

# VAKOLA

ANTTI SUOKANNAS

## SÄILÖREHUN SIIRTO JA KÄSITTELY TALVELLA

TRANSPORT AND HANDLING OF GRASS SILAGE IN THE WINTER



TUTKIMUSSELOSTUS 62

VIHTI 1991

**VAKOLA**

Osoite PPA 1, 03400 VIHTI  
Post address PPA 1, SF-03400 VIHTI  
FINLAND

**VALTION MAATALOUSTEKNOLOGIAN TUTKIMUSLAITOS**  
STATE RESEARCH INSTITUTE OF ENGINEERING IN AGRICULTURE AND FORESTRY

Puhelin (90) 224 6211  
Telephone int. + 358 0 224 6211

Telefax (90) 224 6210  
Telefax int. + 358 0 224 6210

**ANTTI SUOKANNAS**

**SÄILÖREHUN SIIRTO JA KÄSITTELY  
TALVELLA**

**TRANSPORT AND HANDLING OF GRASS SILAGE IN THE WINTER**

**TUTKIMUSSELOSTUS 62**

**VIHTI 1991**

**Summary p. 38**

**Sammanfattning s. 36**

# SISÄLLYSLUETTELO

## KUVAILELUEHDET

ALKULAUSE .....	7
JOHDANTO .....	9

<b>1. SÄILÖREHUN FYSIKAALISET OMINAISUUDET JA JÄÄTYMINEN .....</b>	<b>10</b>
1.1. Säilörehun tiheys .....	10
1.2. Lämpösisältö, ominaislämpö ja lämmön johtavuus .....	10
1.3. Jäätäneen rehun käsiteltävyys .....	14
1.4. Jäätymisen estäminen .....	14
1.4.1. Pakkaskuorma .....	14
1.4.2. Seinämateriaalin vaikutus .....	14
1.4.3. Säilön halkaisijan vaikutus .....	15
1.4.4. Eristyksen tarve ja seinän lämmitys .....	16
<b>2. REHURINTAUKSEN PEITTÄMINEN LÄMPÖPEITTEELLÄ ..</b>	<b>18</b>
<b>3. TILAKÄYNNIT .....</b>	<b>19</b>
3.1. Aineisto ja menetelmät .....	19
3.1.1. Aineiston hankinta .....	19
3.1.2. Mittaukset tiloilla .....	20
3.1.3. Rehunäytteiden otto ja analysointi .....	20
3.2. Tulokset .....	20
3.2.1. Tilat ja rehusäilöt .....	20
3.2.2. Välivarastojen ominaisuudet ja käyttö .....	23
3.2.3. Säilörehun laatu .....	26
<b>4. SÄILÖREHUN VÄLIVARASTOINTIKOE .....</b>	<b>28</b>
4.1. Mittausvälineet ja -menetelmät .....	28
4.1.1. Kokeen suoritus .....	28
4.1.2. Mittaukset .....	28
4.1.3. Rehunäytteiden otto koekakuista .....	29
4.2. Tulokset .....	29
4.2.1. Säilörehukakun jäädyttäminen .....	29
4.2.2. Jäädetytyn säilörehukakun välivarastointi .....	30
4.2.3. Säilörehukakun välivarastointi .....	32

<b>5.</b>	<b>KUSTANNUKSIDA</b>	<b>34</b>
<b>6.</b>	<b>TIIVISTELMÄ</b>	<b>34</b>
<b>7.</b>	<b>SAMMANFATTNING</b>	<b>36</b>
<b>8.</b>	<b>SUMMARY</b>	<b>38</b>
	<b>KIRJALLISUUSLUETTELO</b>	<b>42</b>

Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri)  Suokannas Antti	Julkaisun laji Tutkimusselostus		
	Toimeksiantaja Maatilatalouden kehittämisrahasto		
	Toimielimen asettamispvm 13.5.1988		
Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)  Säilörehun siirto ja käsittely talvella.			
Julkaisun osat			
Tiivistelmä  <p>Tutkimuksessa selvitettiin, mitä tietoja kirjallisuudessa on säilörehun jäätymisominaisuuksista, joita tutkittiin myös laboratoriokekein. Lisäksi lämpöpeitteiden ominaisuuksia selvitettiin laboratoriokekein. Tilakäyntejä tehtiin myös, jolloin haastateltiin viljelijöitä sekä tarkasteltiin rehusäiliöiden ja varastojen mittoja ja olosuhteita ja otettiin rehunäytteitä sekä säiliöstä että välivarastosta.</p> <p>Rehun käsittelyä haittaavaa jäätymistä ilmenee, jos säilörehun kuiva-ainepitoisuus korjattaessa on alle 30 % Rehun jäätyessä sen lämpötila on -1 °C - -4 °C /5/.</p> <p>Rinnakkain olevissa laakasäiliöissä on ongelmana ensimmäisen siilon tyhjentyessä kylmän johtuminen vieressä olevaan vielä täynnä rehua olevaan siiloon. Kattamattomissa laakasäiliöissä kannattaa siilojen väliin jättää vähintään 150 cm vapaata tilaa, joka täytetään maa-aineksella. Laakasäilön edullisin seinäeriste on ulkoseinät kiertävä maavalli. Seinät tehdään yleensä valmiista betonielementeistä, joissa eristeenä on 25 - 80 mm:n paksuinen polystyreeni. Betoni toimii kylmäsiilana. Puun käyttöä seinämateriaalina olisi lisättävä muun muassa sen hyvän eristeominaisuuden perusteella.</p> <p>Lämpöpeitteiden käyttö rehurintauksen leikkuupinnan suojaamiseksi jäätymiseltä on suositeltavaa, kun ulkoilman lämpötila on alle -10 °C.</p> <p>Jäätynyt rehu sulatetaan välivarastossa. Sulattavan lämmön johtuminen rehuun alakautta tapahtuu parhaiten asettamalla rehuannos lämmitettävälle lattialle. Kosteudentuotannon estämiseksi rehu tulisi peittää muovilla. Rehukakun pinnalla olevan ohuen jäätyneen rehukerroksen sulattaminen onnistuu nopeasti ja tehokkaasti säteilylämmittimellä. Paksultii jäätyneen rehukakun sulattaminen säteilylämmittimellä ei ole suositeltavaa, koska lämpösäteet kohdistuvat rehukakun pintaan, joka sulaa ja kuivuu, jolloin muodostuu eristekerros. Eristekerros estää lämmön siirtymisen syvemmälle rehuun.</p>			
Avainsanat (asiasanat)  Säilörehun jäätyminen, lämpöpeitteiden käyttö, sulatus välivarastossa			
Muut tiedot Saatavana Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitokselta (VAKOLA) puh. (90) 224 6211 telex (90) 224 6210			
Sarjan nimi ja numero Vakolan tutkimusselostus nro 62		ISSN	ISBN
Kokonaissivumäärä	Kieli suomi tiivist. englanti, ruotsi	Hinta	Luottamuksellisuus Julkinen
Jakaja VAKOLA, PPA 1, 03400 VIHTI		Kustantaja	

State Research Institute of Engineering  
in Agriculture and Forestry (VAKOLA)

Date of publication  
7.10.1991

Authors (if organ: name of organ, chairman, secretary)  Suokannas Antti		Kind of publication Study report
		Comissioned by
		Date of setting up of organ
English and Swedish titles of publication  Transport and handling of grass silage in the winter.		
Parts of publication		
Abstract  Frost properties of grass silage were examined with help of literature and laboratory tests. Properties of insulating covers were followed in laboratory. Also visits on farms were made to interview farmers on their experiences of frost problems. On the farms were also environmental measurements and silage samples taken in bunker silo and in intermediate store. An intermediate store is a room between the silo and the livestock room used for thawing frozen silage. Grass harvested under 30 % dry matter can freeze, which causes trouble in handling of silage. Freezing of non-wilted silage mainly occur between -1 and -4°C /5/. A problem with bunker silos situated next to each other separated only by a wall, is that as the first silo is unloaded the cold is conducted through the partition wall to the next silo, which is still full of silage. In the unroofed bunker silos are built at least with 150 cm wide earthwork as insulation between silos. Silo walls are usually made of concrete elements including insulation of a 25-80 mm thick polystyrene layer. Concrete has a disadvantageous effect of acting as cold bridge. Increased use of wood as wall material would be reasonable in silage silos because of, among other things, its good insulation properties. Twofold layer of plastic and insulating cover are used to prevent the silage's section surface from freezing between unloadings. Use of insulating covers is absolutely recommended, when outside temperature is under -10 °C. The thawing heat derivates the best way into silage block from below, so that the silage block is put on heated floor. To prevent evaporated humidity from condensing in the ceiling the silage block should be covered with plastic. If the silage block has only a thin frozen layer at the surface it can be rapidly and effectively thawed with a radiation heater. Use of radiation heater is not recommended when there is a thick layer of frozen silage in the block. The heat rays of the heater are directed to the surface of the silage, that will thaw and dry and form an insulation layer. The insulation layer prevents conducting of heat deeper into the silage.		
Key words  Freezing of silage, use of insulating cover, thawing of silage in the intermediate store.		
Additional information VAKOLA PPA 1 SF-03400 VIHTI FINLAND	Telephone +358-0-224 6211	Telefax +358-0-224 6210
Name of series, number Vakolan tutkimusselostus nro 62	ISSN	ISBN
Pages	Language Finnish, Tables and figures: English, Summeries: English, Swedish	
Sold by VAKOLA, PPA 1, SF-03400 VIHTI, FINLAND	Price FIM	

## **ALKULAUSE**

Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitoksella tutkittiin vuosina 1988 - 1991 nurmisadon käsittelyä ja varastointia. Tutkimuksen ensimmäinen osa käsitteli heinän varastokuivausta ja tämä toinen osa käsittelee säilörehun siirtoa ja käsittelyä talvella. Tutkimuksessa selvitettiin mitä tietoja kirjallisuudessa on säilörehun jäätyisominaisuuksista, joita tutkittiin myös laboratoriokokeissa. Tilakäyntejä tehtiin myös, jolloin tarkasteltiin mittoja ja olosuhteita ja otettiin rehunäytteitä sekä säilöstä että välivarastosta.

Tutkimusta varten saatiin Maatilatalouden kehittämisrahastolta määräraha. Tutkimuksen valvojakunnan puheenjohtajana toimi osastopäällikkö Lauri Pölkki sekä jäsenenä rakennusmestari Tuija Alakomi, osastopäällikkö Kari Kolehmainen, päätoimittaja Tarmo Luoma ja osastopäällikkö Hannu Seppänen.

Tutkimuksen johtajana toimi vt. johtaja Henrik Sarin ja päättäjänä agr. Antti Suokannas. Laboratoriokokeet teki agr. Jouni Virtaniemi ja siitä erityiskiitokset hänelle.

Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos kiittää maatilahallitusta, tutkimuksen valvojakuntaa ja tutkimukseen osallistuneita tiloja.

Vihdissä, lokakuussa 1991

**VALTION MAATALOUSTEKNOLOGIAN TUTKIMUSLAITOS**



## JOHDANTO

Säilörehun pitäminen sulana sisäruokintakauden aikana on ongelmallista Suomessa. Kuitenkin jäätyminen estäminen on edullisin keino vähentää rehusta haihtuvan kosteuden ja rehun lämmittämiseen kuluvan energian määrää. Mikäli rehu jäätyy, aiheuttaa se ongelmia rehun jatkokäsittelyssä. Jäätyneen rehun sulattaminen onärkevintä välivarastossa. Jäätyneen rehun syöttämistä on ehdottomasti vältettävä, koska se on epätaloudellista ja vaarantaa lehmien terveyden.

Rehusäilöissä ovat ongelmallisia kohtia jäätyminen kannalta seinät ja laakasäilöissä erityisesti väliseinät. Yleensä laakasäilöjä on kaksi rinnakkain. Ensimmäisen siilon tyhjentyessä väliseinä on paljas, jonka seurauksena lämpöä johtuu avaamattoman säilön reunasta niin paljon, että rehu jäätyy. Pinnalla olevan rehun suojaaminen ei ole ongelma, koska se voidaan tehdä yksinkertaisesti eristekerrosta lisäämällä. Seinärakenteet ratkaistaan jo rehuvaraston suunnitteluvaiheessa ja lopullisesti rakennusvaiheessa, joten niiden lämpöeristäminen jälkeempinä on hankalaa.

Säilörehun välivarasto on tila, johon rehua siirretään laakasäilöstä, aumasta tai tornisäilöstä. Välivaraston käytöllä saavutetaan kolme merkittävää etua: 1. rehua voidaan irrottaa säilöstä yhdellä kertaa usean päivän tarve, 2. jäätynyttä rehua voidaan sulattaa muualla kuin ruokintapöydällä ja näin vähentää navetan kosteushaittoja ja 3. työ järkipäristyy navetassa, koska rehua on helposti saatavissa ruokintaan.

Suurien karjojen ruokinnassa välivarastojen käyttö on hankalaa, koska rehumäärät ovat suuria. Rehujen siirtäminen kahteen kertaan on työlästä, eikä siihen helposti ryhdytä. Ainoaksi vaihtoehdoksi jää säilörehun jäätyminen estäminen.

Välivarasto on suunniteltava hyvin toimivaksi. Oviaukkojen on oltava riittävän leveitä ja korkeita. Ruokintapöydälle johtavan käytävän on oltava mahdollisimman tasainen, suora ja lyhyt sekä riittävän leveä käytettävälle rehun siirtovälineelle.

Yleensä säilörehu irrotetaan laakasäilöstä traktorin 3-pistenostolaitteeseen tai etukuormaimeen kiinnitettävällä palaleikkurilla. Rehukakku jätetään siirrettävälle lavalle, jotka ovat joko pyörällisiä tai haarukkavaunulla siirrettäviä lannoite- tai kuormalavoja. Ruokinnassa rehukakku jaetaan yleensä talikoimalla. Säilörehun irrotukseen käytetään myös siltanosturia. Siltanosturin käyttö ei rajoitu ainoastaan rehun ottoon, vaan sitä käytetään myös siilon täyttöön rehua varastoitaessa. Tornisäilöstä rehun otto kevenee ja helpottuu huomattavasti, kun hankitaan tyhjennysjyrsin. Valitettavasti niitä on erittäin vähän käytössä.

# 1. SÄILÖREHUN FYSIKAALISET OMINAISUUDET JA JÄÄTYMINEN

## 1.1. Säilörehun tiheys

Säilörehun tiheys vaihtelee 400 - 800 kg/m<sup>3</sup>. Säilörehun tiheyteen vaikuttavia tekijöitä ovat kasvilaji, kasvuaste, varsien ja lehtien suhde, kuiva-ainepitoisuus, leikkaava tai murskaava korjuumenetelmä, silpun pituus ja säilöntäaine. Säilö ja sen täyttämiseen liittyvät tekijät vaikuttavat myös tiheyteen: säilötyyppi, säilön koko, täyttämismenetelmä, levitys, tiivistys ja painotus. Tutkimusten mukaan jäätyminen ei muuta rehun tiheyttä /7/.

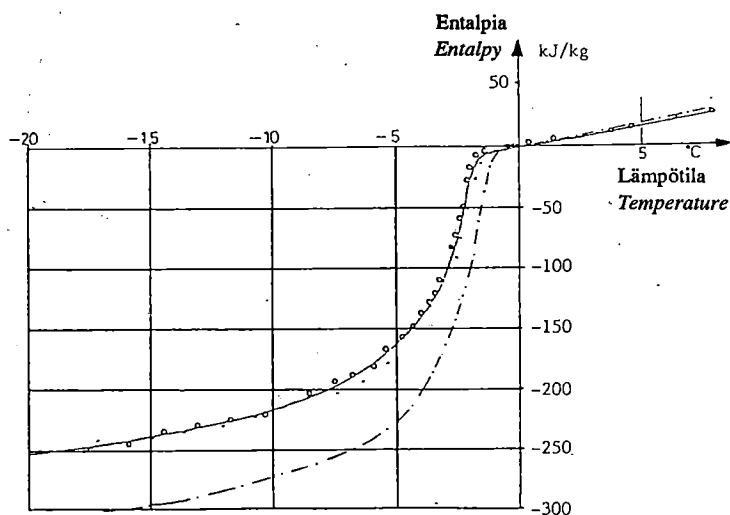
## 1.2. Lämpösisältö, ominaislämpö ja lämmönjohtavuus

Lämpökapasiteetti tarkoittaa rehun lämpömäärän muutoksen suhdetta rehun lämpötilan muutokseen. Lämpökapasiteetti on rehun tiheys  $\times$  ominaislämpö. Lämpökapasiteettiin ja ominaislämpöön vaikuttaa rehun jäätyksen aikana vallitseva lämpötila. Ominaislämpöön vaikuttavat rehun vesipitoisuus ja tiheys. Ominaislämpö, jonka kaava on

$$\begin{aligned} c &= H/T \\ H &= \text{lämpösisältö (kJ/kg)} \\ T &= \text{lämpötila (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

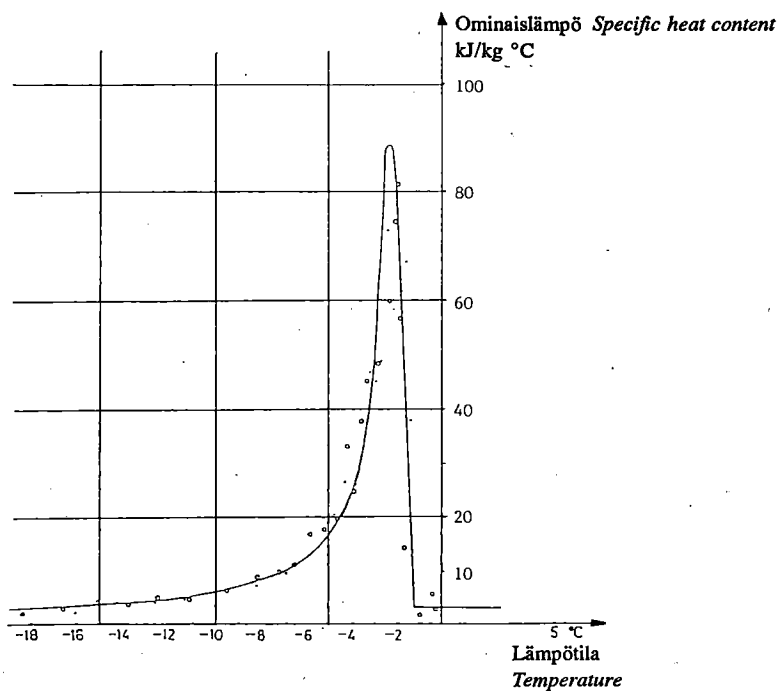
sisältää puhtaan ominaislämmön, muutoslämmön ja lämpölaajenemisen. Lämpötila vaikuttaa keskeisesti rehun jäätyshetkeen. Tutkimusten mukaan säilörehu jäätyy -2 °C ja -4 °C välillä, kun rehun kuiva-ainepitoisuus on alle 30 %. Jäätymisalueen keskiarvona voidaan pitää -3 C° /5/. Tulokset lämpösisällöstä ovat kuvassa 1 ja ominaislämmöstä kuvassa 2. Puristemehun osalta lämpösisältö näkyy pisteiviivana kuvassa 1. Siitä nähdään, että säilörehussa olevan nesteen kemiallinen koostumus vaikuttaa rehun jäätymiseen. Kuvassa 2 näkyy korkeana piikkinä se alue, jolloin rehusta poistuva energiamäärä on suurin ja seurauksena on rehun jäätyminen. Rehun jäätyminenopeuden määrittämiseen käytetään lämmönjohtavuuden ja ominaislämmön suhdetta ( $\lambda/c$ ).

Lämmönjohtavuus ( $\lambda$ ) ilmoittaa lämpömäärän, joka läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen ainekerroksen, kun lämpötilojen ero pintojen välillä on yksikön suuruinen (W/m°C).



**Kuva 1.** Kuiva-ainetta 22 % sisältävän heinäsäilörehun (yhtenäinen viiva) ja puristemehun (pisteviiva) lämpösisällön määrä eri lämpötiloissa /7/.

**Picture 1.** Entalpy versus temperature for grass silage with 22% dry matter (full line) and for silage effluent (dotted line) /7/.



**Kuva 2.** Kuiva-ainetta 22 % sisältävän heinäsäilörehun ominaislämpö eri lämpötiloissa /7/.

**Picture 2.** Specific heat contents versus temperature for grass silage with 22% dry matter /7/.

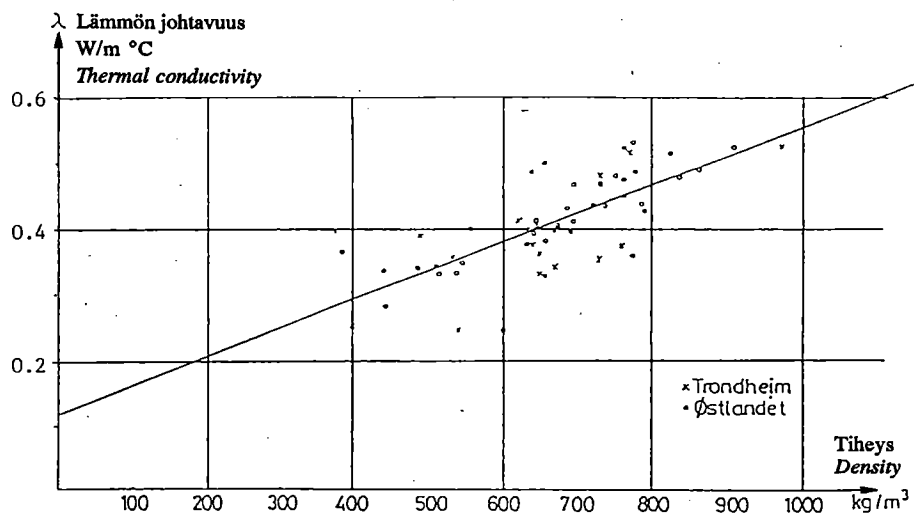
Ominaislämpöarvot nousevat vesipitoisuuden noustessa ja laskevat tiheyden lisääntyessä. Tämä ominaislämmön lasku tiheyden lisääntyessä johtui kasviin sitoutuneen veden muuttumisesta rehumassassa olevaksi vapaaksi vedeksi ja kasvin sisärakenteen muuttumisesta suurissa tiheyksissä /8/.

Taulukko 1. Heinäsäilörehun ominaislämpöarvot, kJ/kgK /6/.

Table 1. Specific heat values of grass silage, kJ/kgK /6/.

Tiheys kg/m <sup>3</sup> Density kg/m <sup>3</sup>	Vesipitoisuus, % Moisture content, %			
	50	59	68	80
400	3,53	3,69	4,01	4,88
600	2,70	3,02	3,50	3,99
800	2,15	2,57	3,28	3,62

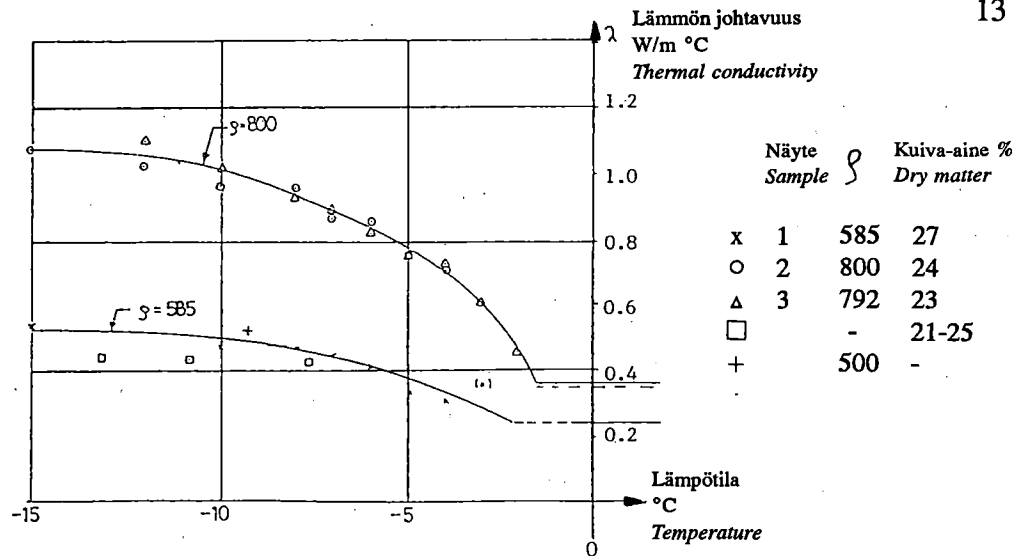
Sulan rehun lämmönjohtavuuteen vaikuttaa merkittävästi vain rehun tiheys, kuva 3 /7/. Rehun tiheyden ollessa 400 - 800 kg/m<sup>3</sup> lämmönjohtavuus vaihtelee 0,3 - 0,5 W/m°C. Lämmönjohtavuus mitattiin, kun rehun lämpötila oli 0 °C - 20 °C alueella.



Kuva 3. Sulan rehun lämmönjohtavuuden riippuvuus tiheydestä /7/.

Picture 3. Thermal conductivity in the unfrozen state of silage and its dependence on silage density /7/.

Kuvassa 4 on esitetty viiden jäätyneen rehunäytteen lämmönjohtavuudet /7/. Taulukossa 2 on laskettu  $\lambda/c$  -arvot saatujen tulosten perusteella. Lämmönjohtavuuden ja ominaislämmön suhde kuvaa rehun jäätymisnopeutta.



**Kuva 4.** Jäätynneen säilörehun lämmönjohtavuus /7/.

**Picture 4.** Thermal conductivity of frozen grass silage /7/.

**Taulukko 2.** Kolmen erilaisen jäätynneen rehun lämmönjohtavuuden ja ominaislämmön suhde /7/.

**Table 2.** The ratio of thermal conductivity to specific heat content with three different silages in the frozen state /7/.

		1. näyte 1st sample	2. näyte 2nd sample	3. näyte 3rd sample
Keskittiheys kg/m <sup>3</sup> Average density kg/m <sup>3</sup>		585	800	792
Kuiva-ainepitoisuus % Dry matter content %		27,1	24,3	22,9
Ominaislämpö > -1°C kJ/kg°C Specific heat kJ/kg°C		3,39	3,45	3,51
		Suhde λ/c (10 <sup>-4</sup> kg/ms) Ratio λ/c (10 <sup>-4</sup> kg/ms)		
Lämpötila °C > Temperature °C above	-1	0,69	0,98	1,02
Lämpötila tasan Temperature at	-2	(0,47)	-	0,06
" "	-3	0,08	0,14	0,14
" "	-4	0,14	0,31	0,31
" "	-5	0,22	0,47	0,47
" "	-6	0,36	0,72	0,69
" "	-7	0,50	0,92	0,92
" "	-8	0,61	1,19	1,17
" "	-10	0,81	1,61	1,67
" "	-12	1,01	2,14	(2,25)
" "	-15	1,50	(2,92)	-

Taulukosta 2 nähdään, että mitä kylmempi lämpötila ja mitä tiheämpää rehu on, sitä nopeammin rehu jäätyy.

### 1.3. Jäätyneen rehun käsiteltävyys

Edellä kuvatun mukaisesti rehu jäätyy  $-2\text{ °C}$  ja  $-4\text{ °C}$  välillä, kun kuiva-ainepitoisuus on alle 25 %. Kuiva-ainepitoisuuden kasvaessa, jäätymislämpötila laskee ja rehun jäykistyminen tapahtuu paljon laajemmalla lämpötila-alueella. Rehu jäätyy, kun rehun kuiva-ainepitoisuus on alle 30 %. Kuiva-ainepitoisuuden ollessa yli 30 %, rehu ei jäädy ja sen käsittely on helppoa. Rehun osasten väliset sidosvoimat pienenevät kuiva-ainepitoisuuden kohotessa yli 30 %:n, koska osasten välissä oleva vesi vähenee. Samalla puristemehun muodostuminen loppuu.

### 1.4. Jäätymisen estäminen

#### 1.4.1. Pakkaskuorma

Käsitettä pakkaskuorma eli pakkassumma on käytetty laajasti mm. rautateiden ja maanteiden perustuksia jäätymisen varalta mitoitettaessa. Pakkaskuorma  $F_0$  lasketaan kaavalla:

$$F_0 = - \int_{t_1}^{t_2} T dt, \quad (\text{°C} \times \text{vrk})$$

jossa  $T$  kuvaa lämpötiloja, jotka on mitattu kylmän puolella. Integroitaessa ajan suhteen  $t_1$  ja  $t_2$  valitaan siten, että  $F_0$  saa maksimiarvonsa. Esimerkiksi pakkaskuorma on  $100\text{ °C} \times \text{vrk}$ , kun 10 päivän aikana lämpötila on keskimäärin  $-10\text{ °C}$  tai 20 päivän aikana lämpötila on keskimäärin  $-5\text{ °C}$ .

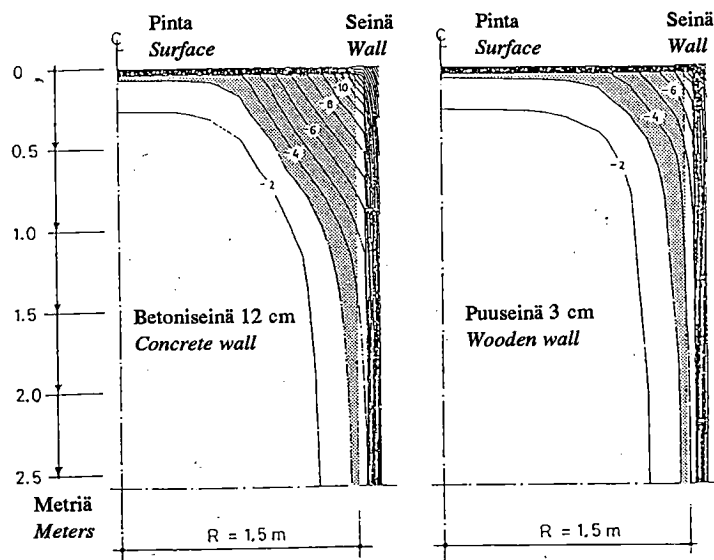
BERGE osoitti, että normaali norjalainen säilörehu (muurahaishapolla säilötty heinäsäilörehu, jonka ka-pitoisuus on keskimäärin 22 %) jäätyy alle  $-1,5\text{ °C}$  -  $-2\text{ °C}$  lämpötiloissa. Suurin osa vedestä jäätyy  $-2\text{ °C}$  ja  $-4\text{ °C}$  välillä ja  $-3\text{ °C}$  voidaan pitää jäätymisalueen keskiarvona. Säilörehun jäätymistä laskettaessa pakkaskuormayhtälö muuttuu laskettavaksi  $-3\text{ °C}$  tasolle /5/.

$$F_3 = - \int_{t_1}^{t_2} (T + 3) dt,$$

jossa  $t_1$  ja  $t_2$  valitaan kuten edellä. Tätä arvoa ei voi laskea  $F_0$ :sta, koska integrointirajat ovat erilaiset.

#### 1.4.2. Seinämateriaalin vaikutus

Betonista tehdyn rehusäilön seinä johtaa lämpöä enemmän kuin puusta tehty. Kuvassa 5 on esitetty jäätymisen eteneminen yhdessä tapauksessa betoni- ja puusäilössä. Tämä osoittaa selvästi puun paremman eristävyyskyvön.



**Kuva 5.** Rehun lämpötilakäyrät pakkasella. Tummennettu alue on jäässä. Rehun pinta ja seinät olivat eristetyt ja samankaltaiset /6/.

**Picture 5.** Isothermal maps showing frozen silage (shaded) in corner between silage surface and outside wall. Silage surface and outside wall were insulated in both construction /6/.

**Taulukko 3.** Neljän erilaisen seinän lämmönjohtavuus ja lämmönläpäisykerroin /6/.

**Table 3.** Thermal conductivity and coefficient of heat transmission of four different walls /6/.

Materiaali Construction material	d cm	$\lambda$ W/m <sup>°C</sup>	d $\lambda$ W/°C	k W/m <sup>2°C</sup>
Puu Wood	3	0,33	98	3,35
Betoni Concrete	12	1,63	1989	5,30
Teräs Steel	0,64	46,52	2977	
Lasikuituvahvistettu muovi Glassfibre reinforced plastic	1	0,35	35	

### 1.4.3. Säilön halkaisijan vaikutus

Suuren säilön suuri lämpömäärä vastustaa ulkoisia lämpötilan muutoksia. Eristämättömien tornisäilöjen, joiden halkaisijat olivat kolme ja kuusi metriä, jäätyneen rehun kerrosvahvuudet olivat samat /6/. Suuremmassa säilössä on enemmän sulaa rehua ja keskiosan lämpötila on korkeampi. Suuri säilö ei estä jäätymistä, mutta pienentää jäätyneen rehun suhteellista osuutta. Suuremman säilön keskustassa lämpötila laskee nollan alapuolelle myöhemmin ja pakkanen pureutuu vähemmän rehun pintaan. Tornisäilöjen jäätymistä ei voi suoraan verrata laakasäilön jäätymiseen, koska maan lämpötila ja eristyskyky vaikuttavat. Kuitenkin tornisäilöjen ominaisuuksia voidaan pitää vertailukelpoisina myös niiden laakasäilöjen kanssa, jotka ovat kokonaan maan pinnalla.

#### 1.4.4. Eristyksen tarve ja seinän lämmitys

Pakkaskuorman ollessa alle 100 °C vrk, ei jäätymistä vastaan tarvitse erityisesti suojautua, mutta pakkaskuorman ollessa tätä suurempi eristys on tarpeen. Taulukossa on eräitä lämmönläpäisykertoimia, k-arvoja. BERGEN laskemat seinän k-arvot, jotka eri pakkaskuormat vaativat, nähdään kuvasta 6.

**Taulukko 4.** Eri seinäratkaisujen lämmönläpäisykertoimia,  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

**Table 4.** Coefficients of heat transmission,  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$  /4/.

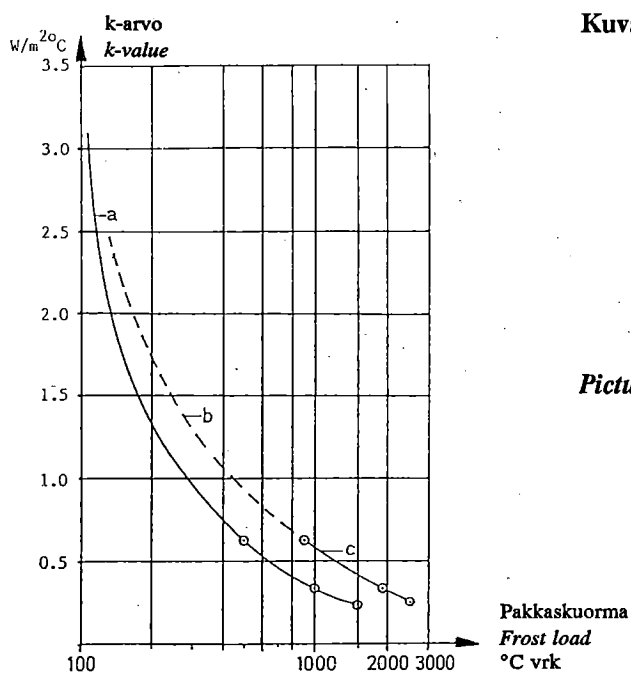
Seinäateriaali <i>Wall construction material</i>	Eristekerroksen paksuus, cm <i>Insulation layer thickness, cm</i>			
	0	6	11	16
Betoni 12 cm <i>Concrete 12 cm</i>	5,30	0,67	0,36	0,26
Puu 3 cm <i>Wood 3 cm</i>	3,35	0,63	0,34	0,25

Lämpökaapeleiden käytöllä voidaan ehkäistä rehun jäätyminen seinän vierestä. Jos pinnan eristys on huono, lämpökaapeilla saatu lämpövaikutus ei riitä, eikä lämmityksen lisääminen auta, joten pinnan eristystä täytyy parantaa. Lämmityksen tarve riippuu seinän eristyskyvystä ja ilmaston kylmyydestä. BERGEN /6/ yhtälö on muotoa:

$$q = 3,9 \cdot k \cdot (1,55 - T_n) - 10,$$

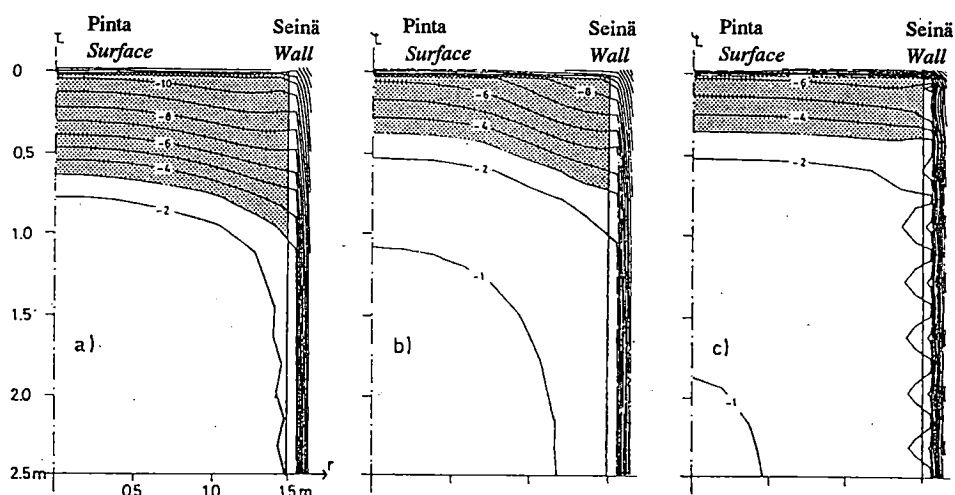
jossa  $q$  on lämpömäärä ( $W/m^2$ ) ja  $k$  on lämmönläpäisykerroin ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ).  $T_n$  on kyseisen paikan kylmimmän kuukauden keskilämpötila. Lämmitys mitoitetaan erityisen kylmiä talvia ajatellen, joten  $T_n$  valitaan ääriarvosta. Seinän lämmitys säädetään termostaatilla, joka katkaisee lämmityksen ulkoilman lämpötilan noustessa yli 0 °C.





**Kuva 6.** Suurimmat lämmönläpäsykertoimet, jotka sallitaan, jotta rehu ei jäädy tornisäiliössä kun pakkaskuorma vaihtelee. a) seinät, b) rehun pinta tornisäiliössä, rehua otetaan ruokintaan, c) tornisäilön pinta, kun säilön sisäilma pidetään yli  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa /6/.

**Picture 6.** Requirement for frost protection in tower silo, exposed as maximum heat transmission coefficient dependt on the frost load. a) For the walls, b) for the silage surface, when air in silo is kept at outside temperature and c) for the walls, when air inside silo is kept mainly above  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ /6/.



**Kuva 7.** Eristettyjen säilöjen lämpötilakäyrät. Pakkaskuorma  $1315\text{ }^{\circ}\text{Cvrk}$ . a) Betoniseinä, huono seinän eristys, seinän lämmitys  $3,65\text{ W/m}^2$ . b) Betoniseinä, parempi pinnan eristys, seinän lämmitys  $5,45\text{ W/m}^2$ . c) Puuseinä, sama pinnan eristys kuin b-kohdassa, seinän lämmitys  $3,65\text{ W/m}^2$  /6/.

**Picture 7.** Isothermal maps for an insulated silo with electrical heating, at a frost load of  $1315\text{ deg} \cdot \text{days}$ . a) Concrete wall, poor surface insulation, wall heating  $3,65\text{ W/m}^2$ , b) concrete wall, better surface insulation, wall heating  $5,45\text{ W/m}^2$  and c) wooden wall, surface insulation as b), wall heating  $3,65\text{ W/m}^2$  /6/.

## 2. REHURINTAUKSEN PEITTÄMINEN LÄMPÖPEITTEELLÄ

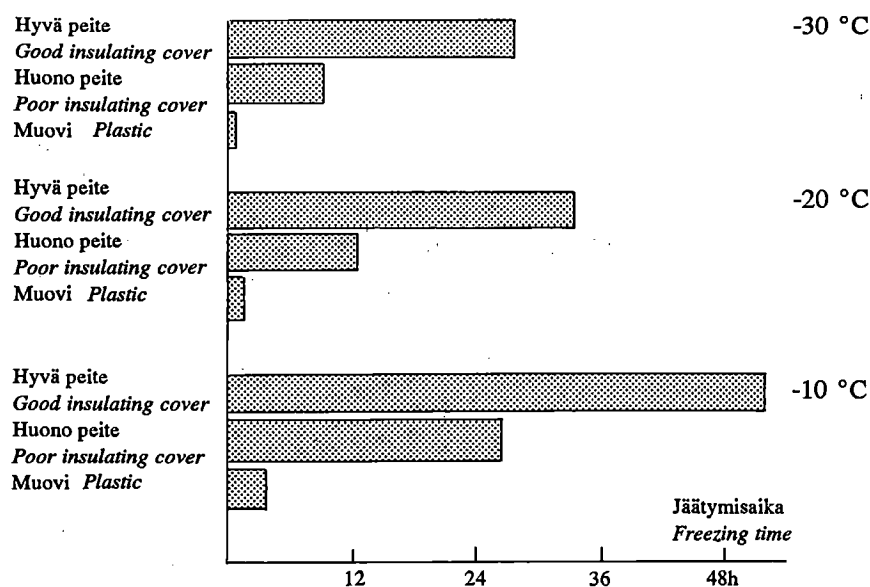
Rehua säilöstä otettaessa leikkuupinta jää alttiiksi jäätymiselle. Jäätymisen estämiseksi leikkuupinta pyritään suojaamaan muovilla ja lämpöpeitteellä. Peitettä voidaan käyttää myös välivarastossa irrotetun säilörehun peitteenä, mikäli varasto on kylmä. Lämpöpeitteitä kannattaa käyttää, kun ulkoilman lämpötila on alle  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Siihen saakka jäätyminen voidaan estää kaksinkertaisella muovilla, mikäli rehunotto tapahtuu vähintään kerran viikossa. Lämmöneristyskyvyn kannalta olisi parasta, jos peitteessä ei olisi liitoksia. Käytännössä nykyisten peitteiden mitat eivät riitä, koska peitteen leveys on korkeintaan 2 m ja laakasäilön leveys on yleensä 5 - 6 m. Rehurintauksen pitäminen tasaisena helpottaa leikkuupinnan huolellista suojaamista peitteellä. Lämpöpeitteen käyttö estää myös rehun liiallisen lämpenemisen keväällä.

Lämpöpeitteissä on eristeaineena 10 - 40 mm paksuinen vaahto- tai solumuovi. Pintamateriaali on PVC:tä tai PVC:n ja kuitukankaan yhdistelmä. Silmukat peitteen kulmissa helpottavat sen käsittelyä. Peitteiden jäykkyydessä on eroja jo huoneen lämpötilassa ja pakkasessa erot kasvavat. Jäykkyyden lisääntyminen johtuu pääosin pintamateriaalin jäykistymisestä pakkasessa. Leikkuupinnan huolellinen suojaaminen on helpointa taipuisan peitteen avulla ja siksi jäykkyyteen kannattaa kiinnittää huomiota.

Peitteen lämmöneriste olisi kiinnitettävä sen pintamateriaaliin. Jos eristettä ei ole kiinnitetty, se saattaa käytössä murtua ja valahtaa peitteen johonkin kulmaan.

Lämmöneristyskokeissa peitteillä peitettiin suorakaiteen muotoinen vesiastia, jossa oli 350 litraa  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  vettä. Astian alla oli 100 mm polystyreenieriste, jonka päällä oli kaksinkertainen alumiinifolio heijastuvat pinnat ulospäin asetettuna. Koelämpötilat olivat  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vertailun vuoksi kokeessa oli mukana myös tavallisella aumamuovilla peitetty astia. Koe lopetettiin, kun vesi alkoi jäätyä. Koe tehtiin kaikilla peitteillä samanaikaisesti. Kokeen aikana huoneessa ilman nopeus oli 1 - 2 m/s, joka tehosti huomattavasti jäätymistä. Koetilanteessa 24 h ylittävää arvoa voidaan pitää hyvänä.  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa tämän ylitti kaksi tuotemerkkiä. Käytännön oloissa säilörehu jäätyy hitaammin, koska myös itse rehu toimii lämmöneristeenä.

Lämpöpeitettä valittaessa halvan ja huonon peitteen hankinta voi käytännössä tulla kalliiksi, koska rehu jäätyy suojaamisesta huolimatta tai peite vettyy tai repeää käyttökelvottomaksi. Hankintapäätös kannattaa tehdä ensisijaisesti hyvien käyttö- ja lämmöneristysominaisuuksien perusteella. Peitevertailun tulokset ovat VAKOLAn koetusselostuksessa numero 1281.



**Kuva 8.** Jäätymisen alkamishetki käytettäessä yksinkertaista aumamuovia, huonoa lämpöpeitettä tai hyvää lämpöpeitettä  $-10\text{ °C}$ ,  $-20\text{ °C}$  ja  $-30\text{ °C}$  lämpötiloissa.

**Picture 8.** Freezing time of 350 l +8 °C water under a single layer of plastic, poor insulating cover and good insulating cover. Surrounding temperature  $-10\text{ °C}$ ,  $-20\text{ °C}$  and  $-30\text{ °C}$ .

### 3. TILAKÄYNNIT

#### 3.1. Aineisto ja menetelmät

##### 3.1.1. Aineiston hankinta

Kenttätutkimus tehtiin maataloilla 13.2. - 7.3.1991. Tilat valittiin Kainuun maatalouskeskuksen rakennustoimiston avustuksella. Tuotantorakennukset olivat pääosin vuoden 1985 jälkeen rakennettuja uudisrakennuksia. Tutkimustiloja oli kaikkiaan 14. Tiloista neljä sijaitsi Kuhmossa, kolme Hyrynsalmella, kolme Suomussalmella, kaksi Puolangalla ja kaksi Ristijärvellä. Tutkimustiloilla oli joko katettu tai kattamaton laakasäilö ja erillinen välivarasto. Tiloilla käytiin yleensä rehunottopäivänä.

Kenttätutkimus koostui tutkimuslomakkeen täytöstä, rehun ja sen ympäristön ilman lämpötilan mittauksista laakasäilössä ja välivarastossa sekä rehunäytteiden ottamisesta. Tutkimuslomakkeelle merkittiin yleistietoja tilan rehunteosta ja rehumääristä, selvitettiin rehun jäätymistä ja jäätymiseen vaikuttavia tekijöitä ja tutkittiin rehun sulatusta välivarastossa sekä välivaraston toimivuutta työtilana.

### 3.1.2. Mittaukset tiloilla

#### Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus

Lämpötilat mitattiin WALLAC GGA 23s -mittarilla. Mittauskohteina olivat säilörehuvarasto, ulkoilma ja välivarasto. Säilörehuvaraston ilman lämpötilaa mitattiin metrin korkeudelta rehurintauksen edestä, säilön päästä ja rehurintauksen peitteiden alta. Välivaraston mittaukset tehtiin puolen metrin korkeudelta. Välivaraston mittauspisteet olivat välivaraston keskipiste sekä täyttöoven ja navettaan johtavan oven edusta. Lisäksi kolmella tilalla seurattiin ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta LAMBRECHT-lämpötilakosteuspiirtureilla. Piirtureista kaksi sijoitettiin laakasäilöön siten, että toinen oli rehurintauksen lämpöpeitteiden alla ja toinen ulkopuolella. Välivarastoon sijoitettiin yksi piirturi rehukakkujen keskelle metrin korkeuteen.

#### Rehun lämpötila

Rehun lämpötilaa mitattiin säilörehuvarastossa KEITHLEY 819 -mittarilla, johon oli yhdistetty metrin mittainen mittajohto. Mittauspisteet varastossa olivat 5 ja 20 cm:n syvyydessä rehurintauksen keskivaiheilla kolmessa eri kohdassa.

### 3.1.3. Rehunäytteiden otto ja analysointi

Jokaisella tilalla otettiin viisi rehunäytettä: 1. säilön pinnalta (korkeintaan 10 cm syvyydeltä), 2. rehurintauksen keskiosasta ja 3. säilön pohjalta. Neljäs näyte otettiin välivarastossa olleen kakun reunasta niin, että rehu ei ollut säilön pintarehua. Viides näyte otettiin rehukakun pinnalta. Näytteiden koko oli 500 g ja ne pakattiin kaksinkertaiseen muovipussiin. Näytteet analysoitiin kahden vuorokauden kuluessa Kainuun osuusmeijerin laboratoriossa. Rehusta mitattiin pH, maitohappo, etikkahappo, vapaat hapot, sokerit, kuiva-aine, raakavalkuainen, ammoniakki ja amiinit, raakakuitu ja sulavuus.

## 3.2. Tulokset

### 3.2.1. Tilat ja rehusäilöt

Kaikilla tiloilla rehu oli korjattu kelasilppurilla. Säilöntäaineena AIV 2 käytti 11 tilaa ja loput 3 tilaa käyttivät Farmiliuosta. Tiedot rehumääristä perustuvat useilla tiloilla arvioihin. Rehu varastoitiin 8 tilalla katettuihin laakasäilöihin ja muilla kattamattomiin laakasäilöihin. Muutamalla tilalla rehu ei mahtunut varastosäilöön, joten osa rehuista varastoitiin aumaan. Aumat oli syötetty syksyllä. Tutkimusajan kohtana 9 tilalla syötettiin kevätsatoa ja 5 tilalla syyssatoa. Rehun pääasiallisena raaka-aineena oli timotei.

**Taulukko 5.** Säilörehuntekoon liittyviä lukuarvoja tutkimustiloilla.**Table 5.** *Figures concerning silage making on the farms in the study.*

	Keskiarvo <i>Average</i>	Minimi <i>Minimum</i>	Maksimi <i>Maximum</i>
Nautayksikköjä, NY <i>Cattle units<sup>1)</sup></i>	17	12	24
Säilörehuala, ha <i>Silage area</i>	8,7	5,5	12
NY/rehuala <i>Cattle units<sup>1)</sup>/silage area</i>	1,9	1,2	2,4
Kokonaisrehumäärä <i>Total amount of silage harvested</i>	170	90	300
Rehumäärä t/NY <i>Harvested amount of silage/cattle unit</i>	10,3	6,7	13
Hapon kulutus l/t <i>Amount of acid used</i>	5,5	3	6

1) 1 cattle unit = 1 mature cow, 2 heifers or 4 calves

Jäätynyttä rehua oli lähes kaikissa siiloissa kahta tilaa lukuunottamatta. Talvi oli kohtalaisen leuto, pidempi yhtenäinen pakkasjakso alkoi tammikuun puolessa välissä ja jatkui helmikuun loppupuolelle.

**Taulukko 6.** Laakasäilön lämpöeristys ja rehun jäätymissyvyys.**Table 6.** *Insulation of bunker silo and depth of frozen silage on the farms in the study.*

Säilön eristys <i>Insulation of silo</i>			Rehun jäätymissyvyys <i>Depth of frozen silage</i>		
Sivuseinät <i>Outlet walls</i>	Väliseinä <i>Partition wall</i>	Pinta <i>Surface</i>	Reunat <i>Next to walls</i>	Pinta <i>Surface</i>	Rehurintausta <i>Silage section surface</i>
			mm	mm	mm
Eristevilla <i>Insulation wool</i>	Polystyreeni <i>Polystyrene</i> 50-80 mm	1 <sup>1)</sup>	120-200	25-60	15-25
Maavalli <i>Earth work</i>	Polystyreeni <i>Polystyrene</i> 50-80 mm	2 <sup>1)</sup>	150-200 <sup>2)</sup>	0	0
Maavalli <i>Earth work</i>	Maavalli <i>Earth work</i> 150-180 cm	2 <sup>1)</sup>	0	0	0
Polystyreeni <i>Polystyrene</i>	Polystyreeni <i>Polystyrene</i>	1 <sup>1)</sup>	100-250	30-60	0

- 1) Säilön eristys pinnasta:
1. Irtoheinä/irto-olki 30 cm
  2. Lumi 35 cm
- Insulation of surface of silo:*
1. Loose hay/straw 30 cm
  2. Snow 35 cm

- 2) Jäätynyttä rehua väliseinän reunassa.  
*Frozen silage next to the partition.*

Laakasäilöissä, joissa on kaksi siiloa rinnakkain, on ongelmana ensimmäisen siilon tyhjentyessä kylmän johtuminen vieressä olevaan täysinäiseen siiloon. Kohtalaisen leutonakin talvena rehu voi jäättyä 200 - 250 mm matkan seinän vierestä siitä huolimatta, että siilojen väliseinä on eristetty 80 mm polystyreenikerroksella. Kahdella tilalla oli avosiilojen välissä 180 cm levyinen maavalli lämpöeristeenä ja sen ansiosta rehu ei ollut jäänyt betonielementin vierestä. Lisäksi avosiilojen muiden seinien eristäminen maavallein estää tehokkaasti reunojen jäätyä. Katetuissa siiloissa ongelmana oli rehun jäätyminen sivu-, pääty- ja väliseinien reunasta. Tutkimusajankohtana rehu oli jäässä 60 - 200 mm matkan reunasta. Siilojen betonielementeissä oli yleensä 50 mm polystyreeni elementin sisässä ja selluvillaa 100 - 125 mm kerros lomalaudoituksen ja elementin välissä.

Avosiiloissa peitemateriaalina oli yleensä sahanpuru (5 cm kerros) tai hiekka (5 cm kerros), joiden päällä oli lunta 30 - 45 cm. Kuudella tilalla oli avosiilo. Kolmella tilalla rehu ei ollut lainkaan jäässä. Kolmella muulla tilalla rehu oli jäänyt pinnasta 30 - 60 mm. Kuiva lumi on hyvä eriste, se vastaa lämmönjohtavuudeltaan mineraalivillaa. Kahdeksan tilan katetuissa siiloissa pintarehu oli jäänyt 30 - 70 mm paksuudelta, vaikka useimmilla tiloilla rehu oli suojattu 30 - 60 cm irto-olki- tai heinäkerroksella.

**Taulukko 7.** Laakasäilöjen ja rehurintamien peitemateriaalit ja peitekerroksien vahvuudet.

**Table 7.** Number of bunker silos in the study with different types of cover, as well as thickness of cover.

	Laakasäilö Bunker silo		Kerrosvahvuus Thickness cm	Rehurintauksen peite Cover for silages section surface kpl
	Katettu Roofed silo kpl	Kattamaton Unroofed silo kpl		
Hiekka + lumi Sand + snow		2	5+35	
Sahanpuru Sawdust	1		5	
Sahanpuru + lumi Sawdust + snow		3	5+35	
Irto-olki/Irtoheinä Loose straw/Loose hay	5	1	30	-/2
Olki-/Heinäpaalit Strawbales/Haybales	2		30	
Lämpöpeite Insulation cover				8 <sup>1)</sup>
Huopamatto Felt cover				1
<b>Yhteensä Total</b>	<b>8</b>	<b>6</b>		<b>11</b>

<sup>1)</sup> 5 kpl katetuissa säilöissä  
of which 5 in roofed silos

Rehua irrotettiin säilöistä keskimäärin 4 - 5 päivän välein. Rehurintauksen rehu oli sulaa kahdeksalla tilalla. Niillä tiloilla rehurintausta peitettiin muovilla ja lämpöpeitteellä huolellisesti tai sitten lämpöpeitteen sijasta käytettiin irtoheinää ohut kerros. Muilla tiloilla rehu oli jäänyt 15 - 80 mm vaakatasossa. Onnistuneen peittämisen edellytys on tasainen rehurintausta. Rehurintausta pysyy tasaisena, kun rehu irrotetaan laatikkoleikkurilla. Sen sijaan kuokka- ja lieriöleikkuria käytettäessä rehurintausta jää epätasaiseksi, mikä vaikeuttaa lämpöpeitteiden huolellista asettamista. Leikkureiden etuna on sileä leikkuupinta, jolloin rehu säilyy paremmin niin säilössä kuin välivarastossakin. Siltanosturia käytettiin rehun irrotukseen kahdella tilalla. Siltanosturia käytettäessä pintarehu jää löyhäksi, mikä lisää lämpimänä aikana pintarehun pilaantumisvaaraa. Kylmässä säässä löyhä rehupinta jäätyy helpommin kuin tiivis leikkuupinta.

### 3.2.2. Välivarastojen ominaisuudet ja käyttö

Tutkituilla tiloilla välivarastojen mitat vaihtelivat suuresti. Peruskorjatuissa navetoissa tila oli liian ahdas, jos tavoitteena oli 5 - 6 päivän rehunottoväli. Välivarastot sijaitsivat ruokintapöydän päässä. Ne olivat pääsääntöisesti kahta eri tyyppiä: koko navetan levyinen välivarasto tai lähes neliön mallinen välivarasto. Koko navetan levyisestä välivarastosta käytettiin yleensä vain toista päätyä säilörehun välivarastointiin, toisessa päädyssä oli väkirehuja ja väkirehunjakovaunut. Taulukosta 8 nähdään välivarastojen mitat ja lämpötilat. Ilman suhteellinen kosteus oli suuri kuudessa välivarastossa, joissa katosta tippui vettä. Kahdessa välivarastossa vettä tippui katosta ovien edestä.

Välivarastojen ulkoseinien materiaalit ja vahvuudet vaihtelivat paljon. Yleisin ulkoseinärakenne oli elementti, jossa oli sisällä 125 mm eriste. Toiseksi käytetyin materiaali oli eristeharkot. Lisäksi oli eristettyjä tiili- ja puuseiniä. Yleisin välinärakenne välivaraston ja navetan välissä oli tiiliseinä. Myös filmivaneria oli käytetty välivarastossa. Riittämätön ilmastointi yhdessä puutteellisen eristyksen tai lämmityksen kanssa aiheutti vesihöyryn tiivistymistä kattoon kuudessa välivarastossa. Kahdessa välivarastossa ovien huono tiiviys aiheutti vesihöyryn tiivistymistä kattoon ovien kohdalle.

Välivarastossa oli erillinen lämmitys yhdellätoista tilalla, taulukko 9. Kolmella tilalla hyödynnettiin navetan lämpöä, eli ovi navettaan oli auki. Jäätyneen rehun sulattamiseen käytettiin neljässä välivarastossa säteilylämmittintä, kahdessa lattialämmitystä ja yhdessä säteilylämmittintä sekä lattialämmitystä. Säteilylämmittimen infrapunasäteily kohdistuu lähinnä rehukakun pintaosaan, joka sulaa ja kuivuu muodostaen eristekerroksen, jolloin lämmön siirtyminen syvemmälle jäätyneeseen

rehuun estyy. Jäätynneen rehun sulattaminen oli hidasta eikä onnistunut aina ilman talikkotyötä.

Taulukko 8. Välivaraston mitat ja olosuhteet.

Table 8. Dimensions and conditions of intermediate store on the studied farms.

		Keskiarvo Average	Minimi Minimum	Maksimi Maximum
<b>Välivaraston</b>				
<i>Dimensions</i>				
pituus	m	3,2	2,5	3,6
<i>length</i>				
leveys	m	4,2	3,0	6,0
<i>width</i>				
korkeus	m	2,5	2,2	2,8
<i>height</i>				
pinta-ala	m <sup>2</sup>	13,7	10,6	24,8
<i>area</i>				
tilavuus	m <sup>3</sup>	34,0	20,3	62,0
<i>volume</i>				
täyttöoven koko	m <sup>2</sup>	5,1	2,6	5,8
<i>size of door</i>				
lämpötila	°C	6,5	2,0	13,0
<i>temperature</i>				

Taulukko 9. Välivarastojen lämmitys.

Table 9. Heating of intermediate store on the studied farms.

Lämmitys <i>Heating</i>	Tiloja <i>Number of farms</i> kpl	Teho <i>Power</i> kW
Lämpöpatteri <i>Radiator</i>	1	-
Lämpöpuhallin <i>Hot-air fan</i>	1	2
Sähkölämmitin <i>Electric heater</i>	1	-
Lattialämmitys <i>Floor heating</i>	2	-
Säteilylämmitin <i>Radiation heater</i>	5	1,2 - 2
Säteilylämmitin + lattialämmitys <i>Radiation heater + floor heating</i>	1	1,6
Ilmankierto navetassa <i>Circulation of air from cow shed</i>	3	-
<b>Yhteensä</b> <i>Total</i>	14	



Karjalle syötettiin joka tilalla sulaa rehua ja pahastikaan jäätynyttä rehua ei yleensä sulatettu navetan ruokintapöydällä, vaan se sulatettiin välivarastossa. Lattialämmityksen avulla rehun sulatus onnistuu melko hyvin, koska rehu sulaa parhaiten lämmön siirtyessä siihen johtumalla lattiasta matalassa lämpötilassa. Korkeasta sulatuslämpötilasta on vain haittaa, koska korkea lämpötila kuivattaa rehun pintakerrosta, jolloin se lämpenee. Seurauksena on rehun jälkikäyminen ja rehun pintakerroksen pilaantuminen.

**Taulukko 10.** Välivaraston ilmanvaihto ja olosuhteet.

*Table 10. Ventilation and conditions in intermediate store on the farms in the study.*

	Kpl <i>Number of farms</i>	Lämpötila <i>Temperature</i> °C	
		Keskiarvo <i>Average</i>	Keskihajonta <i>Standard deviation</i>
Yhteys navettaan <i>Connection to cow shed</i>			
- sama ilmatila <i>same airspace</i>	5	8,8	3,3
- tasapaine <i>equal pressure</i>	1	2,0	-
Ei ilmanvaihtoa <i>No ventilation</i>	8	5,6	3,5
Yhteensä <i>Total</i>	14		

Yhdellä tilalla oli välivarastossa toimiva tasapaineilmanvaihto. Kahdeksassa välivarastossa ei ollut lainkaan ilmanvaihtoa; ilmanvaihtokanavaa ei ollut tai se oli tukittu talven ajaksi. Viidessä välivarastossa pidettiin ovet navettaan auki, joten niiden ilmatila ja ilmanvaihto oli sama kuin navetassa.

Kolmessa välivarastossa lattia ja seinät (1 m korkeuteen) olivat pinnoitetut. Yhdellä tilalla oli tavoitteena pinnoittaa välivarasto myöhemmin. Laadukas pinnoite suojaa betonia tehokkaasti puristenesteen syövyttävältä vaikutukselta. Kun betonilattia syöpyy ja sen pinta tulee karkeaksi, hankaloituu välivaraston puhtaanapitäminen. Myös viemärin olemassaolo helpottaa lattian puhtaanapitämistä. Lattian puhtautta arvosteltiin sen liukkauden mukaan arvioimalla. Jos varissutta rehua ei harjata pois, se niljaantuu lattiaan kiinni ja liukastumisvaara on suuri. Silloin myös rehun hapot syövyttävät betonia tehokkaasti. Useimmissa välivarastoissa lattia oli siisti, eikä se ollut liukas.

**Taulukko 11.** Rehun siirto välivarastoon ja ruokintaan tutkimustiloilla.

**Table 11.** *Equipment for silage to intermediate store and to feeding table on the studied farms.*

Rehun siirto <i>Mowing of silage</i> kpl/väline	Rehun jättopaikka välivarastossa <i>Place for leaving silage in intermediate store</i> kpl/väline	Siirto ruokintaan <i>Moving to feeding table</i> kpl/väline
6 laatikkoleikkuri <i>6 block cutter</i>	2 kuormalava + haarukkavaunu <i>2 pallet on a forklift truck</i> 4 pyörällinen siirtolava <i>4 pallet with wheels floor</i>	2 kuormalava + haarukkavaunu <i>2 pallet on a forklift truck</i> 4 pyörällinen siirtolava <i>4 pallet with wheels floor</i>
4 kuokkaleikkuri <i>4 hoe cutter</i>	2 lattia <i>2 floor</i> 2 kuormalava + haarukkavaunu <i>2 pallet on a forklift truck</i>	2 työntökärry <i>2 wheel barrow</i> 2 kuormalava + haarukkavaunu <i>2 pallet on a forklift truck</i>
1 lieriöleikkuri <i>1 cylinder cutter</i>	1 pyörällinen siirtolava <i>1 pallet with wheels</i>	1 pyörällinen siirtolava <i>1 pallet with wheels</i>
2 siltanosturi <i>2 overhead gantry crane</i>	2 rehuvaunu <i>2 fodder cart</i>	2 rehuvaunu <i>2 fodder cart</i>
1 kourakuormain <i>1 grapple loader</i>	1 rehuvaunu tai lattia <i>1 fodder cart or floor</i>	1 rehuvaunu tai lattia <i>1 fodder cart or floor</i>

Rehun siirto välivarastoon ratkaisee pitkälle sen, miten rehu siirretään ruokintapöydälle. Kun rehukakku jätetään leikkurista suoraan siirrettävälle lavalle, vältytään ylimääräiseltä talikoinnilta välivarastossa. Lavat ovat joko pyörällisiä tai sitten haarukkavaunulla siirrettäviä lannoite- tai kuormalavoja. Tiloilla, joilla rehu otettiin säilöstä joko laatikko-, kuokka- tai lieriöleikkurilla, oli yleensä siirrettävä rehulava. Ainoastaan yhdellä tilalla kuokkaleikkurin rehukakku jätettiin välivaraston lattialle, josta rehu talikoitiin työntökärryyn ja siirrettiin ruokintapöydälle. Kahdella tilalla rehu otettiin siltanosturia käyttäen rehuvaunuun, joka siirrettiin välivarastoon ja mahdollinen jäänyt rehu irrotettiin talikolla lattialle.

### 3.2.3. Säilörehun laatu

Rehu oli säilynyt erinomaisen hyvänä laakasäilöissä, taulukko 12. Säilön pinta-, keski- ja pohjaosissa rehu oli keskimääräisesti säilynyt VALION määrittämien ohjearvojen mukaisesti kaikilta osiltaan hyvin. Rehun pH:n ja kuiva-ainepitoisuuden vaihtelu oli hyvin pientä. Sen sijaan muiden laatumääritysten tulosten hajonta oli huomattava ja tilakohtaisten näytteiden välillä oli paljon vaihtelua.

Kahdessa tapauksessa pintarehussa ammoniakkin ja amiinien suuri osuus valkuaisen hajoamistuotteista vähentävät rehun raakavalkuaisen arvoa ja maittavuutta.

Laakasäilön keskiosan rehu oli säilynyt moitteettomasti. Säilön pohjaosan rehu ei ollut säilynyt yhtä hyvänä kuin keskiosan. Pohjarehun ammoniakki- ja amiinimäärät olivat liian suuret neljässä näytteessä.

**Taulukko 12.** Rehun laatu laakasäilössä ja välivarastossa.

*Table 12. Quality of silage in bunker silo and in intermediate store on the farms in the study.*

	pH	mh la	eh aa	sok sug.	ammo + amiinit	ka d.m.	Näytt. Number of samples kpl
Keskiarvo <i>Average</i>							
S.pinta <i>Surface of silo</i>	3,91	12,29	2,86	15,7	21,9	20,7	14
S.keski <i>Middle of silo</i>	3,77	13,93	2,29	13,86	19,7	20,4	14
S.pohja <i>Bottom of silo</i>	3,93	13,7	3	16	26,7	21	14
Välivarasto <i>Intermediate store</i>	4,1	9,82	4,64	9,18	28,45	20,4	11
Otoskeskihajonta <i>Standard deviation</i>							
S.pinta <i>Surface of silo</i>	0,37	6,05	2,72	10,22	14,28	3,51	14
S.keski <i>Middle of silo</i>	0,16	4,25	2,02	9,86	8,74	1,79	14
S.pohja <i>Bottom of silo</i>	0,28	5,08	2,98	12,76	12,07	2,4	14
Välivarasto <i>Intermediate store</i>	0,35	5,72	2,9	6,35	12,83	2,21	11

Lyhenteiden selitykset:

mh	=	maitohappoa g/kg
la	=	lactid acid g/kg
eh	=	etikkahappoa g/kg
aa	=	acetic acid g/kg
sok	=	sokeria g/kg
sug.	=	sugar g/kg
ammo + amiinit	=	valkuaisen hajoamistuotteita % decomposition of albuminous matter %
ka	=	kuiva-ainepitoisuus %
d.m.	=	dry matter %

Välivarastoinnin aikana rehu säilyi hyvänä. Rehun pH oli suurempi neljässä välivarastossa verrattuna säilöstä otettuun keskinäytteeseen. Rehujen välivarastointiaika oli 3 - 7 vrk.

## 4. SÄILÖREHUN VÄLIVARASTOINTIKOE

### 4.1. Mittausvälineet ja -menetelmät

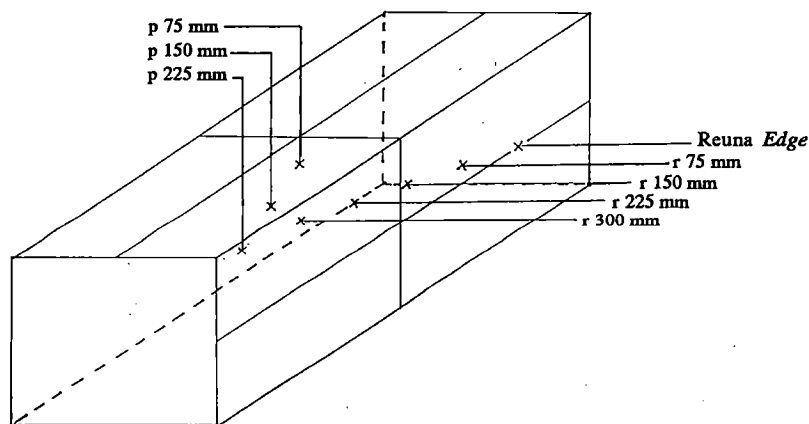
#### 4.1.1. Kokeen suoritus

Välivarastointikokeella selvitettiin jäätyneen ja sulamisen etenemistä rehukakussa sekä sulan rehukakun lämpötilan muuttumista välivarastoinnin aikana. Edelleen tarkasteltiin laadun muutoksia rehukakun pinta- ja keskiosassa.

Välivarastointikoe tehtiin huhtikuussa 1988 Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitoksen tiloissa Vihdissä. Kokeet teki Jouni Virtaniemi ja hän käytti aineistoa hyväkseen omassa pro-gradu työssään. Kokeessa olleet kaksi rehukakua olivat laakasäilöön varastoitua kelasilputtua tuorerehua. Toinen kakuista jäädettiin kylmähuoneeseen ja siirrettiin sieltä sulamaan huoneeseen, jossa pystyttiin säätämään ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Jäätynneen kakun siirtoa seuraavana päivänä sula rehukakku siirrettiin sadonkäsittelyhuoneeseen. Jäätynyttä kakkua välivarastoitiin yhdeksän vuorokautta ja sulaa kakkua kahdeksan vuorokautta.

#### 4.1.2. Mittaukset

Rehukakun lämpötilaa mitattiin 8 termoelementtianturia käyttäen. Yhdeksäs anturi mittasi ympäröivää lämpötilaa. Anturien sijainti näkyy kuvasta 9.



**Kuva 9.** Lämpötila-anturien sijoituspaikat rehukakuissa.  $P$  on päältä mitattu etäisyys ja  $r$  on reunasta mitattu etäisyys.

**Picture 9.** Placing of temperature sensors in silage blocks.  $P$  is measured from top and  $r$  is measured from edge.

Anturit kytkettiin 12-kanavaisiin piirtureihin. Piirturit tallensivat lämpötilat kolmen minuutin välein. Analysointivaiheessa lämpötiloja luettiin paperilta puolen asteen tarkkuudella.

Välivarastona käytetyn sadonkäsittelyhuoneen suhteellinen kosteus säädettiin arvoon 70 % ja lämpötila 10 °C. Varmistusmittauksia tehtiin Vaisalan lämpötila- ja kosteusmittarilla.

#### 4.1.3. Rehunäytteiden otto koekakuista

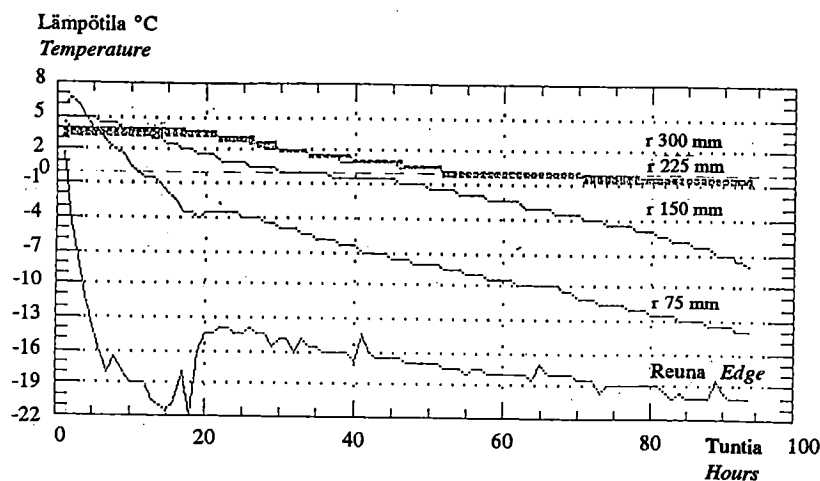
Rehunäytteet otettiin kakkujen pinnalta vierekkäin noin neliödesimetrin alalta viiden senttimetrin syvyyteen. Ilma vaikuttaa eniten kakun pintaan, joten pilaantuminen on voimakkainta pinnassa. Pinnasta otettujen alku-, väli- ja loppunäytteiden lisäksi otettiin loppunäyte myös rehukakkujen keskeltä.

## 4.2. Tulokset

### 4.2.1. Säilörehukakun jäädyttäminen

Ensimmäisen kahdeksantoista tunnin aikana pakkashuoneen lämpötila oli noin -30 °C. Pakkashuoneen lämpötilaa nostettiin hieman ja loppuajan, 18 tunnin jälkeen, keskilämpötilaksi muodostui -25,4 °C.

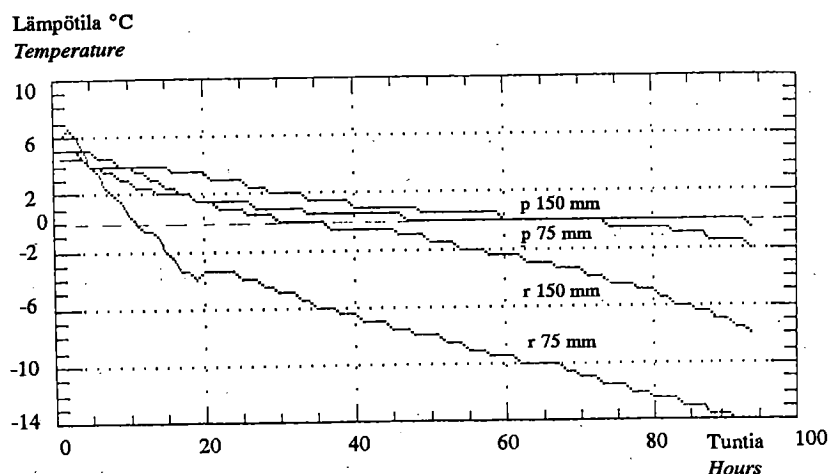
Kuvan 10 lämpötiläkäyrässä näkyy pakkashuoneen lämpötilan säätö hieman lämpimämmäksi reunan lämpökäyrän hyppäyksenä. Muuten lämpötila on laskenut melko lineaarisesti. Sen sijaan pisteen r150 mm lämpötilan lasku 0 °C:sta -1 °C:een on vienyt lähes kaksinkertaisen ajan muihin asteen laskuihin kuluneisiin aikoihin verrattuna. Mittauskohtien r225 mm ja r300 mm lämpötilat olivat jäädyttämisen lopussa -0,5 °C.



**Kuva 10.** Lämpötilan aleneminen rehukakussa jäädyttämisen aikana reunasta keskelle olevissa mittauspisteissä.

**Picture 10.** Decrease of temperature in silage block during freezing in measuring points from edge to middle.

Lämpötila aleni huomattavasti nopeammin rehukakun vaakasuunnassa kuin pystysuunnassa. Kuvassa 11 on verrattu 75 mm ja 150 mm etäisyyksillä tapahtunutta lämpötilan muuttumista sekä yläpinnasta (p) että reunasta (r). Koko aikana lämpötila laski r75 mm etäisyydellä keskimäärin  $2,1\text{ °C}/10\text{ h}$ , kun taas p75 mm etäisyydellä lämpötila laski vain  $0,7\text{ °C}/10\text{ h}$ .



**Kuva 11.** Reunan ja pinnan mittauspisteiden lämpötiläkäyrien vertailu.

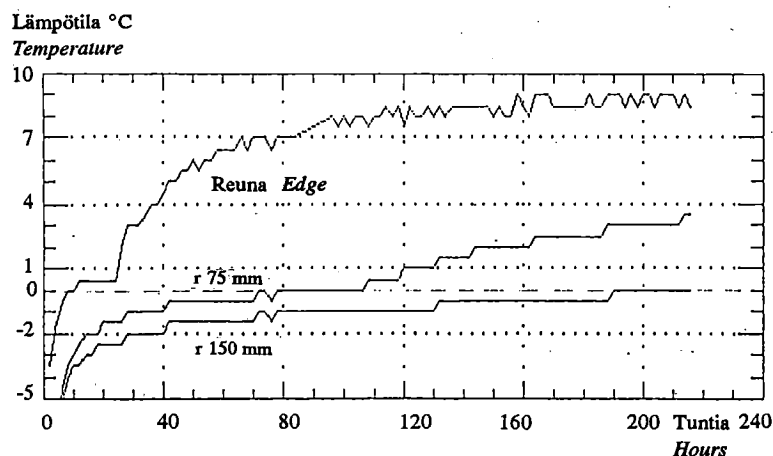
**Picture 11.** Comparison between isothermals measured in the edge and upper surface of silage block during freezing.

#### 4.2.2. Jäädetytyn säilörehukakun välivarastointi

Jäädetytyn rehukakun välivarastointikokeessa huoneen keskilämpötila oli  $9,7\text{ °C}$  (vaihteli  $3\text{ °C} - 14\text{ °C}$  välillä). Suhteellinen kosteus pysyi 5 % tarkkuudella säädetyssä 70 %:ssa.

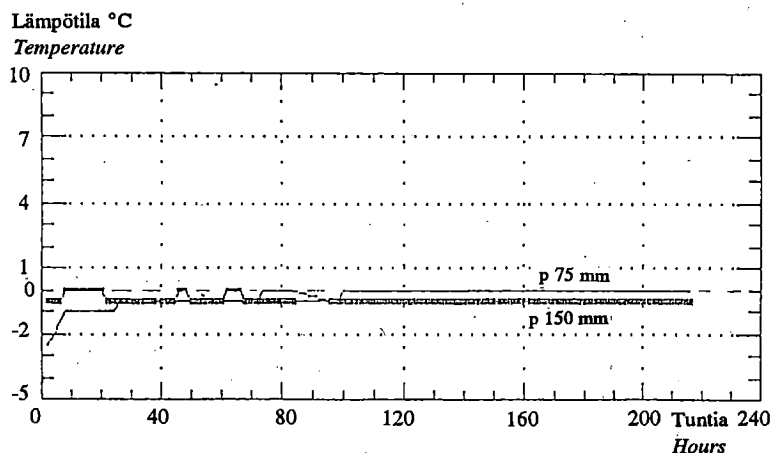
Rehukakku sulii hitaasti. Yhdeksän vuorokauden aikana tapahtui lämpötilan muutoksia vain kakun reunasta r150 mm syvyyteen saakka, kuva 12. Jäätyminen jatkui kakun keskiosassa vielä ensimmäiset sata tuntia, jonka jälkeen lämpötila tasaantui, mutta ei vielä noussut. Kakun sulaminen pystysuunnassa oli erittäin hidasta.

Kuten kakun jäädyttämisessä ilmeni, lämpötilan muuttuminen  $0\text{ °C}$ :sta  $-1\text{ °C}$ :een kesti kaksinkertaisen ajan muihin asteen laskuihin verrattuna. Tämä sama asteväli vei myös sulattamisessa kaksinkertaisen ajan. Muiden mittauspisteiden lämpötilat eivät nousseet plussan puolelle, joten tulos on lähinnä suuntaa antava.



**Kuva 12.** Rehukakun sulamisvaiheen lämpötilan nousu vaakasuunnassa r0, r75 ja r150 mm etäisyyksillä reunasta.

**Picture 12.** Increase of temperature of silage block during thawing phase measured in horizontal plane at 0 mm, 75 mm and 150 mm distance from the edge. Average ambient temperature 9,7 °C (3-14 °C).



**Kuva 13.** Lämpötilan muuttuminen sulatusvaiheessa pystysuunnassa p75 ja p150 mm etäisyyksillä pinnasta.

**Picture 13.** Change of temperature in vertical direction during thawing phase, when measuring points are in the distance of p75 mm and p150 mm from edge.

Alkunäytteen mikrobiologinen laatu osoitti rehun olevan altis pilaantumiselle, taulukko 13. Kakun jäädyttäminen on vähentänyt huomattavasti bakteerien, homeiden ja klostridi-itiöiden määriä. Välivarastointiajan kasvaessa kahdesta kuuteen vuorokauteen rehun pinnassa on tapahtunut pH:n nousua 0,8 yksikköä ja maitohappopitoisuuden laskua 4,4 %/ka. Hiivapopulaatio on kasvanut räjähdysmäisesti. Homeiden ja klostridi-itiöiden määrät olivat jälleen nousseet jäädyttämistä

edeltäneelle tasolle. Yhdeksän vuorokauden välivarastoinnin jälkeen pintarehun bakteerien pesäkemäärä ja koliryhmän bakteerien kasvu oli muuttunut ratkaisevasti. Rehukakun keskiosan loppunäyte oli hyvää rehua, koska kakun keskusta oli vielä jäähileessä.

**Taulukko 13.** Säilörehukakun pinnan ja keskiosan laatuarvojen muutokset verrattuna alkunäytteen arvoihin sulatettaessa kakkua huoneessa, jonka lämpötila oli 9,7 C-astetta.

**Table 13.** *Changes of quality of silage in the edge and in the middle of a silage block compared to the initial sample, when the block was thawed in an ambient temperature of 9,7 °C.*

	Alku- näyte <i>Initial sample</i>	2 vrk pinta <i>Surface 2 days</i>	6 vrk pinta <i>Surface 6 days</i>	9 vrk pinta <i>Surface 9 days</i>	9 vrk keski <i>Middle 9 days</i>
Kuiva-aine % <i>Dry matter</i>	18,3	+2,5	+0,1	+1,7	-1,6
pH	3,88	-0,02	+0,78	+0,56	+0,05
Sokeri %/ka <i>Sugar</i>	1,44	-0,45	+0,49	-0,40	-0,46
Maitohappo %/ka <i>Lactid acid</i>	4,47	+0,66	-3,76	-2,71	-1,48
Etikkahappo %/ka <i>Acetic acid</i>	2,32	-0,53	-0,86	-0,32	-1,12
Ammoniakki g/l <i>Ammonium</i>	0,27	+0,66	-0,10	-0,01	-0,11
Bakteerien pesäkemäärä x 10 <sup>6</sup> kpl/g <i>Colonies of bacteria</i>	200	-196	-194	+200	-196
Koliryhmän bakteerit kpl/g <i>Bacillus coli, number/g</i>	<10	0	0	+38000	0
Hiivat x 10 <sup>6</sup> /g <i>Yeasts</i>	3,2	-3,2	+3,7	+60	-3,2
Homeet kpl/g <i>Moulds number/g</i>	1000	-990	0	-990	-900
Klostridi-itiöt MPN/g <i>Clostridial spores</i>	2500	-2491	0	0	-2494

#### 4.2.3. Säilörehukakun välivarastointi

Normaali säilörehukakku tuotiin välivarastoitavaksi päivää myöhemmin kuin jäädytetty kakku. Lämpötila huoneessa vaihteli +9 °C - +15 °C välillä, keskiarvo oli 11,4 °C.

Kakun alkulämpötila nousi kymmenessä tunnissa 3 °C:sta 8 - 9 asteen välille ja kahden vuorokauden jälkeen lämpötila oli pysyvästi 10 - 11 °C. Kahdeksan vuorokauden välivarastoinnin jälkeen kaikkien antureiden mittaamat lämpötilat olivat yli 10 °C. Kakun reunassa lämpötilan nousu oli nopeampaa kuin keskemällä. Tämä johtui lämpimämmän huoneilman pääsystä leikkauspinnasta rehuun.



Keskiosassa lämpötilan nousu oli lineaarista ja lämpötila nousi yli huoneen keskilämpötilan, mikä aiheutui keskiosassa tapahtuneesta rehun jälkikäymisestä.

Taulukossa 14 on esitetty laadun muuttumista yhden, viiden ja kahdeksan vuorokauden aikana. Yhden vuorokauden näytettä voidaan pitää alunäytteenä, koska lämpötilan vaikutus oli pieni. Pintarehun laatu pysyi melko hyvänä viisi vuorokautta. Etikkahappopitoisuus nousi korkealle ja pH oli noussut yli neljän. Bakteerien pesäkemäärät olivat kasvaneet räjähdysmäisesti. Kahdeksan vuorokauden kuluttua pintarehu oli huonoa ja ruokintaan sopimatonta. Rehun pH oli korkea. Bakteerien ja myös hiivojen sekä homeiden määrät olivat korkeita. Klostridi-itiöiden määrä oli kymmenkertainen sallittuun määrään nähden. Keskinäyte oli laadullisesti hyvää rehua.

**Taulukko 14.** Rehukakun pinnan ja keskiosan laatumuutokset verrattuna 1. vuorokauden näytteen arvoihin välivarastoitaessa normaalia rehukakkua 11,4 °C lämpötilassa.

**Table 14.** *Quality changes of silage in the edge and in the middle of a silage block, compared to a sample taken 24 hours after the thawing began. The block was thawed in an ambient temperature of 11,4 °C.*

	1 vrk näyte 24-hour sample	5 vrk pinta Surface 5 days	8 vrk pinta Surface 8 days	8 vrk pinta Surface 8 days
Kuiva-aine % <i>Dry matter</i>	17,4	+1,7	-0,1	+2,1
pH	3,79	+0,24	+1,75	-0,06
Sokeri %/ka <i>Sugar</i>	1,45	-0,16	-0,56	+0,13
Maitohappo %/ka <i>Lactid acid</i>	2,99	-1,16	-2,75	+2,38
Etikkahappo %/ka <i>Acetic acid</i>	0,85	+2,42	-0,85	+0,80
Ammoniikki g/l <i>Ammonium</i>	0,20	-0,06	-0,16	+0,13
Bakteerien pesäkemäärä x10 <sup>6</sup> kpl/g <i>Colonies of bacteria</i>	2,3	+2400	+218	-2,2
Koliryhmän bakteerit kpl/g <i>Bacillus coli, number/g</i>	<10	+1900x10 <sup>6</sup>	+4,0x10 <sup>6</sup>	0
Hiivat x10 <sup>6</sup> /g <i>Yeasts</i>	1,5	-1,49	+07,2	-1,5
Homeet kpl/g <i>Moulds number/g</i>	<10	0	+4,5x10 <sup>6</sup>	+30
Klostridi-itiöt MPN/g <i>Clostridial spores</i>	24	+326	+11000	-21

## 5. KUSTANNUKSET

Ohjekustannuksia käytetään laskettaessa rakennuksen lainoitusta. Maatilahallituksen rakentamisohjeiden mukaisesti laskettu välivaraston ohjekustannus on 1700 mk/m<sup>2</sup> /2/. Välivarasto lisää navetan pituutta 3 - 5 m. Tuotantorakennuksen leveydestä välivarasto vie noin 5 m, joten välivaraston pinta-ala on 15 - 25 m<sup>2</sup>. Täten välivarasto aiheuttaa 25 000 - 40 000 mk lisäkustannuksen. Sen sijaan esimerkiksi 300 m<sup>3</sup> laakasäilöjen lisäeristäminen 50 mm polystyreenikerroksella maksaa noin 1500 - 2000 mk. Tällöin jäätyneen rehun sulattaminen välivarastossa. Kaikesta huolimatta välivaraston rakentaminen pieniin navetoihin on puolusteltavissa, koska välivarastoon voidaan kerralla siirtää usean päivän rehu. Suurien karjojen ruokinnassa välivarastoa ei tarvita, jos rehu on varastossa sulaa ja sitä otetaan päivittäin. Lisäksi käytettävät rehumäärät ovat suuria ja rehun siirtäminen kahteen kertaan on työlästä, eikä siihen edellä mainittujen tekijöiden johdosta ryhdytä.

## 6. TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin säilörehun jäätysominaisuuksia kirjallisuuden avulla ja laboratoriokokein. Lisäksi lämpöpeitteiden ominaisuuksia selvitettiin laboratoriokokein. Tilakäyntejä tehtiin myös, jolloin haastateltiin viljelijöitä sekä tarkasteltiin rehusäiliöiden ja varastojen mittoja ja olosuhteita ja otettiin rehunäytteitä sekä säilöstä että välivarastosta.

Jälkikäymisen seurauksena rehun lämpötila kohoaa ja kuiva-ainetappiot nousevat. Esikuivattu säilörehu on herkempää jälkikäymiselle kuin tuoreena korjattu. Välivaraston lämpötilan ollessa alle 10 °C, rehu säilyy hyvälaatuisena muutaman päivän. Leikkaavan irrotusmenetelmän käyttöä puoltaa rehun parempi säilyvyys välivarastossa, koska hapen pääsy tiiviiseen rehukakkuun on hitaampaa kuin pöyhittyyn rehuun.

Rehun jatkokäsittelyä haittaavaa jäätymistä ilmenee tuoreena alle 30 % kuiva-ainepitoisuudessa korjatussa säilörehussa. Esikuivatun rehun lämmönjohtavuus on pienempi kuin tuoreena korjatun. Esikuivattu rehu on myös kuohkeaa, joten se toimii osaksi lämmöneristeenä. Rehun jäätyessä sen lämpötila on -1 °C - -4 °C /5/.

Jäätyneen rehun leikkuupinta suojataan kaksinkertaista muovikalvoa ja lämpöpeitettä käyttäen. Lämpöpeitteitä kannattaa ehdottomasti käyttää, kun ulkoilman lämpötila on alle -10 °C. Siihen saakka jäätyminen voidaan estää kaksinkertaista muovia käyttäen, mikäli rehunotto tapahtuu vähintään kerran

viikossa. Leikkuupinnan huolellinen peittäminen edellyttää sitä, että rehurintausta pyritään pitämään mahdollisimman suorana. Laatikkoleikkuria käytettäessä rehurintausta pysyy tasaisena. Sen sijaan kuokka- ja lieriöleikkuria käytettäessä rehurintausta jää epätasaiseksi, jolloin lämpöpeitteiden huolellinen asettaminen hankaloituu. Lämpöpeitteen käyttö estää myös rehun liiallisen lämpenemisen keväällä. Lämpöpeitteiden hankintapäätös kannattaa tehdä ensisijaisesti hyvien käyttö- ja lämmöneristysominaisuuksien perusteella.

Kenttätutkimus tehtiin maatiloilla 13.2. - 7.3. 1991 Kainuussa. Tilojen tuotantorakennukset olivat pääosin vuoden 1985 jälkeen rakennettuja uudisrakennuksia. Tutkimustiloja oli kaikkiaan 14.

Jäätynyttä rehua oli lähes kaikissa siiloissa kahta tilaa lukuunottamatta. Talvi oli kohtalaisen leuto, ainoastaan tammikuun puolesta välistä helmikuun loppuun oli pidempi yhtenäinen kylmempi pakkasjakso.

Rinnakkain olevissa laakasäilöissä on ongelmana ensimmäisen siilon tyhjentyessä kylmän johtuminen vieressä olevaan täysinäiseen siiloon. Kohtalaisen leutonakin talvena rehu voi jäätymä 200 - 250 mm matkan reunasta, vaikka siilojen väliseinässä on eristeenä 80 mm polystyreeni-kerros. Kahden tilan avosiiloissa oli siilojen välissä 180 cm leveä maavalli lämpöeristeenä ja sen ansiosta rehu ei ollut jäätynyt betonielementin reunasta. Lisäksi avosiilojen muiden seinien eristäminen maavallein estää tehokkaasti reunojen jäätymisen.

Seinät tehdään yleensä valmiista betonielementeistä, joissa eristeenä on 25 - 80 mm paksuinen polystyreeni. Betoni toimii kylmäsiltaan. Puun käytön lisääminen rehusäilöjen seinämateriaalina olisi perusteltua muun muassa sen hyvän eristeominaisuuden kannalta.

Katetuissa laakasäilöissä valmiiden seinäelementtien eristys ei ollut riittävä, vaan ulkovuorauksen ja seinäelementin väliin on lisäeristeenä laitettava eriste villaa tai polystyreeniä. Ulkovuorauksen alkaessa seinäelementin päältä, voidaan ulkoeristeenä käyttää maainesta ja polystyreenikerrosta siiloelementin yläreunassa. Toinen vaihtoehto on eristää seinämä 70 - 80 mm polyuretaanikerroksella.

Kattamattoman säilön eristämiseen voidaan käyttää mm. yhtä olkipaalikerrosta. Sen päälle tuleva lumi toimii hyvänä suojana, sillä kuiva lumi vastaa eristeominaisuksiltaan eriste villaa. Katetun säilön pintakerros pysyy sulana, kun rehun päälle varastoidaan heinää tai olkia.

Tiloilla rehukakun siirtelyä oli helpotettu käyttämällä haarukkavaunua ja kuormalavaa tai siirtolavaa, jolloin vältetään ylimääräiseltä rehun talikoimiselta. Esikuivatun rehun siirtoon voidaan käyttää kääntyvällä yläkouralla varustettua työntotalikkoa. Rehukakut tulee siirtää ehjinä ruokintapöydälle, jotta vältetään turhalta työltä.

Välivaraston on oltava erillään navetan ilmatilasta, koska tällöin vältetään välivaraston lämpötilan ja suhteellisen kosteuden liialliselta nousemiselta. Välivarastossa tulee olla lämmitys, ilmastointi ja viemäri. Välivarasto on mitoitettava tarpeen mukaan niin, että siihen mahtuu 4 - 6 päivän rehuntarve. Navetan, välivaraston ja navetan yhteydessä olevien rehuvarastojen välillä ei saa olla kynnyksiä eikä korkeuseroja, jotka hankaloittaisivat rehun siirtoa.

Rehun sulaminen vie noin 80 kertaa enemmän energiaa kuin mitä sen lämpiäminen yhdellä asteella vie. Sulattavan lämmön johtuminen rehuun alakautta tapahtuu parhaiten asettamalla rehuannos lämmitettävälle lattialle. Kosteudentuotannon estämiseksi rehu tulisi välivarastossa peittää muovilla. Rehu sulaa parhaiten lämmön siirtyessä siihen johtumalla matalassa lämpötilassa.

Säteilylämmittimen infrapunalämpösäteet eivät lämmitä ilmaa, joten lämpöhäviöt jäävät pieniksi. Sen sijaan lämpöpuhaltimet ja keskuslämmityspatterit lämmittävät vain ilmaa, joka helposti kohoaa välivaraston yläosaan.

Säteilylämmittimen käyttö ei ole suositeltavaa, kun rehukakussa on jäätynyttä rehua paksultti. Lämmittimen lämpösäteet kohdistuvat rehun pintaan, joka sulaa ja kuivuu, jolloin siihen muodostuu eristekerros. Eristekerros estää lämmön siirtymisen syvemmälle rehuun. Toisaalta rehukakun pinnalla olevan ohuen jäätyneen rehukerroksen sulattaminen onnistuu nopeasti ja tehokkaasti säteilylämmittimen avulla. Sen hankinta on perusteltua myös tornisäilöön, jossa rehu pysyy lähes sulana ja lämmittimellä estetään pinnan jäätyminen.

## 7. SAMMANFATTNING

### Hantering av ensilage på vintern

Frysningsegenskaperna för ensilage studerades med hjälp av litteratur och laboratorieförsök. Dessutom studerades egenskaperna hos värmetäcken i laboratorieförsök. Också gårdsbesök företogs, varvid lantbrukarna intervjuades om sina erfarenheter av frostproblem, dimensioner och övriga förhållanden i byggnaderna registrerades och ensilageprover togs både i plansilo och mellanlager. Mellanlager avser ett rum mellan silo och djurstall där man tinar upp fruset ensilage.

Som följd av efterjäsning stiger ensilagens temperatur och torrsubstansförlusterna ökar. Förtorkat ensilage är känsligare för efterjäsning än direktskördat. När temperaturen i mellanlagret är under 10 °C, hålls ensilagens kvalitet god några dagar. Användning av blockskärare är motiverad eftersom den förbättrar ensilagens hållbarhet i mellanlagret, genom att den åstadkommer kompakta ensilageblock som syret inte tränger så lätt in i som i uppluckrat ensilage.

Ensilage som skördats med under 30 % torrsubstanshalt kan frysa, vilket

försvårar hanteringen av ensilaget. Förtorkat ensilage har mindre värmekonduktivitet än direktskördat. Förtorkat ensilage är också luckert, varför det till en del fungerar som sin egen isolering. Direktskördat ensilage fryser vid mellan  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  och  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  /5/.

För att förhindra frysning skyddas ensilagens snittyta med dubbel plastfolie och värmetäcke. Värmetäcken lönar det sig absolut att använda när utetemperaturen är under  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ned till denna temperatur kan frysning förhindras med dubbel plastfolie, såvida foderurtagning sker minst en gång per vecka. En förutsättning för att få snittytan ordentligt täckt är att den är så rät som möjligt. Med blockskärare hålls snittytan jämn. Med cylinder- och gräfskärare däremot blir snittytan ojämn, varvid omsorgsfull placering av värmetäckena försvåras. Värmetäcken förhindrar också ensilaget att värmas upp för mycket på våren. Vid anskaffning och val av värmetäcken lönar det sig att främst vinnlägga sig om att de har goda bruks- och isoleringsegenskaper.

Gårdsbesöken gjordes på 14 gårdar i Kajaland 13.2 - 7.3.1991. Gårdarnas produktionsbyggnader var i huvudsak uppförda efter 1985.

Fruset ensilage förekom i nästan alla silor med undantag för på två gårdar: Vintern var relativt mild, endast från mitten av januari till slutet av februari var en längre sammanhängande köldperiod.

I parallella plansilor åtskilda bara av en vägg är ett problem att vartefter den första silon töms, leds kölden genom mellanväggen till den andra, ännu fulla silon. Också en relativt mild vinter kan ensilaget i den andra silon på så sätt frysa 200 - 250 mm från mellanväggen, fastän denna är försedd med ett isoleringslager av 80 mm polystyren. På två gårdar hade de taklösa plansilorna en 180 cm bred jordvall mellan sig och tack vare denna hade ensilaget inte frusit intill betongelementen. På samma sätt förhindrar isolering av också de övriga väggarna i taklösa silor ensilaget att frysa runt kanterna.

I takförsedda plansilor var isoleringen i de prefabricerade betongväggelementen inte tillräcklig, utan de bör förses med tilläggsisolering. Om väggen mellan taket och betongelementen fortsätter ner som en fodring utanpå betongelementen, kan tilläggsisoleringen placeras däremellan i form av mineralull eller polystyren. Om sådan fodring utanpå betongelementen saknas, kan man som ytterisolering använda jordmassor samt ett polystyrenlager mot överdelen av betongelementen. Ett annat alternativ är att isolera väggen med ett 70 - 80 mm polyuretanlager.

Väggarna görs i allmänhet av prefabricerade betongelement, i vilka som isolering finns ett 25 - 80 mm tjockt polystyrenlager. Betong har en ofördelaktig egenskap att fungera som köldbrygga. Ökad användning av trä som siloväggmate-

rial vore motiverat bl.a. på grund av dess goda värmeisoleringsförmåga.

För isolering av taklösa silor kan man använda bl.a. ett lager halmbalar ovanpå ensilaget. Snö som därefter faller på ballagret fungerar som ett gott frostskydd, för torr snö motsvarar till isoleringsegenskaperna isoleringsull. Ytensilaget i en takförsedd silo hålls ofruset om man lagrar hö eller halm ovanpå.

Flyttandet av ensilageblocken hade på gårdarna underlättats genom att använda pallar och pallyft (gaffelvagn), varvid man undviker onödigt arbete med grepen. Förtorkat ensilage kan flyttas med en hjulförsedd klogrep, s.k. hamster. Ensilageblocken bör flyttas hela till foderbordet, så att onödigt arbete undviks.

Mellanlagret bör vara skilt från djurstallsluften, för att undvika för hög temperatur och relativ fuktighet i mellanlagret. Mellanlagret bör ha uppvärmning, ventilation och golvvavlopp. Mellanlagret dimensioneras enligt foderåtgång, så att det rymmer 4-6 dagars ensilagebehov. Mellan djurstall, mellanlager och silo får inte finnas trösklar eller nivåskillnader som försvårar ensilagetransporten.

Upptining av 0 °C fruset ensilage till 0 °C tinat ensilage kräver 80 gånger mer energi än att värma ensilaget med 1 °C. Konduktion dvs ledning av värmen underifrån till ensilageblocket sker genom att placera blocket på ett uppvärmbart golv. För att hindra fuktbildning i mellanlagret bör ensilaget täckas med plast. Ensilaget tinar bäst om värmen tillförs det genom konduktion i låg temperatur.

Strålningsvärmarens infraröda strålar värmer inte upp luften, varför värmeförlusterna med dessa är små. Däremot värmer värmefläktar och centralvärmeelement bära upp luften, vilken lätt stiger upp i mellanlagrets överdel.

Strålningsvärmare rekommenderas inte när det frusna lagret i ensilageblocket är tjockt. Värmestrålarna träffar fodrets yta vilken tinar och torkar, varvid den bildar ett isoleringslager som hindrar värmen att ledas djupare i blocket. Ett tunt lager av fruset ensilage i ytan av blocket å andra sidan tinar snabbt och effektivt med strålningsvärmare. Anskaffning av sådan är motiverat även i tornsilo, där den hindrar ytensilaget att frysa.

## 8. SUMMARY

Frost properties of grass silage were examined with help of literature and laboratory tests. Besides, properties of insulating covers were followed in laboratory. Also visits on farms were made to interview farmers on their experiences of frost problems. Also environmental measurements and silage samples taken in bunker silo and in intermediate store were done on the farms. An intermediate store is a room between the silo and the livestock room used for thawing frozen silage.

As a result of secondary fermentation temperature and dry matter losses increase. Wilted grass is more sensitive to secondary fermentation than direct harvested grass. When the temperature of intermediate store is under 10 °C, the quality of silage will stay good a few days. The use of block cutter is recommendable as it keeps quality of silage good in intermediate store, because block cutters make tight silage blocks into which oxygen can not penetrate into as fast as into loose silage.

Grass harvested under 30 % dry matter can freeze, which causes trouble in handling of silage. The thermal conductivity of wilted grass is smaller than that of direct harvested grass. Wilted grass is also loose, so it will partly work as its own insulation. Freezing of nonwilted silage mainly occur between -1 and -4 °C /5/.

Twofold layer of plastic and insulating cover are used to prevent the silage's section surface from freezing between unloadings. Use of insulating covers is absolutely recommended, when outside temperature is below -10 °C. Down to that point freezing can be prevented by using twofold plastic, as long as unloading is undertaken at least once a week. A condition of careful covering of the silage's section surface is that it is as straight as possible in lateral and vertical direction. The silage's section surface stays straight, when block cutter is used in unloading. Hoe cutters and cylinder cutters on the other hand leave the silage's section surface uneven, so that careful placement of insulating cover is difficult. Insulating covers are also used to prevent silage from becoming too warm in spring.

Visits on fourteen farms in Kainuu area took place between February 13th and March 7th 1991. Cow sheds and storage buildings on the farms had been built mainly after 1985.

Almost in all silos the silage was at least a little frozen except on two farms. The winter was quite mild, only from the middle of January to the end of February there was a longer continuous colder period.

A problem with bunker silos situated next to each other separated only by a wall, is that as the first silo is unloaded the cold is conducted through the partition wall to the next silo, which is still full of silage. Also in a fairly mild winter the silage can freeze 200 - 250 mm from partition in lateral direction, although the partition is insulated with an 80 mm polystyrene layer. The unroofed bunker silos of two farms were built with a 180 cm wide earthwork as insulation between the silos and therefore the silage had not frozen at all next to the concrete element. Besides, insulation of the other walls of unroofed silos with earthwork effectively prevents freezing of silage around the edges.

In roofed bunker silos the 20 - 50 mm insulation of pre-fabricated concrete wall

elements was not sufficient and therefore they should be supplemented with extra insulation. If the wall between the roof and the concrete elements extends down as a sheathing on the outside of the latter, the supplemental insulation can be put there between in form of mineral wool or polystyrene. When the sheathing begins from top of the concrete wall element, then earth and a polystyrene layer against the upper part of silo element can be used as outer insulation. Another alternative is to insulate the walls with a 70 - 80 mm thick polyurethane layer.

Silo walls are usually made of concrete elements including insulation of a 25 - 80 mm thick polystyrene layer. Concrete has a disadvantageous effect of acting as cold bridge. Increased use of wood as wall material would be reasonable in silage silos because of, among other things, its good insulation properties.

For instance among other things one layer of straw bales can be used as insulation of an unroofed silo. Snow that afterwards falls on top of the straw layer works as a good frost protection. Dry snow is almost as good insulation as insulation wool. In a roofed silo the top layer of silage does not freeze, when hay or straw is stored on top of silage.

On the farms moving of silage had been made easier by using a pallet on a forklift truck. For mowing of wilted silage can a grapple fork be used. Whole silage blocks should be moved whole to the feeding table, so that any unnecessary work is avoided.

The intermediate store should be separate from the air in the cow shed, because then temperature and relative humidity of the air in the intermediate store does not rise too high. Also there has also to be heating, ventilation and drainage. The intermediate store is dimensioned according to need, so that there is enough room for 4 - 6 days silage demand. Cow shed, intermediate store and silage silos should be connected to each other so that there are no steps and differences in elevation between them, that make moving of silage difficult.

Thawing of silage takes about 80 times more energy than it takes to heat silage with one degree. The thawing heat derivates the best way into silage block from below, so that the silage block is put on heated floor. To prevent evaporated humidity from condensing in the ceiling the silage block should be covered with plastic. Silage is thawed most effectively, when heat is conducted into it in low temperature.

The infrared rays of a radiation heater do not warm up air, so heat losses are small. Hot-air fans and radiators on the other hand warm up only the air, which will easily rises to upper part of the intermediate store.

Use of radiation heater is not recommended when there is a thick layer of frozen



silage in the block. The heat rays of the heater are directed to the surface of the silage, that will thaw and dry and form an insulation layer. The insulation layer prevents conduction of heat deeper into the silage. On the other hand, if the silage block has only a thin frozen layer at the surface it can be rapidly and effectively thawed with a radiation heater. Its acquisition is also well-justified in a tower silo, in which the heater prevents top layer of the silage from freezing.

**KIRJALLISUUSLUETTELO**

1. ANON. 1989. Säilörehun lämpöpeitteiden ryhmäkoetus. VAKOLAn koetusselostus 1281.
2. ANON. 1990. Katetuottomenetelmän mukaisia mallilaskelmia. Maatalouskeskusten Liitto. Suunnitteluosaston sarja A 16.
3. BERGE, E. 1968. Frost i silofor (Surfor). Norges Landbrukshøgskole. Institutt for bygningsteknik. Meld. 47:1-179.
4. BERGE, E. 1969. Frost i surfor. Norges Landbrukshøgskole. Institutt for bygningsteknik. Meld. 51:1-45.
5. BERGE, E. 1971. Frost loads on forage silos in Norway. Norges Landbrukshøgskole. Institutt for bygningsteknik. Meld. 61:1-10.
6. BERGE, E. 1972. Frost protection of silage silos. Norges Landbrukshøgskole. Institutt for bygningsteknik. Meld. 64:1-38.
7. BERGE, E. & AARVOLD, O. 1974. Some physical properties of grass silage. Norges Landbrukshøgskole. Institutt for bygningsteknik. Meld. 70:1-32.
8. JIANG, S., JOFRIET, J.C. & MITTAL, G.S. 1986. Thermal properties of haylage. Trans. of the Am. Society of Agric. Engineers. 2:601-605.
9. VIRTANIEMI, J. 1989. Säilörehun välivaraston käyttö palaleikkurilla irrotetun säilörehun jatkokäsittelyssä. Helsingin Yliopisto. Maatalouteknologian laitos. Pro-gradu työ. 77s.

## VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUKSIA

- | No  | Nimi  |
|-----|---|
| 49. | SCHÄFER, W. & AHOKAS, J. Maatalouskoneiden tietokanta. 1988.  |
| 50. | KARHUNEN, J., AARNIO, K. & MYKKÄNEN, U. Lannanpoistolaitteiden toiminta ja kestävyys. 1988.   |
| 51. | KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset. 1988.   |
| 52. | PUUMALA, M., MANNI, J. & SARIN, H. Tuotantorakennusten suunnittelu ja rakentaminen käytännössä. 1988  |
| 53. | MATTILA, T. & VIROLAINEN, V. Hellävarainen perunankorjuu. 1989.   |
| 54. | MIKKOLA, H. Syyskyntöä korvaavien muokkausmenetelmien vaikutus kevätvehnän satoon 1975-1988. 1989.<br>PITKÄNEN, J. Pitkäaikaisen aurattoman viljelyn vaikutukset hiesusaven rakenteeseen ja viljavuuteen. 1989. |
| 56. | KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. Kosteiden pintojen kosteudentuotanto navetoissa. 1989.  |
| 57. | SARIOLA, J., TUUNANEN, L., PAAVOLA, J. & AHOKAS, J. Kylmäilma-kuivurin mitoitus ja käyttö. 1990   |
| 58. | MÄKELÄ, J. & LAUROLA, H. Leikkuupuimurin kulkukyky vaikeissa olosuhteissa. 1990.  |
| 59. | KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. Lietelantajärjestelmien toimivuus. 1990.  |
| 60. | SUOKANNAS, A. Heinän varastokuivaus. 1991.  |
| 62. | SUOKANNAS, A. Säilörehun siirto ja käsittely talvella. 1991.  |

