

I kompressoranlegg kan brukes flere slags kuldemedier (kjølevæsker). I de første fruktkjøleanleggene ble det brukt karbondioksyd som kuldemedium. Ammoniak ble seinere svært vanlig og brukes ennå i større anlegg. I dag er kuldemedier av typen R-12 ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ) og R-22 ( $\text{CHF}_2\text{Cl}$ ) mest brukt. Disse er ikke giftige, brannsikre og praktisk talt luktfrie. Handelsnavn er Arcton, Freon, Frigen, Kaltron.

## Eksempler på kuldemedier

		Kokepunkt	Frysepunkt	Kritisk temperatur
Karbondioksyd	CO <sub>2</sub>	-79		31
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-43	-190	97
R-22	CHF <sub>2</sub> Cl	-41	-160	96
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	-33	-78	132
R-12	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	-30	-155	112
Metylklorid	CH <sub>3</sub> Cl	-24	-98	143
R-114	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	3,5	-94	146

R-12 (diklordifluormetan) er mest brukt i vanlige kjøleanlegg. Det kan brukes i fryseanlegg ved temperaturer nedover til ca.  $-20^{\circ}$  C. R-22 er bedre skikket for lavere frysetemperaturer.

1.2.2. Kjølemaskinen

Når væske fordamper, blir varme bundet, og når damp kondenserer, blir varme frigjort. Fordamping og kondensasjon kan settes i verk ved hjelp av trykkforandring. I prinsippet består et kompressorkjøleanlegg av et lukket rørsystem hvor et kuldemedium sirkulerer, og hvor kuldemediet fordampes og kondenserer, alt etter de trykkforandringer og varmpåvirkninger det utsettes for. Systemet består av 4 hoveddeler: Kompressor, kondensator, ekspansjonsventil og fordampere (se fig.).

Kompressoren, som er en vanlig stempelpumpe, suger fordampet kuldemedium fra fordampere, komprimerer det og presser det under høyere trykk inn i kondensatoren. Til dette kreves en drivkraft på motoren som svarer til ca. 1 kwh. pr. 2400 kcal.

I kondensatoren gir den komprimerte dampen varme fra seg og den kondenserer til væske, som midlertidig lagres i væskesamleren. En luftkjølt kondensator virker på tilsvarende måte som en bilradiator. Varmen overføres til luft som blåses gjennom kondensatoren av vifte montert på motorakslingen.

I en vannkjølt kondensator overføres varmen til vann som sirkulerer i rør gjennom væskesamleren.

Den varmemengden som skal fjernes, tilsvarer maskinytelsen i kcal med tillegg av motorkraften. 1 kwh = 860kcal. Settes maskinytelsen til 4800 kcal pr. time og kraftbehovet på motoren til 2 kw, skal det fra kondensatoren fjernes 6520 kcal pr. time. Hvis vanntemperaturen stiger  $6,5^{\circ}$  i kondensatoren, går det med 1 m<sup>3</sup> kjølevann pr. time.

Ekspansjonsventilen sitter på væskeledningen der denne kommer fram til



fordamperen. I denne ventilen foregår det trykkfallet som er nødvendig for at kuldemediet skal fordampe. Den væskemengden som flyter gjennom ventilen, reguleres termostatisk av temperaturen ved utløpet av fordamperen. Er temperaturen på dette stedet for høy, betyr det at mer kuldemedium kan slippes gjennom ekspansjonsventilen. Er den derimot for lav, vil det si at ufordampert kuldemedium flyter ut i sugeledningen som forbinder fordamperen med kompressoren. I siste tilfelle gir ekspansjonsventilens temperaturfølsomme organ impuls til ventilen slik at ventilåpningen blir mindre (termostatisk ekspansjonsventil).

Fordamperen, som også kalles kjøleelementet, tar til seg så mye varme fra omgivelsene som det skal til for å fordampe kuldemediet som flyter gjennom ekspansjonsventilen. Fordamperen er temmelig lik en luftkjølt kondensator. For å lette varmeoverføringen er røroverflaten utstyrt med metallribber, og det er sørget for en rask luftbevegelse ved hjelp av vifte.

Den tekniske utforming og plassering av fordamperen kan variere betydelig fra anlegg til anlegg. Dels er en eller flere fordampere opphengt i himlingen i kjølerommet, dels er en større fordamper innebygd i en vertikal sjakt midt i rommet, såkalt "kjøletårn". I mindre rom brukes dels vertikale sjakter ved veggene.

Når fordamperen er plassert i kjølerommet eller i kanaler nær kjølerommet slik at varmeoverføringen skjer direkte fra den lufta som omgir varene til fordamperen, brukes betegnelsen direkte kjøling. Direkte kjøling er i dag dominerende.

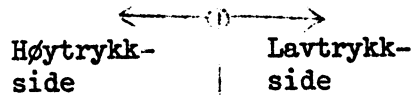
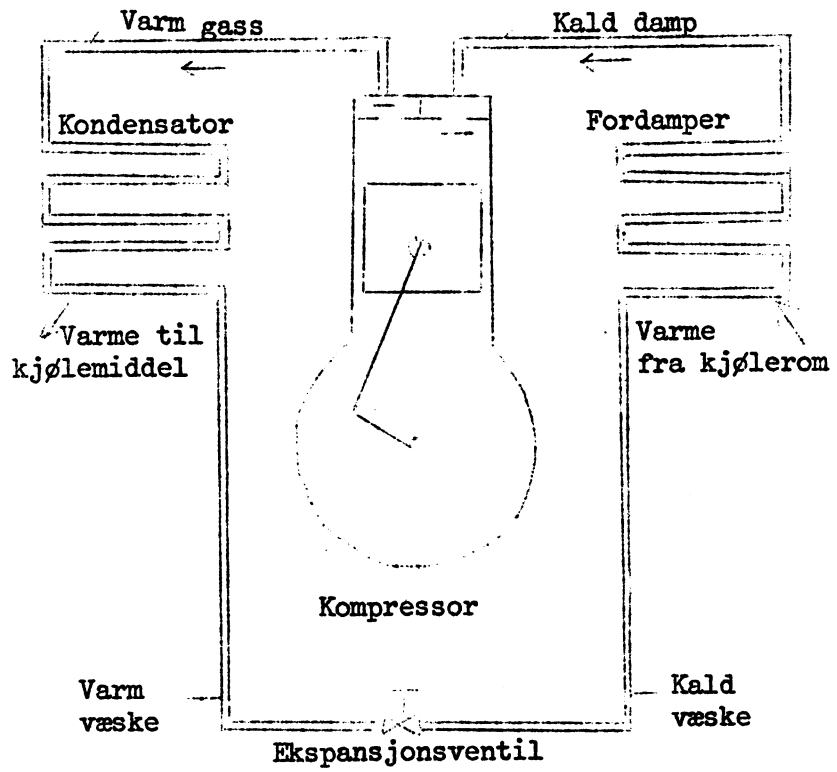
Indirekte kjøling får vi når fordamperen plasseres utenfor kjølerommet, f.eks. i en laketank eller liknende varmeveksler, hvor fordamperen avkjøler en væske (kuldebærer) med lavt frysepunkt og stor varmekapasitet (som regel en oppløsning av kalsiumklorid). Denne væska sirkulerer i et eget rørsystem som i sin tur avkjøler lagerlufta.

Kappekjøling er en form for indirekte kjøling uten lake. Den lufta som sirkulerer gjennom fordamperen og rundt kappan, er i dette tilfelle kuldebærer.

### 1.2.3. Kjølemaskinens automatikk

De 4 hoveddeler, kompressor, kondensator, ekspansjonsventil og fordamper, utgjør det nødvendige minimum for at anlegget skal virke. For å forenkle bruken av kjølemaskinen og sikre anlegget mot ødeleggelse utstyres det med reguleringsutstyr av forskjellige slag.

Det er allerede nevnt at ekspansjonsventilen reguleres automatisk. Det samme er tilfelle med vannventilen. Den vannmengden som passerer kondensatoren,



Kompressorkjøleanlegg-skjematisk

reguleres automatisk av gasstrykket på høytrykksiden. Gasstrykket og kondensasjonstemperaturen henger nøye sammen. Øker temperaturen, øker også trykket, og trykket åpner ventilen så mer vann strømmer gjennom.

Termostat i kjølerommet regulerer temperaturen. Den sørger for at kuldemedium sirkulerer i systemet når det er kjølebehov. Termostaten kan brukes på flere måter.

Den kan starte kompressoren. Dette er ofte tilfelle når det er bare ett kjølerom i anlegget.

Den kan åpne en magnetventil i væskeledningen. Magnetventilen står gjerne like foran ekspansjonsventilen.

Pressostater kan være tilkoblet både høytrykksiden og lavtrykksiden. Begge stanser og starter motoren når gasstrykket passerer visse grenser. Det kan være helt ordinære trykkimpulser som overføres, f.eks. når termostaten i rommet har åpnet magnetventilen slik at kuldemedium strømmer inn i fordampere. Pressostaten starter da kompressoren og holder den i gang til termostaten og magnetventilen igjen stenger for sirkulasjonen, og til et passende trykk er opprettet på lavtrykksiden.

Pressostaterne vil også stanse motoren når det oppstår visse feil, f.eks. når vanntilførselen til kondensatoren svikter, eller når ekspansjonsventilen fryser til fordi det er kommet vann inn i rørsystemet.

1.2.4. Avriming. Når temperaturen på fordamperoverflaten er under frysepunktet, vil kondensvannet avsettes som rim. Hvis dette ikke fjernes, vil det hopen opp og hindre luftsirkulasjonen gjennom fordampere.

Er lufttemperaturen i lageret over  $0^{\circ}$ , vil rimet tine og renne av når kjølingen avbrytes tilstrekkelig lenge. Som regel er det nok med de avbrytelser som følger av at termostaten kobler ut kjølingen. Et elektrisk koblingsur kan ordne utkobling automatisk og uten hensyn til kjølebehovet.

I andre tilfelle, f.eks. til pærer, er lagertemperaturen så lav at avriming av fordampere krever ekstra varmetilførsel. Automatisk avriming med varmetilførsel kan ordnes på flere måter:

a) Elektriske varmetaver legges inn i bunnen av fordampere. Koblingsur kobler inn varmetavene og kobler ut kjølingen og vifte en eller flere ganger i døgnet. Koblingsuret reguleres etter behovet.

b) Rørsystemet krysskobles slik at fordampere oppvarmes med varm gass fra kompressoren.

c) Fordampere spyles med vann.

1.2.5. KapasitetsoverslagKjølebehov

- a) Transmisjonsvarme (varmegjennomgang). Romstørrelse (10 x 10 x 2,2)m = 220 m<sup>3</sup> overflate. K-verdi settes til 0,4 som middel for alle flater (kan variere fra 0,2 og opp). Temperaturdifferanse settes til 15° (f.eks. 0° inne og 15° ute som døgnmiddel i nedkjølingsperioden).
- |   |        |                  |
|---|--------|------------------|
| 220 x 0,4 x 15 x 24 =                     | 44 500 |                  |
| + 10 % for betjening (bruk av dører osv.) | 4 500  | 49 000 kcal/døgn |
- b) Feltvarme. Nedkjøling av produkter.  
Romkapasitet 220<sup>3</sup> a 180 kg/m<sup>3</sup> = 40 000 kg. Skal kunne fylles på 8 dager, dvs. 5000 kg pr. døgn. Temperatur-senkning 15°.
- |                   |        |   |
|-------------------|--------|---|
| 5000 x 15 x 0,9 = | 67 000 | " |
|-------------------|--------|---|
- c) Åndingsvarme  
Rundt regnet 1000 kcal pr. døgn pr. tonn som nedkjøles
- |  |       |   |
|--|-------|---|
|  | 5 000 | " |
|--|-------|---|
- d) Tilført energi gjennom vifter, avriming og lys.  
Beregnes på grunnlag av installasjonene  
860 kcal pr. kwh.
- F.eks. 2 vifter a 0,2 kw. hele døgnet
- |   |       |          |
|---|-------|----------|
| 860 x 2 x 0,2 x 24 =                                  | 8 200 |          |
| Elektrisk avriming (det meste bindes som smeltevarme) | 1 000 |          |
| Lys 200 watt i 5 timer, 860 x 0,2 x 5 =               | 800   | 10 000 " |
- a + b + c + d = kjølebehov pr. døgn under innstabling 131 000 kcal/døgn

Det er to poster i dette eksemplet som er avgjørende, nemlig transmisjonsvarmen og feltvarmen, som til sammen utgjør nesten 90 prosent av kjølebehovet. Ved beregningen av disse postene er middeltemperaturen ute satt til 15° og lagertemperaturen til 0°. Denne temperaturdifferansen vil variere betydelig med årstid (fra sommer til sein høst), sted (kyststrøk - Innland) og vareslag (ikke alle varer skal kjøles til 0°). Skal anlegget klare en vanskelig periode, må det regnes med en høyere middeltemperatur enn normaltemperaturen på stedet.

Det er nedkjølingsperioden - den tiden da feltvarmen fjernes - som representerer belastningstoppen, og det er denne som i realiteten bestemmer maskinkapasiteten.

Kompressorkapasiteten oppgis i kcal pr. time under bestemte drifts-

forhold målt, temperatur i fordampner og kondensator, f.eks. henholdsvis  $-15/+30^{\circ}$ . Settes effektiv gangtid på maskinen til 18 timer pr. døgn, får vi som fordring til maskinkapasiteten:  $\frac{131\ 000}{18} = 7\ 300$  kcal pr. time.

Fordampneroverflate (elementkapasitet). Størrelsen av fordampneren oppgis i  $m^2$  overflate. Den beregnes på grunnlag av den varmemengden som skal fjernes og den temperaturdifferansen en mener kan passe mellom fordampner og lagerluft. Varmemengde = 7 300 kcal pr. time. K-verdi på fordampneren = 12. Temperaturdifferanse mellom lagerluft og fordampner =  $6^{\circ}$ .  $\frac{7\ 300}{12 \times 6} = 101\ m^2$ .

Viftekapasiteten. Som regel er fordampnerne forsynt med vifter fra fabrikk eller leverandør. En vanlig norm for viftekapasitet er  $1\ m^3$  luft pr. kcal. I eksemplet foran bør fordampneren være utstyrt med vifte (r) med en kapasitet på  $7\ 300\ m^3$  luft pr. time.

### 1.3. Oppvarming

I perioder med knappe tilførsler av epler om høsten har oppvarming vært brukt for å få nyplukket frukt spise moden på kortest mulig tid. Også ellers kan det være aktuelt med planmessig bruk av høyere temperaturer for å skaffe markedet bestemte kvaliteter til bestemte tider. Særlig gjelder dette pærer som lagres ved så lave temperaturer at en tilfredsstillende modning ikke foregår. En kort periode ved  $15-20^{\circ}$  vil som regel være en fordel for kvaliteten på våre pæresorter.  $20^{\circ}$  synes å være det høyeste en kan tilrå ved modning av epler også. Utviklingen er raskere ved  $20^{\circ}$  enn ved  $15$ , men kvaliteten taper seg også raskt.

Ser en bort fra varmetap ved ventilasjon eller transmisjon, vil et varmetilskudd på 100 watt pr. tonn øke temperaturen med ca. 2 grader pr. døgn. Her til kommer respirasjonsvarmen som ved temperaturer over  $10^{\circ}$  vil være av omtrent samme størrelsesorden.

Ved oppvarming av frukt er det viktig at luftfuktigheten holdes høy. Oppvarming kan kombineres med etylenbehandling. Etylentilførsel vil være uten betydning etterat respirasjonsstigningen i klimakteriet har begynt.

## 2. Luftfuktighet

### 2.1. Effekter av kjøleanlegg, varer og emballasje på luftfuktigheten

I et kjølelager kan luftfuktigheten teoretisk reguleres ved hjelp av kjøleanlegget. Fordampøren utgjør den kaldeste flaten i rommet. Temperaturen der ligger under duggpunktet for lagerlufta, og vanndamp kondenseres på fordampoverflaten enten som dugg eller rim. Mengden av kondens er bl.a. avhengig av gangtida på maskinen og forskjellen mellom duggpunktet og fordampertemperaturen. Gangtida bestemmes av kjølebehovet.

I et rom uten varer og hvor kondensvannet renner ut av rommet, vil lufta etter hvert tørkes ut slik at kondensmengden begrenses til den vannmengden som tilføres gjennom vegger, gulv og tak eller gjennom dører og andre åpninger. Noe av kondensvannet opptas av lufta igjen når kjølemaskinen står og fordampertemperaturen stiger over duggpunktet, dvs. vannmengden i lufta stiger og faller til en viss grad med fordampertemperaturen. Sett bort fra disse svingningene vil luftfuktigheten innstilles på et nivå som er bestemt av fordampertemperaturen og kjølebehovet på den ene siden og vanntilførselen på den andre. Lav fordampertemperatur, stort kjølebehov og liten vanntilførsel gir tørr luft.

Settes det varer inn i rommet, øker både kjølebehovet og vanntilførselen fordi varene gir fra seg både varme og vanndamp. Luftfuktigheten vil som regel innstille seg på et nytt og høyere nivå.

Det ideelle ville være om luftfuktigheten innstilte seg på det nivå en ønsker å ha, f.eks. 90-95 % for pærer og ca. 90 % for epler. Flere forhold kan være årsak til at dette ikke skjer, og noen av årsakene skal nevnes.

Størrelsen av fordampoverflaten har betydning for kondensmengden på den måten at en liten kjøleflate enten krever lengre gangtid eller lavere temperatur for å klare den samme kjøleoppgaven som en større flate. Anlegg med store fordampere gir derfor høyere luftfuktighet enn anlegg med små fordampere.

I eksemplet foran ble fordampoverflaten kalkulert til  $101 \text{ m}^2$  på grunnlag av en temperaturdifferanse på  $6^\circ$ . Settes temperaturdifferansen til  $10^\circ$ , vil en fordampoverflate på  $61 \text{ m}^2$  ha samme kapasitet ( $\frac{7 \cdot 300}{12 \times 10} = 61$ ).

Dette alternativ blir billigst i anskaffelse, men hvis det er årsak til unødig stor transpirasjon fra varene, kan en slik besparelse bli svært illusorisk. En beregnet temperaturdifferanse mellom luft og fordampere på  $5-7^\circ$  anses som passende i fruktlager.

Fordampoverflatens størrelse har størst betydning for luftfuktigheten i perioder med kontinuerlig drift på maskinen, f.eks. i nedkjølingsperioden.

## 2.2. Tilføring av vann

I de tilfelle luftfuktigheten er for lav, kan den bedres ved vanntilførsel på forskjellig vis. Vann på gulvet er en enkel forholdsregel, og fullt brukbar for kortere tid. Er vanntilførsel nødvendig i større del av sesongen, kan dette ordnes ved luftvaskere eller annet utstyr som finfordeler vann i lufta. Slikt utstyr kan styres automatisk av elektrisk koblingsur, eller av hårhygrometre, eventuelt andre følere som registrerer luftfuktigheten.

I det ventilerte lager er fuktighetsforholdene ofte lite tilfredsstillende. Også i dette lager er damptrykkdefisit størst i perioder med rask nedkjøling, og på grunn av vekslende temperaturforhold vil vi i det ventilerte lager få flere nedkjølingsperioder i løpet av høsten. I disse periodene er det vanskelig å unngå at luftstrømmen øker sitt <sup>nn</sup>varmeinnhold på bekostning av varene i sterkere grad enn ønskelig.

Transpirasjonen kan reduseres ved å dekke varene, f.eks. med plast, men dette vil i noen grad sinke kjølingen. Vanntilførsel på gulvet eller fra dyser vil gjøre god nytte, men automatisk vanntilførsel i det ventilerte lager er bare aktuell sammen med automatisk ventilasjon.

## 2.3. Måling av luftfuktighet

Å måle luftfuktigheten ved stuetemperatur er betydelig lettere enn å måle luftfuktigheten ved 5° og lavere. Rimelige instrumenter beregnet på vanlige oppholdsrom er derfor lite brukbare i lagerrom.

Det mest pålitelige instrument til måling av luftfuktigheten i lagerrom for planteprodukter er psykrometeret. Større hårhygrometre, godt vedlikeholdte og justerte, kan også gi helt tilfredsstillende resultater.

Hygrografer har som skrivende instrument den fordelen at de registrerer variasjonene, som kan være betydelige.

Ved måling i kjølelager bør en f.eks. ta i betraktning at luftfuktigheten alltid faller hver gang kondens avsettes på fordampere og stiger i de mellomliggende perioder. Det har også betydning hvor i rommet målingen foretas.

Når det er tilrådd en luftfuktighet på 90 %, bør dette oppfattes slik at en serie målinger på åpne steder i rommet, ikke for nær dører eller fordampere, bør vise et gjennomsnitt på 90 %.

Seinere i sesongen blir kjølebehovet mindre, gangtida på maskinen kortere, kondensmengden mindre og den relative luftfuktigheten høyere (forutsatt samme vanntilførsel).

I et kappelager er ikke fordampere i produktrommet, men en større eller mindre del av rommets overflate virker som "kjøleelement". Det er veggene, til dels himling og gulv, som utgjør rommets kaldeste flater. Da disse flatene er svært store i forhold til ordinære fordampere, blir luftfuktigheten i kappelagrene alltid høy og stabil.

Ved normal transpirasjon har en liten varemengde mindre vann å gi fra seg enn en stor varemengde. Etterat varen er nedkjølt, vil kjølebehovet i vesentlig grad være bestemt av varmegjennomgang i vegger, gulv og tak, dvs. kjølebehovet er tilnærmet det samme uansett varemengde. Forholdet mellom kjølebehov og vanntilførsel er derfor ugunstigere i rom med lite varer enn i rom med mye varer. Særlig vil dette gjøre seg gjeldende når en i sommerhalvåret bruker store rom, med stort kjølebehov, til lagring av små varemengder, vel å merke hvis vanntilgangen er begrenset til varenes transpirasjon.

Av dette forstås også at begrensning av varmetilførselen, f.eks. ved bedre isolasjon, vil øke luftfuktigheten i lageret.

Selvom en teoretisk kan sikre tilfredsstillende temperatur og luftfuktighet ved å dimensjonere isolasjon, maskiner og kjøleflater tilstrekkelig store, vil det bli urimelig kostbart å bygge anlegg som gir helt ideelle fuktighetsforhold til alle tider av året. Kjølebehovet i fruktlagrene er særlig stort i en relativt kort periode om høsten. Minstekravet til slike anlegg bør være at luftfuktigheten innstiller seg på et rimelig nivå når alle varene er inne og varetemperaturen er brakt ned dit den skal være i lagringstida.

Tørre kasser må ta til seg betydelige vannmengder før de kommer i likevekt med damptrykket i lageret. For ordinær lagringsemballasje av tre kan det dreie seg om 5-7 % av kassevekta. For hvert tonn frukt svarer dette til 9-12 kg vann. Det er vanskelig å hindre at en stor del av dette vannet hentes fra frukta, men det understreker nødvendigheten av å undersøke om noe kan gjøres for å bedre fuktighetsforholdene i en ellers kritisk periode, nemlig under nedkjøling av varene om høsten.



### 3. Luftsammensetning

#### 3.1. Karbondioksyd og oksygen

3.1.1. Prinsipper ved gasslagring (Gas storage, Refrigerated gas storage, Controlled atmosphere storage, CA-storage, Kulsyrelager)

I frisk luft er det ca. 79 % nitrogen, 21 % oksygen og 0,03 % karbondioksyd. I kjølelager og ventilert lager er respirasjonen tilpasset disse konsentrasjonene. Økes konsentrasjonen av karbondioksyd i lufta, går respirasjonen langsommere. På samme måten reduseres respirasjonshastigheten når konsentrasjonen av oksygen reduseres.

Frukta bruker oksygen og skiller ut karbondioksyd i omtrent like mengder, målt i volum. Ved å lagre frukt i lufttett rom iverksetter frukta selv en luftforandring som reduserer respirasjonen slik at levetida hos frukta forlenges. På samme måten som det er grenser for hvor lavt temperaturen kan senkes uten at frukta tar skade, er det også grenser for hvor langt luftsammensetningen kan forandres. Fruktslag og sorter setter ulike krav til disse grensene. Virkningene av en bestemt luftsammensetning varierer også med temperaturen.

I en luftsammensetning med 8-10 % karbondioksyd og 10-12 % oksygen er summen av karbondioksyd og oksygen ca. 21 % som i frisk luft, og nitrogenmengden er fortsatt 79 %. En slik luftsammensetning er enkel å holde ved like. I et relativt tett rom bringer frukta luftsammensetningen fram til dette nivået i løpet av 8-14 dager. Seinere består reguleringen i å gjennomføre en begrenset ventilasjon som fjerner så mye karbondioksyd som respirasjonen frigjør, og tilfører så mye oksygen som frukta bruker til respirasjonen. Metoden er kalt 21-lagring, og omfatter luftsammensetninger med karbondioksydkonsentrasjoner ned til 5 % og oksygenkonsentrasjoner opp til 16 %. Karbondioksydkonsentrasjoner over 10 % er ikke brukt i praksis.

Mer vanlig er det etter hvert blitt å bruke lavere konsentrasjoner både av karbondioksyd og oksygen, f.eks. 5 % karbondioksyd og 2-3 % oksygen, eller like ned til mindre enn 1 % karbondioksyd og 2-3 % oksygen, som det er blitt en viss interesse for i seinere tid. Nitrogenmengden i lufta holdes da på et høyere nivå (92 til 97 %). Også her brukes begrenset ventilasjon for å tilføre så mye oksygen som frukta trenger etterat oksygenmengden er redusert fra 21 til 2-3 %. Men denne ventilasjonen vil ikke holde konsentrasjonen av karbondioksyd nede. Det overskytende karbondioksyd fjernes ved hjelp av alkaliske oppløsninger, vann eller tørr hydrat kalk.

### 3.1.2. Teknisk utforming av gasslageret

For å være herre over luftsammensetningen i lageret er det nødvendig å holde temperaturen konstant. I et gasslager blir derfor temperaturen regulert som i et ordinært kjølelager. Som tilleggsutstyr ved gasslagring kommer:

- a) Gasstett kledning av vegger, gulv og himling, foruten gasstett dør.
- b) Analyseutstyr for måling av luftsammensetningen.
- c) Utstyr for regulering av luftsammensetningen.
- d) Inspeksjonsluke.

a) Det gasstette dekke lages av aluminiumsplater eller galvaniserte jernplater. Det fins også asfalttyper som har vist seg tilstrekkelig tette. Isolasjonsteknisk sett bør det gasstette dekke ligge utenfor isolasjonen, dvs. der vandampspærren legges. Ekstra vandampspærre skulle da ikke være nødvendig. Nødvendigheten av å kunne etterse og reparere det gasstette dekke har imidlertid hindret en slik plassering. Hittil har derfor det gasstette dekke stort sett blitt lagt innenfor isolasjonen.

Enkelte gasslager er bygd som kappelager, dvs. det gasstette dekke, som består av plater på en lettere ramme, er satt opp som kappe i en viss avstand fra isolasjonen. Fordamperen er montert mellom isolasjonen og kappen, og kappen tjener som kjøleflate for gass-sellen.

En variant av dette prinsippet består i å sette frukta opp i stabler i et ordinært kjølerom og dekke stablene på alle kanter med plastfolie som sammenføres tett i skjøtene. Kappekjøling er i prinsippet indirekte kjøling.

b) Et enkelt, billig og helt pålitelig analyseutstyr for gasslager er Orsat gassanalyseapparat, som måler karbondioksyd og oksygen hver for seg.

Utstyr som arbeider raskere og mer eller mindre automatisk, såkalte katharometer, fins i flere typer.

c) Utstyr for regulering av luftsammensetningen omfatter regulerbar ventilasjonsmulighet, som ofte bare er en liten luke i døra. Det kan også være to rør, hvorav det ene munner ut ved vifta på fordamperen og er regulerbart med ventil.

Skal karbondioksyd fjernes på annen måte enn ved ventilasjon, kan dette gjøres med en såkalt "scrubber", hvor lagerluft og væske bringes i nær kontakt med hverandre. I denne brukes ca. 5 % oppløsning av teknisk NaOH, mettet oppløsning av lesket kalk, en oppløsning av etanolamin, eller vann alene. Lut-oppløsningene må fornyes, etanolamin regenereres ved oppvarming, vannet kan brukes om igjen etter en grundig utlufting. Å bruke vann alene er siste nytt, eventuelt brukes litt lut først i sesongen.

Er meget enkel og fullt brukbar metode å fjerne overflødig karbondioksyd på består i å bruke hydratkalk i sekker. Særlig godt passer denne metoden der all karbondioksyd skal fjernes. Da legges kalksekkene inn i rommet, 50 kg hydratkalk pr. tonn frukt skal være nok for 5 måneders lagring. Skal karbondioksydkonsentrasjonen holdes på et bestemt nivå, kan dette ordnes ved at kalken legges i et eget lite kammer hvor luftskiftet til lageret kan reguleres. I så fall kan kalken lett skiftes i løpet av sesongen.

d) Etterat den rette luftsammensetningen er nådd, kan en ikke gå inn i lageret for inspeksjon. Det er derfor praktisk å ha en luke, enten i døra eller i himlingen hvor en kan ta ut fruktprøver eller foreta kontrollmålinger.

### 3.1.3. Nye metoder

I USA hvor gasslagring av epler har hatt en meget rask utvikling etter 1955 (851 000 kasser i 1955, ca. 12 500 000 kasser i 1964) er det tatt i bruk helt nye prinsipper for regulering av luftsammensetningen. Whirlpool Corporation har markedsført et system under navnet Tectrol (total environmental control) hvor luftsammensetningen lages ferdig utenfor lageret og derfor ikke er avhengig av livsfunksjonene i frukta. En generator fjerner overskudd av oksygen ved forbrenning i en gassbrenner, og overskudd av karbondioksyd fjernes i en scrubber. Luft med passende sammensetning blåses inn i lagerrommet kontinuerlig.

Systemet har flere fordeler:

- a) Kravene til lufttetthet er relativt små, og det er mulig å bruke rom som er bygd for ordinær kjøling.
- b) Den "riktige" konsentrasjon kan skaffes i løpet av få dager, mens dette ofte tar uker i ordinære gasslager.
- c) Rommet kan åpnes i løpet av sesongen for innsetting og uttak, og for inspeksjon, uten at det tar lang tid å rette opp konsentrasjonen etterpå.
- d) Reguleringen kan automatiseres i høyere grad enn i det tradisjonelle gasslager

Trass i at metoden koster betydelig mer enn det tradisjonelle gasslager, har den hatt en betydelig utvikling (30 % av gasslagringen i USA i 1964).

Det er seinere kommet til konkurrerende firma og avvikende utforminger.

### 3.2. Etylen

spiller en viktig rolle ved modning av frukt. Under klimakteriet utskiller frukta etylen i stigende mengder samtidig med at mengden av utskilt karbondioksyd øker. Tilføres etylen før den naturlige stigning i respirasjonsintensitet starter, vil denne starte som følge av etylentilførselen.

Dette har vært utnyttet til å starte rask og jevn modning hos umodne partier av bananer, og det er også prøvd til epler og pærer, bl.a. i Sverige. Det brukes samtidig høy temperatur og høy luftfuktighet i relativt tette rom. Etylen fås kjøpt på ståflasker. 1000 ppm i 2 døgn ga god virkning til pærer i svenske forsøk.

