

*Maatalouden  
tutkimuskeskuksen  
julkaisuja*

S A R J A A

10

*Arvo Kinnunen  
Raija Ahvenainen*

**Porkkanan, kaalien  
ja sipulin CA- ja  
MA-varastointi**

*Arvo Kinnunen*  
*Raija Ahvenainen*

---

# **Porkkanan, kaalien ja sipulin CA- ja MA-varastointi**

**CA- and MA storage of carrot, cabbages and onion**

---

**Maatalouden tutkimuskeskus**

ISBN 951-729-473-5

ISSN 1238-9935

*Copyright*

Maatalouden tutkimuskeskus (MTT) 1996

*Julkaisija*

Maatalouden tutkimuskeskus (MTT), 31600 Jokioinen

*Jakelu ja myynti*

MTT, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

Puh. (03) 41 881, telekopio (03) 418 8339

Sisäsivujen painopaperille on myönnetty pohjoismainen joutsenmerkki.

Kansimateriaali on 75-prosenttisesti uusiokuitua.

# Tiivistelmä

*Avainsanat: CA-varastointi, MA-varastointi, alipainevarastointi, kaali, sipuli, porkkana*

Kasvien varastoinnin aikana tärkeimpiä laatua alentavia tekijöitä on soluhengitys. Soluhengityksen hidastaminen yleensä parantaa kasvien säilyvyyttä. Oikean varastointilämpötilan ohella kasvista ympäröivän kaasutilan muuntelu normaalista ilmasta poikkeavaksi on keino, jolla soluhengitystä voidaan hidastaa. Tästä syystä säätöilma- eli CA-varastointi, muunnetun ilmakehän varastointi eli MA-varastointi ja alipainevarastointi ovat mielenkiintoisia vaihtoehtoja normaalille kylmävarastoinnille. Katsaukseen on koottu tietoa näistä varastointitekniikoista, niiden teknisistä ratkaisuista ja varastoinnin kustannuksista.

Yksinkertaisimmillaan MA-varastointi tarkoittaa sitä, että tuote pakataan kaasuja valikoivasti läpäisevään materiaaliin. Eniten kustannuksia aiheutuu pakkauskoneesta ja -materiaaleista sekä työvoimakuluista pakattaessa. CA-varastoinnissa suurimmat

kustannukset aiheutuvat varaston tiivistämisestä ja kaasutus- ja mittalaitteista. CA- ja MA-varastoinnin kustannusten vertailu keskenään on vaikeaa, koska ei ole riittävästi tietoa MA-varastoinnista eri kasvillä. Käytön kannalta MA-varastointi pakkauksissa on joustavampi kuin CA-varastointi ja mahdollistaa suojaavan kaasukehän säilyttämisen tuotteen ympärillä myös varaston ulkopuolella.

Katsauksen lopussa tarkastellaan CA- ja MA-varastoinnin tuomia mahdollisuuksia lähinnä porkkanan, kaalien ja sipulin laadun säilyttämisessä. CA- ja MA-varastointimenetelmät näyttävät lupaavimmilta kaaleille ja sipulille. Ennen kuin Suomessa kannattaa lähteä suuremmissa mitassa toteuttamaan joko CA- tai MA-varastointia, tarvitaan kokeellista tutkimusta menetelmien antamista hyödyistä laadun ja jakelun kannalta.

# Abstract

---

*Key words: CA-storage, MA-storage, cabbage, onion, carrot*

---

Respiration is one of the most important factors affecting the quality reduction of vegetables during storage. Retardation of respiration generally improves shelf-life. Proper storage temperature and the modification of atmosphere around produce are means to retard respiration. For this reason, controlled atmosphere (CA) storage and modified atmosphere storage (MA) are interesting options to normal cold storage. Information about these storage techniques, their technical solutions and storage costs have been compiled in this review.

At its simplest, modified atmosphere storage can be implemented by packing produce in a material with proper gas permeability properties. Most costs derive from a packaging machine, packaging materials and labour. With regard to CA-storage, most costs come from the sealing up of a storage

room, and gasification and measurement systems. Comparison of costs between CA and MA storage is difficult, because there is not adequate information available regarding the MA storage of vegetables. From a use point of view, MA storage in packages is more flexible than CA storage, and makes possible a protective atmosphere around the produce after taking it from a storage room.

At the end of the review, the possibilities offered by CA and MA storage regarding the quality retention of carrots, cabbages and onions are considered. CA and MA storage appear to be more promising techniques for cabbages and onion than for carrots. Before these techniques are deemed worth implementing in the storage of vegetables in Finland, experimental research about the benefits from a quality and distribution point of view is needed.

# Alkusanat

Vuonna 1994 käynnistettiin Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamana 4-vuotinen projekti 'Varastovihannesten laadun kehittäminen ja hävikin minimointi'. Projektia vetää MTT:n puutarhatuotannon tutkimuslaitos, ja projektin vastuullinen johtaja on vanhempi tutkija Raili Pessala. Projektin päätavoitteet ovat: tuottaa tietoa viljelytoimenpiteiden vaikutuksesta vihannesten varastointikestävyyteen ja varastoitavan sadon laatuun sekä kehittää yksinkertaiset laatuindikaattorit ja mittausmenetelmät, joilla viljelijät voivat selvittää optimaalisen sadonkorjuu-ajankohdan ja määrittää taloudellisesti kannattavimman ja tuotteen laadun kannalta optimaalisen varastointiajan. Projektin sivutavoitteena on alustavasti tutkia kirjallisuudesta säätöilmavarastoinnin (CA-varastointi), muunnetun ilmakehän varastoinnin (MA-varastointi) ja alipainevarastoinnin soveltuvuutta tärkeimmille kotimaisille kasviksille: porkkanalle, kaaleille ja sipulille.

Tähän katsaukseen on kerätty sekä kirjallisuudesta että laite- ja kaasuntoimittajilta tietoa CA- ja MA-varastoinnista. Kirjalli-

suuden haussa käytettiin seuraavia tietokantoja: Agricola (1979-), AGRIS International (1975-), BioBusiness, BIOSIS, Books in print, CABA, Caplus, FSTA, LifeSci ja World Patent Index. Tiedonhausta esitämme lämpimät kiitokset erikoistutkija Irma Salovaaralle, VTT Tietopalvelu. Kaikkiin löytyneisiin kirjallisuuslähteisiin ei katsauksessa viitata, vaan vain parhaiten tämän katsauksen tavoitteita ja Suomen intressejä palveleviin. Esitämme myös parhaat kiitokset MTT:n puutarhatuotannon tutkimuslaitoksen johtaja Risto Tahvoselle, projektin johtaja Raili Pessalalle ja projektitutkija Terhi Suojalalle saamastamme hyödyllisestä palautteesta.

Toivomme katsauksen olevan riittävän käytännönläheinen ja palvelevan kotimaisia viljelijöitä ja kaupapuutarhoja uusista vihannesten varastointitavoista ja investoinneista päätettäessä. Tosin katsaus osoittaa, että lisätutkimusta vielä tarvitaan ennen kuin CA- ja MA-varastointitekniikoita kannattaa lähteä Suomessa laajemmin soveltamaan.



# Sisällys

Tiivistelmä . . . . .	3
Abstract . . . . .	4
Alkusanat . . . . .	5
1 Johdanto . . . . .	9
2 CA- ja MA- varastoinnin yleiset periaatteet . . . . .	10
3 CA-varastoinnin tekniset ratkaisut . . . . .	12
3.1 Huuhteluun perustuvat menetelmät . . . . .	12
3.2 Varastoilman kierrätykseen perustuva menetelmä . . . . .	13
3.3 Tuotteen soluhengityksen kautta muodostuva varastointi-ilma . . . . .	13
3.4 Hiilidioksidin poistomenetelmät . . . . .	13
3.5 CA-varastoinnin kaasutekninen mitoitus . . . . .	14
3.6 CA-varastointiin liittyvät mittaukset ja rajoitukset . . . . .	15
4 MA-varastoinnin tekniset ratkaisut . . . . .	15
5 Alipainevarastointi . . . . .	17
6 CA- ja MA- varastoinnin kustannukset . . . . .	18
7 Porkkanan varastointi . . . . .	19
8 Kaalien varastointi . . . . .	21
9 Sipulin varastointi . . . . .	23
10 Johtopäätökset ja suositukset . . . . .	24
Kirjallisuus . . . . .	25





# 1 Johdanto

Soluhengitys jatkuu kasviksissa korjuun jälkeenkin ja vaikuttaa merkittävästi niiden säilyvyyteen. Sitä tapahtuu jakeluketjun jokaisessa vaiheessa, joista tärkeimpiä ovat kuljetukset ja varastoinnit. Soluhengitys on monimutkainen biologinen prosessi. Soluhengityksessä hiilihydraatit, polysakkaridit ja orgaaniset hapot hajoaavat pienemmiksi molekyyleiksi tuottaen hengityksen ylläpitämiseen tarvittavaa energiaa, josta osa vapautuu lämpönä. Kaikki biologiset reaktiot tapahtuvat liuoksessa. Oksidaasientsyymit nopeuttavat soluhengitystä. Muunnetun varastoilman ominaisuuksien tarkastelussa soluhengitystä voidaan kuvata glukosin hapettumisen käänteisellä reaktiolla (1), jossa syntyy hiilidioksidia ja vettä sekä lämpöä (Bartsch 1992).

entsyymit



Soluhengityksen nopeuteen vaikuttavat monet sisäiset ja ulkoiset tekijät kuten tuote, lajike, kasvin osa, tuleentumisvaihe, vauriot, vuodenaika, varastointilämpötila ja ympäröivän kaasufaasin koostumus (Kader *et al.* 1989). Varastoinnissa voidaan vaikuttaa lämpötilaan ja kaasukoostumukseen: kosteus-, happi-, hiilidioksidi-, eteeni- ym. haihtuvien kaasujen pitoisuuteen. Kaikki tekijät on otettava huomioon parhaan mahdollisen säilyvyyden takaamiseksi.

Ensisijainen ja tehokkain tapa soluhengityksen hidastamiseen on lämpötilan laskeminen. Lämpötila voidaan laskea vain tiettyyn pisteeseen, jota alemmat lämpötilat aiheuttavat tuotteille paleltumisvaurioita. Vihannesten tavanomaisessa kylmävarastoinnissa lämpötila on yleensä 0 °C, poikkeuksena kuitenkin tomaatti ja kurkku, joille optimilämpötila on 12–14 °C (Rautavaara *et al.* 1967).

Ilman kosteus vaikuttaa varastoinnin aikaiseen painohäviöön. Kuivumisen minimoimiseksi kosteus on usein säädettävänä suurena varastoinnissa. Toimittaessa kor-

keissa suhteellisissa kosteuksissa ja lähellä 0 °C olevissa lämpötiloissa saattaa pienikin lämpötilan muutos aiheuttaa kondenssiveden syntymistä. Soluhengityksen nopeuteen kosteus ei tiettävästi vaikuta.

Kun optimilämpötila on saavutettu, voidaan soluhengitystä edelleen alentaa pienentämällä tuotteita ympäröivän ilman happipitoisuutta ja nostamalla hiilidioksidipitoisuutta. Happipitoisuuden alentaminen pienentää soluhengitystä vähentämällä oksidaasientsyymien aktiivisuutta (Saray 1994). Hapetta on kuitenkin oltava 1–5 % tuotteesta riippuen, jotta hengitys ei muutu anaerobiseksi. Anaerobisessa hengityksessä muodostuvat asetaldehydi, etanoli ja ketonit aiheuttavat virrehajuja ja -makuja (Lee *et al.* 1995)

Hiilidioksidin lisääminen hidastaa soluhengitystä siirtämällä käänteisen reaktion painopistettä lähtötuotteiden suuntaan. Oikea hiilidioksidipitoisuuden taso vaihtelee tuotekohtaisesti (Kader 1986, Lee *et al.* 1995). Vihanneksille sopiva hiilidioksiditaso on 3–10 %. Korotetun hiilidioksidipitoisuuden oletetaan hidastavan soluhengitystä kolmen mekanismin kautta:

1. rajoittamalla kasvisolujen hengitykseen tarvitseman energian (ATP) määrää
2. pienentämällä sukkiinaattidehydrogenaasientsyymien aktiivisuutta, josta on seurauksena meripihkahapon kerääntymistä kasvisolukkoihin
3. laskemalla kasvisolukon pH:ta, jolloin fysiologiset toiminnot hidastuvat (Kader 1986).

Varastointi-ilman happi- ja hiilidioksidipitoisuuden keskinäinen suhde vaikuttaa myös soluhengityksen määrään. Parhaaseen säilyvyyteen päästään säätämällä lämpötilan lisäksi ilman sekä happi- että hiilidioksidipitoisuus mahdollisimman lähelle tuotekohtaista optimia. Säätoilmavarastoinnissa (CA-varastointi) ja muunnetun ilmakehän varastoinnissa (MA-varastointi) alentuneen soluhengityksen lisäksi myös muiden laatua heikentävien tekijöitten vai-

kutus pienenee: eteenin tuotanto vähenee, kasviksen herkkyys eteenille vähenee ja kypsyminen hidastuu. Myös vapaitten radikaalien tuotanto pienenee, jolloin mm. C-vitamiinin tuhoutuminen hidastuu (Lee *et al.* 1995).

Suomessa on jo pitkään oltu kiinnostuneita vihannesten, hedelmien ja marjojen säätöilmavarastoinnista, muunnetun ilmakehän varastoinnista ja alipainevarastoinnista. Lumiaho (1987) julkaisi katsauksen tuoretuotteiden, lähinnä mansikan ja tuoreen kalan, kuljetuksesta ja varastoinnista muunnetussa ilmassa. Katsauksessa on käsitelty hyvin vähän säätöilmavarastoinnin teknologiaa ja kustannuksia. Muunnetun ilman käyttöä bulkkipakkauksissa ei ole käsitelty ollenkaan. Vuotta myöhemmin Leskinen (1988) teki kirjallisuusselvityksen marjojen ja vihannesvalmisteiden MA-pakkaamisesta. Leskinenkään ei tarkastellut teknologiaa eikä kustannuksia. Lisäksi katsauksessa käsitellään hyvin vähän Suomen tärkeimpien vihannesten, kaalin, porkkanan ja sipulin, säätöilma- tai muunnetun ilmakehän varastointia. Tästä syystä katsottiin aiheelliseksi tehdä uusi, täydentävä katsaus, varsinkin kun edellisisten katsausten julkaisemisesta on kulunut jo lähes kymmenen vuotta.

Tähän katsaukseen on koottu kirjallisuudesta sekä laite- ja kaasuntoimittajilta tietoa kaasujen käytöstä kasvisten säilyvyyden parantamiseksi, CA-, MA- ja alipainevarastoinnista, teknisistä ratkaisuista ja varastoinnin kustannuksista. Osa tiedoista perustuu VTT Bio- ja elintarviketekniikan osaamiseen varastoinnissa ja pakkausteknologiassa. Katsauksen lopussa on esitetty kirjallisuudesta löytyneitä tuloksia porkkanan, kaalien ja sipulin CA- ja MA-varastoinnista ja säilyvyydestä. Kauppapuutarhoissa viljeltiin porkkanaa vuonna 1994 noin 60 000 tonnia, valkokaalia noin 23 000 tonnia, kiinankaalia noin 10 000 tonnia ja sipulia noin 15 000 tonnia (Uimonen 1995).

## 2 CA- ja MA-varastoinnin yleiset periaatteet

Tavanomaisessa varastoinnissa säädetään vain lämpötilaa ja kosteutta. Säätökaasuvastoinnissa säädetään lisäksi ainakin happipitoisuutta, tavallisimmin myös hiilidioksidipitoisuutta (Saltveit 1992). Säätökaasuvastoinnissa on käytössä kaksi erilaista menetelmää, joista toista kutsutaan muunnetun ilmakehän varastoinniksi (MA-varastointi) ja toista säätöilmavarastoinniksi (CA-varastointi) (Dewey 1983). Nimitykset tulevat englanninkielisistä nimityksistä: ”modified atmosphere storage” (MA) ja ”controlled atmosphere storage” (CA). Näiden nimitysten erottelu toisistaan ei ole kirjallisuudessa tarkkaa.

MA-varastoinnissa tuote pakataan selektiivisesti läpäisevään pakkausmateriaaliin, kun taas CA-varastoinnissa koko varastotilassa on sama kaasukoostumus ja tuote on suoraan kosketuksissa varaston ilman kanssa. Toinen ero on ilman kaasukoostumuksen säätötarkkuudessa. CA-varastoinnissa hapen ja hiilidioksidin pitoisuuksia säädetään koko ajan. MA-varastoinnissa muunnettu ilma säädetään varastoon tai pakkaukseen vain varastoinnin alussa tai pakkaamisen yhteydessä. CA-varasto voi sisältää myös useita varastotiloja, joissa voi olla keskenään erilaiset kaasukoostumukset ja myös lämpötilat. MA-varastoinnissa samassa varastotilassa voi olla kaasukoostumukseltaan erilaisia pakkauksia. CA- ja MA-varastoinneilla on seuraavia hyötyjä ja haittoja (Wiersma & Schoneveld 1979, Gorini *et al.* 1988):

### Hyödyt

1. Vanheneminen ja kypsyminen sekä niihin liittyvät muutokset (soluhengitys, eteenin muodostuminen, pehmeneminen ja koostumusmuutokset) hidastuvat.
2. Hidastumisvaikutus säilyy vielä jonkin aikaa varastoinnin jälkeen.

3. Rakenne säilyy parempana, sillä hiilidioksidi vähentää solukalvoja rikkovien entsyymien aktiivisuutta.
4. Herkkyys eteenin vaikutukselle vähenee.
5. Kauppakelpoisuus aika pitenee, usein jopa kaksinkertaistuu.
6. Tuhohyönteisten aiheuttamat haitat vähenevät, koska niiden pääsy varastoon estyy.
7. Työaikaa kauppakunnostuksessa säästyy.

### Haitat

1. Virrehajuja ja -makuja kehittyä, jos kaasukoostumus ei ole säädetty täsmälleen oikein.
2. Kustannukset ovat korkeammat kuin tavanomaisessa varastoinnissa.
3. Optimaaliset happi- ja hiilidioksidipitoisuudet ovat lähes tuotekohtaiset.
4. Jotkut lehtivihannekset ja juurekset ovat herkkiä hiilidioksidille. Juureksista esimerkiksi porkkana ja lehtivihanneksista kiinankaali ja lehtiselleri säilyvät huonosti korkeissa hiilidioksidipitoisuuksissa. Hiilidioksidi voi aiheuttaa näissä mätänemistä ja fysikaalisia muutoksia.

Muunnettua tai säädettyä varastointi-ilmaa käytettäessä on tunnettava myös kaasuseoksen vaikutus tuotteen mikrobistoon (Powrie & Skura 1991, Brackett 1994). Tärkeimmät kasviksia pilaavat organismit ovat bakteereita ja homeita. Bakterisuvuista yleisimpiä ovat *Pseudomonas* ja *Erwinia*. Pilaantumisreaktioissa on suuri merkitys pektiiniä hajottavilla bakteereilla, joista *P. marginalis* ja *E. carotovora* ovat keskeisimpiä. Tavallisimpia pilaajahomeita ovat *Penicillium*-, *Sclerotium*-, *Botrytis*- ja *Rhizopus*-sukujen homeet (Jay 1992). CA-varastoinnin vaikutusta kasvien mikrobistoon on tutkittu vähän. El-Gooranin & Sommerin

(1981) mukaan kasvien herkkyys patogeenille pienenee CA-varastoinnissa vanheneamisen ja kypsymisen hidastuessa. Reyesin (1990) tutkimus tukee tätä. Kuitenkin happipitoisuuden tulee olla alle 1 % ja/tai hiilidioksidipitoisuuden yli 10 %, jotta muunnettu varastoilma suoranaisesti pystyy hidastamaan mikrobien kasvua (El-Goorani & Sommer 1981). Lund (1983) onkin esittänyt, että muunnetun varastointi-ilman mikrobien kasvua estävä vaikutus perustuu pääasiassa kasviksen hengityksen hidastamiseen. Tätä tukee myös Haon & Brackettin (1993) tutkimus, jossa selvitettiin useiden kasvien pilaantumista aiheuttavien pektinolyyttisten bakteerien kasvua kaasuseoksissa, joilla on merkitystä kasvien CA-varastoinnissa tai MA-pakkaamisessa. Yksikään kaasuseoksista ei ratkaisevasti hidastanut bakteerien kasvua.

On muistettava, että kaikki korjuun jälkeiset käsittelyvaiheet lisäävät tuoretuotteen mikrobimäärää. Korjuuvauriot edistävät omalta osaltaan pilaantumista. Riskikontaminaation mahdollisuus kasvaa kuljetus- ja käsittelyvaiheiden lisääntyessä. Tällä saattaa olla merkitystä varastoitessa kasviksia normaalin ilman kaasukoostumuksesta poikkeavassa ilmassa, varsinkin jos jostain syystä varaston kaasukoostumus poikkeaa optimista, esim. happi on kulunut kokonaan pois. Aerobiset mikrobit eivät kasva, kun vapaata happea ei ole, mutta alennetuissa happipitoisuuksissa on jonkinlaista kasvua (Brackett 1994, Gorris 1995). Aerobisia mikrobeja ovat esim. *Bacillus*-, *Micrococcus*- ja useimmat *Pseudomonas*-bakteerit ja useimmat homeet.

Anaerobiset mikrobit eivät yleensä kasva hapen läsnäollessa (Brackett 1994, Gorris 1995). Jotkut mikrobit jopa kuolevat hapen vaikutuksesta. Valitettavasti *Clostridium*-bakteerit, jotka ovat yleisiä elintarvikkeiden pilaajia, sietävät happea, vaikka eivät lisäänykään hapen läsnäollessa. Anaerobisten mikrobien takia täysin hapetonta tilaa ei voida luoda varastoihin.

Fakultatiiviset mikrobit kasvavat sekä happea sisältävissä että hapettomissa olosuhteissa. Ne muuttavat metaboliansa joko

aerobiseksi tai anaerobiseksi ympäristöstä riippuen (Brackett 1994, Gorris 1995). Useimmat patogeenit, kuten *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* ja *Listeria monocytogenes*, kuuluvat tähän ryhmään. Näihin kuuluu myös pilaajaorganismeja, kuten *Lactobacillus* spp. ja *Enterococcus* spp. Hiilidioksidin lisääminen vähentää näiden bakteerien kasvua. Varastoilman muuntaminen pystyy vain hidastamaan mikrobien kasvua, joten parhaiten säilyvät mikrobiologisesti puhtaat tuotteet. Siten kasviksia tulee käsitellä hellävaraisesti kaikissa korjuun ja sen jälkeisissä vaiheissa, jotta CA-varastoinnista tai MA-pakkaamisesta saadaan haluttu hyöty.

Oikea lämpötila on toinen tärkeä seikka, jonka merkitys on huomioitava CA- ja MA-varastoinneissa. Ensinnäkään muunnettu ilmakehä ei poista kylmäsäilytyksen tarvetta. Toiseksi näyttäisi siltä, että muunnettu ilma lisää joidenkin kasvisten kylmäherkkyyttä, jolloin on suositeltavaa säilyttää ne hieman korkeammassa lämpötilassa kuin normaalisti (Wang 1989). Tutkimustietoa tältä alueelta tarvitaan lisää.

### 3 CA-varastoinnin tekniset ratkaisut

CA-varastoinnissa hedelmille ja juureksille tarvitaan varastotilaa  $1,5\text{--}3\text{ m}^3/1000\text{ kg}$  tuotetta, tyypillisimmillään  $2\text{--}2,5\text{ m}^3/1000\text{ kg}$  (Bartsh 1992). CA-varastointi edellyttää rakennukselta tavallista parempaa tiiviyttä (Hunter 1982). Vain ehdoton tiiviys takaa tehokkaan ja taloudellisen toiminnan. Jos ilma pääsee vuotamaan varastotilasta, kaasuseosta tuottava koneisto joutuu käymään enemmän, mikä nostaa kustannuksia. Tiiviiden aikaansaaminen ei nosta merkittävästi rakennuskustannuksia. Erityistä huomiota on vain kiinnitettävä elementti-, lattia- ja katosauvojen sekä ovien tiivistämiseen. Saneerattaessa normaaleja kylmävarastoja CA-varastoiksi joudutaan tiiviyttä yleensä pa-

rantamaan. Tavallisimmin tiivistämiseen saneerauskohteissa käytetään PVC-muovaja.

CA-varaston hankintakustannuksia lisäävät oleellisesti halutun kaasu-koostumuksen tuottavat ilmastointilaitteet säätöjärjestelmineen, koska tasainen varastoilman huuhtelu koko varastotilassa on tärkeää. CA-varastoinnin ilmastoinnissa käytetään huuhteluun, kierrätykseen ja soluhengitykseen perustuvia menetelmiä.

#### 3.1 Huuhteluun perustuvat menetelmät

Kylmähuoneeseen puhalletaan joko ajoittain tai jatkuvasti tyypeä tai tyypeä, jonka seassa on hieman happea. Joskus voidaan puhallettavaan kaasuseokseen lisätä myös hiilidioksidia. Typpi/happiseos voidaan tuottaa monella tavalla. Yksinkertaisin tapa on nestemäisen tyyten kaasuttaminen ilman sekaan. Ennen varastoon puhaltamista kaasuseos on lämmitettävä. Nestetyppi valmistetaan teollisesti. Suomessa suurin neste-tyypen valmistaja on Oy AGA Ab.

CA-varastoinnin alkuajoina 1960-luvulla käytettiin runsaasti menetelmää, jossa ilman sisältämä happi poistettiin polttamalla nestekaasun avulla. Tällaiseen laitteistoon kuuluu hiilidioksidin poistaja. Tällaisten järjestelmien myynti lopetettiin lähes kokonaan 1980-luvulla (Malcolm & Gerds 1995).

Tyyten tuottamiseen alettiin 1980-luvulla käyttää membraanitekniikkaa. Membraanitekniikassa ilma paineistetaan kompressorilla  $900\text{--}1300\text{ kPa}$ :n paineeseen (Petersson 1995). Paineistettu ilma suodatetaan ja lämmitetään, minkä jälkeen se johdetaan membraaniyksikköön, jossa happi ja myös hiilidioksidi erottuvat tyypestä. Erottuminen perustuu siihen, että eri kaasut läpäisevät polymeerimateriaalit eri nopeudella. Membraani koostuu yhteen niputetuista polymeerisäikeistä. Tyyten puhtaus on  $95\text{--}99\%$ . Membraanitekniikalla tuotettu typpi kerätään painesäiliöön, josta

se viedään CA-varastoon tarpeen mukaan. Laitteistoa ei tarvitse siten käyttää jatkuvasti, vaan jaksottain. Membraanitekniikkaan perustuvia laitteita käytetään myös ajoneuvoissa ja konteissa, sillä membraanit kestävät tärinää.

Typpirikkaan kaasuseoksen tuottamiseen kehitettiin 1980-luvulla myös PSA-tekniikka (Pressure Swing Adsorption), joka perustuu molekyylliseulaan. Molekyylliseula sisältää aktiivihiljää, jonka huokoskoko sallii pienten happimolekyylien tunkeutumisen huokosiin, mutta suuremmat typpimolekyylit ohittavat aktiivihiljen (Domnick Hunter Ltd. 1994). Ilma paineistetaan ja kuivataan, minkä jälkeen se johdetaan toiseen kahdesta vuorotellen toimivasta molekylliseulasta. Hieman ennen kuin molekyylliseula tulee kyllästetyksi, virtaus katkaistaan ja vaihdetaan toiseen molekyylliseulaan. Kyllästetty molekyylliseula regeneroidaan päästämällä ylipaine pois, jolloin happi vapautuu. Ulostulevan kaasuseoksen jäännöshappipitoisuus määräytyy käytettävän paineen ja virtausnopeuden mukaan. Mitä korkeampi paine ja mitä pienempi virtaus ovat, sitä vähemmän happea ulosvirtaava typpi sisältää. Typpipitoinen kaasu kerätään painesäiliöön, mistä se viedään CA-varastoon tarpeen mukaan. Painesäiliö mahdollistaa PSA-laitteen jaksottaisen käytön. PSA-tekniikassa käytettävä paine on 6–8 baria, joten normaali paineilma soveltuu syöttökaasuksi, jolloin erillistä kompressoria ei tarvita silloin, kun paineilmaa on saatavissa.

Huuhtelumenetelmää käytetään varastoissa, joissa on jonkin verran vuotoja. Huuhtelu tulee myös kysymykseen tiiviissä varastossa täytön yhteydessä haluttaessa saavuttaa nopeasti haluttu kaasukoostumus. Huuhtelumenetelmän haittana on kaasuseoksen tuhlaava käyttö, mikä aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia.

### **3.2 Varastoilman kierrätykseen perustuva menetelmä**

Tiiviissä CA-varastoissa käytetään varastoilman kierrätykseen perustuvaa menetelmää. Varastosta imetään ilmaa ilmastointikojeeseen, jossa happi ja hiilidioksidi säädetään halutuksi ja ilma palautetaan takaisin varastoon. Kierrättävillä järjestelmissä saavutetaan pienempi happipitoisuustaso kuin huuhtelevalla järjestelmällä. Haluttu kaasukoostumus voidaan tuottaa samalla tavalla kuin huuhtelevassa menetelmässä. Kierrättävissä systeemeissä käytetään myös perättäisiä absorptiokolonnejä oikean kaasukoostumuksen säätämiseen (Fresh Produce Manual 1989).

### **3.3 Tuotteen soluhengityksen kautta muodostuva varastointi-ilma**

Tämä menetelmä on kaikkein halvin. Halutun kaasukoostumuksen syntyminen kestää 14–20 päivää, joten menetelmä ei ole käyttökelpoinen nopeasti pilaantuville vihanneksille (Bartsch 1992, Fresh Produce Manual 1989). On makuasia, kutsutaanko tällaista varastoa CA- vai MA-varastoksi.

### **3.4 Hiilidioksidin poistomenetelmät**

Ylimääräisen hiilidioksidin poisto on tarpeen kaikissa CA-varastoissa, riippumatta menetelmästä, jolla haluttu kaasukehä varastoon tuotetaan. Hiilidioksiditason säätämiseen käytetään absorptioon tai adsorptioon perustuvia menetelmiä. Laitteita kutsutaan kaasunpesulaitteiksi eli pesureiksi.

Tavallisimmat hiilidioksidin poistomenetelmät ovat (Jameson 1993):

1. Varastoilmaa kierrätetään kalsiumhydroksidin läpi, jolloin hiilidioksidi absorboituu. Kalsiumhydroksidia ei regeneroida, vaan se heitetään pois, kun se on tullut

kylläiseksi hiilidioksidista. Menetelmä on työläs ja kallis.

2. Varaston hiilidioksidipitoisuus laimennetaan typpihuuhtelulla. Tavallisesti käytettävä tyyppi sisältää jonkin verran myös happea. Huuhtelu tapahtuu joko jatkuvasti tai jaksottain.
3. Varastoilmaa kierrätetään aktiivihiilen läpi. Aktiivihiilen tultua kylläiseksi se regeneroidaan kierrättämällä ilmaa sen läpi.

### 3.5 CA-varastoinnin kaasutekninen mitoitus

Happitason ylläpidossa on kolme erilaista mitoitusilannetta:

1. varaston täytön jälkeinen happitason saavuttaminen
2. päivittäisestä käytöstä (ovien avaaminen) johtuva hapen säätötarve.
3. soluhengityksessä kuluvan hapen korvaaminen (Bartsch 1992 ja Jameson 1982).

Hiilidioksidin kannalta tilanne on helpompi, sillä mitoituksen ratkaisee soluhengityksen tuottama hiilidioksidi.

Varaston täytön jälkeisessä tilanteessa käyttökelpoisin ratkaisu on varaston ilmatilan huuhtelu puhtaalla tai hieman happea sisältävällä typpikaasulla. Myös hiilidioksidia on lisättävä, jotta haluttu hiilidioksiditaso saadaan heti varastoinnin alussa, koska soluhengityksen kautta sopivan hiilidioksiditason muodostuminen veisi liian kauan. Hiilidioksidin lisääminen on ongelma siinä mielessä, että varsinaisen varastoinnin aikana soluhengityksessä muodostunut hiilidioksidi täytyy poistaa, joten CA-varastojen laitteistoihin kuuluu pikemminkin hiilidioksidin poistaja kuin generaattori. Hiilidioksidi voidaan myös lisätä huuhtelun jälkeen.

Vapaata kaasutilaa on massavarastoissa hieman yli puolet. Huuhtelussa ongelman

muodostaa varastoitavien tuotteiden väleissä oleva kaasutila, joka vaihtuu tuotteista riippuen suhteellisen hitaasti. Vaihtuvuuteen vaikuttaa myös ilman kierrätysjärjestelmän toimivuus, varastotilan koko ja pakkaustapa (Bartsch 1992).

Mitoituksessa pyritään 5 %:n happipitoisuuden vuorokauden kuluessa huuhtelun aloittamisesta. Yleensä tähän pitoisuuteen pääseminen vaatii vähintään kaksinkertaisen huuhtelun vapaata ilmatilaa kohden (Garipey & Raghavan 1989). Esimerkiksi 600 m<sup>3</sup>:n varastossa yhtenäinen varastotila on korkeintaan 200 m<sup>3</sup>. Edelleen 200 m<sup>3</sup>:n varastotilassa vapaata ilmatilaa on noin 100 m<sup>3</sup>, joten vuorokaudessa tarvitaan huuhtelukaasua kaksinkertainen määrä, 200 m<sup>3</sup>, joka vastaa noin 10 m<sup>3</sup> huuhtelukaasuvirtaa tunnissa. Koska varastotilan täyttäminen kasviksilla vie useita päiviä, ei yleensä tarvita kuitenkaan samanaikaista huuhtelua useammassa kuin yhdessä tilassa.

Sisäänmenokammiolla varustetussa varastossa ilmaa vaihtuu 6–10 m<sup>3</sup> varastossa käyntiä kohden. Vaikka ilma ei juurikaan mene varastoitavien tuotteiden välisiin tiloihin, on tarvittava kaasuhuuhtelu nytkin noin kaksinkertainen vaihtuvaan ilmatilaan nähden. Näistä tilanteista selvittää kuitenkin typen tuottolaitteen yhteyteen rakennetulla ylipainesäiliöllä, jolla lyhytaikaiset huiput puskuroidaan (Petersson 1995). Ongelman aiheuttaa myös hiilidioksiditason putoaminen, jolloin syntyy lyhytaikaista tarvetta hiilidioksidin lisäämiseksi.

Soluhengityksen kuluttama happi korvataan typpihuuhtelulla, joka sisältää happea varaston ihannekoostumusta vastaavan pitoisuuden. Samalla myös soluhengityksen tuottama hiilidioksidi huuhtoutuu, koska happea kuluu ja hiilidioksidia syntyy tilavuudeltaan likimain samansuuruiset määrät. Normaalialueen ilmaa ei yleensä käytetä huuhteluun, jotta syöttöpisteiden läheisyyteen ei muodostu olosuhteita, jossa on liikaa happea. Soluhengitys on CO<sub>2</sub>:ksi lasketuna kaalilla 4–12 mg/kg × h, porkkanalla 10–26 mg/kg × h ja sipulilla 3–4 mg/kg × h, kun lämpötila on 0–5 °C (Lee *et al.*

1996). Kahden sadan tonnin varastossa teoreettinen typpikaasun tarve varastoinnin aikana on kaalilla  $0,84 \text{ m}^3/\text{h}$  (hengitys  $6 \text{ mg}/\text{kg} \times \text{h}$ ), porkkanalla  $2,2 \text{ m}^3/\text{h}$  (hengitys  $15 \text{ mg}/\text{kg} \times \text{h}$ ) ja sipulilla  $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$  (hengitys  $4 \text{ mg}/\text{kg} \times \text{h}$ ). Huuhteluun tarvitaan suurissa omenavarastoissakin 25 %:n ylimäärä kaasua (Jameson 1982). Vihanneksilla huuhteluylimäärä on helposti 100 %, eli huuhtelukaasua tarvitaan kaksinkertainen määrä teoreettiseen verrattuna.

Käytettäessä varastoa päivittäin tarvitaan oven avauksista johtuvaa lisäkapasiteettia noin  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ , jotta puskurivarastona toimiva ylipainesäiliö saadaan täytettyä kohtuullisessa ajassa. Siten typpikaasun tarve on kaalille noin  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ , porkkanalle  $6 \text{ m}^3/\text{h}$  ja sipulille  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Typpikaasun tuottolaitteistoa ei mitoiteta pienissä varastoissa (alle 1000 tn) täytohhuhtelun tarpeen mukaisesti, vaan lähinnä soluhengityksen asettaman tarpeen mukaisesti. Jotta päästäisiin riittävän nopeasti haluttuun kaasukoostumukseen, tarvitaan erillinen kaasun tuottojärjestelmä, jota käytetään varaston täytön yhteydessä. Tavallisimmin lisäkapasiteetti toimitetaan pulloissa tai säiliöissä. Vasta suuriin (yli 1000 tonnin) varastoihin kannattaa hankkia niin suuri typentuottoalaite, että ylläpidon lisäksi selvitetään yhden varastotilan aloitushuuhtelusta. Toisaalta omenavarastoissa sallitaan jopa viikon pituinen täytohhuhtelu. Tällöin ei tarvitse käyttää erillistä kaasun tuottojärjestelmää täytön yhteydessä. Kierrättävissä järjestelmissä kierrätettävän kaasun määrä on noin kaksinkertainen teoreettiseen, hengitysnopeuden perusteella laskettuun määrään verrattuna. Vuodot pienentävät hapen korvaamiseen tarvittavaa typpimäärää (tyypeä ja vähän happea). Kierrättävissä järjestelmissä tarvitaan aina hiilidioksidin poisto, joka on yleensä varastohuonekohtainen.

### 3.6 CA-varastointiin liittyvät mittaukset ja rajoitukset

CA-varastoinnin oleellinen osa on hapen ja hiilidioksidin mittaaminen. Pienissä varastoissa käytetään käsikäyttöistä Orsat-laitteistoa, jolla mitataan molemmat pitoisuudet. Suuremmissa varastoissa käytetään paramagneettisia antureita hapen mittaamiseen ja IR-mittareita hiilidioksidin mittaamiseen (Gorini *et al.* 1988). Näiden antureiden avulla voidaan toteuttaa myös jatkuvatoiminen, tarkka säätö.

CA-varastoon ei voi mennä ilman suojavälineitä. Samalla kun varastoon viedään tai sieltä noudetaan tuotteita, häiriintyy ilman kaasukoostumus pitkäksi aikaa.

Varastoautomaatio on mahdollista toteuttaa taloudellisesti vain suurissa varastoissa, joissa varastotila on jaettu vain muutamaa tuotetta sisältäviin kaasukoostumukseltaan erilaisiin osiin. Automaattisen varaston etuna on se, että ihmiselle riittämätön hapen taso ei estä toimintaa. Tavaravaihto tapahtuu ilmalukkojen kautta.

Jotta muunnetun ilman olosuhteet säilyisivät myös kuljetuksen aikana, on kuljetuskaluston oltava erikoistunut CA-kuljetuksiin. Muunnetun ilman hyödyntäminen koko ketjussa viljelijältä kuluttajalle vaatii siten erikoistoimenpiteitä.

## 4 MA-varastoinnin tekniset ratkaisut

MA-varastointi toteutetaan joko aktiivisesti tai passiivisesti. Aktiivisessa menetelmässä pakkaukseen tai varastotilaan luodaan ennen sulkemista sopiva kaasukoostumus huuhtelemalla pakkaus tai tila halutulla kaasuseoksella. Passiivisessa menetelmässä soluhengitys ja kaasujen kulkeutuminen pakkausmateriaalin läpi muuntavat pakkauksen sisäisen ilmatilan koostumusta vähentämällä happea ja lisäämällä hiilidiok-



sidia (Zagory & Kader 1988). Sekä aktiivisen että passiivisen menetelmän perusongelma on hengitysnopeuden ennakoinnin vaikeus. MA-varastointia on helpointa soveltaa niille tuotteille, joiden hengitysnopeus tunnetaan.

Pakkaamisessa teknisenä ratkaisuna on tietyllä nopeudella happea ja hiilidioksidia läpäisevä pakkausmateriaali. Tasapainotilassa materiaali päästää ympäristöstä happea saman verran kuin sitä soluhengityksessä kuluu. Materiaali valitaan hapenläpäisyominaisuudeltaan siten, että pakkauksessa on tasapainon vallitessa optimi happipitoisuus. Tällöin materiaali myös päästää ympäristöön yhtä paljon hiilidioksidia, kuin sitä syntyy soluhengityksessä. Näin ollen varastointi on itsestään säätyvä (Zagory & Kader 1988, Prince 1989, Powrie & Skura 1991, Day 1993).

Pakkauksen kaasukoostumus tasapainotilassa riippuu monista tekijöistä. Vihanneksen hengitysnopeus ja tuotemäärä pakkauksessa määräävät hapen tarpeen. Pakkaukskalvon kaasunläpäisevyys ja pinta-ala määräävät kaasun läpäisymäärän. Tasapainotilassa pakkausmateriaalilta vaadittavalle läpäisykyvylle on useita laskentakaavoja (Ahvenainen *et al.* 1991, Solomos 1994). Yleensä kaavat perustuvat tietyn tuotemäärän oletettuun hengitysnopeuteen, pakkauksen pinta-alaan sekä pakkauksen sisä- ja ulkotilan väliseen kaasun osapaine-eroon. Yksinkertaistettuna tasapainotilassa kalvolta tai materiaalilta vaadittava hapenläpäisevyys  $P$  voidaan laskea kaavasta (McLachlan 1984, Ballantyne 1987):

$$P = Y / (A \times (p_{out} - p_{in})) \quad (2)$$

missä

$P$  = vaadittava hapenläpäisevyys  
( $\text{cm}^3/\text{m}^2 \times \text{vrk}$ , 101,3 kPa)

$Y$  = tuotemäärän soluhengityksessä kuluttama happimäärä ( $\text{cm}^3/\text{kg} \times \text{vrk}$ )

$A$  = pakkauksen pinta-ala

$p_{out}$  = hapen osapaine pakkauksen ulkopuolella (kPa)

$p_{in}$  = hapen osapaine pakkauksen sisällä (kPa).

Silloin, kun tuote pakataan spesifisesti läpäisevän pakkausmateriaalin sisään, ei varastolle aseteta mitään erityisvaatimuksia normaaliin kylmävarastoon verrattuna. Sen sijaan, jos tuotteet viedään pakkamattomina yhtenäiseen tilaan, on tämän tilan oltava tiivis.

Ongelmana MA-pakkaamisessa ovat tuotteet, joilla on suuri hengitysnopeus. Myös suurten pakkausten käyttö aiheuttaa ongelmia. Happea, hiilidioksidia ja vettä läpäisevät muovikalvot eivät ole mekaaniselta kestävyydeltään riittäviä isoille pakkauksille. Tällöin esim. kuitupohjaiset pakkausmateriaalit saattaisivat toimia paremmin. Tosin pakkauksen koko on vapaasti valittavissa, mikä onkin MA-pakkaamisen eräs etu CA-varastointiin verrattuna. Periaatteessa jokainen tuoteyksilö, esim. kaalinkerä, voidaan pakata yksittäin muunnettuun ilmaan (Ben-Yehoshua 1989). Tällaista pakkaustapaa sovelletaan menestyksellä mm. sitruhedelmille Kiinassa (Ben-Yehoshua *et al.* 1994).

Viime vuosina valikoivasti läpäisevien pakkausmateriaalien valmistus on kehittynyt huomattavasti, joten läpäisyominaisuuksiltaan erilaisia pakkausmateriaaleja alkaa olla kaupallisesti saatavilla hyvinkin erilaisiin tarkoituksiin. Bulkkipakkaamiseen tai yksittäisen tuotekappaleen pakkaamiseen mahdollisesti soveltuvia muovimateriaaleja voisivat olla polypropeeni-eteenivinyyliasettaati-polyeteenimonikerrosmateriaali, polyvinyylidikloridivinyyliasettaati-kalvo, polybutadieeni, etyyliiselluloosa, polysyklinen terpeenifilmi, K-hartsikopolymeeristyyreenikalvo, erittäin pienitiheksinen eteenioktaanikopolymeerifilmi (Brody 1991) ja erilaiset mikrohuokoiset ja mikrorei'itetetyt kalvot (Ben-Yehoshua *et al.* 1994, Yam & Lee 1995, Émond *et al.* 1995). Mikrorei'itetetyt kalvot eivät aiheuta painohäviöitä ja tuotteen nahistumista, jos varaston suhteellinen kosteus on riittävä (Ben-Yehoshua *et al.* 1994). On kehitetty myös ns. lavapusseja, joissa on silikonikumiventtiili kaasujen vaihdon varmistamiseksi (Lee *et al.* 1996).

Yleensä MA-pakkauksen kaasutilavuus on niin pieni, että usein pakkauksissa käytetään myös hiilidioksidia, eteeniä ja vettä sitovia aineita virrehajujen ja -makujen estämiseksi (Kader *et al.* 1989). Erityisesti kosteuden poisto saattaa olla tärkeää, jos ei käytetä mikroreitetettyjä kalvoja, ja jos varaston lämpötila vaihtelee ja aiheuttaa veden kondensoitumista pakkauksen ja tuotteen pinnoille. Vapaa vesi edistää mm. pilaavien mikrobin kasvua. Shirazi & Cameron (1992) ovat saaneet hyviä tuloksia poistamalla kosteutta tomaattipakkauksista kalsiumkloridilla, sorbitolilla, ruokasuolalla, ksylitolilla ja kaliumkloridilla. Edellä mainittuja ns. aktiivisen pakkaamisen menetelmiä ja niillä saatuja tuloksia on esitelty tarkemmin Järvi-Kääriäisen (1991), Vaarin *et al.* (1994), Ben-Yehoshuanin *et al.* (1994) ja Zagoryn (1995) katsauksissa.

Eräänä mielenkiintoisena vaihtoehtona synteettisille pakkausmateriaaleille kasvien MA-pakkaamiseen on kehitetty syötäviä kalvoja ja päällysteitä. Kalvot ja päällysteet voivat sisältää myös säilyvyyttä edistäviä aineita, jotka siirtyvät tuotteen pintaan varastoinnin aikana (Ben-Yehoshua *et al.* 1994, Chinnan 1994, Gorris 1996 ja Lee *et al.* 1996). Tällaisessa pakkaustavassa jokainen tuoteyksilö on käsiteltävä erikseen. Chinnan (1994) pidensi tomaattien säilyvyyttä kuudella päivällä päällystämällä ne maissiproteiiniilla.

Pakkausmateriaaleja ja pakkaustapaa valittaessa on huomioitava myös ympäristötekijät. Pakkausten tulisi olla joko uudelleen käytettäviä, kierrätettävästä materiaalista valmistettuja tai johonkin jätteen käsittelymuotoon hyvin soveltuvia. Näin estettäisiin niiden kaatopaikalle joutuminen (Lee *et al.* 1996).

Kun tuote on pakattu kalvoon, on samassa MA-varastossa mahdollista säilyttää useita tuotteita. Rajoittavana tekijänä on alin sallittu lämpötila. Tosin voimakas aromisia tuotteita ei kannata säilyttää heikkoaromisten tuotteiden kanssa, eikä myöskään eteeniä tuottavia kasviksia eteenille herkkien tuotteiden kanssa. Kasvien otaminen varastosta ja niiden varastoon

lisääminen on rajoittamatonta MA-varastoinnissa. Automatisoinnille ei ole esteitä, koska varasto voidaan rakentaa yhtenäiseksi tilaksi.

MA-pakattua tuotetta sisältävissä lavoissa tai pakkauksissa muunnettu ilma säilyy myös kuljetuksen ja kaupan varastoinnin aikana pakkauksen avaamiseen saakka. Useita eri tuotteita voidaan kuljettaa yhdessä. Kuljetuskalustolle ei aseteta muuta erityisvaatimusta kuin mahdollisesti oikean lämpötilan ylläpito. Muunnettua varastointi-ilmaa voidaan hyödyntää lähes koko ketjussa viljelijältä kuluttajalle, käytännössä yleensä tukkukaupan varastoinnista alkaen.

## 5 Alipainevarastointi

Alipainevarastoinnissa hapen osapaine on suoraan verrannollinen varastotilan kokonaispaineeseen. Hapen osapaineen pieneneminen normaalipaineeseen ilmaan verrattuna merkitsee soluhengityksen käytettävissä olevan hapen vähenemistä (Jamieson 1980). Tästä syystä soluhengitys pienenee. Alipainevarastoinnissa käytetään vain normaalia ilmaa. Hiilidioksidia ja toisinaan myös muita ei-toivottuja kaasuja voidaan poistaa. Menetelmänä käytetään huuhtelua. Kosteuden säätö on tavallista. Alipainekammioista imetään ilmaa, jonka tilalle päästetään uutta kosteussäädettyä ilmaa. Alipainetta voidaan käyttää sekä varastoissa (Jamieson 1980) että konteissa (Gorris *et al.* 1994).

Alipainevaraston on oltava ehdottoman tiivis. Tiivistämisessä on ollut teknisiä ongelmia suuren paine-eron vuoksi. Vuotava rakennus lisää kompressointikustannuksia. Normaaliin kylmävarastoon verrattuna kustannuksia lisää kompressorilaitteisto. Alipainevarastoinnin suurimpana esteenä ovatkin tekniset ongelmat.

Alipainetta voidaan soveltaa myös joustavissa pakkauksissa (Heimdal *et al.* 1995). Tutkimustuloksia on kuitenkin vähän. Alipainetekniikassa voi olla vaarana anaerobisen toiminnan käynnistyminen,

mikä pilaa hyvin nopeasti tuotteen hajun ja maun. Tuote saattaa olla kuitenkin ulkonäöltään hyvä.

## 6 CA- ja MA- varastoinnin kustannukset

CA- ja MA-varastoissa käytetään samoja rakenneratkaisuja kuin normaaleissa kylmävarastoissa. Lisäkustannuksia tulee tiivistämisestä. Tiivistämisen kustannuksia on vaikea arvioida, sillä tiivistämisen tarve riippuu käytettävistä rakenneratkaisuista. Jäähdytykseen ja kosteudensäätöön tarvitaan samat ratkaisut kuin normaalissa kylmävarastoinnissa. CA-varastoinnissa ja aktiivisessa MA-varastoinnissa tarvitaan laitteiden tuottamiseen tai nestemäisen tyypin käsittelyyn. CA-varastoinnissa tarvitaan lisäksi laite hiilidioksidin poistamiseen. Automaattisista kaasukehän tuottolaitteista ei aiheudu sanottavasti työvoimakustannuksia.

Taulukossa 1 on laskettu, miten suuria lisäinvestoinnit saavat olla kolmessa erikoisessa kaali- ja sipulivarastossa, jotta CA-varastointi on vielä kannattavaa. Laskentaperusteina ovat 10 %:n säästö hävikissä ja keskimääräinen myyntihinnan nousu 10 p/kg, minkä ajatellaan kattavan

**Taulukko 1.** Taloudellisesti kannattavan lisäinvestoinnin suuruus muutettaessa normaali kylmävarasto CA-varastoksi.

Varastokoko		Lisäinvestoinnin suuruus (× 1000 mk)	
tonnia	m <sup>3</sup>	Kaali	Sipuli
200	600	150	200
400	1000	300	400
800	2000	500	800

käyttökustannukset. Sipulin markkinahintana on käytetty 2 mk/kg ja kaalin markkinahintana 1,5 mk/kg. Investoinneille oletetaan viiden vuoden takaisinmaksuväa-  
timus.

Esimerkiksi pelkät typpikustannukset 200 tonnin CA-varastoinnissa kuuden kuukauden aikana ovat vuokrattavilla systeemeillä noin 21 000 mk sipulille (kulutus 1,2 m<sup>3</sup>/h, hinta 4 mk/m<sup>3</sup>) ja noin 28 000 mk kaalille (kulutus 1,6 m<sup>3</sup>/h, hinta 4 mk/m<sup>3</sup>). Tähän on vielä lisättävä täyttövaiheessa tarvittavan tyypin kustannukset. Muita kustannuksia tulee hiilidioksidista (lisäys ja poisto) sekä CA-varastoinnin rakennusteknisistä pääomakustannuksista. Vuotuisia kokonaiskustannuksia on vaikea arvioida. Kuitenkin lienee vaikeaa päästä alle 50 000 markan vuotuisiin käyttökustannuksiin.

Vaikka typpikustannukset ovat varastoon pysyvästi hankitulla tyypentuottolaitteistolla pitkällä aikavälillä hieman pienemmät kuin vuokrattavilla järjestelmillä, ei liene mahdollista järjestää CA- tai MA-varastointia 200 tonnin varastoissa edellisten tuottolaskelmien mukaisilla investoinneilla. Vielä 400 tonnin kaalivaraston kannattavuus on kyseenalainen. Sipulivarasto saattaa olla kannattava jo 400 tonnin varastokoolla.

Kun MA-varastointi toteutetaan pakkausissa, ei varaston tiivistämistä tarvita, jolloin siitä ei myöskään aiheudu lisäkustannuksia. Periaatteessa pakkaamiseen perustuva MA-varastointi voidaan toteuttaa missä tahansa kylmävarastossa. Varastoinnin aikana ei tarvita kaasujen tuottolaitteita eikä pesureita. Suurimmat lisäkustannukset tulevat pakkauskoneista. Näiden laitteiden hankintakustannus vaihtelee suuresti menetelmän ja laiteratkaisun mukaan. Jos halutaan tehdä bulkkipakkauksia, paras konetyyppi lienee ns. snorkkelikone, jossa tuote voidaan pakata pussiin tai pussi-laatikossa-pakkaukseen. Snorkkelikoneitten hinta liikkuu 200 000 ja 400 000 mk:n välillä kapasiteetin ollessa 1200–2000 kg tunnissa. Snorkkelikoneessa pakkauksen kaasuttaminen tapahtuu siten, että pussi ensin va-

**Taulukko 2.** CA- ja MA-varastoinnin etuja ja haittoja toisiinsa verrattuna. MA-varastointi pakkauksissa.

	CA-varastointi	Ma-varastointi
Varastotilakustannukset	-	+
Pakkauskonekustannukset	+	- <sup>1</sup>
Pakkausmateriaalikustannukset	+	-
Työvoimakustannukset	+	-
Sopii kaikkiin varastoihin	-	+
Kaasukehän säätö ja ylläpito	-	+
Säilyvyys varastossa	? <sup>2</sup>	? <sup>2</sup>
Tuotteiden varastosta ottaminen	-	+
Tuotteiden säilytys varastosta oton jälkeen	-	+

+ = etu

- = haitta

<sup>1</sup>Riippuu siitä, pakataanko bulkkiin vai yksittäispakkauksiin.

<sup>2</sup>Ei ole riittävästi tutkimustuloksia, joita voisi soveltaa suomalaisille tuotteille.

kumoidaan ja sen jälkeen pussiin puhalletaan kaasuseos. Pussi suljetaan pystyasennossa.

Jos tuotteet pakataan yksittäin kalvoon, voidaan pakkaaminen periaatteessa tehdä vaikka käsin, jos pakkausta ei kaasuteta. Tällöin tarvitaan ainoastaan pakkauksen saumauslaite, joka maksaa muutamia tuhansia markkoja. Tällainen pakkaustapa on luonnollisesti hidas. Haluttaessa suuria pakkausnopeuksia parhaimpia konetyyppejä ovat flow-pak-koneet, joissa pakattava tuote menee liukuhihnalla eteenpäin ja pakkauskalvo kääriytyy tuotteen ympärille. Koneita on saatavissa ilman kaasutuslaitteistoa ja kaasutuslaitteistolla varustettuna. Hinnat vaihtelevat 500 000 mk:sta ylöspäin riippuen varustetasosta.

Pakkaaminen lisää myös työvoimakustannuksia. Pakkausmateriaaleista tulee myös kustannuksia, jotka ovat hyvin pitkälle tuotekohtaisia. Pakkaamisessa saataan tarvita kaasuja, kaasunerittäjiä tai absorboijia muunnetun ilman muodostamiseen, jos tuotteen hengitys ja materiaalin läpäisevyys eivät muuta riittävän nopeasti pakkauksen kaasutilan happi- ja hiilidioksidipitoisuutta optimitasolle tai eteenpitoisuus nousee liian korkealle. Koska MA-varastoinnin toteuttamisesta pakkauksissa eri vihanneksilla ei juuri ole teknistä

tietoa saatavissa, on lopullisia kustannusarvioita vaikea tehdä.

Säästöt CA- ja MA-varastoinnissa tulevat pidentyneestä varastointiajasta, pienentyneestä hävikistä, ajansäästöstä kauppakunostuksessa, sekä paremmasta laadusta saatavasta korkeammasta hinnasta. Kotimaisten vihannesten viljelyalaa on mahdollista lisätä pidentyvän tarjontakauden ansiosta. Toisaalta ulkomailta voidaan ostaa suuria eriä silloin, kun niitä on saatavissa halvalla. CA-varastointi soveltuu parhaiten runsaasti tuotettaville ja pitkään varastoitaville tuotteille, kuten omenille ja kiinankaalille. MA-varastointi pakkauksissa puolestaan soveltuu parhaiten tuotteille, joita tuotetaan pieniä määriä ja jotka eivät säily kovin pitkään (Lee *et al.* 1995).

CA- ja MA-varastoinnilla on sekä hyviä että huonoja puolia toisiinsa verrattuna. Taulukkoon 2 on kerätty tärkeimpiä etuja ja haittoja.

## 7 Porkkanan varastointi

Porkkanan varastoinnissa suurimmat ongelmat ovat mätäneminen sekä juuren ja verson kasvu. Tulokset varaston optimikaasupitoisuuksista näiden ongelmien rat-

kaisemisessa ovat ristiriitaisia. Ilmasto-olosuhteet kasvukautena, lajike (biologinen rytmi, solukkorakenne yms.), tuleentumisaste ja satokausi vaikuttavat tuloksiin. Säilyvyytutkimuksissa vertailuna on tavallisesti ollut normaali kylmävarasto samassa lämpötilassa ja ilman kosteudessa. Normaalissa kylmävarastoinnissa lämpötila on lähellä 0 °C ja suhteellinen kosteus yli 95 %.

MA-varastoinnin vaikutusta erityisesti mätänemiseen on tutkittu paljon. Porkkanassa on solunsisäistä ilmatilaa 1–2 % (Isenberg 1979). Kun happipitoisuutta lasketaan porkkanaa ympäröivässä ilmatilassa, laskee happipitoisuus myös solun sisäisessä ilmatilassa diffuusion vaikutuksesta, kunnes tullaan tasapainotilaan. Solut, jotka ovat solujen välisen ilmatilan tai ulkoilman välittömässä kosketuksessa, säilyttävät aerobisen hengityksen pienilläkin happipitoisuuksilla. Solut, jotka eivät ole kaasutilan välittömässä läheisyydessä, saavat hapen solunesteeseen liukenevan hapen diffuusion kautta. Diffuusio vedessä on noin 300 000 kertaa hitaampaa kuin ilmassa. Tästä syystä pienissä happipitoisuuksissa soluhengitys muuttuu anaerobiseksi jo hyvin lähellä tuotteen pintaa. Anaerobisia pilaajaorganismeja porkkanan pinnassa on maan sisällä tapahtuvan kasvun vuoksi runsaasti. Osmoottisen paineen lasku porkkanan pinnalla edesauttaa pilaajaorganismien tunkeutumista syvemmälle.

CA-varastoinnin vaikutuksesta mätänemiseen on saatu ristiriitaisia tuloksia. Happipitoisuuden laskeminen alle 10 %:n lisää mätänemistä (Apeland & Hoftung 1971). Hiilidioksidipitoisuuden kohoaminen yli 4 %:n lisää mätänemistä (Augustinussen *et al.* 1975, Weichmann 1975, Gorini *et al.* 1988). Gorinin *et al.* (1988) mukaan hiilidioksidi aiheuttaa porkkanalle myös fysikaalisia vaurioita. Alhainen happipitoisuus (1–5 %) ja kohonnut hiilidioksidipitoisuus (4–10 %) yhdessä lisäävät mätänemistä (Van den Berg & Lentz 1966, Eaves *et al.* 1969, Abdel-Rahman & Isenberg 1974). Mätänemisalttiudessa on suuret erot eri satokausien välillä (Abdel-Rahman & Isenberg 1974).

Yhteistä näille kaikille tutkimuksille on matala säilytyslämpötila (0–1 °C) ja korkea suhteellinen kosteus (95–100 %). Normaalissa kylmävarastoinnissa porkkanat säilyvät parhaiten lähellä 0 °C. Mahdollisesti CA-varastoinnin matala happipitoisuus ja kohonnut hiilidioksidipitoisuus aiheuttavat herkistymistä kylmävaurioille, mikä puolestaan johtaa mätänemisen alkamiseen kylmävauriokohdista.

Muunnetun varastointi-ilman myönteinen vaikutus porkkanan mätänemisen estämisessä on saatu MA-varastoinnissa polyeteenipusseihin, joissa ilma on säätynyt soluhengityksen kautta (Phan 1974). Tasapainossa hiilidioksidipitoisuus oli 3 % ja happipitoisuus 17 %. Happipitoisuus oli siis suhteellisen korkea ja hiilidioksidipitoisuus matala. Säilytyslämpötila oli 0–1 °C. Porkkanoiden ulkonäkö ja liukoisten aineiden pitoisuus säilyivät lähes muuttumattomina 15 kk:n varastoinnin ajan. Umiecka (1980) puolestaan vertasi porkkanan säilyvyyttä puuvillaverkoissa, perforoimattomassa polyeteenipussissa (paksuus 0,03–0,04 mm) ja perforoidussa polyeteenipussissa (4 reikää, halkaisija 3 mm). Pussien koko oli 20 × 25 cm ja porkkanoiden määrä 0,4–0,5 kg. Umiecka sai parhaimman säilyvyyden (8–9 kk) porkkanalle perforoiduissa polyeteenipusseissa lämpötilan ollessa 0–1 °C.

Porkkanat säilyivät hyvin myös CA-varastoinnissa matalalla happipitoisuudella (2–3 %) ja suhteellisen korkealla hiilidioksidipitoisuudella (6 %) noin 1 °C lämpötilassa (Rumpf & Hansen 1973). Hyvä tulos on saatu myös CA-varastoinnissa hieman korkeammassa lämpötilassa (2 °C), mutta edelleen matalalla happitasolla (5 %) ja suhteellisen korkealla hiilidioksidipitoisuudella (5–10 %) (Niedzielki & Kassem 1979).

Porkkanan pilaantumista aiheuttavat enemmän maaperän bakteerit kuin hiivat tai homeet (Markholm 1992). Anaerobisesa hengityksessä maitohappobakteerit tuottavat etanolia ja asetaldehydiä, jotka alentavat laatua. Korkea hiilidioksidipitoisuus vaikuttaa maitohappobakteereille suotuisasti laskemalla pH:ta. Matala happipitoisuus edistää anaerobista hengitystä.

Tätä tukee Baumanin (1972 ja 1974) havainto, että pesulla esikäsitteilynä on suurempi merkitys mätänemisen ehkäisyssä kuin muunnetulla kaasukehällä. Edellä olevaa tukevat myös lukuisat vihannesten esikäsitteilyä käsittelevät tutkimukset, esimerkiksi Ahvenainen *et al.* 1991.

Juurten ja verson kasvua muunnetussa varasto-ilmassa vähentävät matala happitaso yksinään (Apeland & Hoftun 1971, Abdel-Rahman & Isenberg 1974) tai matala happitaso ja kohonnut hiilidioksiditaso yhdessä (Van den Berg & Lentz 1966). Varastoimislämpötilan pitää olla lähellä 0 °C. Lämpötilan nostaminen 2–3 °C lisää verson ja juuren kasvua voimakkaasti (Van den Berg & Lentz 1966). Satokausi, lajike ja tuleentumisaste vaikuttavat tuloksiin huomattavasti (Van den Berg & Lentz 1966, Abdel-Rahman & Isenberg 1974, Augustinussen *et al.* 1975). Normaalissa kylmävarastossa 3–4 °C:n lämpötila katkaisee lepotilan, jolloin verson ja juurten kasvu alkaa (Maatalouskeskusten liitto 1987). Lepotilan päätyttyä biologisen rytmin mukainen versominen alkaa matalammissakin lämpötiloissa.

CA- ja MA-varastoinnin kohonnut hiilidioksidipitoisuus ja matala happipitoisuus edistävät  $\beta$ -karoteenin säilymistä ja vähentävät sokeripitoisuuden pienenemistä varastoinnin aikana (Phan 1974).

Yleensä CA-varastossa lämpötila, kosteus ja kaasukoostumus pidetään vakioina koko varastoinnin ajan. Voisi kuitenkin olettaa, että optimiolosuhteet vaihtelisivat porkkanan biologisen vaiheen mukaisesti. Hedelmien säilytyksessä tätä ns. dynaamista CA-varastointia on tutkittu jonkin verran (Gorini *et al.* 1988). Porkkanan CA-varastoinnista ei kirjallisuudesta löydy vastaavia tutkimuksia.

Lajikkeen, tuleentumisasteen ja satokauden sekä muunnetun varastointi-ilman kaasupitoisuuksien ja lämpötilan välisistä vuorovaikutuksista ei ole vielä tarpeeksi tietoa porkkanan varastoimisessa. Mätänemisongelma sekä verson ja juurten kasvu näyttävät olevan niin suuressa ristiriidassa kaasupitoisuuksien ja varastoimislämpötilan

suhteen, että muunnetun ilman käytöllä varastoinnissa ei saavuteta riittävää etua normaaliin kylmävarastointiin verrattuna.

Kirjallisuudesta ei löytynyt tietoa porkkanan alipainevarastoinnista.

## 8 Kaalien varastointi

Kaalin säilytystä muunnetussa varastointimassassa on lisännyt pikaruokaravintoiltoitten yleistymisen, esim. hampurilaisravintoloissa käytetään lähinnä kaalia salaattina. Kaalin CA-varastointia on tutkittu paljon. Valko- ja punakaalille suositeltava happipitoisuus on 2–3 % ja hiilidioksidipitoisuus 3–6 %. Käytännössä suositeltavat pitoisuudet ovat vain suuntaa antavia, koska hyvä säilyminen on saavutettu erilaisissa hapen ja hiilidioksidin pitoisuuksissa:

1,5 – 10 % CO<sub>2</sub> + 3 – 6 % O<sub>2</sub> (Van den Berg & Lentz 1966)

5 – 10 % CO<sub>2</sub> + 11 – 16 % O<sub>2</sub> (Suhonen 1969)

2 – 5 % CO<sub>2</sub> + 2 – 5 % O<sub>2</sub> (Isenberg & Sayles 1969)

5 % CO<sub>2</sub> + 5 % O<sub>2</sub> (Eaves *et al.* 1969, Bohlin & Hansen 1977, Henze 1977 ja Lipton 1977)

4 % CO<sub>2</sub> + 2,5 % O<sub>2</sub> (Wiersma & Schoneveld 1979).

Kaupallisissa varastoissa käytetään enimmäkseen 2–3 % O<sub>2</sub> ja 3–5 % CO<sub>2</sub>, kaasuseoksen loppuosa on typpeä (Saray 1994). Säilyvyys lisääntyy normaaliin kylmävarastointiin verrattuna kuukaudesta muutamaani kuukausiin (Van den Berg & Lentz 1966, Suhonen 1969, Isenberg & Sayles 1969, Otey & Fedler 1991), kun lämpötila on 0 °C. Yleisimmin varastointikestävyys piteni eri tutkimuksissa noin 30–40 päivää (Saray 1994). Esim. valkokaalin säilyvyys CA-varastoinnissa on 24–26 viikkoa, kun

lämpötila on 2–5 °C ja suhteellinen kosteus 90–95 %. On havaittu myös, että täyteen pakatuissa ja tiiviissä varastoissa ilma muuntuu soluhengityksen kautta ja kaali säilyy hyvin (Isenberg 1979).

CA-varastoinnilla voidaan vähentää klorofyllin hajoamista, painohäviöitä, ravintoainetappioita ja estää tai vähentää *Botrytis cinerea*-homeen, *Erwinia*-suvun bakteereiden, *Alternaria brassicae*-homeen ja *Phoma linga*-mädän aiheuttamia vikoja kaalissa (Wiersma & Schoneveld 1979, Todt & Schulz 1987, Saray 1994). Wiersma & Schoneveld (1979) saivat 8 % enemmän myyntikelpoista valkokaalia CA-varastosta kuin normaalista kylmävarastosta. Lisäksi CA-varastoidun kaalin kauppakunnostukseen tarvittiin 22 % vähemmän aikaa kuin normaalisti kylmävarastoidun kaalin kunnostukseen. Wiersma & Schoneveld (1979) laskivat, että hehtaaria kohti tämä merkitsee 48 työtunnin säästöä.

Omenoiden CA-varastoinnissa, jota on harjoitettu jo vuosikymmeniä, optimaalinen lämpötila ja kaasukoostumus vaihtelevat lajikkeen, paikallisten ilmastolosuhteiden ja kypsyyssasteen mukaan (Gorini 1989). Vaikkakin kaalin CA-varastointia on tutkittu paljon, ei siitä ole kuitenkaan riittävästi kokemuksia, jotta tarkkoja ohjeita voitaisiin antaa. Kuten omenallakin tuloksiin vaikuttaa mitä ilmeisemmin myös lajike. Prange & Lidster (1991) tutkivat talvivarastoitavien Lennox- ja Bartolo-kaalilajikkeiden säilymistä 6 kk:n ajan kolmessa erilaisessa varastointi-ilmassa: normaali ilma, 3 % O<sub>2</sub> + 5 % CO<sub>2</sub> ja 2,5 % O<sub>2</sub> + 3 % CO<sub>2</sub>. Varastointilämpötilaa tutkijat eivät mainitse, mutta epäsuorasti on ymmärrettävissä, että se oli 0 °C. Suhteellinen kosteus oli varsin alhainen, 81–87 %. Kahdessa jälkimmäisessä kaasukehässä tautien määrä kaalien pinnalla väheni verrattuna normaalissa ilmassa varastointiin, mutta varastointitavalla ei ollut juuri merkitystä saantoon kauppakunnostuksen jälkeen tai kaalien kauppalaatuun. Vaaleamman kaalilajikkeen, Lennoxin, vihreä väri säilyi paremmin alennetussa happipitoisuudessa kuin normaalissa ilmassa.

Prange & Lidster (1991) totesivat, että hyvin säilyville kaalilajikkeille CA-varastoinnista ei ole suurta hyötyä, ainakaan 6 kk:n varastoinnin aikana. Toisaalta normaalia käytäntöä (95–100 % RH) alhaisempi suhteellinen kosteus saattaa olla yhtenä syynä tuloksiin.

Prange & Lidster (1991) tutkivat myös valon (valovoimakkuus 16–20 molm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) merkitystä kaalien säilymiselle. Valo vähensi fysiologista pilaantumista jopa puoleen verrattuna pimeässä säilytykseen. Valo vähensi myös painohäviöitä jonkin verran.

Sarayn (1994) ja Saltveitin (1992) mukaan kiinankaalille suositeltava happipitoisuus on hieman pienempi, noin 1–2 %, ja hiilidioksidipitoisuus jopa hieman korkeampi, 0–5 %, kuin valkokaalille. Mertensin (1986) tulokset tukevat tätä suositusta. Säilytysaika on 8–12 viikkoa. CA-varastointi parantaa värin ja rakenteen säilymistä ja vähentää paino- ja kauppakunnostushäviöitä. Toisaalta Sarayn (1994) mukaan kiinankaalin C-vitamiinipitoisuus pienenee kaasuvastoinnissa enemmän kuin normaalissa varastoinnissa.

Wang (1983) sai taas lähes kaksinkertaisen säilyvyysajan (noin 5 kk) kiinankaalille kaasuseoksessa 1 % O<sub>2</sub> + 99 % N<sub>2</sub> verrattuna normaalissa ilmassa säilytykseen, kun lämpötila oli 0 °C. Myös C-vitamiinipitoisuus säilyi selvästi paremmin kaasuseoksessa kuin ilmassa. Edelleen Wang (1983) havaitsi, että 30–40 % CO<sub>2</sub> heikensi laatua, kun kiinankaalia varastointiin ensin 5–10 päivää tässä CO<sub>2</sub>-pitoisuudessa ja sen jälkeen normaalissa ilmassa. Edelleen 10–20 % CO<sub>2</sub> ei ollut sinänsä haitallinen laadulle, mutta siitä ei myöskään ollut mitään hyötyä.

Kuukausien säilytyksessä saattaa tulla kylmävaurioita ja mätänemistä. Kaalin lehdessä on huomattavasti enemmän solun sisäistä ilmatilaa kuin porkkanassa. Pilajaorganismien aiheuttama saastuminen on huomattavasti vähäisempää kuin porkkanalla. Näistä syistä mätäneminen on kaalilla pienempi ongelma kuin porkkanalla. Kylmävaurion vaara on suuri matalissa lämpötiloissa (Saray 1994).

CA-varastoinnissa painohäviö on pienempää kuin normaalissa kylmävarastossa (Van den Berg & Lentz 1974, Stoll 1974, Bohling & Hansen 1977, Henze 1977). Painohäviön pieneminen johtuu soluhengityksen hidastumisesta, mätänemisen vähenemisestä ja kasvitautien vaikutuksen vähenemisestä. Kaalin väri vaalenee CA-varastoinnissa vähemmän kuin kylmävarastoinnissa (Van den Berg & Lenz 1966, Isenberg & Sayles 1969, Eaves *et al.* 1969, Bohlin & Hansen 1977, Lipton 1977). Kuten valkokaalilla myös kiinankaalilla lajike, kasvuolosuhteet ja satokausi vaikuttavat säilymiseen CA-varastossa sekä siihen, kuinka paljon CA-varastoinnista saadaan etua normaaliin kylmävarastointiin verrattuna (Wijk & Jeurissen 1990).

Kaalien varastoinnissa muunnetun ilmakehän käytöllä on selvästi etuja. Kaupallisia kaalin CA-varastoja on Yhdysvalloissa ja Keski-Euroopassa.

## 9 Sipulin varastointi

Sipuli säilyy parhaiten, kun se on lepotilassa. Lepotilan päätyttyä sipuli aloittaa uudelleen kasvun, jonka nopeus riippuu ulkoisista tekijöistä. Tässä vaiheessa korkea kosteus aiheuttaa juurten kasvua. Verson kasvua edistävät korkea lämpötila ja kuiva ympäristö, joten varasto-olosuhteilla voidaan juurten ja verson kasvua pienentää.

Ongelmina sipulin varastoinnissa ovat värin kellastuminen ja sisäiset vauriot, sekä verson ja juurten kasvaminen (Isenberg 1979). Sisäiset vauriot johtuvat suurimmaksi osaksi liian lähellä 0 °C olevista lämpötiloista. Versominen ja juurten kasvaminen vaihtelevat lajikekohtaisesti. Aikaisin tuleentuvilla lajikkeilla versominen ja juurten kasvaminen ovat suurempi ongelma kuin myöhään tuleentuvilla lajikkeilla. Tämä on vanhastaan tiedetty asia normaalissa kylmävarastoinnissa.

Sekä kuivalle että tuoreelle sipulille suositeltava varastointilämpötila CA-varastoinnissa on 0–5 °C. Happitaso on myös

sama molemmille, 1–2 %. Hiilidioksiditaso poikkeaa ollen kuivalle 0–1 % ja tuoreelle sipulille 10–20 %. Sopiva suhteellinen kosteus kuivalle sipulille on 75 % ja tuoreelle 90–95 %. Lajike- ja tuleentumisvaihevaihtelua esiintyy. Tutkimustulokset eivät ole täysin yksiselitteisiä (Isenberg 1979, Gorini *et al.* 1988).

Chawan & Pflug (1968) havaitsivat CA-varastoinnin matalassa varastolämpötilassa (0–1 °C) yhdessä matalan happitason (3 %) ja korkean hiilidioksiditason (5–10 %) kanssa aiheuttavan vaurioita sipulille. Kun lämpötila oli noin 4 °C, vaurioita ei ilmennyt. Sensijaan Adamicki & Kepka (1974) eivät havainneet sisäisiä vaurioita suunnilleen samassa kaasukoostumuksessa, kun lämpötila oli 1 °C. Näiden kokeiden väliset erot ovat lajikkeessa, satokaudessa ja mahdollisesti tuleentumisasteessa. Mielenkiintoinen tulos lämpötilan vaikutuksesta on Greidanusen & Schoutenin (1975) koe, jossa lämpötila oli varastoinnin alkupuolella noin 0 °C marraskuuhun saakka, jonka jälkeen lämpötila nostettiin välille 1–2 °C. Hiilidioksidipitoisuus oli 1 tai 5 % ja happipitoisuus 3 %. Sipulit säilyivät paremmin kuin vertailuna olleessa kylmävarastoinnissa. Sisäisiä vaurioita oli noin 8 %:ssa sekä verson ja juuren kasvua noin 3 %:ssa sipuleista. Vastaavat luvut normaalissa kylmävarastoinnissa olivat 21 % ja 14 %.

Matala lämpötila, pieni happipitoisuus ja kohonnut hiilidioksidipitoisuus pienentävät verson ja juurten kasvua (Chawan & Pflug 1968, Adamicki & Kepka 1974). Tuleentumisaste vaikuttaa säilyvyyteen. Aikaisin tuleentuvat lajikkeet säilyvät varastoinnissa hieman huonommin kuin myöhään tuleentuvat lajikkeet (Chawan & Pflug 1968). Stoll (1974) testasi Superbalajikkeen sipuleitten säilyvyyttä ja sai tulokseksi, että CA-varastoinnilla ei ollut etua kylmävarastointiin verrattuna.

Sekä tuoreen että kuivan sipulin kaupallisessa varastoinnissa käytetään CA-menetelmää, etenkin Yhdysvalloissa. Sipulia säilytetään myös MA-varastoissa, mutta siitä ei löydy kirjallisuudesta tietoa. CA-va-



rastointia on helpompi tutkia, koska tuotetta ympäröivän kaasun koostumus tiedetään koko ajan. MA-varastoinnissa kaasukehän koostumus vaihtelee hieman. Toisaalta MA-varastoinnissa on käytetty pakkausalan yritysten kehittämiä selektiivisesti läpäiseviä materiaaleja, joita ei ole kirjallisesti raportoitu liikesalaisuuk-sien säilyttämisen vuoksi.

Sipulin alipainevarastoinnista ei löytynyt julkaisuja. Myöskään dynaamisen CA-varastoinnin soveltamisesta sipulille ei löytynyt kirjallisuudesta tietoa.

Julkaistujen tulosten perusteella näytetään CA-varastoinnilla saavutettavan etu säilyvyydessä kylmävarastointiin verrattuna. Optimaaliset olosuhteet ovat lajike-, satokausi- ja tuleentumisastekohtaisia.

## 10 Johtopäätökset ja suositukset

Katsaukseen on koottu tietoa kasvisten CA-, MA- ja alipainevarastoinnista, teknisistä ratkaisuista ja varastoinnin kustannuksista. Yksinkertaisimmillaan MA-varastointi tarkoittaa sitä, että tuote pakataan kaasuja valikoivasti läpäisevään materiaaliin. Kustannuksia aiheutuu pakkauskoneesta, materiaaleista, niiden säilyttämisestä ja työvoimakuluista. CA-varastoinnissa suurimmat kustannukset aiheutuvat varaston tiivistämisestä, kaasutus- ja mittalaitteista.

CA- ja MA-varastoinnin kustannusten vertailu keskenään on vaikeaa, koska MA-

varastoinnin oikeasta toteutuksesta eri kasviksilla ei ole riittävästi tietoa. Käytön kannalta MA-varastointi pakkauksissa on helpompi ja joustavampi kuin CA-varastointi ja mahdollistaa suojaavan kaasukehän säilyttämisen tuotteen ympärillä myös varastosta ottamisen jälkeen. MA-pakkauksista voidaan käyttää missä tahansa kylmävarastossa. Varastosta voidaan ottaa minkä kokoisia eritä tahansa muuttamatta tuotteen ympärillä olevaa kaasukehää. Toisaalta MA-varastoinnissa pakkauksista saattaa tulla huomattava määrä jätettä, jolle olisi löydettävä hyötykäyttöä.

Katsauksessa on tarkasteltu myös CA- ja MA-varastoinnin tuomia mahdollisuuksia lähinnä porkkanan, kaalien ja sipulin laadun säilyttämisen kannalta. CA- ja MA-varastointi näyttävät lupaavimmilta kaaleille ja sipulille, sen sijaan porkkanalla saadut tulokset ovat ristiriitaisia, ja useissa kirjallisuuslähteissä porkkanalle ei suositella varastointi-ilman muuntamista.

Joustavuutensa takia erityisesti MA-varastointia pakkauksissa tulisi tutkia tarkemmin tärkeimmillä kasviksilla: perunalla, kaaleilla, porkkanalla ja sipulilla. Tärkeimmät muuttujat tutkimuksessa olisivat lajike, kasvuolosuhteet ja korjuuajankohta, pakkausmateriaalin ominaisuudet, kaasukoostumus pakkauksessa, pakkauskoko ja lämpötila. Parhaimmillaan onnistunut MA-varastointi mahdollistaa kotimaisten vihannesten viljelyalan lisäämisen pidentyneen tarjontakauden ansiosta. Edelleen ulkomailta voidaan ostaa kotimaassa varastoitavaksi suuria eritä silloin, kun ne ovat saatavissa halvalla.

- Abdel-Rahman, M & Isenberg, F.M.R.** 1974. Effect of growth regulators and controlled atmospheres on stored carrots. *Journal of Agricultural Science* 82: 245 - 249. (Ref. Janick, J. 1979. *Horticultural Reviews*. Volume 1: 337-394. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. ISSN 0163-7851, ISBN 0-87055-314-3)
- Adamicki, F. & Kepka, A.K.** 1974. Storage of onions in controlled atmospheres. *Acta Horticulturae* 38: 53-74.
- Ahvenainen, R., Hurme, E., Skyttä, E., Mattila, M. & Haila, K.** 1991. Kuorittujen kasvien ja raakasalaattien laadun optimointi. VTT Tiedotteita 1312, 93 p. ISSN 0358-5085, ISBN 951-38-4045-X
- Apeland, J. & Hoftun,** 1971. Physiological effects of oxygen on carrots in storage. *Acta Horticulturae* 20: 108-114.
- Augustinussen, E., Jorgensen, I. & Huld, T.** 1975. Effect of CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> in the storage atmosphere on carrots and fodder beets. *Tidskrift for Planteavl* 79: 326-336. (Ref. Janick, J. 1979. *Horticultural Reviews*. Volume 1: 337-394. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. ISSN 0163-7851, ISBN 0-87055-314-3)
- Ballantyne, A.** 1987. Modified atmosphere packaging of selected prepared vegetables. *Campden Food Preservation Research Association Technical Memorandum No 464*.
- Bartsch, J.A.** 1992. Controlled atmosphere storage systems for fruit and vegetables. In: Singh, R.P. & Wirakartakusumah, M.A. (ed.). *Advances in Food Engineering*. CRC, Boca Raton, Florida, USA, p. 275-291. ISBN 0-8493-7902-4
- Bauman, H.** 1972. The storability and changes in some constituents of late carrots in storage systems with and without controlled atmospheres. Thesis. Rheinische Freidrich Wilhelms-Universität Bonn, Germany. (Ref. Janick, J. 1979. *Horticultural Reviews*, Volume 1: 337-394. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. ISSN 0163-7851, ISBN 0-87055-314-3)
- Bauman, H.** 1974. Preservation of carrot quality under various storage conditions. *Acta Horticulturae Technical Communication*. 38: 327-338.
- Ben-Yehoshua, S.** 1989. Individual seal-packaging of fruit and vegetables in plastic film. In: Brody, A. L. (ed.). *Controlled/Modified Atmosphere/Vacuum Packaging of Foods*. Food & Nutrition Press, Inc. Trumbull, Connecticut, p. 67-100. ISBN 0-917678-24-9
- Ben-Yehoshua, S., Fishman, S., Fang, D & Rodov, V.** 1994. New developments in modified atmosphere packaging and surface coatings for fruits. *ACIAR Proceedings - Australian Centre for International Agricultural Research*, No. 50, p. 250-260.
- Berg, L. van den & Lentz, C.P.** 1966. High humidity storage of vegetables and fruits. *Horticultural Science* 13: 565-569.
- Berg, L. van den & Lentz, C.P.** 1974. High humidity storage of some vegetables. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* 7: 260-262. (Ref. Janick, J. 1979. *Horticultural Reviews*. Volume 1: 337-394. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. ISSN 0163-7851, ISBN 0-87055-314-3.)
- Bohling, H. & Hansen, H.** 1977. Storage of white cabbage (*Brassica oleraceae* var. *Capitata*) in controlled atmospheres. *Acta Horticulturae* 62: 49-54.
- Brackett, R.E.** 1994. Microbiological spoilage and pathogens in minimally processed refrigerated fruits and vegetables. In: Wiley, R.C. (ed.). *Minimally Processed Refrigerated Fruits & Vegetables*. New York, Chapman & Hall, p. 269-312. ISBN 0-412-05571-6
- Brody, A. L.** 1991. New developments in modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Proceedings of Fourth Chemical Congress of North America*, Abstract 5. (Ref. Ben-Yehoshua, S., Fishman, S., Fang, D. & Rodov, V. 1994. New developments in modified atmosphere packaging and surface coatings for fruits. *ACIAR Proceedings - Australian Centre for International Agricultural Research*, No. 50, p. 250-260)
- Chawan, T. & Pflug, I.J.** 1968. Controlled atmosphere storage of onions. *Michigan Agricultural Experimental Station. Quart. Bulletin* 50:499457. (Ref. Janick, J. 1979. *Horticultural Reviews*. Volume 1: 337-394. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. ISSN 0163-7851, ISBN 0-87055-314-3)
- Chinnan, M.S.** 1994. Modified atmosphere packaging of fresh produce using plastic films and edible coatings. In: Brody, A.L. (ed.). *Modified Atmosphere Food Packaging*. Institute of Packaging Professionals, Herndon, Virginia, p. 71-84.

- Day, B.P. F.** 1993. Fruit and vegetables. In: Parry, R.T. (ed.) Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods, Blackie Academic & Professional, Glasgow, UK. p. 114–133. ISBN 0-7514-0084-X
- Dewey, D.H.** 1983. Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. In: Developments in Food Preservation. London. p. 1–24. (Ref. Lumiaho, L. Tuoretuotteiden kuljetus ja varastointi muunnetussa ilmakäössä. Maa- ja metsätalousministeriö, Elintarviketutkimusprojekti 4.5.2.3/1. Helsinki 1987, 76 p.
- Domnick Hunter Ltd.** 1994. Laite-esite 1994.
- Eaves, C.A., Forsyth, F.R. & Lockhart, C.L.** 1969. Recent developments in storage research at Kentville, Nova Scotia. Canadian Institute of Food Technology Journal 2: 46–51. (Ref. Janick, J. 1979. Horticultural Reviews, Volume 1: 337–394. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. ISSN 0163-7851, ISBN 0-87055-314-3)
- El-Goorani, M.A. & Sommer, N.F.** 1981. Effects of modified atmospheres on post-harvest pathogens of fruits and vegetables. In: Janick, J. (ed.). Horticultural reviews, vol. 33. AVI Publishing Company Inc., Westport, Connecticut. p. 412–461.
- Émond, J.-P., Boily, S. & Mercier, F.** 1995. Reduction of water loss and condensation using perforated film packages for fresh fruits and vegetables. In: Kushwaha, L., Serwatowski, R. & Brook, R. (eds). Proceedings of a conference 'Harvest and post-harvest technologies for fresh fruits and vegetables', ASAE, St. Joseph, p. 339–346.
- Fresh Produce Manual** 1989. Chapter 5, Controlled Atmosphere (CA) & Modified Atmosphere (MA) 1989. Australian United Fresh Fruit & Vegetable Association Ltd, ss. 75–82. ISBN 0-9593882-1-4.
- Garipey, Y. & Raghavan, G. S. V.** 1989. A mathematical model for a pressure regulated silicone membrane gas permeator for CA storage. Paper No. 894049. ASAE/CSAE International Summer Meeting. Quebec, Canada. June 25–28, 1989. American Society of Agricultural Engineering and Canadian Society of Agricultural Engineering. 16 pp.
- Gorini, F.** 1989. Italian CA technology. Proceedings of the 5th International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, Washington, USA, June 14–16, 1989, p. 495–504.
- Gorini, F.L., Eccher Zerbini, P. & Testoni, A.** 1988. The controlled atmosphere storage of fruit and vegetables. Atti dell'Istituto Sperimentale per la Valorizzazione tecnologica dei Prodotti Agricoli 11: 139–164.
- Gorris, L.G.M., De Witte, Y. & Bennik, M.J.H.** 1994. Refrigerated Storage Under Moderate Vacuum. International Zeitschrift für Lebensmittel-Technologie und -Verfahrenstechnik Focus International 45, No. 6: 63–66.
- Gorris, L.** 1995. Applications of hurdle technology to ensure the safety of chilled perishable foods. In: Proceedings of Modified Atmosphere Packaging (MAP) and Related Technologies Conference, Chipping Campden, September 6–7, 1995 CCFRA. 11 p.
- Gorris, L.** 1996. Edible coatings to improve product quality and shelf-life of ready-to-eat fruits and vegetables. International Symposium Minimal Processing and Ready Made Foods, April 18–19, 1996, SIK, Göteborg, p. 45–58.
- Greidanus, P. & Schouten, S. P.** 1975. Storage of vegetables. Annual Report, Sprenger Instituut, Wageningen, Netherlands. (Ref. Janick, J. 1979. Horticultural Reviews. Volume 1: 337–394. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. ISSN 0163-7851, ISBN 0-87055-314-3)
- Hao, Y.-Y. & Brackett, R.E.** 1993. Influence of modified atmosphere on growth of vegetable spoilage bacteria in media. Journal of Food Protection 56: 223–228.
- Heimdal, H., Falk Kühn, B., Poll, L. & Melchior Larsen, L.** 1995. Biochemical changes and sensory quality of shredded and MA-packaged Iceberg lettuce. Journal of Food Science 60: 1265–1268, 1276.
- Henze, J.** 1977. Influence of CA-storage on fermentation of white cabbage, *Brassica oleracea*. Acta Horticulturae 62: 71–78.
- Hunter, D.L.** 1982. CA storage structure. 1982. In: Richardson, D.G. & Meheriuk, M. (eds). Proceedings of the Third National Controlled Atmosphere Research Conference on Controlled Atmospheres for Storage and Transport of Perishable Agricultural Commodities, Oregon State University, Corvallis, Oregon, July 22–24, 1982, p. 19–31. ISBN 0-917304-26-8
- Isenberg, F.M.R.** 1979. Controlled atmosphere storage of vegetables. In: Janick, J. 1979. Horticultural Reviews. Volume 1: 337–394. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. ISSN 0163-7851, ISBN 0-87055-314-3)
- Isenberg, F.M.R. & Sayles, R.M.** 1969. Modified atmosphere storage of Danish cabbage. Journal of American Society of Horticultural Science. 94: 447–449.

**Isenberg, F.M.R., Thomas, T.H, Abdel-Rahman, M., Pendergrass, A., Carroll, J.C. & Howell, L.** 1974. The role of natural growth regulators in rest, dormancy and regrowth of vegetables during winter storage. XIX Intern. Hort. Congr. Warszawa. p. 129–138. (Ref. Janick, J. 1979. Horticultural Reviews. Volume 1: 337–394. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. ISSN 0163-7851, ISBN 0-87055-314-3)

**Jameson, J.** 1982. The automated control of controlled atmosphere storage conditions. In: Richardson, D.G. & Meheriuk, M. (eds). Proceedings of the Third National Controlled Atmosphere Research Conference on Controlled Atmospheres for Storage and Transport of Perishable Agricultural Commodities. Oregon State University, Corvallis, Oregon, July 22–24, 1982, p. 43–54. ISBN 0-917304-26-8

**Jameson, J.** 1993. CA storage technology - recent developments and future potential. In: Eccher Zerbini, P., Woolfe, M.L., Bertolini, P., Haffner, K., Hribar, J., Höhn, E. & Somogyi, Z. (eds). Proceedings of COST94 Workshop 'Controlled Atmosphere Storage of Fruit and Vegetables', Milan, Italy, April 22–23, 1993. p. 1–12.

**Jamieson, W.** 1980. Use of hypobaric conditions for refrigerated storage of meats, fruits and vegetables. Food Technology 34: 64–71.

**Jay, J.** 1992. Modern Food Microbiology. (4. edition), New York: Chapman Hall. 701 p. ISBN 0-442-00733-7

**Järvi-Kääriäinen, T.** 1991. Hapenpoistajat ja muita tapoja vaikuttaa pakkauksen sisäilmastoon. Espoo, Pakkausteknologiaryhmä r.y. 70 p. ISBN 0-471-80940-3

**Kader, A.A., Zagory, D. & Kerbel, E.L.** 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition 28: 1–30.

**Kader, A.A.** 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres of fruits and vegetables. Food Technology 40: 99–104.

**Lee, L., Arul, J., Lencki, R. & Castaignet F.** 1995. A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh fruits and vegetables: physiological basis and practical aspects - part I. Packaging Technology & Science 8: 315–331.

**Lee, L., Arul, J., Lencki, R. & Castaigne, F.** 1996. A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh fruits and vegetables: physiological basis and practical aspects - part II. Packaging Technology & Science 9: 1–17.

**Leskinen, M.** 1988. Muunnetun ilmakehän pakkaaminen marjoille ja vihannesvalmisteille. Kirjallisuusselvitys. Maa- ja metsätalousministeriö. Elintarvike tutkimusprojekti 4.5.2.3/3. Helsinki, 64 p.

**Lipton, W.J.** 1977. Recommendations for CA-storage of broccoli, Brussel sprouts, cabbage, cauliflower, asparagus and potatoes. Proceedings of the Second National CA Research Conference, Michigan State University, Michigan, USA. p. 277 - 280. (Ref. Janick, J. 1979. Horticultural Reviews. Volume 1: 337–394. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. ISSN 0163-7851, ISBN 0-87055-314-3)

**Lumiaho, L.** 1987. Tuoretuotteiden kuljetus ja varastointi muunnetussa ilmakehässä. Kirjallisuusselvitys. Maa- ja metsätalousministeriö. Elintarvike tutkimusprojekti 4.5.2.3/1. Helsinki, 76 p. + liitt. 1 p.

**Lund, B.M.** 1983. Bacterial spoilage. In: Dennis, C. (ed.). Post-harvest pathology of fruits and vegetables. Academic Press, London, p. 219–257.

**Maatalouskeskusten Liitto** 1987. Porkkanan tuotanto 1987. Tieto tuottamaan 46: 104.

**McLachlan, A.** 1984. The suitability of fruits and vegetables for marketing in forms other than canned and frozen products. B) Application of pre-packaging to produce a modified atmosphere to increase shelf-life of prepared vegetables. Campden Food and Drink Research Association Technical Memorandum No 388.

**Malcolm, G.L. & Gerdt, D.R.** 1995. Review and prospects for use of controlled atmosphere technology in Mexican agribusiness. In: Kushwaha, L., Serwatowski, R. & Brook, R. (eds). Harvest and postharvest technologies for fresh fruits and vegetables. ASAE, St Joseph, CA, USA, p. 530–537. ISBN 0-929355-598

**Markholm, V.** 1992. Hele og let forarbejdede gulerødder - mikroflora og holbarhed. Tidsskrift for Planteavl Specialserie Beretning nr. S 2190–1992, 24 p.

**Mertens, H.** 1986. De invloed van de temperatuur en CA-conditie op nerfbruin en andere bewaarverliezen bij Chinese kool. (Effect of temperature and CA-condition on brown midribs and other storage losses in Chinese cabbage). Sprenger Instituut Rapport No. 2320, 20 p.

**Niedzielski, Z. & Kassem, M.** 1979. Progress in refrigeration science and technology. Proceedings of the 15th International Congress of Refrigeration, Venice, Italy, September 23–29, 1979. p. 723–729.

- Otey, J. M. & Fedler, C. B.** 1991. Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. A review. ASAE Meeting, Chigaco, Illinois, December 17–20, 1991. Paper No. 911574.
- Petersson, T.** 1995. Gas supply options for MAP of foods. Proceedings of the Modified Atmosphere Packaging (MAP) and Related Technologies Conference, Chipping Campden, September 6 - 7, 1995, CCFRA. 14 p.
- Phan, C.T.** 1974. Use of plastic films for storage of carrots. *Acta Horticulturae* 38: 345–350.
- Powrie, W.D. & Skura, B.J.** 1991. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. In: Ooraikul, B. & Stiles, M.E. (eds). *Modified Atmosphere Packaging of Food*. Chichester, West Sussex, England, Ellis Horwood. p. 169–245. ISBN 0-7476-0064-3
- Pranger, R. K. & Lidster, P.D.** 1991. Controlled atmosphere and lighting effects of storage of winter cabbage. *Canadian Journal of Plant Science* 71: 263–268.
- Prince, T. A.** 1989. Modified atmosphere packaging of horticultural commodities. In: Brody, A. L. (ed.) *Controlled/Modified Atmosphere/Vacuum Packaging of Foods*. Food & Nutrition Press, Inc. Trumbull, Connecticut, p. 67–100.
- Rautavaara, T., Vartija, R., Lehtinen, L. & Purje, V.** 1967. *Kasvisten kauppa, käsittely ja käyttö*. Kauppiaitten Kustannus Oy, Helsinki 196. 185 p.
- Reyes, A.A.** 1990. Pathogenicity, growth and sporulation of *Mucor mucedo* and *Botrytis cinerea* in cold and CA storage. *HortScience* 25: 549–552.
- Rumpf, G. & Hansen, H.** 1973. Gas chromatographic determination of the soluble substances in CA-stored carrots. *Gartenbauwissenschaft* 38: 281–285.
- Saltveit, M.E.** 1992. A summary of requirements and recommendations for the controlled and modified atmosphere storage of harvested vegetables. In: *Proceedings of 5th International Controlled Atmosphere Research Conference*. Washington State University, Volume 2. p. 329–352.
- Saray, T.** 1994. Controlled atmosphere storage of vegetables: the possibilities. *Food Technology International Europe* 1994: 69–73.
- Shirazi, A. & Cameron, A. C.** 1992. Controlling relative humidity in modified atmosphere packages of tomato fruit. *HortScience* 27: 336–339.
- Solomos, T.** 1994. Some biological and physical principles underlying modified atmosphere packaging. In: Wiley, R.C. (ed.). *Minimally Processed Refrigerated Fruits & Vegetables*. Chapman & Hall, New York, p. 183–225. ISBN 0-412-05571-6
- Stoll, K.** 1974. Storage of vegetables in modified atmospheres. *Acta Horticulturae* 38: 13–22.
- Suhonen, I.** 1969. On the storage life of white cabbage in refrigerated stores. *Acta Agricultural Scandinavica* 19: 18–32.
- Todt, M. & Schulz, F.A.** 1987. Lagerhaltung von Chinakohl. *Gemüse* 23: 414–416.
- Uimonen, J.** 1995. Vihannesala yli 10 000 hehtaaria. *Puutarha* No 5: 287.
- Umiecka, L.** 1980. The effect of different factors on the suitability of carrots for pre-packing in PE bags and their storage. *Acta Horticulturae* 116: 121–132.
- Vaari, A., Ahvenainen, R. & Hurme, E.** 1994. Aktiiviset ja älykkäät pakkaukset elintarvikkeiden laadun varmistajina. Kirjallisuuskatsaus. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1581. 83 p.
- Wang, C. Y.** 1983. Postharvest responses of Chinese cabbage to high CO<sub>2</sub> treatment or low O<sub>2</sub> storage. *Journal of American Society of Horticultural Science* 108: 125–129.
- Wang, C.Y.** 1989. Chilling injury of fruits and vegetables. *Food Reviews International* 5: 209–236.
- Weihmann, J.** 1975. Reaction of carrots to controlled atmosphere. *Bulletin of Institute of Intern du Froid/International Institute of Refrigeration* 55: 800–801.
- Wiersma, O. & Schoneveld, J.A.** 1979. Controlled atmosphere (CA) storage and cold storage of cabbage: storage, labour and costs. *Sprenger Instituut, Wageningen. Sprenger Instituut Rapport no. 2094*, 20 p.
- Wijk, C.V. & Jeurissen, J.** 1990. Chinese kool. Bewaren door veel factoren beïnvloed (Chinese cabbage. Storage is influenced by many factors). *Groenten en Fruit* 45: 56–57.
- Yam, K.L. & Lee, D.S.** 1995. Design of modified atmosphere packaging for fresh produce. In: Rooney, M.L. (ed.). *Active Food Packaging*, Blackie Academic & Professional, Glasgow, UK p. 55–73. ISBN 0-7514-0191-9.
- Zagory, D. & Kader, A. A.** 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Food Technology* 42: 70–77.

**Zagory, D.** 1995. Ethylene-removing packaging. In: Rooney, M.L. (ed.). *Active Food Packaging*, Blackie Academic & Professional, Glasgow, UK, p. 38–54. ISBN 0-7514-0191-9

Tekijä(t)  Arvo Kinnunen Raija Ahvenainen	Tutkimushankkeen nimi	
	Toimeksiantaja(t) Maatalouden tutkimuskeskus	
Nimike Porkkanan, kaalien ja sipulin CA- ja MA-varastointi		
Tiivistelmä  <p>Kasvisten varastoinnin aikana tärkeimpiä laatua alentavia tekijöitä on soluhengitys. Soluhengityksen hidastaminen yleensä parantaa kasvisten säilyvyyttä. Oikean varastointilämpötilan ohella kasvista ympäröivän kaasutilan muuntelu normaalista ilmasta poikkeavaksi on keino, jolla soluhengitystä voidaan hidastaa. Tästä syystä säätöilma- eli CA-varastointi, muunnetun ilmakhän varastointi eli MA-varastointi ja alipainevarastointi ovat mielenkiintoisia vaihtoehtoja normaalille kylmävarastoinnille. Katsaukseen on koottu tietoa näistä varastointitekniikoista, niiden teknisistä ratkaisuista ja varastoinnin kustannuksista.</p> <p>Yksinkertaisimmillaan MA-varastointi tarkoittaa sitä, että tuote pakataan kaasuja valikoivasti läpäisevään materiaaliin. Eniten kustannuksia aiheutuu pakkauskoneesta ja -materiaaleista sekä työvoimakuluista pakattaessa. CA-varastoinnissa suurimmat kustannukset aiheutuvat varaston tiivistämisestä ja kaasutus- ja mittalaitteista. CA- ja MA-varastoinnin kustannusten vertailu keskenään on vaikeaa, koska ei ole riittävästi tietoa MA-varastoinnista eri kasviksilla. Käytön kannalta MA-varastointi pakkauksissa on joustavampi kuin CA-varastointi ja mahdollistaa suojaavan kaasukhän säilyttämisen tuotteen ympärillä myös varaston ulkopuolella.</p> <p>Katsauksen lopussa tarkastellaan CA- ja MA-varastoinnin tuomia mahdollisuuksia lähinnä porkkanan, kaalien ja sipulin laadun säilyttämisessä. CA- ja MA-varastointimenetelmät näyttävät lupaavimmilta kaaleille ja sipulille. Ennen kuin Suomessa kannattaa lähteä suuremmissa mitassa toteuttamaan joko CA- tai MA-varastointia, tarvitaan kokeellista tutkimusta menetelmien antamista hyödyistä laadun ja jakelun kannalta.</p>		
Avainsanat CA-varastointi, MA-varastointi, alipainevarastointi, kaali, sipuli, porkkana		
Toimintayksikkö VTT Bio- ja elintarviketekniikka, PL 1500, 02044 VTT		
ISSN 1238-9935	ISBN 951-729-473-5	<input checked="" type="checkbox"/> Tuloksia voi soveltaa luomuviljelyssä
Myynti: MTT tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN Puh. (03) 41 881 Telekopio (03) 4188 339	Sivuja  29 s.	Hinta  40 mk + alv



Jokioinen 1996  
ISBN 951-729-473-5  
ISSN 1238-9935