

Instituut voor
Agrotechnologisch
Onderzoek
ATO-DLO
Bornsesteeg 59
Postbus 17
6700 AA Wageningen



386

I-156

Voortgangsrapportage juli-
december 1998 en eindrapportage
MODEM-project

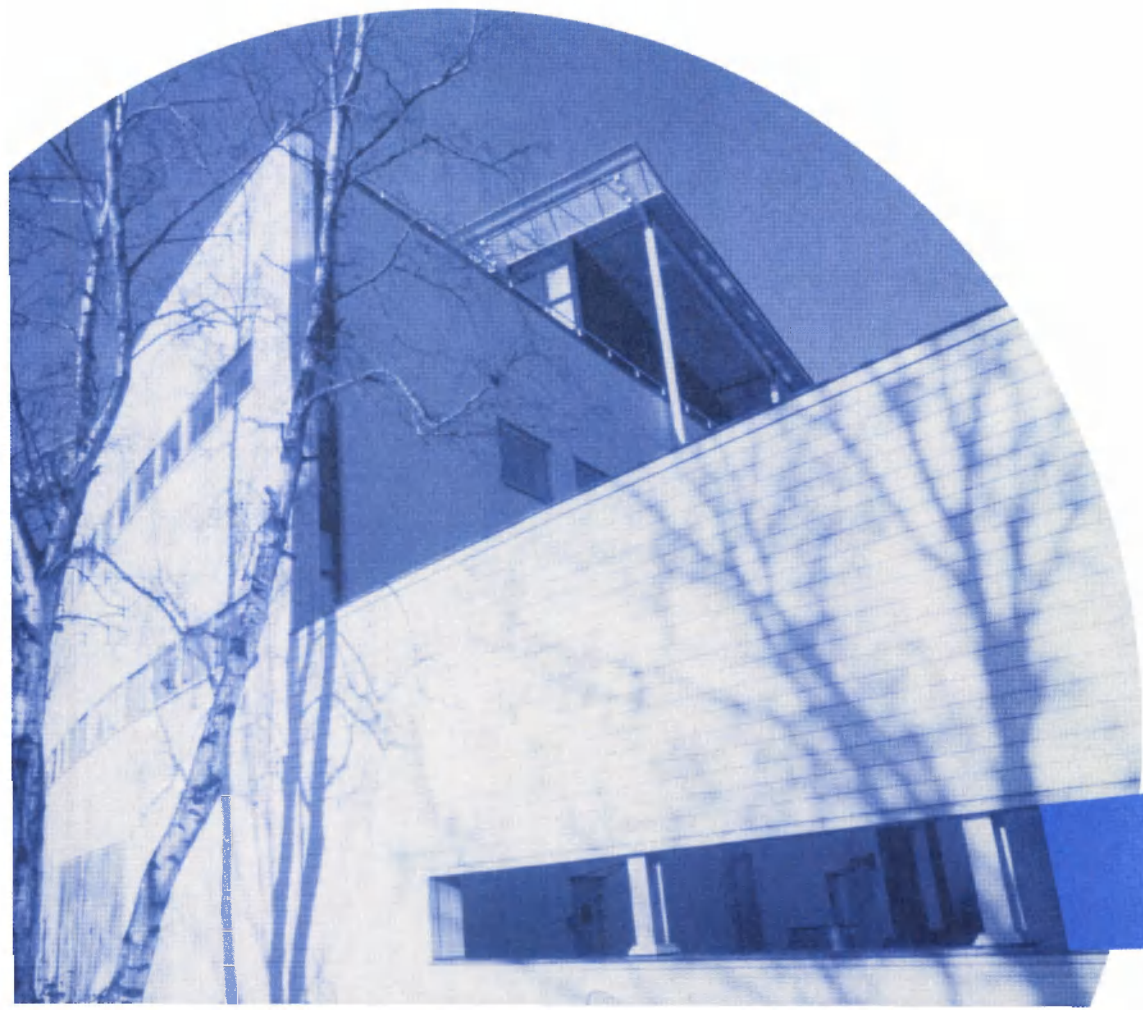
MODEM

Modelgebaseerde Regeling voor
Optimale Aardappelbewaring

G. Verdijk
P. Hak
M. van Hoof

VERTROUWELIJK

Rapportnummer B 389, 1999-02-09



ato-dlo



ato-dlo

MODEM

Modelgebaseerde Regeling voor
Optimale Aardappelbewaring

Voortgangsrapportage juli-december 1998 en
Eindrapportage MODEM-project

VERTROUWELIJK

| | |
|-----------------------|---|
| projectleider | G. Verdijck |
| projectgroep | P. Hak M. Hoving G. van der Kolk J. van Maldegem |
| medewerkers | M. van Hoof W. van Kleef M. van Ooijen H. Sewtahal K. Sinke |
| eindverantwoordelijke | C. Ceon |

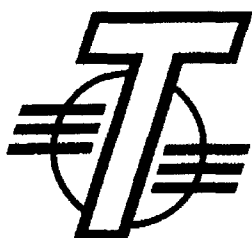
**Agrotechnological
Research Institute
(ATO-DLO)**
Bornsesteeg 59
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
The Netherlands
Telephone: 31.317.475000
Fax: 31.317.475347

Research on:
post harvest physiology
and quality parameters
storage and cell and
molecular biology
product development
logistic expert systems and
computer image analyses

2252376

MODEM

Modelgebaseerde Regeling voor Optimale Aardappelbewaring



Tolsma Techniek b.v.
Postbus 165
8300 AD Emmeloord



Hoving Automatisering
Reigerweg 21
3897 Zeewolde



Dacom Automatisering
Postbus 2243
7801 CE Emmen



ato-dlo
Postbus 17
6700 AA Wageningen

een project gesubsidieerd door

SENER

Den Haag

onder projectnummer

ITU96007

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | DOEL VAN HET PROJECT | 3 |
| 1.2 | DOELSTELLING..... | 3 |
| 2 | PROJECTPLANNING | 4 |
| 3 | RESULTATEN JULI - DECEMBER 1998 | 6 |
| 4 | PRODUCTMETINGEN | 7 |
| 4.1 | INLEIDING | 7 |
| 4.2 | SEIZOEN 1997/1998: SAMENVATTENDE CONCLUSIES BEWAARONDERZOEK | 7 |
| 4.3 | SEIZOEN 1998-1999 | 7 |
| 4.3.1 | <i>Praktijkpartijen: bewaarexperimenten</i> | 7 |
| 4.3.2 | <i>Praktijkpartijen: koudestootproef</i> | 8 |
| 4.3.3 | <i>Oogsttijdstippenproef: opzet</i> | 8 |
| 4.3.4 | <i>Oogsttijdstippenproef: koudestootproef</i> | 9 |
| 5 | SCHUURMETINGEN | 15 |
| 5.1 | INLEIDING..... | 15 |
| 5.2 | PROEFBOERDERIJ DE EEST | 15 |
| 5.2.1 | <i>Cel 29</i> | 15 |
| 5.2.2 | <i>Cel 30</i> | 16 |
| 5.2.3 | <i>Cel 31</i> | 17 |
| 5.2.4 | <i>Cel 32</i> | 18 |
| 5.2.5 | <i>Cel 33</i> | 19 |
| 5.2.6 | <i>Cel 34</i> | 19 |
| 5.3 | BEWAARPLAATS M. HOVING..... | 20 |
| 5.4 | SAMENVATTING EN CONCLUSIES..... | 21 |
| 6 | SCHUURMODEL | 22 |
| 7 | REGELING..... | 23 |
| 7.1 | REGELAARSTRUCTUUR | 23 |
| 7.2 | RESULTATEN WERKING REGELAAR | 24 |
| 8. | PROTOTYPE | 30 |
| 8.1 | HUIDIGE STAND VAN ZAKEN | 30 |
| 8.1.1 | <i>Implementatie</i> | 30 |
| 8.1.2 | <i>Problemen</i> | 30 |
| 8.1.3 | <i>Probleemaanpak</i> | 30 |
| 8.1.4 | <i>Vervolg bewaarseizoen</i> | 31 |
| 8.2 | RESULTATEN BEWAARSEIZOEN 1998-1999..... | 31 |
| 8.3 | CONCLUSIES | 35 |
| 9. | VERDERE PLANNING..... | 36 |

1 Doel van het project

1.1 Probleemstelling

Binnen de aardappelindustrie vinden een aantal ontwikkelingen plaats:

- de eisen met betrekking tot de kwaliteit van frites of chips van de consument worden hoger
- de eisen aan de kwaliteit van de aardappelen vanuit de verwerkende industrie worden hoger
- de concurrentie vanuit het buitenland (Oostblok) wordt sterker (voorlopig op prijs in de toekomst op kwaliteit?)

Met het oog op bovenstaande punten is het van groot belang dat de kwaliteit van de Nederlandse aardappel verder te verbeteren. De kwaliteit van aardappelen tijdens bewaring wordt sterk bepaald door de uitgangskwaliteit van aardappelen bij oogst en het bewaarklimaat in de bewaarschuur (voornamelijk temperatuur en relatieve luchtvochtigheid). Door een uitgekende geïntegreerde benadering van de aardappelbewaring vanuit thermodynamische en fysiologische kennis in combinatie met teelt- en weersgegevens is het mogelijk de kwaliteit van de Nederlandse aardappelbewaring verder te verbeteren.

1.2 Doelstelling

Tolsma Techniek stelt zich ten doel om in samenwerking met de automatiseringsbedrijven Dacom en Hoving en het onderzoek instituut ATO-DLO een prototype van een procesapplicatie te ontwikkelen die het klimaat in een aardappelbewaarschuur optimaal kan aansturen met betrekking tot de kwaliteit van de aardappelen (uitgedrukt in bakkleurindex, uitdroging en energieverbruik).

Hiertoe worden ontwikkeld: (a) een fysiologisch model dat de aardappelkwaliteit beschrijft, (b) een thermodynamisch model dat het klimaat in de aardappelschuur beschrijft en (c) een (MPC gebaseerde) regeling die op basis van de eerdergenoemde modellen en andere noodzakelijke informatie de technische installatie van de bewaarschuur aanstuurt. Naast de informatie die door de modellen wordt gegenereerd wordt in de regeling tevens rekening gehouden met het weer en de weersvoorspelling. Hiertoe wordt de procescomputer gekoppeld (d) aan een netwerk. Via dit netwerk wordt de applicatie voorzien van de nodige informatie omtrent het weer en andere procesparameters (bijvoorbeeld informatie over de teelt of de ziekteverspreiding onder de aardappelen).

Het ontwikkelde systeem moet in staat zijn om de technische installatie in de bewaarschuur zodanig aan te sturen dat een significante verbetering wordt bereikt met betrekking tot:

- de kwaliteit (bakkleurindex) van de aardappelen bij aflevering
- het percentage uitval (afgekeurde partijen) bij de verwerkende industrie.

2 Projectplanning

Het *MODEM* project is onderverdeeld in 4 hoofd taken (A t/m D):

- A** Het fysiologisch model van de aardappel
- B** Het fysisch model van de aardappelschuur
- C** De regelstrategie
- D** De integratie van de deelsystemen en de prototype ontwikkeling

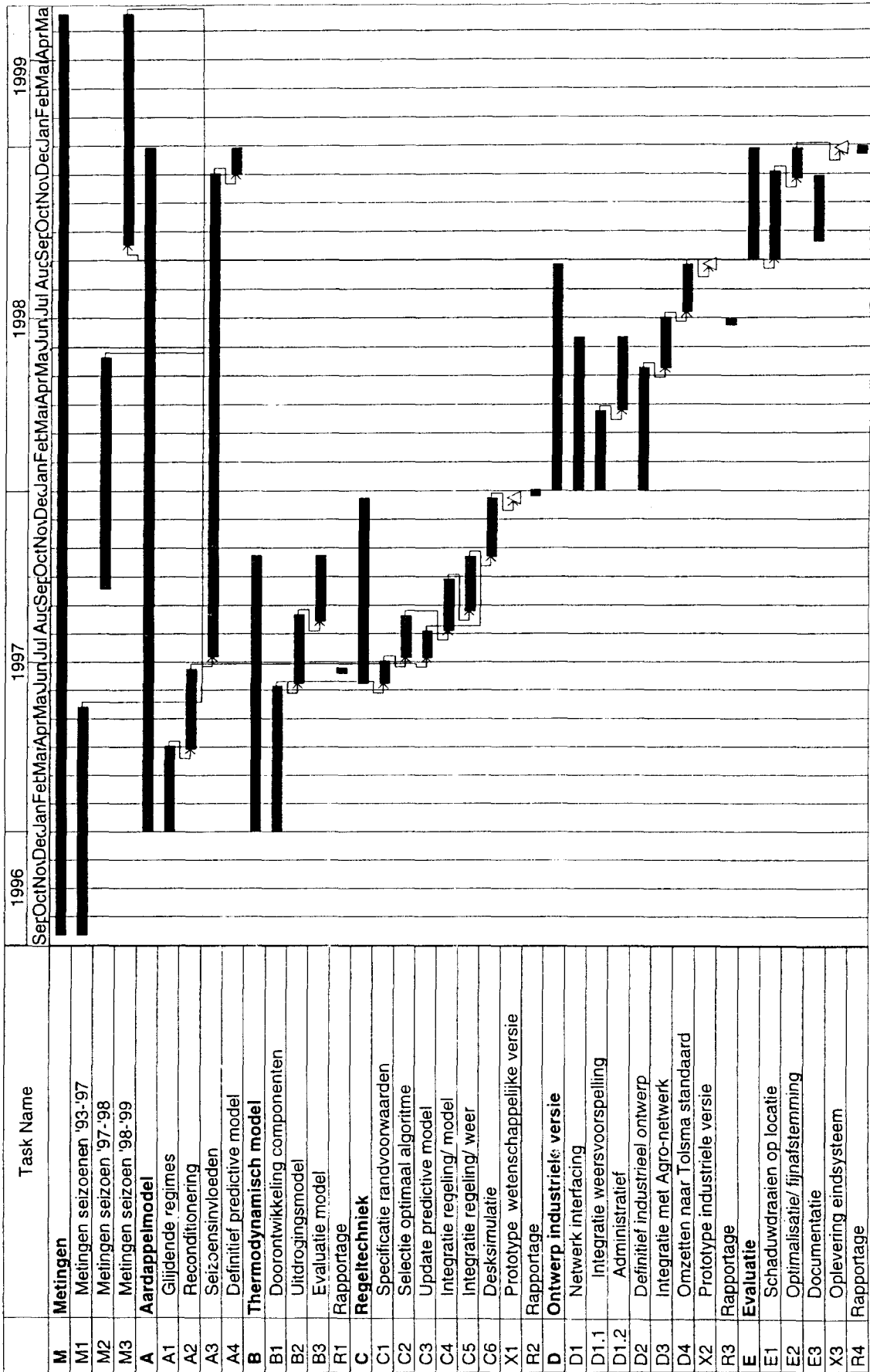
Naast deze vier hoofdtaken zijn nog een aantal andere taken te onderscheiden, te weten:

- M** Metingen in de praktijk
- E** Evaluatie/ optimalisering
- R** Rapportage

Het vierde halfjaar van dit project stond volgens planning (blz. 5) in het teken van het ontwikkelen en testen van een industrieel prototype. In dit laatste halfjaar van het project stonden twee milestones gepland. De eerste milestone was eind augustus 1998 en betrof de uiteindelijke versie van het prototype dat getest zou worden. Dit is gerealiseerd. De tweede milestone eind december 1998 betrof de evaluatie van het prototype, zoals dat op twee locaties is geplaatst. Aangezien het bewaarseizoen 1998-1999 nog lopende is, zal in dit rapport een evaluatie worden gegeven met de gegevens die op dit moment beschikbaar zijn. Over het geheel genomen is de geboekte voortgang in overeenstemming met de verwachte voortgang volgens de planning. In dit halfjaarlijkse verslag (R4) zal van deze voortgang verslag worden gedaan.

Gedurende het vervolg van het bewaarseizoen 1998-1999 wordt het prototype verder getest en indien nodig aangepast. Tevens zal het prototype tot een verkoopbare systeemmodule worden omgezet. De metingen aan de bewaarcondities van de bewaarplaatsen die met het prototype zijn uitgerust en aan het product dat er ligt opgeslagen lopen door tot aan het einde van dit bewaarseizoen.

MODEM PLANNING



Milestone △ Summary ■

3 Resultaten juli - december 1998

In dit vierde halfjaarlijkse verslag wordt de voortgang besproken van het *MODEM* project tijdens de periode juli tot december 1998. In de volgende hoofdstukken wordt een overzicht gegeven van achtereenvolgens:

Hoofdstuk:

4 Productmetingen Tijdens het lopende bewaarseizoen 1998-1999 worden metingen gedaan, zowel in praktijk bewaarplaatsen als onder experimentele omstandigheden in de bewaarfaciliteiten van ATO-DLO. Via maandelijkse wegingen en suikerbepalingen worden de gewichtsverliezen en bakkleurindex/suikerconcentraties bepaald. De resultaten worden door de regelaar gebruikt om de optimale bewaar temperatuur te bepalen. Voor de partijen van beide locaties zijn stootproeven uitgevoerd voor de bepaling van de initiële $E_{n_{cold}}$ -waarde. Tevens wordt er een oogsttijdstippenproef uitgevoerd. Van de verschillende partijen in deze proef is ook een koudestootproef uitgevoerd.

5 Schuurmetingen Op twee locaties worden in het bewaarseizoen 1998-1999 metingen verricht aan de bewaarcondities ten aanzien van temperatuur, en ventilator draaiuren. Deze gegevens worden gebruikt om het schuurmodel extra te controleren en worden gebruikt om de prestatie van de ontwikkelde regelaar te evalueren. De meetgegevens zijn in dit hoofdstuk gedocumenteerd. Verder wordt een kort overzicht gegeven van de resultaten van de metingen die in kader van dit project zijn uitgevoerd.

6 Schuurmodel Aan de hand van uitgevoerde metingen is een schuurmodel gevalideerd. In hoofdstuk 5 wordt een kort overzicht gegeven van de belangrijkste resultaten m.b.t. de modelvorming van de bewaarplaats.

7 Regeling De ontwikkelde MPC regeling is na uitvoering van simulaties met de ontwikkelde modellen omgezet tot een prototype. In dit hoofdstuk wordt de uiteindelijke regeling kort en bondig beschreven.

8 Prototype Het prototype dat is ontwikkeld is vanaf oktober 1998 tot december 1999 getest op twee locaties. Naar aanleiding van de testen is het prototype verbeterd en zal nog gedurende de rest van het bewaarseizoen 1998-1999 testdraaien. In dit hoofdstuk wordt het uiteindelijke prototype beschreven en worden de verbeteringen n.a.v. de testen besproken.

4 Productmetingen

4.1 Inleiding

De productmetingen zijn er op gericht om gegevens te verzamelen die kunnen dienen voor het uitbouwen van het beschrijvende verzoetingsmodel tot een voorspellend model. Het aspect dat hierbij centraal staat is de karakterisering van partijen aardappelen op de mate van afrijping, en daarmee op bewaarpotentie. Hiervoor is de afgelopen periode het onderzoek met de cultivar Bintje, afkomstig van een praktijkbedrijf en van ATO proefbedrijf 'De Eest', en het oogsttijdstippenonderzoek met negen verschillende cultivars voortgezet.

4.2 Seizoen 1997/1998: Samenvattende conclusies bewaaronderzoek

De in voortgangsrapport B 347 (juli '98) gegeven voorlopige resultaten van het materiaal van het oogsttijdstippenonderzoek van Bintje en Asterix van bewaarperiodes 1997/1998 zijn bevestigd.

De bakkleuren van de regimes $14 \rightarrow 4 \rightarrow 14^\circ\text{C}$ en $14 \rightarrow 6 \rightarrow 14^\circ\text{C}$ van Asterix en Bintje zijn gemiddeld beter dan de constante temperaturen 4°C en 6°C . Voor $14 \rightarrow 8 \rightarrow 14^\circ\text{C}$ t.o.v. 8°C zijn de gevonden verschillen niet zo groot. De verschillen in gewichtsverlies tussen bewaring bij een constante temperatuur t.o.v. een regime zijn in het algemeen niet groot. Alleen aan het einde van de lange bewaring (na 300 bewaardagen) kunnen de verschillen oplopen tot enkele procenten. Bij het ras Bintje moet bovendien rekening worden gehouden met ouderdomsverzoeting. Dit verschijnsel treedt vooral op bij hogere bewaartemperaturen (8°C en $14 \rightarrow 8 \rightarrow 14^\circ\text{C}$). Verder is bij beide rassen duidelijk naar voren gekomen dat het bewaarresultaat wordt beïnvloed door het oogststadium. Latere oogsten (beter uitgerijpt materiaal) lieten bij eenzelfde bewaartemperatuur steeds een beter bewaarresultaat zien in termen van een lager niveau aan hexose en een betere bakkleur. Onrijper materiaal is dus gevoeliger voor lagere temperaturen tijdens de bewaring. Met regimes is dan ook de meeste winst te behalen bij partijen die niet volledig zijn afgerijpt en daarmee gevoeliger zijn voor koudeverzoeting.

Bij aanvang van de bewaring (herfst '97) is aan de hand van de resultaten van de temperatuurstootproeven met het verzoetingsmodel een schatting gemaakt van de rijpheidsindex (E_{cold}) voor alle oogsten van Bintje en Asterix van de oogsttijdenproef. Aan het einde van het bewaarperiode zijn de E_{cold} -waarden definitief bepaald en vergeleken met de gevonden waarden uit de bewaarperiodes. De uit de koudestootproeven geschatte E_{cold} -waarden aan de hand waarvan een voorspelling is gemaakt van het hexose-verloop gedurende de lange bewaring bleek, met name voor het ras Bintje, vrij goed overeen te komen met de realiteit.

4.3 Seizoen 1998-1999

4.3.1 Praktijkpartijen: bewaarperiodes

Voor het Modemproject zijn in september/oktober 1998 cellen met aardappelen van het ras Bintje gevuld voor bewaarexperimenten. Het betrof een grote bewaarplaats bij een praktijkbedrijf dat ook het vorige seizoen bij het bewaaronderzoek was betroffen en zes bewaarcellen op ATO proefbedrijf 'De Eest'. De bewaarplaats op het praktijkbedrijf is rond 25 september gevuld met Bintjes van dit bedrijf en cel 29 van 'De Eest' is op 25 september ook gevuld met Bintjes van genoemd praktijkbedrijf. Zo spoedig mogelijk hierna zijn op 'De Eest' vijf cellen gevuld met een partij Bintjes van 'De Eest'. Van de bewaarplaats en bewaarcellen zijn uit de betreffende partijen netmonsters samengesteld en ca. 75 cm diep ingegraven in de aardappelhoop. Via maandelijks wegingen en bepalingen wordt van iedere bewaareenheid het verloop van de gewichtsverliezen en verwerkingskwaliteit, in termen van suikers en bakkleur, gevolgd tijdens de bewaring. Het verloop van de bakkleur-index vanaf inslag tot begin januari 1999 is weergegeven in figuur 1. Het is de bedoeling de bewaring voort te zetten tot mei/juni '99.

4.3.2 *Praktijkpartijen: koudestootproef*

Van de Bintje partij van het praktijkbedrijf en ook van de Bintje partij van 'De Eest' is direct na de oogst, dus zonder wondheelperiode, materiaal opgeslagen bij 2°C gedurende 4 weken (koudestootproef). Direct bij opslag en wekelijks is tijdens deze periode bemonsterd om het verloop van het gehalte aan reducerende suikers (hexose) en sucrose te volgen. In figuur 2 zijn de resultaten van de koudestootproef van deze partijen weergegeven.

Aan de hand van de stijging van het hexosegehalte gedurende deze periode kan een schatting worden gemaakt van de parameter En_{cold} . Aan het eind van de bewaarperiode zullen de En_{cold} -waarden definitief worden bepaald en vergeleken met de gevonden waarden uit de bewaarexperimenten.

4.3.3 *Oogsttijdstippenproef: opzet*

In seizoen 1998/1999 worden 9 verschillende rassen in het onderzoek meegenomen. Drie rassen hiervan zijn eerder bij het bewaaronderzoek betrokken geweest en van de andere 6 rassen heeft men de verwachting dat ze belangrijk kunnen worden als fritesgeschikte aardappelen.

Met de rassen Bintje, Santana en Agria is een uitgebreid meetprogramma opgezet. Deze rassen zouden op 7 verschillende tijdstippen worden geoogst en gemeten waarbij bewaring zou plaatsvinden met materiaal van de 1e, 3e, 5e en 7e oogst. Door de weersomstandigheden is het echter bij 6 oogsttijdstippen gebleven. Van de andere rassen (Donald, Victoria, Solide, Cycloon, Remarka en Asterix) is parallel aan de eerstgenoemde drie rassen op het 1e, 3e en 5e oogsttijdstip materiaal geoogst en opgeslagen voor bewaaronderzoek.

Voor het bewaaronderzoek worden de aardappelen van het 1e en 5e oogsttijdstip jaarrond bewaard bij constante temperaturen van 4, 6 en 8°C en bij de regimes 14→4→14°C en 14→6→14°C. Van het 3e oogsttijdstip vindt bewaring plaats bij constant 6°C en bij het regime 14→6→14°C. Het loof werd steeds 14 dagen voor ieder oogsttijdstip vernietigd. Direct na de oogst volgde steeds eerst een wondheelperiode van ca. 13 dagen bij 14°C, waarna het materiaal werd opgeslagen bij de aangegeven bewaartemperaturen. Gedurende de bewaring wordt eens per maand de bakkleur-index en de suikergehalten bepaald.

Tevens zijn bij de rassen Bintje, Santana en Agria voor alle 6 oogsten op het tijdstip van loofvernietiging, oogst en einde wondheling (alleen voor de oogsten waarvan ook materiaal werd bewaard) monsters genomen van de dan aanwezige gemiddelde sortering voor:

- vriesdrogen t.b.v. biochemische analyses;
- opslag bij - 80°C t.b.v. moleculair biologische analyses;
- bepaling van suikers en bakkleur.

4.3.4 Oogsttijdstippenproef: koudestootproef

Van de rassen Bintje, Santana en Agria van alle 6 oogsttijdstippen en van de overige 6 rassen alleen van de oogsttijdstippen waarvan materiaal is opgeslagen, is direct na de oogst ook materiaal bij 2°C opgeslagen voor de koudestootproef. De resultaten van deze in de herfst van 1998 uitgevoerde metingen zijn samengevat in de figuren 3, 4 en 5.

Over deze resultaten kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt voor:

Bintje

De eerste twee oogsten laten de hoogste hexose-accumulatie zien. Hoe later het materiaal geoogst wordt, hoe minder accumulatie.

Santana

Bij dit ras liggen de verschillende oogsten wat dichterbij elkaar, maar ook hier springen de eerste twee oogsten er uit qua hexose-accumulatie.

Agria

Evenals bij Bintje wordt ook hier de grootste hexose-accumulatie gevonden bij de eerste twee oogsten.

Donald

Ook bij Donald is te zien dat hoe later het materiaal wordt geoogst hoe minder hexose-accumulatie er optreedt. Ditzelfde geldt voor *Victoria*, *Asterix* en *Solide*.

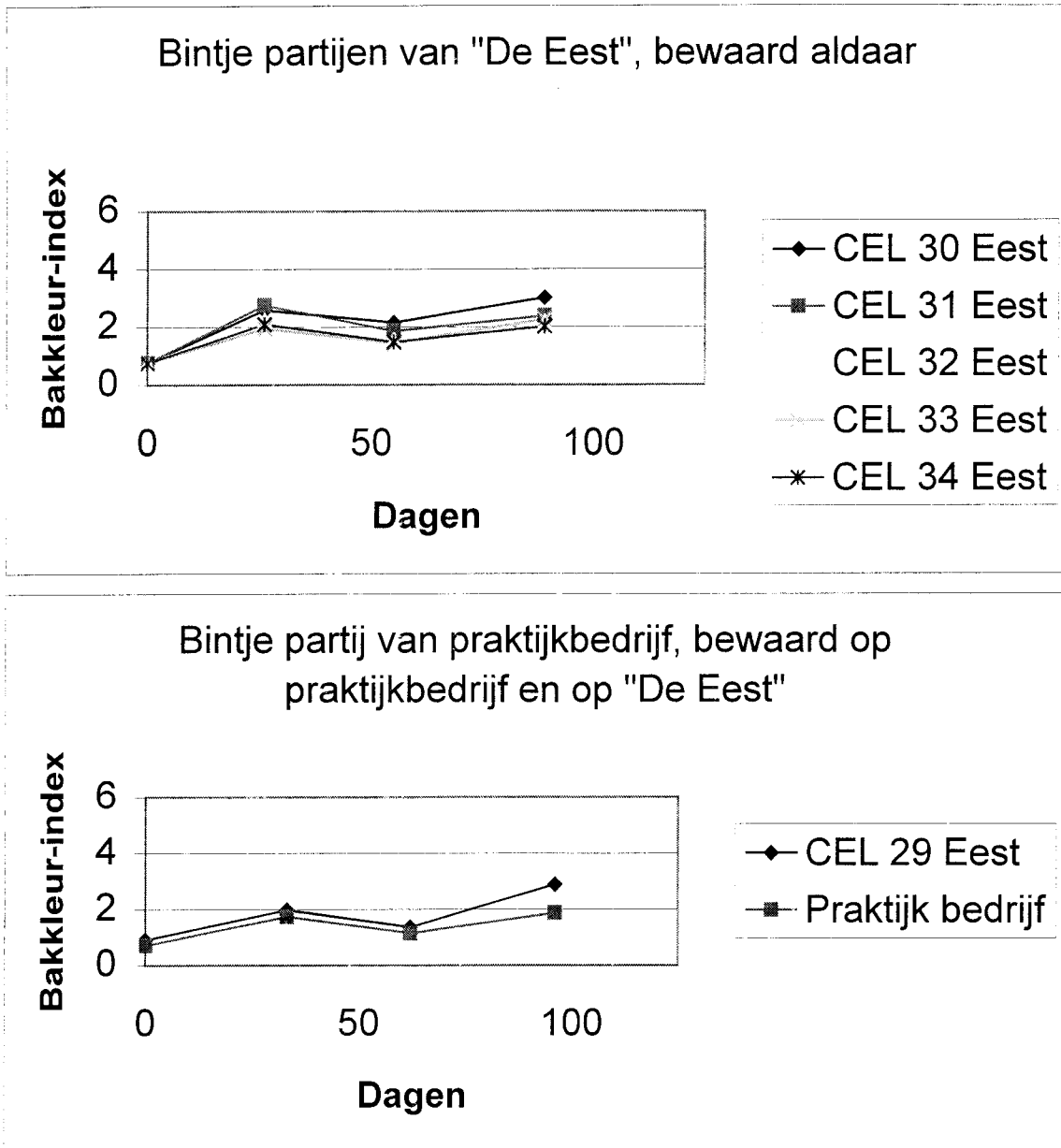
Remarka

Dit ras laat, ongeacht het oogsttijdstip, erg hoge waarden zien in hexose-ophoping. De eerste oogst is het hoogst.

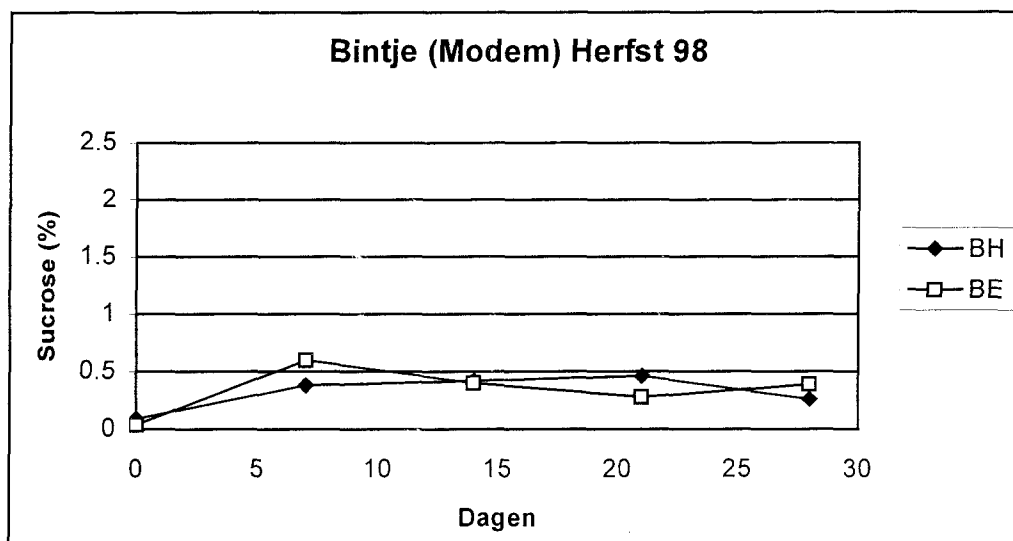
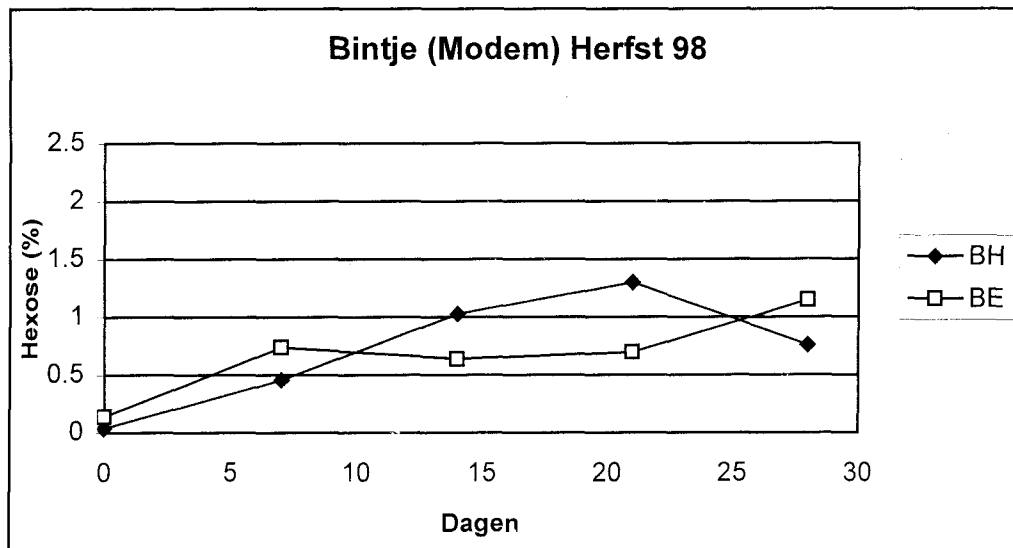
Cycloon

Dit ras laat weinig verschillen zien in hexose-accumulatie tussen de verschillende oogsttijdstippen.

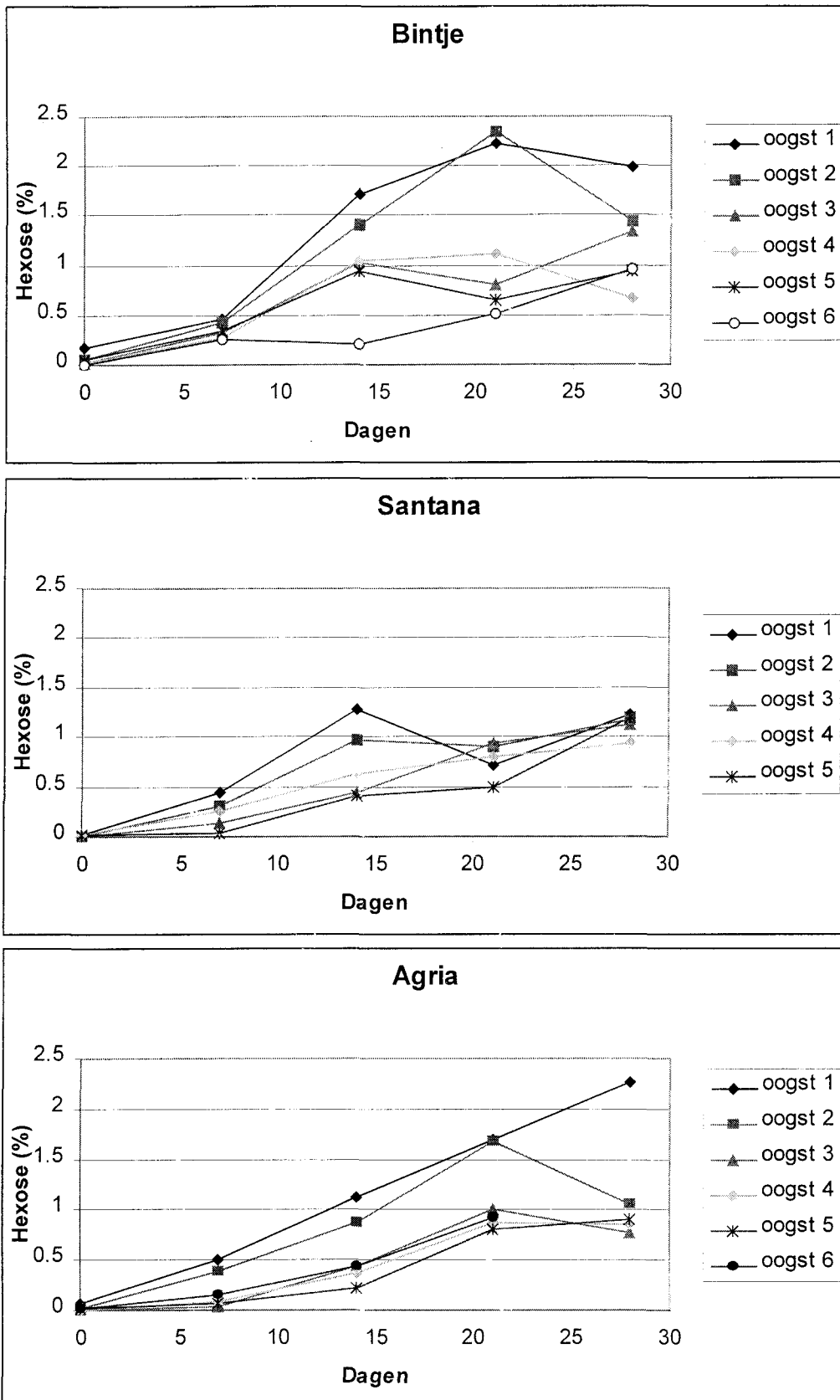
De resultaten van deze temperatuurstootproeven zullen worden gebruikt om met het verzoetingsmodel een schatting te maken van de rijpheidsindex per ras en oogsttijdstip. Aan het eind van het bewaarseizoen zal weer terugkoppeling plaatsvinden met de werkelijk gevonden waarden.



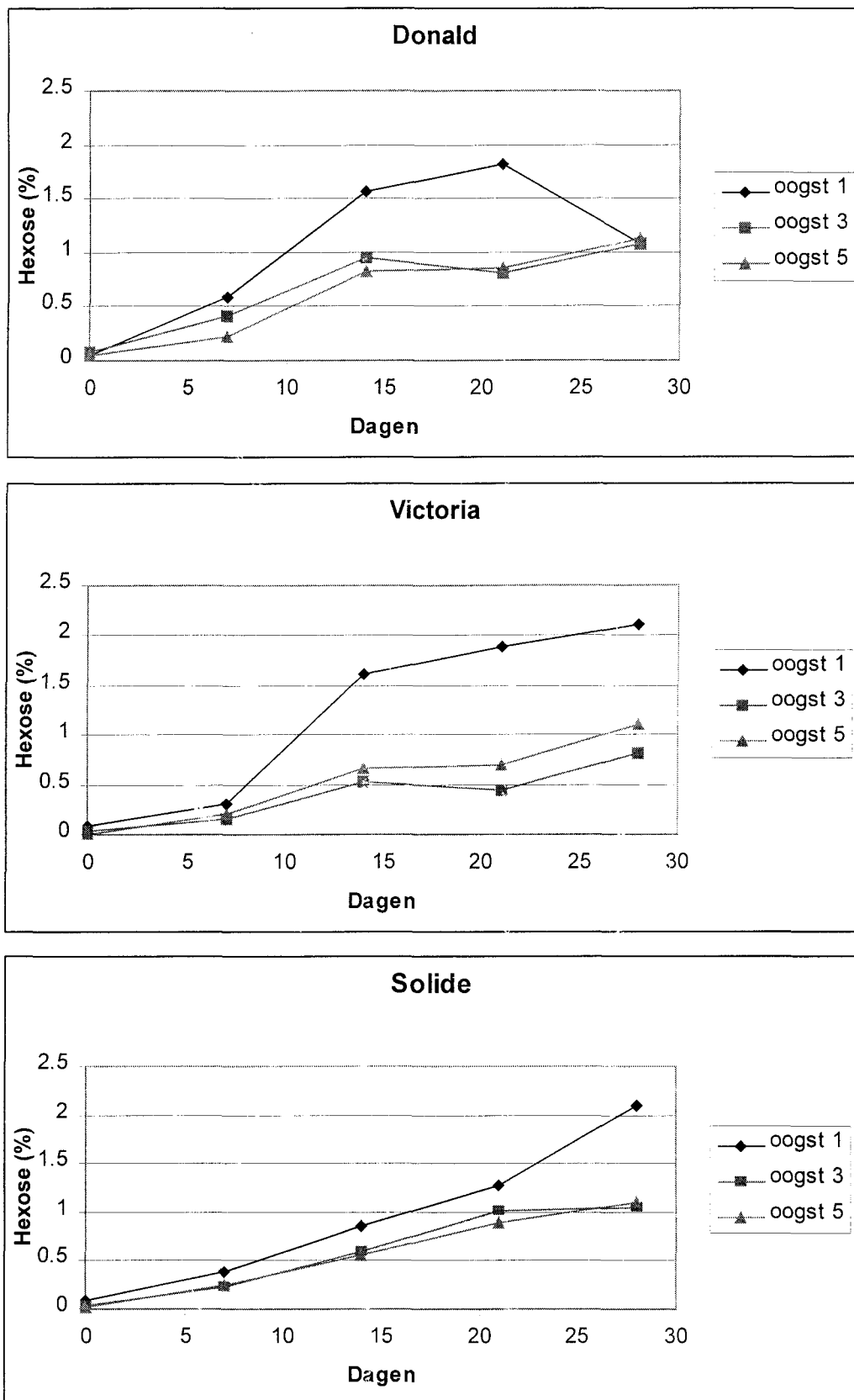
Figuur 4.1: verloop bakkleur-indices van de Modem objecten van eind september '98 tot begin januari '99



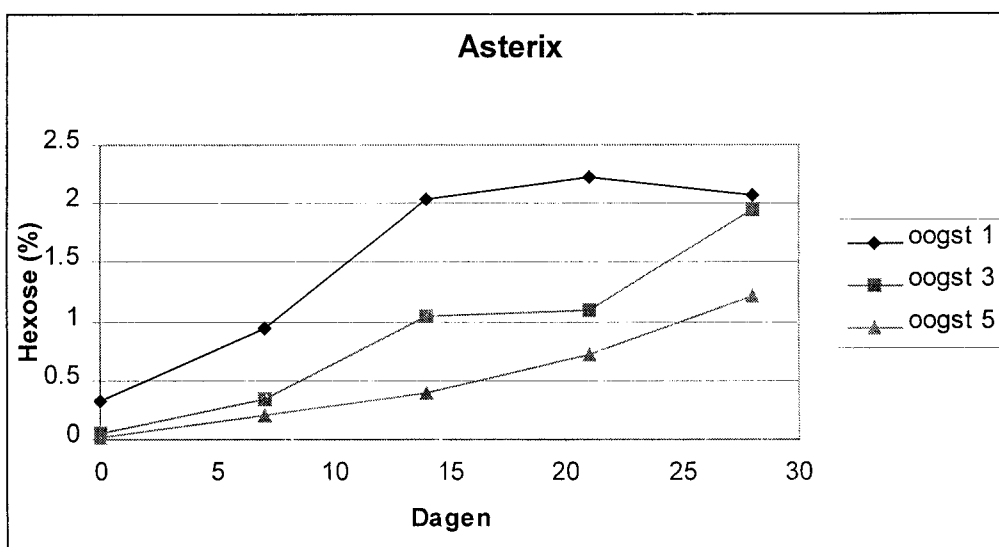
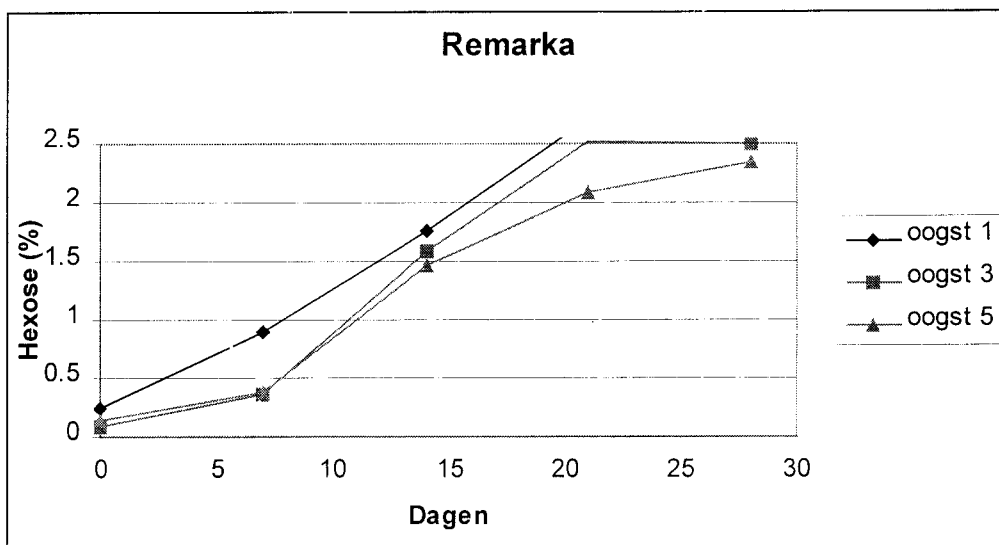
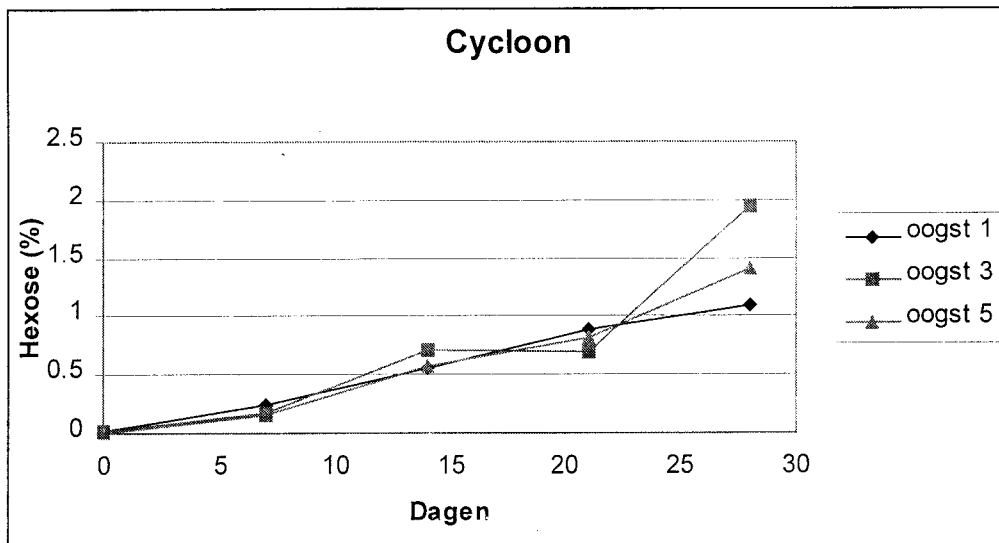
Figuur 4.2: accumulatie van reducerende suikers en sucrose van de partij Bintjes van "De Eest" (BE) en de praktijkpartij Bintjes (BH), tijdens de temperatuurstootproef herfst '98



Figuur 4.3: accumulatie van reducerende suikers van 6 verschillende oogsttijdstippen Bintje, Santana en Agria tijdens de temperatuurstootproef in herfst '98



Figuur 4.4: accumulatie van reducerende suikers van 3 verschillende oogsttijdstippen van Donald, Victoria en Solide



Figuur 4.5: accumulatie van reducerende suikers van 3 verschillende oogsttijdstippen van Cycloon, Remarka en Asterix

5 Schuurmetingen

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de meetresultaten besproken van de metingen die in het bewaarseizoen 1998-1999 zijn uitgevoerd op twee locaties:

- De proefboerderij de Eest;
- De bewaarplaats van M. Hoving.

Vanaf oktober 1998 tot en met december 1998 zijn de temperaturen en de draaiuren gemeten. Deze resultaten worden voor beide locaties besproken. De meetgegevens zijn gebruikt voor het ontwikkelen en het testen van het prototype.

5.2 Proefboerderij de Eest

Op proefboerderij de Eest zijn voor dit project zes cellen beschikbaar van grofweg drie bij drie meter. Deze cellen worden gedurende dit bewaarseizoen gebruikt voor het testen van het prototype. Om zoveel mogelijk testinformatie over de diverse onderdelen van het prototype te verkrijgen is onderstaande proefopzet in Tabel 5.1 gemaakt voor de zes cellen. Hierbij moet worden opgemerkt dat de scheduler, zoals wordt besproken in Hoofdstuk 7, altijd actief is.

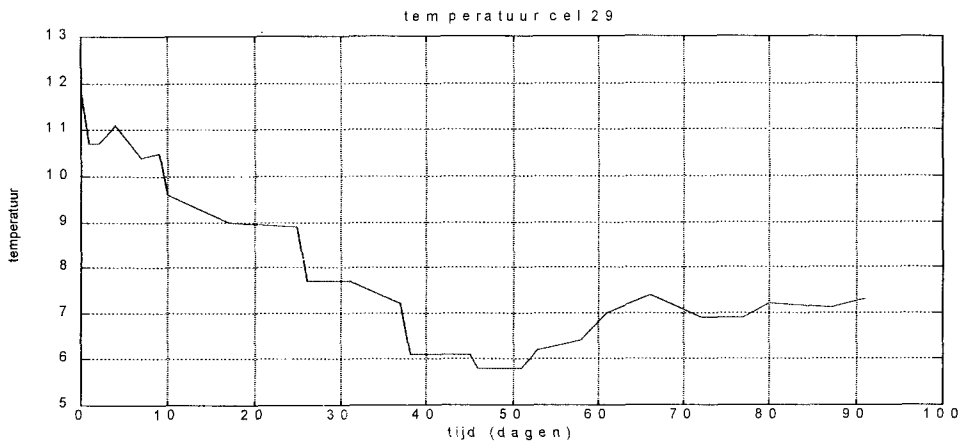
Tabel 5.1: Proefopzet locatie de Eest

| Bewaarlocatie: | Partij: | Celnum.: | Gebruik weersvoorspelling: | Gebruik regeling: |
|----------------|---------|----------|-------------------------------|----------------------|
| de Eest | Hoving | 29 | + | + |
| de Eest | de Eest | 30 | + | + |
| de Eest | de Eest | 31 | + | - |
| de Eest | de Eest | 32 | - | + |
| de Eest | de Eest | 33 | - | - |
| de Eest | de Eest | 34 | + | + |

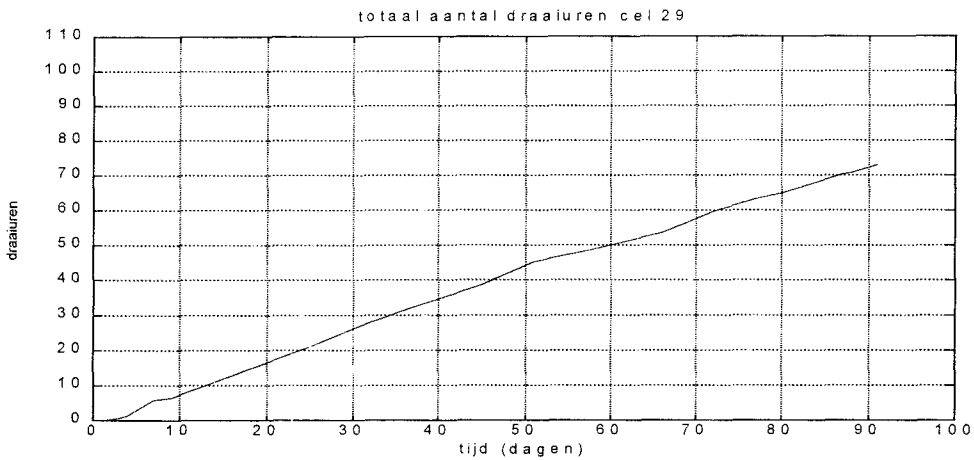
In de figuren 5.1-5.12 zijn de resultaten van de metingen die in de cellen zijn uitgevoerd weergegeven.

5.2.1 Cel 29

In Figuur 5.1 is het temperatuurverloop voor cel 29 weergegeven. De partij wordt volgens een geleidelijk regime bewaard. Dit betekent een geleidelijke afkoeling waarmee na 40 dagen vanaf dag 0 (19 oktober 1998) de bewaar temperatuur wordt bereikt. De scheduler, die in Hoofdstuk 7 besproken wordt, optimaliseert naar opbrengst en kosten van de bewaring om daarmee realistische kwaliteitsetpoints en draaiuren te krijgen. Voor de cellen op de Eest wordt duidelijk dat een hogere bewaar temperatuur van zo'n 7 graden het hoogste bewaarrendement oplevert. Het aantal draaiuren stijgt op regelmatige wijze gedurende de bewaring.

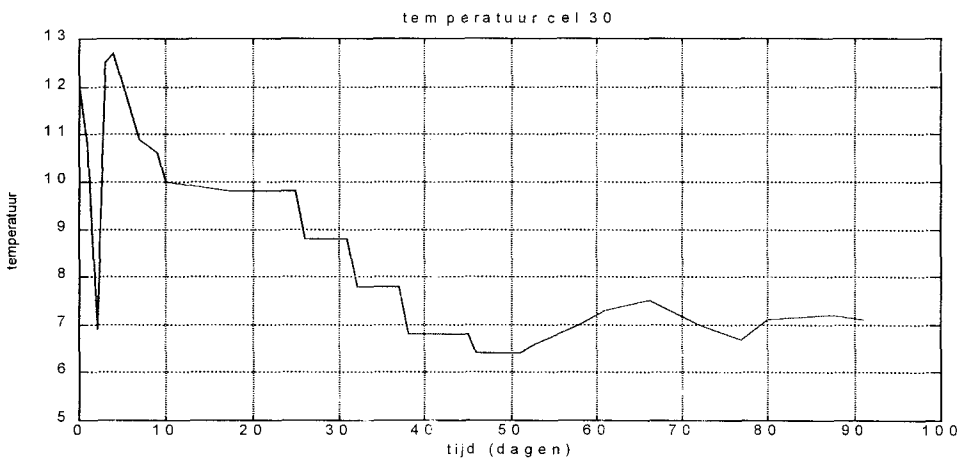


Figuur 5.1: celtemperatuur



Figuur 5.2: totaal aantal draaiuren

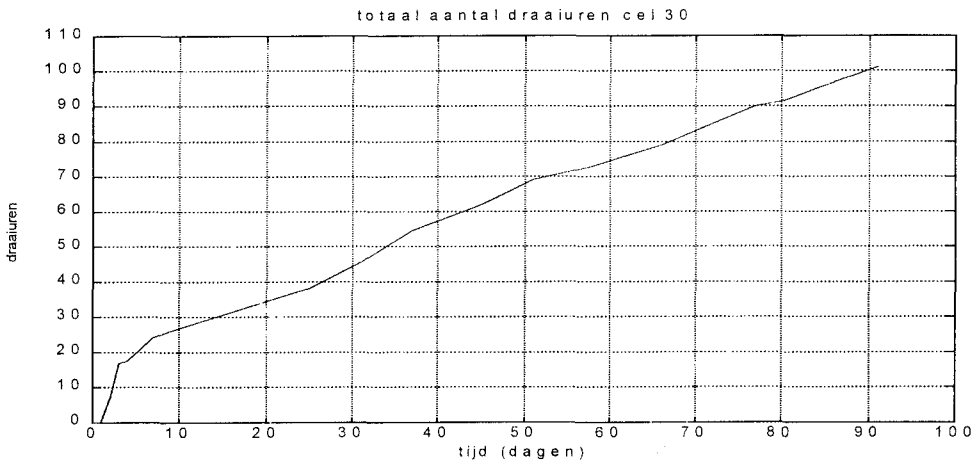
5.2.2 Cel 30



Figuur 5.3: celtemperatuur

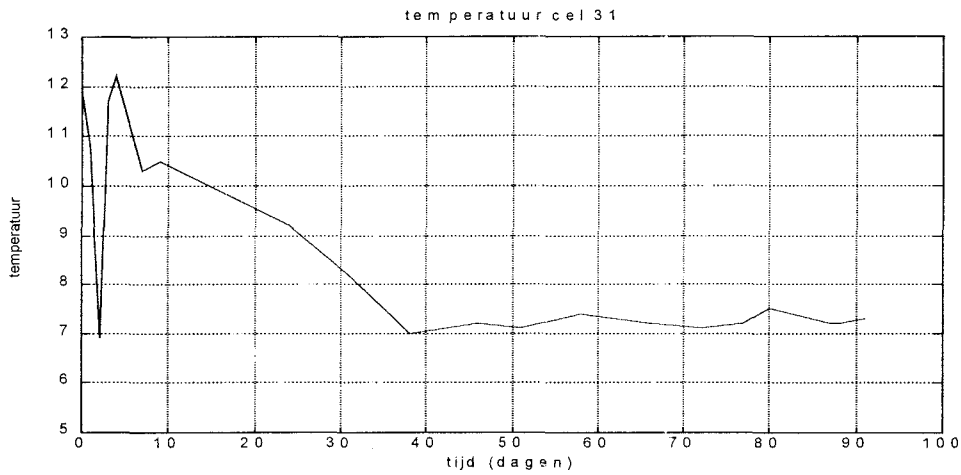
In de Figuren 5.3 en 5.4 staan het temperatuurverloop respectievelijk de ontwikkeling van het aantal draaiuren voor cel 30. De temperatuur van deze cel, en tevens van de cellen 31-34, vertoont in het begin een piek naar beneden. Storing in de communicatie met de

bewaarcomputer resulteerde in te lage te bereiken bewaartemperaturen. Door extra ventilatie zijn de aardappelen weer op de gewenste temperatuur gebracht om het geleidelijke regime zo optimaal mogelijk te kunnen volgen. De cellen 31-34 vertonen een soortgelijk verloop in temperatuur en totaal aantal draaiuren.

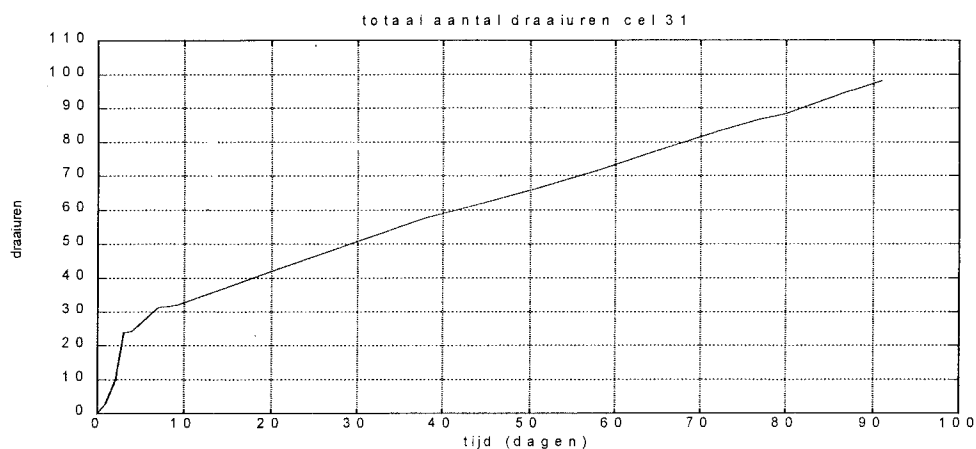


Figuur 5.4: totaal aantal draaiuren

5.2.3 Cel 31

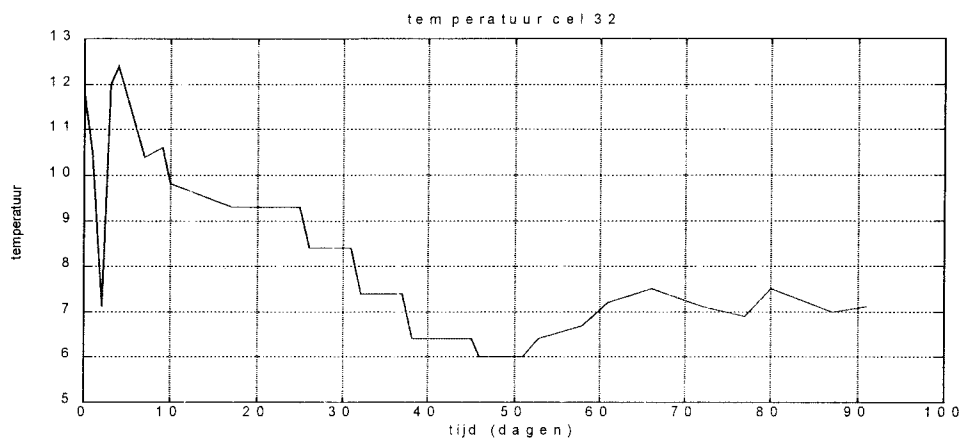


Figuur 5.5: celtemperatuur

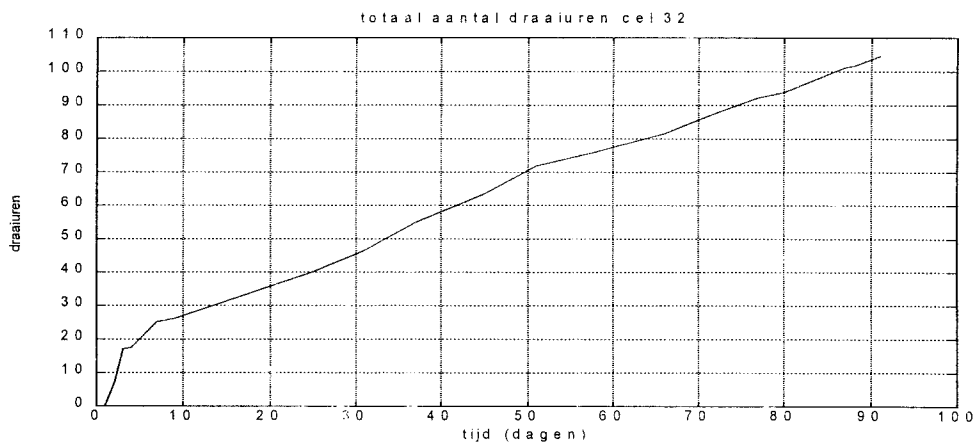


Figuur 5.6: totaal aantal draaiuren

5.2.4 Cel 32

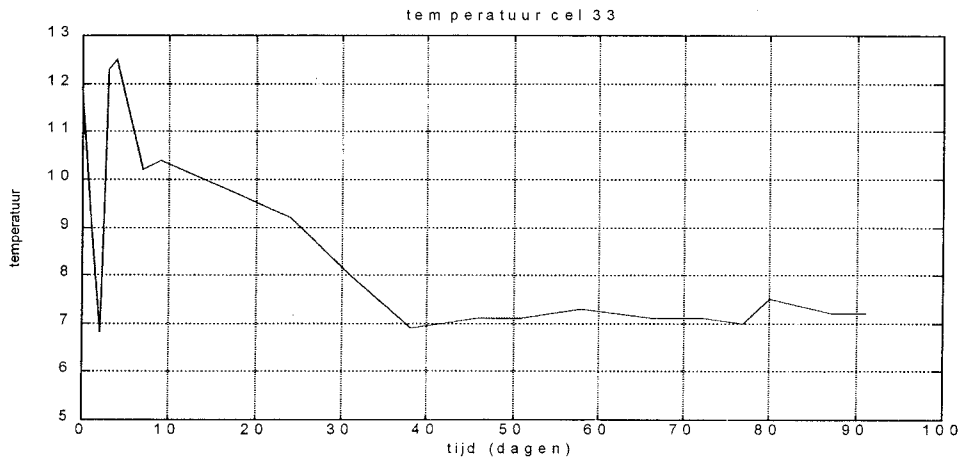


Figuur 5.7: celtemperatuur

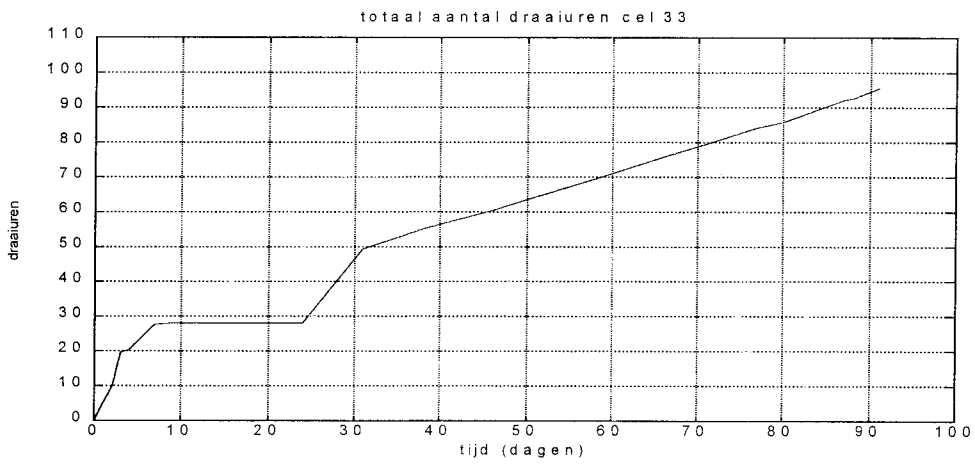


Figuur 5.8: totaal aantal draaiuren

5.2.5 Cel 33

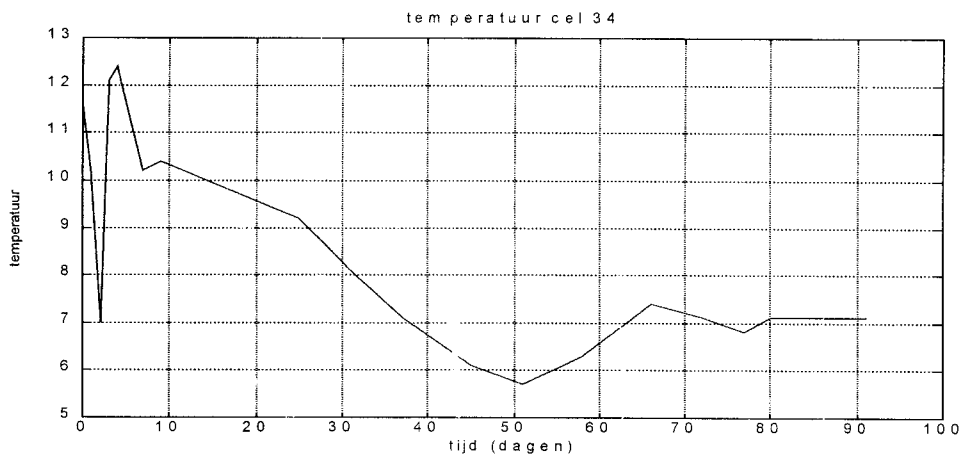


Figuur 9: celtemperatuur

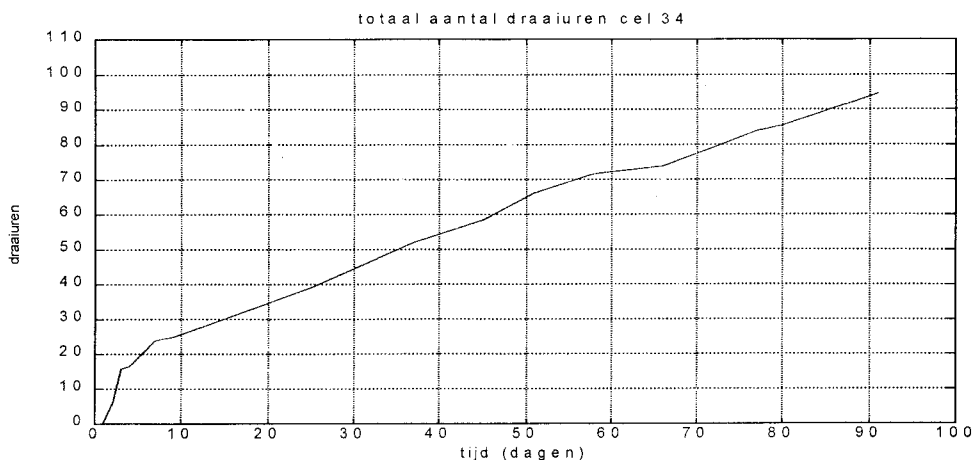


Figuur 10: totaal aantal draaiuren

5.2.6 Cel 34



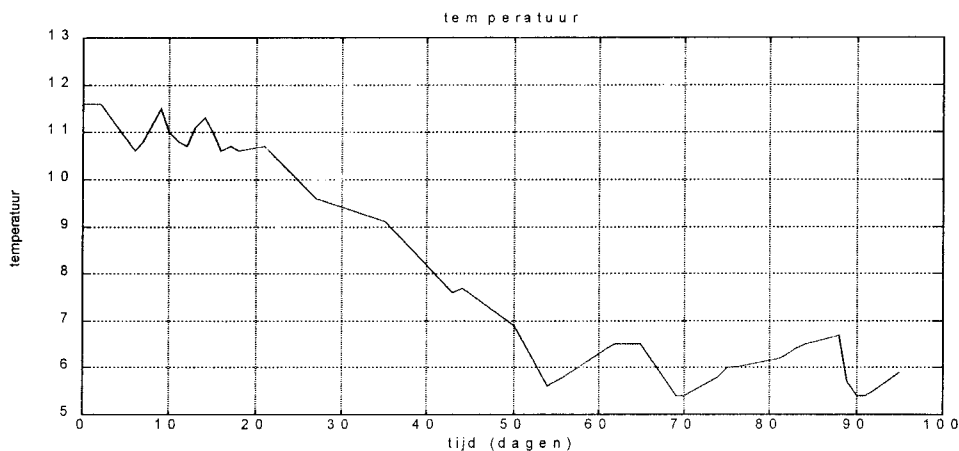
Figuur 5.11: celtemperatuur



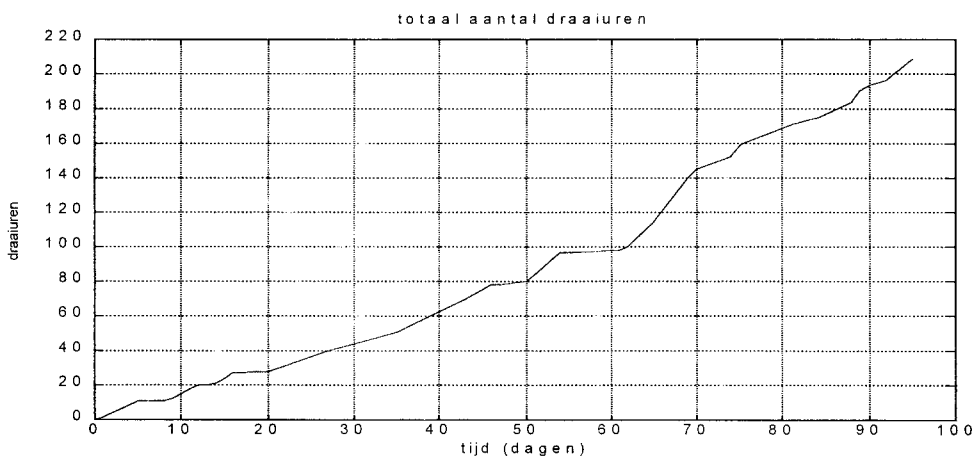
Figuur 5.12: totaal aantal draaiuren

5.3 Bewaarplaats M. Hoving

De bewaarplaats van M. Hoving is uitgerust met het prototype. Deze bewaarplaats heeft ruwweg een afmeting van 18 bij 18 meter. Het complete systeem wordt hierop uitgetest.



Figuur 5.13: schuurtemperatuur



Figuur 5.14: totaal aantal draaiuren

In Figuur 5.13 is te zien dat de bewaartemperatuur na zo'n 60 dagen de "constante" bewaartemperatuur bereikt. Op basis van berekeningen van de scheduler is de verwachting dat deze temperatuur rond de 5.5 graden zal liggen gedurende de bewaring.

5.4 Samenvatting en conclusies

Gedurende twee bewaarperiodes zijn er metingen aan de bewaarplaatsen verricht. De data van het bewaarperiode 1997-1998 waren afkomstig van twee bewaarplaatsen en zijn gebruikt voor validatie van het ontwikkelde model. Dit is in eerdere rapporten reeds beschreven. De data van het bewaarperiode 1998-1999 zijn en worden gebruikt voor het testen en verbeteren van het prototype voor de regeling van aardappelbewaarplaatsen.

De voornaamste conclusies die uit de meetresultaten kunnen worden getrokken zijn:

- De invloed van de buitentemperatuur is met name te vinden in de bovenruimte, de luchtsluis en het luchtkanaal.
- Het effect van de relatief snelle fluctuaties in de buitenluchttemperatuur blijven beperkt tot een klein gebied bij de buitenmuur. Dit betekent dat de warmtegeleiding van de aardappelen in horizontale richting niet erg groot is.
- Een ongelijke storthoogte van de aardappelen in de bewaarplaats introduceert temperatuurverschillen in de aardappelstapel.
- Bij afwezigheid van extra ventilatie in de bovenruimte (door b.v. condensventilatoren) kunnen, afhankelijk van de geometrie van de bewaarplaats, temperatuurverschillen ontstaan.
- Een roostervloer leidt tot een homogener temperatuur in de aardappelstapel dan een bovengronds kanalsysteem voor de luchtventilatie.
- De verdeling van de CO₂-concentratie in verticale richting in de aardappelstapel is kleiner dan verwacht. Het effect van het "uitzakken van CO₂" is dus kleiner dan gedacht, hoewel de concentratie in de stapel voor ventilatie duidelijk groter is dan in de bovenruimte.

6 Schuurmodel

In het kader van dit project is een model van een bewaarplaats voor aardappelen opgesteld. Het schuurmodel dat is ontwikkeld beschrijft de thermodynamica van de aardappelbewaring. De bewaarplaats is onderverdeeld in:

- aardappelstapel,
- bovenruimte,
- luchtsluis,
- luchtkanaal.

Het resulterende model is beschreven in Voortgangsrapportage juni-december 1997. Het model is gevalideerd aan de hand van de uitgevoerde metingen in het bewaar seizoen 1997-1998. Dit is uitvoerig besproken in Voortgangsrapportage januari-juni 1998.

De belangrijkste conclusie die aan de hand van simulaties getrokken kan worden is dat het mogelijk is om het dynamisch gedrag van een bewaarplaats voor aardappelen m.b.v. fysische modelvorming te beschrijven. Met betrekking tot het product in de bewaring is geconcludeerd dat de opwarming van het product, zoals verwacht, zo'n 0.2-0.25 graden bedraagt. Verder blijkt dat de warmtegeleiding van het product niet erg groot is, zoals reeds bij de bespreking van de meetresultaten in Hoofdstuk 5 van de eerder vermelde voortgangsrapportage is vermeld. In ditzelfde hoofdstuk is tevens de invloed van de geometrie van de bewaarplaats besproken.

Het ontwikkelde schuurmodel is ten eerste gebruikt om te controleren of alle veronderstellingen over het gedrag van de bewaarplaats correct zijn. Ten tweede is het model gebruikt bij het ontwerp en het testen van de regelaarstructuur.

7 Regeling

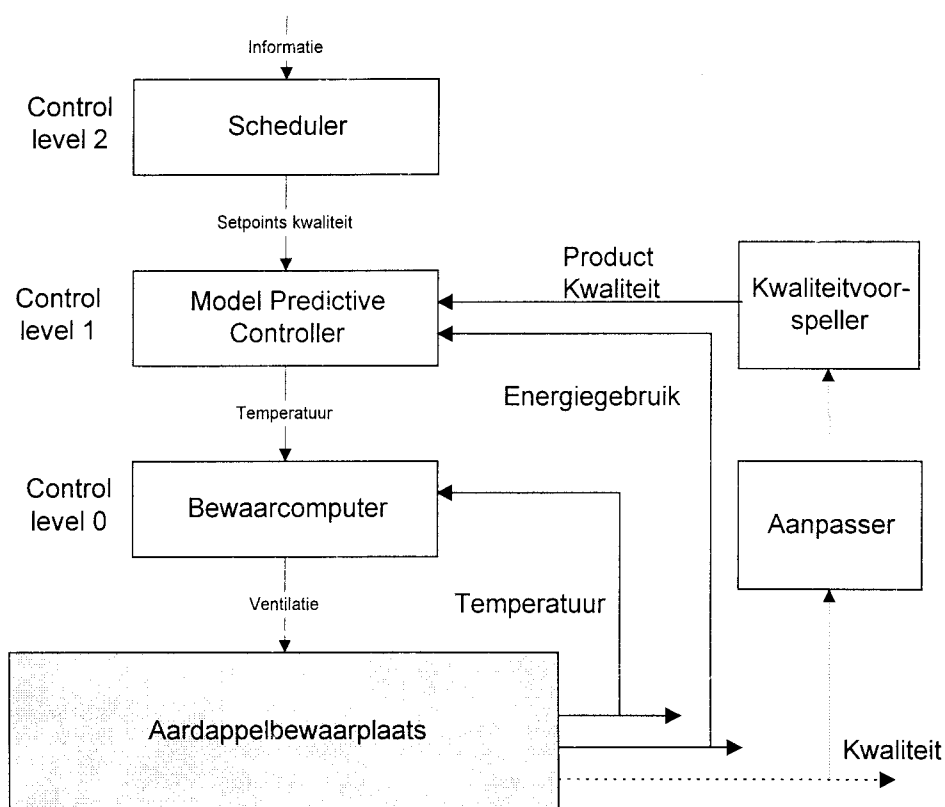
Regeling van een proces heeft als doel om de doelstelling van het proces te bereiken ook bij aanwezigheid van verstoringen op het proces. Bij het proces van de bewaring van aardappelen is het doel dit zo optimaal mogelijk uit te voeren. De bewaring is optimaal met betrekking tot:

- suikergehalte (bakkleurindex),
- gewichtsverliezen,
- energiegebruik.

De regelaar bepaalt de optimale temperatuurstellingen voor de bewaarplaats door optimalisatie van deze criteria. Naast de regelaar voor de bepaling van de optimale bewaartemperatuur is er een weermodule die aan de hand van weersvoorspellingen instellingen voor de bewaarcomputer bepaalt. Hiermee moet het energiegebruik verminderen en de kosten van de bewaring omlaag worden gebracht.

7.1 Regelaarstructuur

In Figuur 7.1 is de in dit project ontwikkelde regelaar voor de optimale bewaartemperatuur met de verschillende delen schematisch weergegeven.



Figuur 7.1: structuur van de ontwikkelde regeling

Op level 0 functioneert de huidige bewaarcomputer die, gegeven een setpoint voor de bewaartemperatuur, deze probeert te realiseren met behulp van aansturing van de ventilatie. Hiertoe kan gebruik worden gemaakt van interne en/of externe lucht.

De MPC-regelaar bepaalt op level 1 het setpoint voor de bewaartemperatuur die een optimale productkwaliteit bij maximaal bewaarrendement tot gevolg heeft. De

productkwaliteit omvat de aspecten van het suikergehalte (en daarmee de bakkleur bij verdere verwerking) en de massa van het product. Bewaarrendement heeft te maken met de opbrengst bij aflevering van het product (suikergehalte en gewichtsverlies) en de beïnvloedbare kosten (draaiuren) die worden gemaakt door de ventilatie.

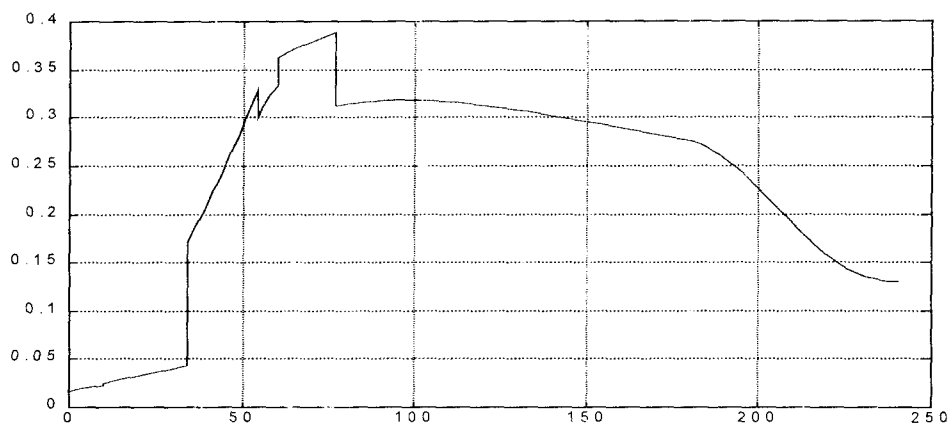
Op level 3 wordt door de scheduler de realiseerbare setpoints voor de productkwaliteit en het aantal draaiuren voor ventilatie bepaald. Aan de hand van deze realistische setpoints wordt door de MPC-regelaar de optimale bewaar temperatuur bepaald.

Aangezien de metingen van de productkwaliteit niet on-line uitgevoerd kunnen worden en dus niet continu beschikbaar zijn voor de MPC-regelaar, wordt gebruik gemaakt van een kwaliteitvoorspeller. Deze gebruikt een model voor de productkwaliteit om toch de gewenste informatie continu beschikbaar te hebben. De metingen die aan het product worden uitgevoerd, worden door de aanpasser gebruikt om de parameter $En_{cold,0}$ uit het suikermodel en de initiële massa product van een m^3 uit te rekenen. Deze aanpassing worden in het model verwerkt, zodat de "metingen" verbeterd worden.

Naast de getoonde componenten van de regelaar in Figuur 7.1 is er een weermodule ontwikkeld die in Hoofdstuk 8 besproken zal worden.

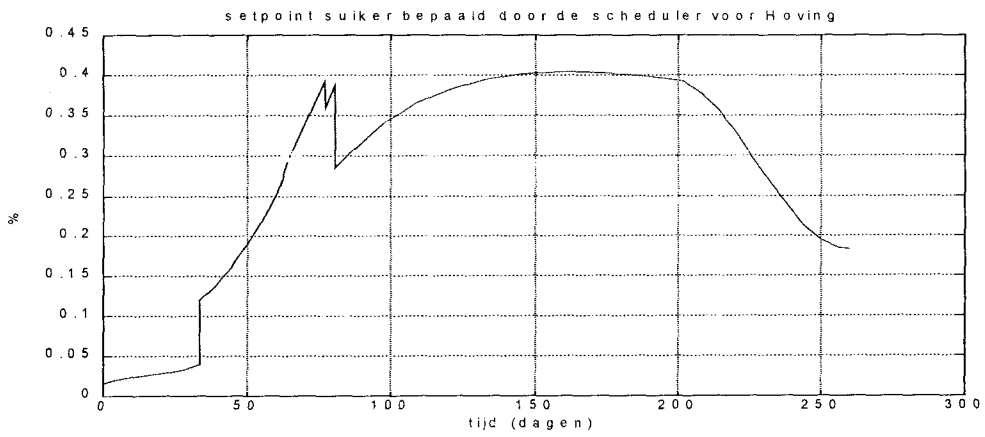
7.2 Resultaten werking regelaar

De scheduler bepaalt de kwaliteitsetpoints die door de MPC-regelaar als referentie gebruikt. Naar aanleiding van metingen, prijsveranderingen en wijziging in de verwachte bewaar duur worden deze kwaliteitsetpoints opnieuw bepaald. Met name in het begin van de bewaring zal dit het geval zijn naar aanleiding van beschikbare metingen aan de monsters uit de bewaring. In de Figuren 7.2 en 7.3 is dit duidelijk te zien voor het suiker setpoint voor een cel van de Eest en de partij van Hoving.

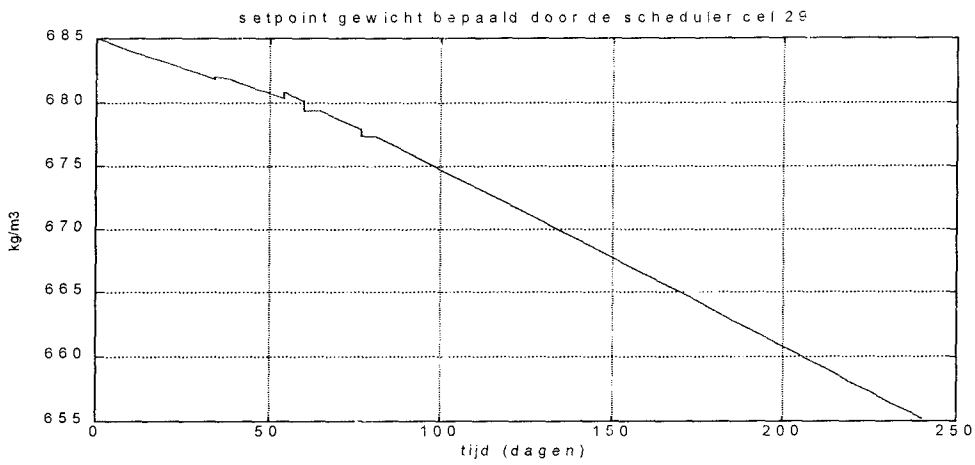


Figuur 7.2: suiker setpoint de Eest cel 29

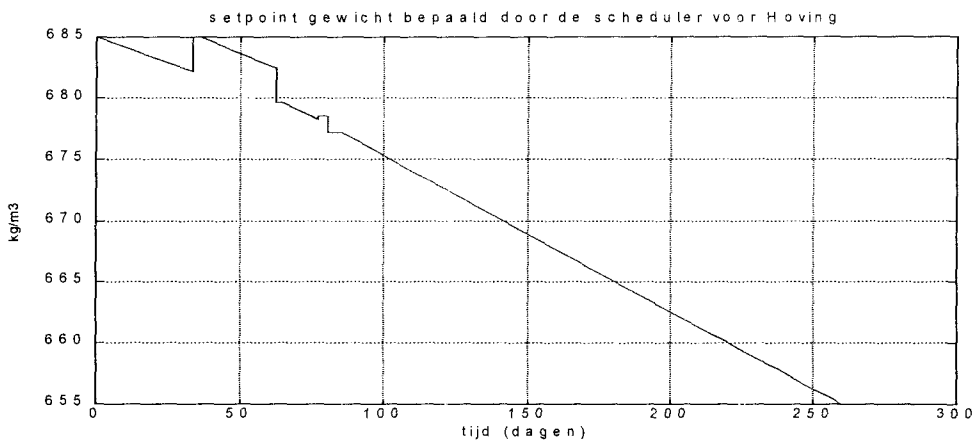
De aanpassing gebeurt niet alleen voor het suiker setpoint, maar ook voor het massa- en energiesetpoint. De aanpassing in het massasetpoint in de Figuren 7.4 en 7.5 zijn relatief klein. Echter, de aanpassing van het energiesetpoint zijn groter en dan met name voor de bewaring van Hoving. Dit wordt veroorzaakt doordat er aanzienlijk meer wordt geventileerd dan strikt genomen noodzakelijk is vanuit het oogpunt van opwarming van de aardappelen. Het verkrijgen van een homogenere temperatuur in de aardappelstapel vereist echter meer uren ventilatie dan waarmee in de scheduler, tot op dit moment, rekening wordt gehouden.



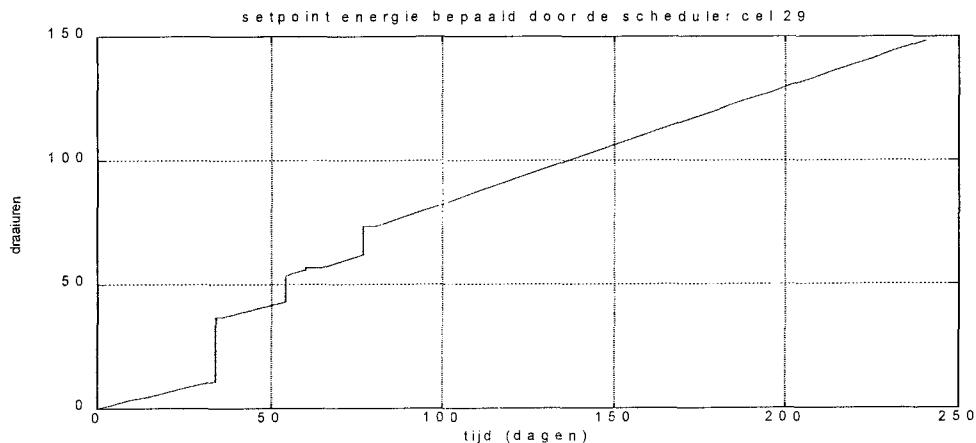
Figuur 7.3: suiker setpoint Hoving



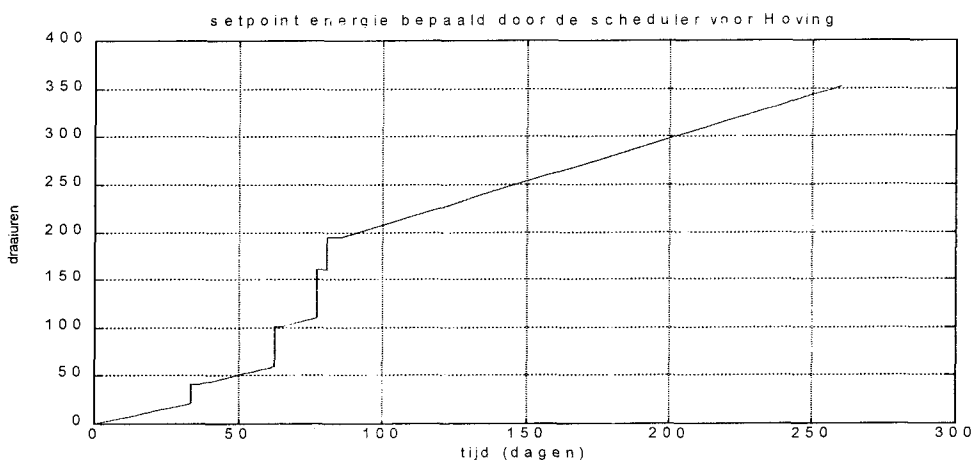
Figuur 7.4: massasetpoint de Eest cel 29



Figuur 7.5: massasetpoint Hoving



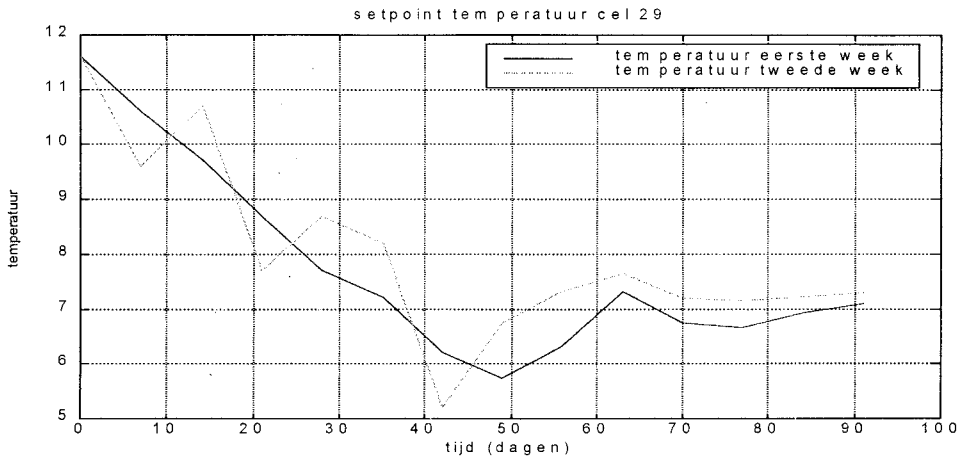
Figuur 7.6: energiesetpoint de Eest cel 29



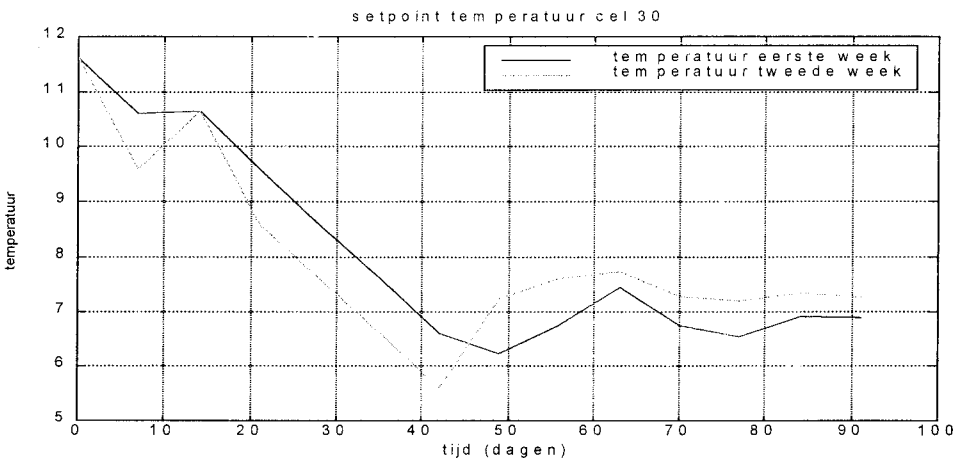
Figuur 7.7: energiesetpoint Hoving

De acties van de MPC-regelaar, die de optimale bewaartemperatuur bepaalt zijn weergegeven in de Figuren 7.8-7.14. Voor 4 cellen van de Eest zijn twee temperatuurverlopen weergegeven. Eén is de waarde die daadwerkelijk naar de bewaarcomputer wordt verzonden en de ander is de waarde die op datzelfde moment voor een week later wordt bepaald. Deze wordt niet naar de bewaarcomputer verstuurd, omdat over een week weer een nieuwe bepaling wordt uitgevoerd. Dit tweede verloop wordt toch getoond om de werking van de MPC-regelaar te illustreren. Deze regelaar kijkt immers in de toekomst vooruit en probeert daar een doel te bereiken.

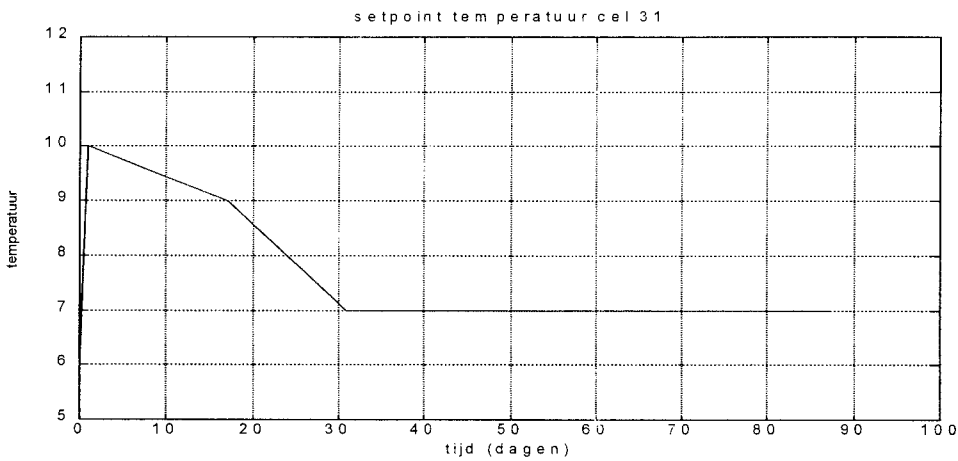
De temperaturen gaan vanaf de wondhelingsperiode naar beneden naar de bewaartemperatuur. Voor de Eest ligt de optimale bewaartemperatuur rond 7 graden en voor Hoving rond 5.5 graden. Het verschil wordt veroorzaakt door de andere grootte van de cellen, waarmee andere kosten (aantal draaiuren) per m³ aardappelen gepaard gaan.



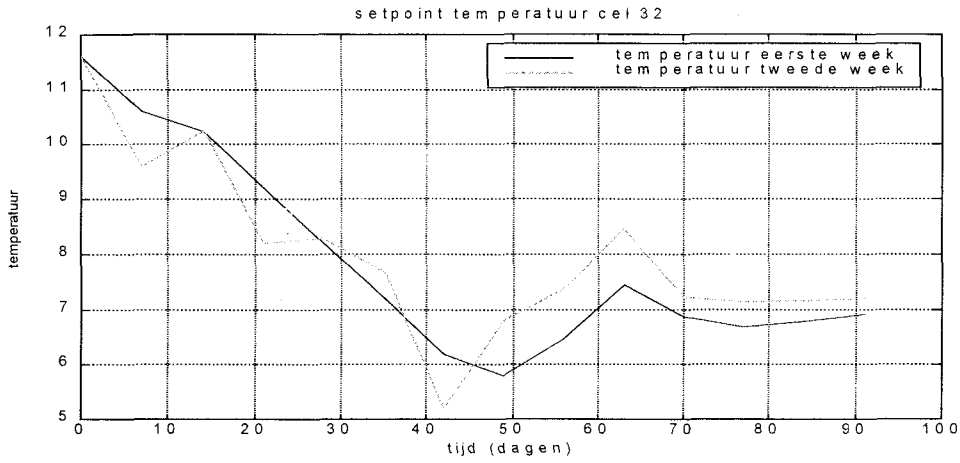
7.8: temperatuursetpoint de Eest cel 29



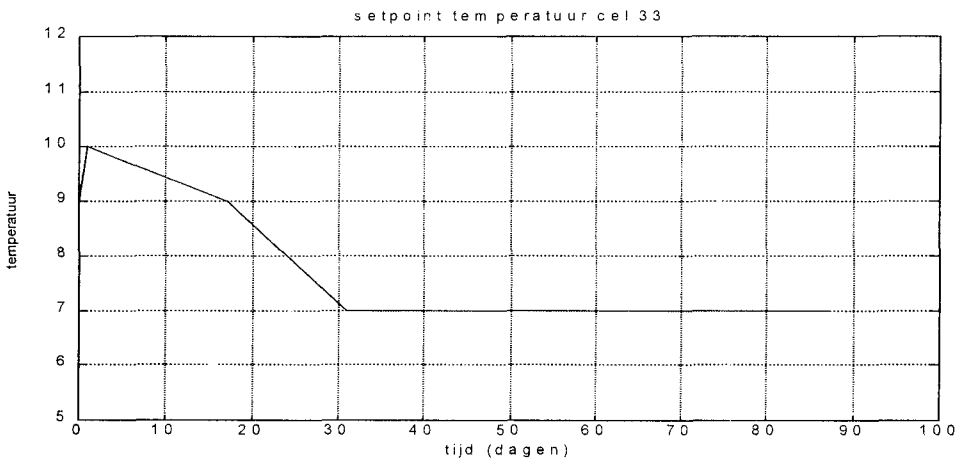
Figuur 7.9: temperatuursetpoint de Eest cel 30



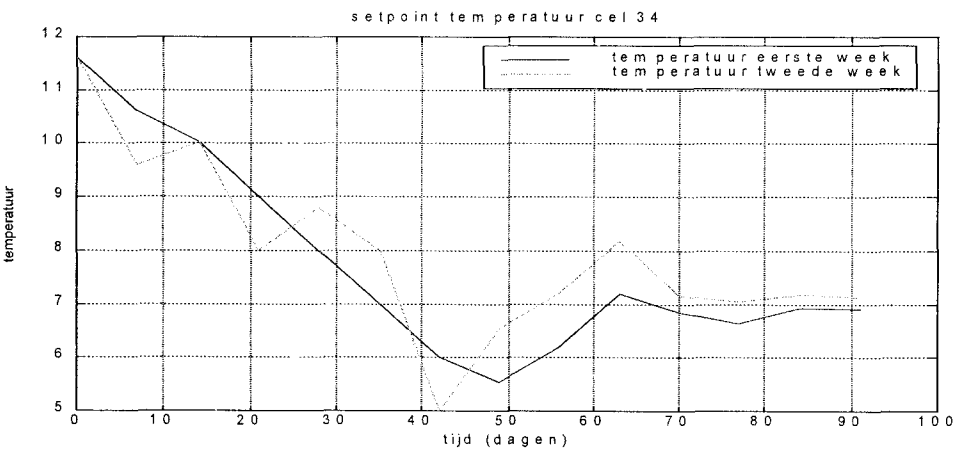
Figuur 7.10: temperatuursetpoint de Eest cel 31



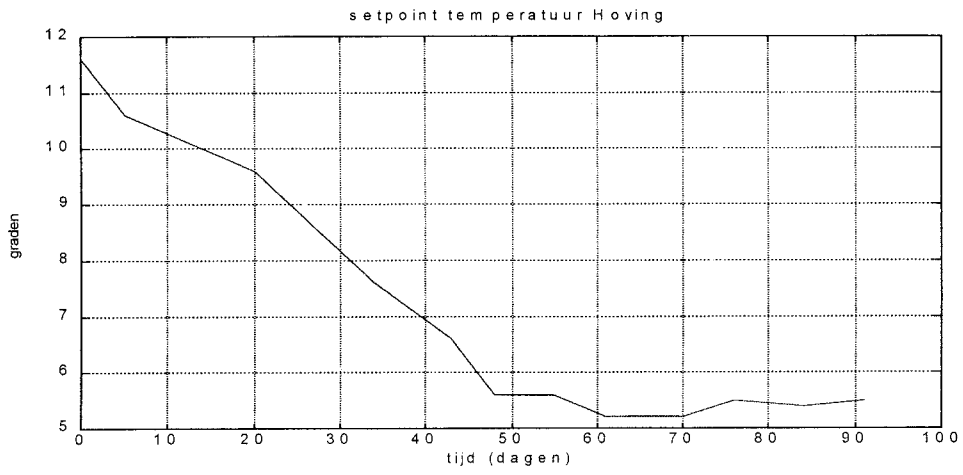
Figuur 7.11: temperatuursetpoint de Eest cel 32



Figuur 7.12: temperatuursetpoint de Eest cel 33



Figuur 7.13: temperatuursetpoint de Eest cel 34



Figuur 7.14: temperatuursetpoints Hoving

8. Prototype

Voor het bereiken van het uiteindelijke doel, dat luidt dat een module wordt ontwikkeld voor regeling van aardappelopslag op basis van product kwaliteit en kosten (draaiuren), wordt eerst een prototype ontwikkeld. In de ontwikkeling van dit prototype zijn een drietal fasen te onderscheiden:

- Ontwikkeling simulatie versie;
- Ontwikkeling testapplicatie;
- Testen prototype.

De eerste fase resulteerde in een ontwerp voor de regelaarstructuur. In deze fase wordt alleen gebruik gemaakt van simulaties. De definitieve structuur van de regelaar is in Hoofdstuk 7 besproken. In de tweede fase is de test-applicatie ontwikkeld. Deze test-applicatie is in Voortgangsrapportage januari-juni 1998 besproken. In de derde fase werd het uiteindelijke prototype ontwikkeld, in de bewaring geïmplementeerd en getest. Resultaten van deze testen voor het lopende bewaar seizoen worden in dit hoofdstuk getoond. Deze testen zullen doorlopen tot het einde van dit bewaar seizoen, zodat een totaalbeeld van de mogelijkheden en beperkingen van een kwaliteitsmodule wordt verkregen. Uiteindelijk wordt dit prototype uitgebouwd, zodanig dat het als een afzonderlijke module aan de conventionele bewaar systemen kan worden gekoppeld. De ontwikkeling van deze module wordt in Hoofdstuk 9 verder besproken.

8.1 Huidige stand van zaken

8.1.1 Implementatie

De regelaarstructuur zoals getoond in Figuur 7.1 en besproken in Hoofdstuk 7 is inmiddels geïmplementeerd. Deze implementatie wordt gebruikt voor het testen van de regelaar. Naar aanleiding van deze testen worden aanpassingen/verbeteringen uitgevoerd die in dit hoofdstuk aan bod zullen komen.

8.1.2 Problemen

Problemen die reeds direct bij de implementatie naar voren zijn gekomen zijn de moeilijkheid om generieke programma's te ontwikkelen voor verschillende versies van de bewaarcomputer en een ander probleem is de optredende storingen in de datacommunicatie. Dit wordt deels veroorzaakt doordat de bestaande bewaarcomputers niet gericht waren op communicatie met externe modules, zoals de regelaar die in kader van dit project is ontwikkeld. Ook zijn er op één locatie (de Eest) problemen geweest met sensoren. Deze problemen stonden op zich los van dit project, maar verstoorden de implementatie wel. Overigens zijn deze problemen inmiddels verholpen.

8.1.3 Probleemaanpak

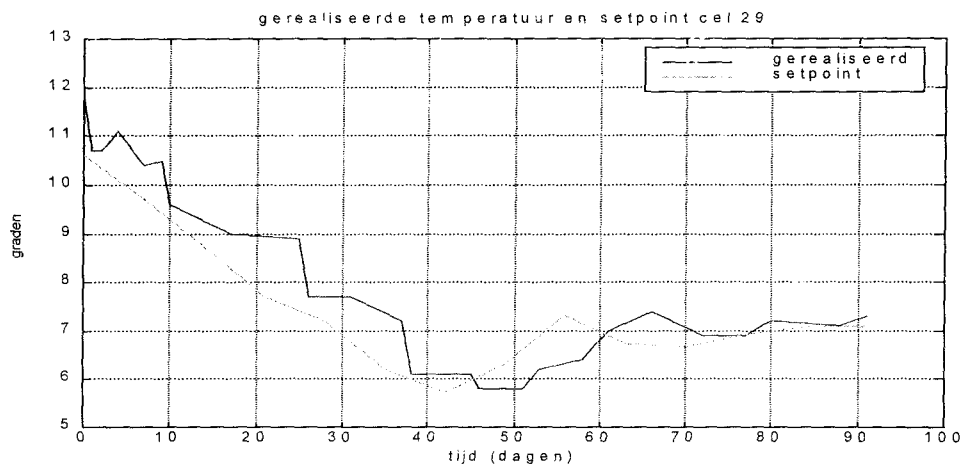
In de afgelopen periode is gewerkt aan een verbeterde opzet voor het aansturen van de rekengedeelten en de communicatie van data met de huidige bewaarcomputers. Storingen in de datacommunicatie worden in deze verbeterde opzet voorkomen. Momenteel wordt deze verbeterde versie geïmplementeerd op beide locaties. In de tussentijd zijn de afzonderlijke modules van de regelaar extern aangeroepen. Met deze verbeterde versie worden de modules weer binnen de ontwikkelde regelaar aangeroepen en is er, bij normaal bedrijf, geen externe aansturing noodzakelijk.

8.1.4 Vervolg bewaar seizoen

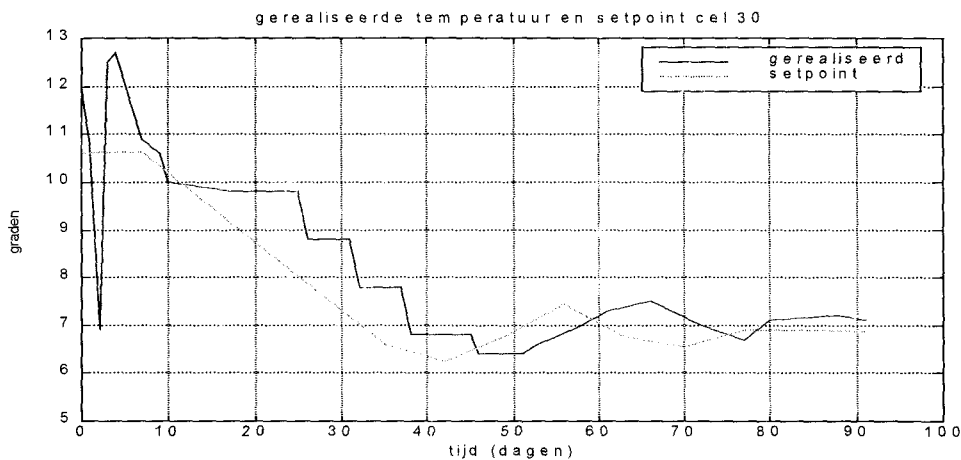
De aardappelen worden momenteel nog niet uitgeschuurd en het testen van de ontwikkelde regelaar loopt door in het vervolg van het bewaar seizoen 1998-1999. Dit gebeurt om zoveel mogelijk kennis en ervaring op te doen met het ontwikkelde systeem. Dit verbeterd de uiteindelijke versie die voor bewaring van aardappelen kan worden gebruikt.

8.2 Resultaten bewaar seizoen 1998-1999

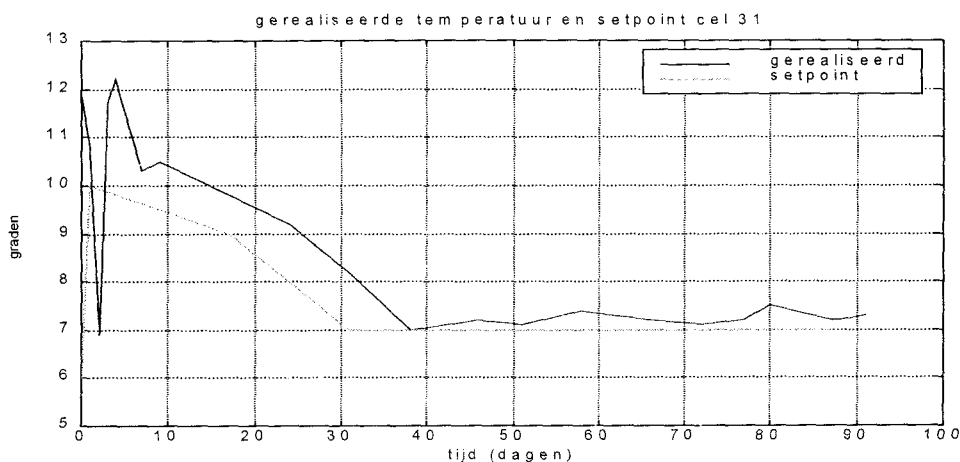
In de Figuren 8.1-8.7 zijn de gerealiseerde temperaturen voor beide locaties weergegeven samen met de bijbehorende setpoints. Deze setpoints zijn door de MPC-regelaar bepaald. Opvallend is de fase-achterstand van de gerealiseerde temperatuur t.o.v. het setpoints. Dit is echter logisch, omdat het setpoint naar de bewaarcomputer wordt gestuurd, die probeert deze temperatuur te bereiken en te handhaven. De gerealiseerde temperatuur zal nagenoeg continu boven het setpoint liggen. Dit wordt veroorzaakt door de werking van de bewaarcomputer. Enkel indien de waarde van de temperatuurmeting een bepaalde afwijking (b.v. 2 °C) tot het setpoint heeft, probeert de bewaarcomputer te ventileren. Om dit te verhelpen zou deze afwijking kleiner gekozen moeten worden of zou een variabele grootte van de ventilatie moeten worden toegepast. Het dal in de gerealiseerde temperatuur voor de cellen 30-34 op de Eest in het begin van de bewaring zijn veroorzaakt door een storing in de communicatie tussen de ontwikkelde kwaliteitsmodule en de bewaarcomputer. Dit had een oorzaak die enkel op deze locatie op kan treden en deze is inmiddels verholpen.



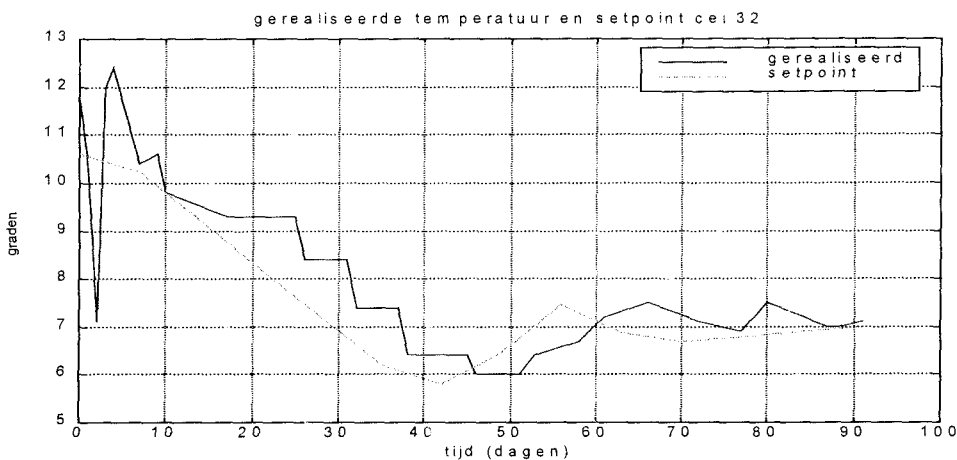
Figuur 8.1: setpoint en gerealiseerde temperatuur de Eest cel 29



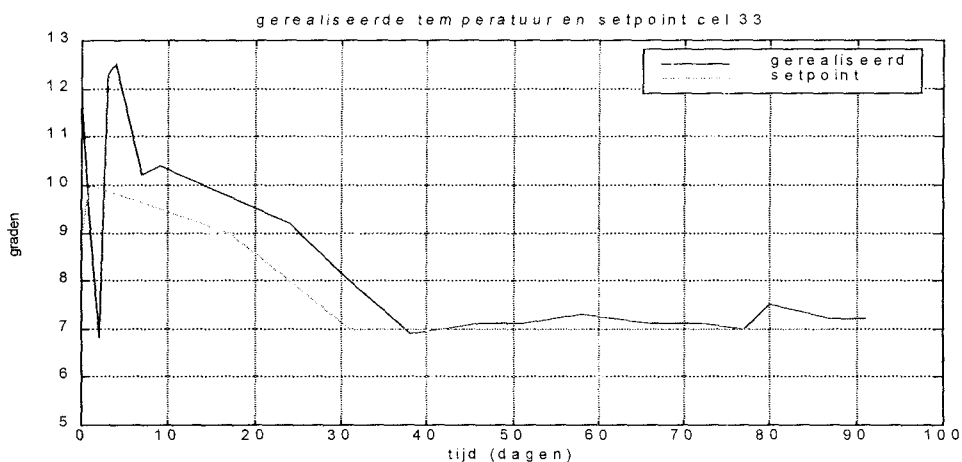
Figuur 8.2: setpoint en gerealiseerde temperatuur de Eest cel 30



Figuur 8.3: setpoint en gerealiseerde temperatuur de Eest cel 31

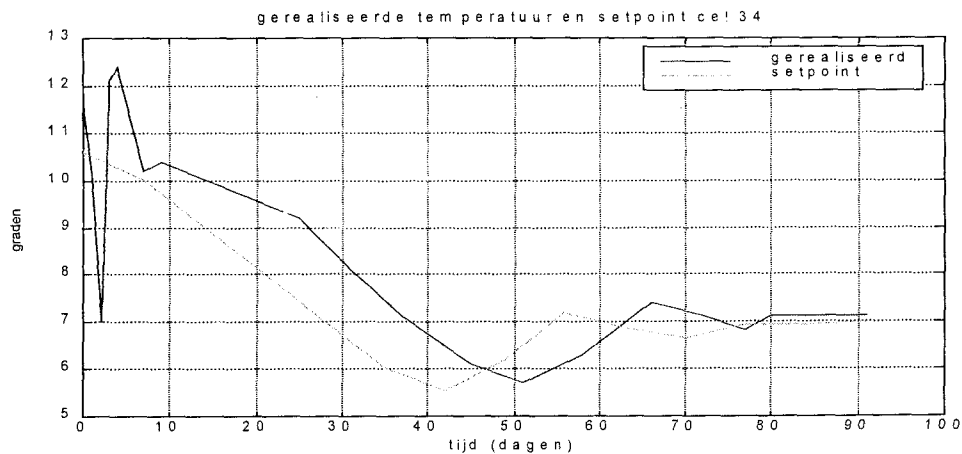


Figuur 8.4: setpoint en gerealiseerde temperatuur de Eest cel 32

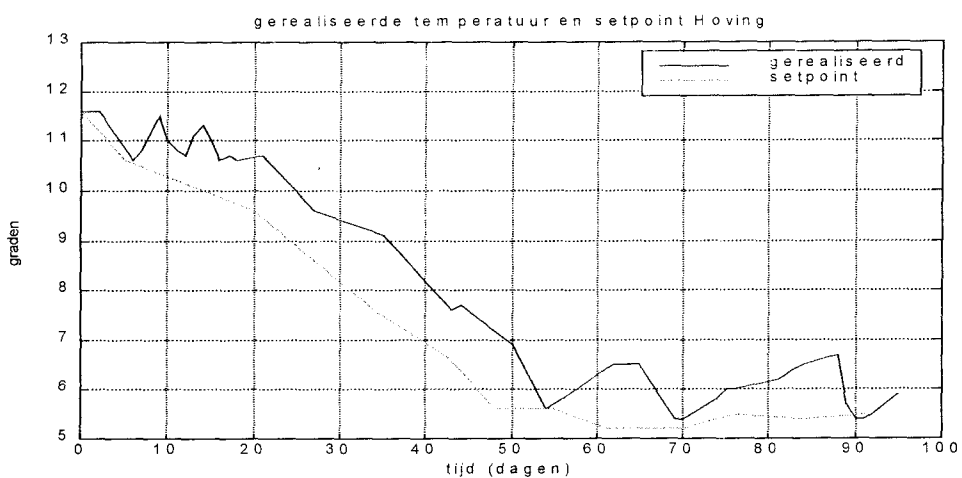


Figuur 8.5: setpoint en gerealiseerde temperatuur de Eest cel 33

De cellen 31 en 33 zijn testcellen waarbij de MPC-regelaar niet in functie is. Hierdoor wordt het mogelijk om de meerwaarde van deze regelaar te onderzoeken. De scheduler is wel in functie en daardoor liggen de setpoints op 7 graden en niet op 6 graden, zoals in andere jaren.

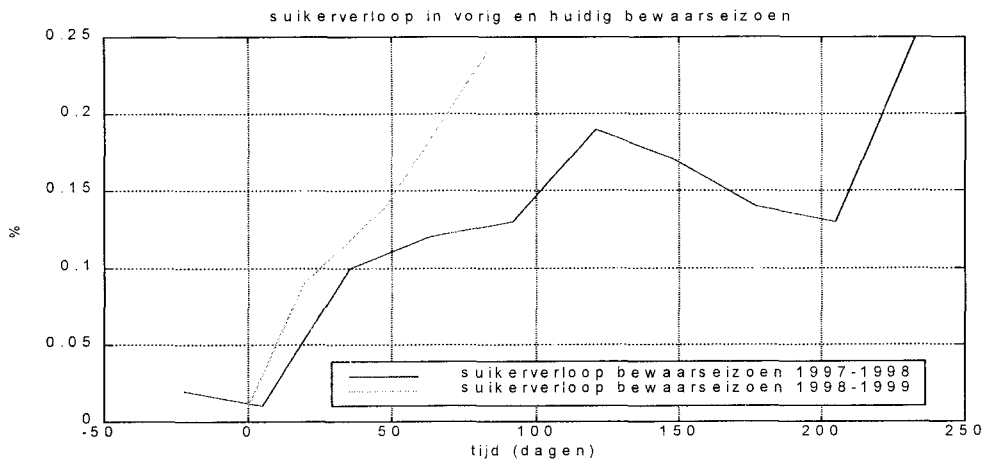


Figuur 8.6: setpoint en gerealiseerde temperatuur de Eest cel 34



Figuur 8.7: setpoint en gerealiseerde temperatuur Hoving

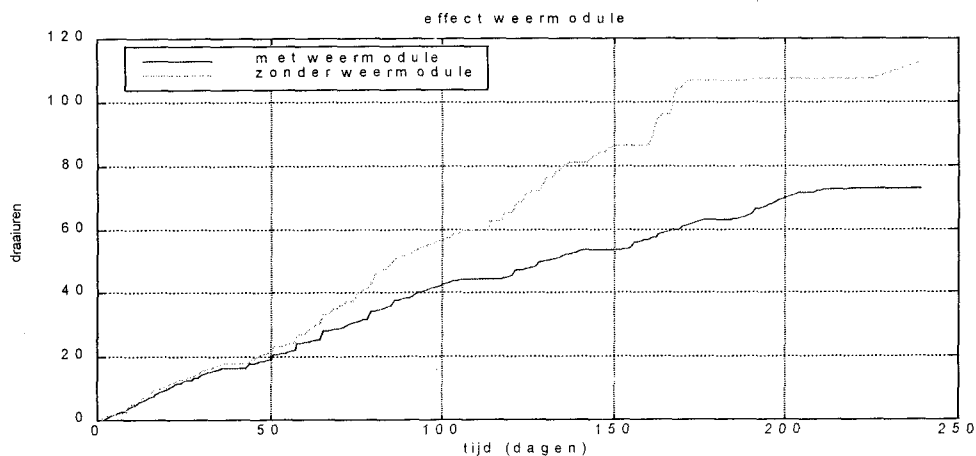
In Figuur 8.8 is het verloop van het suikergehalte weergegeven voor zowel het bewaar seizoen 1997-1998 als het lopende bewaar seizoen 1998-1999. De tijds van vorig bewaar seizoen is verschoven om de suikergehalten op gelijke kalenderdagen te kunnen vergelijken. Opvallend is dat het suikergehalte in dit bewaar seizoen boven het verloop van vorig seizoen ligt. Indien echter naar het verloop van de bakkleurindex wordt gekeken, die in Figuur 4.1 is weergegeven voor bewaar seizoenen 1998-1999, blijkt dat de bakkleur na ongeveer 100 dagen overeenkomt met de index in het seizoen 1997-1998. Dit duidt erop dat de relatie tussen het suikergehalte en de bakkleur niet perfect is voor het begin van de bewaring. Dit wordt verklaard doordat de fructose-glucose ratio ongelijk één is in het begin stadium van de bewaring. Bij het bepalen van deze relatie is aangenomen dat deze ratio gelijk aan één is, wat na het begin van de bewaring ook het geval is. Dus verder in het bewaar seizoen zal de relatie tussen suikergehalte en bakkleur beter zijn. Echter, het verloop van de suikers in bewaar seizoenen 1998-1999 is nog slechts gebaseerd op enkele meetpunten. Verder in de loop van het huidige bewaar seizoen zijn hierover pas op meer verantwoorde wijze uitspraken te doen.



Figuur 8.8: suikerverloop vorig en huidig bewaar seizoen Hoving

De metingen van de massa van de monsters uit de bewaarplaatsen geven nog te weinig informatie over de kwaliteit van de massasetpoints die de scheduler bepaald. M.b.t. de energie is in Hoofdstuk 7 reeds geconstateerd dat m.n. voor de bewaarplaats van Hoving de scheduler erg optimistische setpoints voor het energiegebruik (uitgedrukt in draaiuren) bepaald. Dit is echter behalve afhankelijk van de bewaarplaats zelf, ook afhankelijk van de bewaarder. Dit aspect moet in de scheduler worden verwerkt om de setpoints voor het energiegebruik te verbeteren.

Behalve de regelaarstructuur die in Hoofdstuk 7 is besproken, is er in kader van dit project tevens een weermodule ontwikkeld. Deze weermodule gebruikt weersvoorspellingen voor de komende 3 dagen om te bepalen of er een geschikt moment voor ventilatie met buitenlucht aanwezig is. Indien dit het geval is worden de eisen voor externe ventilatie verhoogd, waarmee wordt afgedwongen dat er met een hoger temperatuurverschil kan worden geventileerd. Tevens wordt er een hoger temperatuurverschil tussen aardappelen en ventilatielucht toegestaan. Hiermee wordt het aantal draaiuren beperkt. In Figuur 8.9 zijn de resultaten weergegeven van een simulatie met en zonder de weermodule. Hierbij is gebruik gemaakt van de gemeten buitentemperatuur in het bewaar seizoen 1997-1998, waarbij de missende data is aangevuld met de gemiddelde nachttemperaturen, zoals gemeten in de Bilt. Door problemen met het ophalen van de weersvoorspellingen in het huidige bewaar seizoen zal de weermodule pas vanaf januari 1999 continu in de praktijk getest worden. Aan de hand van de simulaties is duidelijk het gebruik van deze module in de simulatie direct leidt tot een reductie in het energiegebruik van zo'n 20-30 %. M.b.t. het energiegebruik zal de gehele regelaar nog bijdragen aan de reductie hiervan door het monitoringseffect. Door gedurende het bewaar seizoen op basis van productkwaliteit de bewaring te regelen wordt niet onnodig geventileerd. De grootte van deze reductie zal pas in de praktijk over meerdere bewaar seizoenen blijken. De verwachting is dat in de praktijk de winst kleiner zal zijn, doordat veel bewaarders extra willen ventileren i.v.m. homogenisatie van de temperatuur in de aardappelstapel en/of het aanwezig zijn van minder goede "hoeken" in de bewaring.



Figuur 8.9: effect van de weermodule aan de hand van simulaties

8.3 Conclusies

Hoewel het bewaarseizoen 1998-1999 nog niet afgelopen is en het testen van het prototype nog niet ten einde is, kan er wel wat gezegd worden over de resultaten die met het ontwikkelde systeem bereikt zijn en kunnen worden. De belangrijkste winstpunten zijn:

- De bewaring van aardappelen is mogelijk op basis van kwaliteit en energiegebruik;
- Het systeem garandeert een optimale product kwaliteit t.o.v. het energiegebruik;
- De weermodule belooft een reductie in energiegebruik te gaan realiseren;
- De monitoring van de productkwaliteit beperkt de ventilatie tot het werkelijk noodzakelijke;
- Het systeem van regelen van aardappelbewaring op productkwaliteit reduceert de noodzaak voor het gebruik van kachels en koelers.

Uiteraard zal de verdere ontwikkeling van het systeem tot een verkoopbaar product nog de nodige aandacht en evt. aanpassingen en verbeteringen tot gevolg hebben.

9. Verdere planning

Zoals in Hoofdstuk 8 reeds is aangekondigd loopt het testen van het prototype door in het bewaar seizoen 1998-1999. De hiermee verkregen extra informatie zal bijdragen tot een beter systeem voor de regeling van aardappelbewaring op basis van productkwaliteit en energiegebruik. In de komende periode zal het prototype omgebouwd gaan worden tot een kwaliteitsmodule die kan communiceren met de bewaarcomputer, zoals die door Tolsma Techniek b.v. op de markt is gebracht. Deze module wordt ondersteund door het verrichten van metingen tijdens het bewaar seizoen aan het product. De bedoeling is om aan het begin van het volgende bewaar seizoen dit systeem gereed te hebben.