



Glas- & Keramische Technologie
De Rondon 1
Postbus 595
5600 AN EINDHOVEN

www.tno.nl

T 040 265 0100
F 040 265 0850

TNO-rapport

HAM-RPT-01-212

**Ontwikkeling van de keramische droger 2010 met
droogsnelheidsregeling**

Datum 24 juli 2001
Auteurs Ir. J.A.M. Denissen
Ir. J.F.M. Velthuis
Autorisatie' Ir. F. Simonis
Novem nummer 332104/1808
TNO Projectnr 008.00795

Oplage 15
Aantal pagina's 43

Aan
Novem B.V.
T.a.v. Mw. Ir. A.L. van Schaik-Van Hoek
Postbus 17
6130 AA Sittard

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbers is toegestaan.

Samenvatting

In dit rapport wordt beschreven op welke wijze een droger moet worden geconstrueerd en bediend om een energiezuinig en betrouwbaar droogproces met een goede uniformiteit te realiseren. Zaken als optimaal gebruik van ovenlucht, energierugwinning, goede interne recirculatie, constructie, snelle ingebruikname en een eenvoudige regeling spelen daarbij een belangrijke rol.

Daarnaast geeft dit rapport een beschrijving van de ontwikkeling en de test van een zogenaamde droogsnelheidssensor door TNO.

In feite is bij het droogproces maar één parameter belangrijk (uit oogpunt van productkwaliteit): de droogsnelheid. Bij een te hoge droogsnelheid scheuren de producten en bij een te lage droogsnelheid duurt het droogproces te lang. In de ideale situatie wordt het droogproces dus geregeld aan de hand van de droogsnelheid.

Bij de bestaande typen regelingen wordt echter altijd geregeld op afgeleide grootheden zoals kamertemperatuur, kanaaltemperatuur, klepstand of relatieve vochtigheid. Het nadeel van deze methoden is dat de droogsnelheid onbekend is. Deze is weliswaar een gevolg van de instellingen, maar het verloop ervan is onbekend.

Het gevolg van deze situatie is dat droogprogramma's meestal door "proberen" moeten worden gevonden, of met behulp van uitgebreide metingen en simulaties.

Indien een droogsnelheidssensor kan worden ontwikkeld die op een betrouwbare wijze de actuele droogsnelheid weergeeft, dan is het vinden van het ideale droogprogramma eenvoudig, door simpelweg te drogen op de hoogst mogelijke droogsnelheid gedurende het hele proces. Daarnaast is er geen invloed meer van de weersomstandigheden op het verloop van het droogproces.

Bovendien is bij een droogsnelheidsregeling het energieverbruik laag: doordat de droogcycli kort zijn is het elektriciteitsverbruik laag en door een optimaal verbruik van de ovenlucht is het gasverbruik laag.

Door TNO werd een prototype van een droogsnelheidssensor ontwikkeld en in de praktijk getest bij Kleiwarenfabriek Façade in Beek. Deze zogenaamde DrySimBox (DSB) maakt gebruik van 3 eenvoudig te meten signalen (2 temperaturen en 1 relatieve vochtigheid) en berekent op basis van relaties uit het drogersimulatieprogramma DrySim de actuele droogsnelheid. Uitgebreide tests in de praktijk hebben aangetoond dat de sensor goed functioneert en een betrouwbare waarde van de droogsnelheid levert. Hierdoor wordt het mogelijk om in de nabije toekomst een droogsnelheidsregeling te realiseren door de sensor op te nemen in de regeling van de droger.

Summary

In this report it is described how to construct and operate a dryer in order to realise an energy friendly and reliable drying process with a good uniformity. Important items in this respect are: optimal use of the available kiln air, recovery of energy, good internal circulation, construction, fast assembly and a simple control.

Besides this, the report describes the development and practical test of a drying rate sensor, by TNO.

In fact only one parameter is important in the drying process (concerning the product quality): the drying rate. When the drying rate is too high the products will crack and when the drying rate is too low the drying process takes too much time. So, in the ideal situation the drying process is controlled by the drying rate.

In the existing types of dryer control the control is always based on parameters that influence the drying rate indirectly, like chamber temperature, channel temperature, valve position or relative humidity. The disadvantage of these methods is that the drying rate is unknown. It is true that the drying rate is a consequence of the setpoint settings, but the course of the drying rate is unknown.

As a result, in the present situation drying programs must be found by trial and error, or with the aid of extensive measurements and simulations.

In case a drying rate sensor can be developed, that indicates the actual drying rate in a reliable way, optimal drying programs can be found easily by simply drying at the highest possible drying rate, throughout the drying process. Also, there will be no influence of weather conditions on the course of the drying process.

Besides this, in case of drying rate control the energy consumption is low: the drying cycles are short (low electrical energy consumption) and there is an optimal use of the available kiln air (low gas consumption).

TNO has developed a prototype of a drying rate sensor, and tested this in a practical situation at Kleiwarenfabriek Façade in Beek. This so-called DrySimBox (DSB) uses three simple signals (2 temperatures and 1 relative humidity) and calculates the actual drying rate on the basis of relations in the dryer simulation program DrySim. Elaborate tests in a practical production environment have shown that the sensor functions well and delivers a reliable value of the actual drying rate.

By this development it will be possible to realise a drying rate control in the near future, by incorporating the DSB in the control system of the dryer.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	5
2	Ontwerp van een moderne droger.....	8
2.1	Optimaal gebruik van de ovenlucht.....	9
2.2	Energie terugwinning.....	10
2.3	Interne recirculatie	10
2.4	Constructie.....	11
2.5	Inbedrijfname.....	12
2.6	Drogerregeling.....	13
3	Regeling op droogsnelheid	15
3.1	Bestaande situatie bij Façade Beek.....	15
3.2	Praktijktest van de droogsnelheidssensor bij Façade Beek.....	20
3.3	De droogsnelheidssensor in een regelkring	21
4	Conclusies.....	28
5	Referenties	30
6	Ondertekening	31
	Bijlage A. Resultaten van diverse drogingen in droogkamer 1.....	32
	Bijlage B: Resultaten van de uniformiteitsmeting in droogkamer 5.....	42

1 Inleiding

Doel van het project is de ontwikkeling van een moderne, snelle en energiezuinige droger voor keramische producten, met een innovatieve droogsnelheidsregeling waarvan de werking op een bestaande industriële droger wordt aangetoond en verbeterde droogeigenschappen van de producten. Dit alles in samenwerking met een toeleverancier.

Het ideale droogproces voldoet aan een aantal kenmerken, zoals:

- Een product dat qua vorm, samenstelling en vormgevingstechniek een lage scheurgevoeligheid kent (hoge toelaatbare droogsnelheid) met een zo klein mogelijke hoeveelheid te verdampen water en een zo groot mogelijk oppervlak.
- Laag energiegebruik (gas en elektriciteit).
- Optimaal gebruik van beschikbare ovenlucht.
- Korte droogtijd.
- Goede uniformiteit in de droger bij een zo klein mogelijk ventilatorvermogen. Hierdoor is een kortere droogtijd te realiseren en een beter gedefinieerd (eind-) watergehalte.
- Een eenvoudige en stabiele regeling waarvan de relatie tussen setpoints en verloop van het droogproces eenvoudig te leggen is.
- Bij voorkeur een regeling op droogsnelheid i.p.v. een regeling op afgeleide parameters zoals temperatuur, relatieve vochtigheid of klepstand.

Op basis hiervan kunnen drie projectonderdelen en doelstellingen geformuleerd worden om een snel, energiezuinig en makkelijk te regelen droogproces te realiseren:

1) Het ontwerp van de droger en het interne ventilatiesysteem systeem.

Doelstelling van dit onderdeel van het project is om aan de hand van een lijst van eisen waaraan een moderne droger moet voldoen, te komen tot een in de praktijk haalbaar ontwerp, toegesneden op de Nederlandse situatie. Dit betekent een ontwerp met een grote uniformiteit, een zo laag mogelijk energiegebruik en een zo economisch mogelijke uitvoering.

2) Regeling van de droger op droogsnelheid.

Doelstelling van dit onderdeel van het project is het in de praktijk realiseren van een regeling op droogsnelheid. Hiertoe wordt een bestaande industriële kamerdroger geselecteerd. De methode moet ook toepasbaar zijn op reeds bestaande drogerijen.

3) Aanpassing van het product.

Doelstelling van dit onderdeel van het project is door het aanpassen van het product, te weten grondstofsamenstelling en producteigenschappen, een minder scheur-gevoelig product te verkrijgen zodat het droogproces minder kritisch wordt. Hierdoor laat het product kortere droogtijden (hogere droogsnelheden) toe en is de droger flexibeler in te stellen zodat een energiezuiniger proces kan worden verkregen. De elektriciteitsbesparing bij een bestaande droger is nl. evenredig met de droogtijdverkorting.

Daarnaast is het doel van dit project het vergroten van de betrokkenheid van toeleveranciers bij de doelstellingen van de meerjarenafspraken van de Nederlandse keramische industrie. Omdat een belangrijke toeleverancier van apparatuur voor de

grofkeramische industrie bij het project betrokken is (Keller GmbH), kunnen onder andere economische aspecten gemakkelijk worden geëvalueerd en kunnen concepten op technische haalbaarheid worden getoetst. Deelname van een toeleverancier is ook van belang voor een versnelde implementatie van energiezuinige processen in de Nederlandse grofkeramische industrie. De samenwerking met een toeleverancier die met dit project tot stand komt is uniek en dient wat dat betreft als doorbraak.

ad 1) Het ontwerp van de droger en het interne ventilatiesysteem

Een moeilijkheid bij het ontwerpen van een droogkamer is de keuze van het ventilatiesysteem. Een zeer intensieve ventilatie heeft als voordeel een hoge uniformiteit maar als nadeel een hoog energieverbruik en hoge investeringskosten. Een geringe ventilatie is wel goedkoop, maar resulteert in een niet uniforme verdeling van de droogsnelheid over de kamer.

Naast het ventilatiesysteem spelen ook factoren als kamergeometrie en plankafstand een belangrijke rol. Een goede keuze uit de mogelijkheden is daarom moeilijk te maken. De doelstelling van dit projectonderdeel is om, in nauwe samenwerking met een toeleverancier van de keramische industrie, te komen tot een ontwerp van een kamerdroger met een laag energiegebruik, een optimaal gebruik van de ovenlucht, een korte droogtijd, een goede uniformiteit en een stabiele regeling.

ad 2) Regeling van de droger op droogsnelheid

In de afgelopen jaren, waarin TNO een groot aantal drogerijprojecten heeft uitgevoerd, is gebleken dat kamerdrogers in de praktijk gewoonlijk op een zeer eenvoudige manier worden geregeld. Zo wordt vaak de klepstand van de verse drooglucht (handmatig of automatisch) gecombineerd met een kamertemperatuur of met de temperatuur na de brander. Andere regelingen zijn vaak varianten die dicht bij de hierboven genoemde methoden liggen.

In alle gevallen is het zo dat de relatie tussen de setpointcurven en de droogsnelheid zeer ingewikkeld is, terwijl de droogsnelheid de belangrijkste parameter is tijdens het droogproces. Het effect van veranderingen in de setpoints op de droogsnelheid kan niet zomaar vooraf kwantitatief worden vastgesteld, anders dan met behulp van metingen en simulatiemodellen. Vaak wordt in de praktijk door 'trial and error' een geschikte setpointcurve gevonden, maar is het corresponderende droogsnelheidsverloop niet bekend.

Een regeling op droogsnelheid zou een ideale uitkomst zijn, zoals is gebleken uit een vooronderzoek naar de regeling van een droogkamer (TNO rapport HAM-RPT-98-299 "Regeling van industriële droogkamers"). De operator heeft dan zelf de keuze op welke droogsnelheid het proces zal verlopen, en de relatie tussen de setpointinstelling, ofwel droogsnelheid, en het verloop van het droogproces is daarmee volledig duidelijk. Uit een eenvoudige laboratoriumproef kan worden achterhaald wat de maximaal toelaatbare droogsnelheid is, waarmee tevens de grenswaarde vastligt.

Voor een dergelijke regeling is ook van belang dat sensoren worden gebruikt die een stabiel signaal leveren. Door het verlopen van het sensorsignaal zal namelijk ook het droogproces een ander verloop krijgen. Een belangrijk aspect in dit projectonderdeel zal dan ook zijn het zoeken naar, en gebruiken van, betrouwbare sensoren waarmee een droogsnelheidsregeling kan worden gerealiseerd.

Ad 3) Aanpassing van het product

Nederlandse keramische producten worden gekenmerkt door hun hoge vochtgehalte, massieve vorm en een slappe consistentie. Het hoge vochtgehalte en de massieve vorm zijn er de oorzaak van de droogtijd relatief lang is ten opzichte van producten met een hoge mate van perforatie. Het verdampende oppervlak bij massieve producten is relatief klein ten opzichte van de inhoud. Verder zorgt de slappe consistentie

ervoor dat de stenen niet gestapeld of op hun kant geplaatst kunnen worden vóór het droogproces. Al deze factoren zorgen ervoor dat het droogproces voor Nederlandse producten speciale aandacht vraagt. Om nu toch te komen tot een snel en energiezuinig droogproces moet naast drogerontwerp en regeling aandacht worden geschonken aan de grondstofsamenstelling en producteigenschappen. De lange droogtijd van Nederlandse producten is terug te voeren op zowel de vorm als op de kleisamenstelling. Door wijzigingen aan te brengen in een van deze twee of in allebei, kan de droogtijd in grote mate worden beïnvloed. Zo droogt een steen met perforaties of een frog sneller, en kunnen sommige toeslagstoffen aan de klei de maximale droogsnelheid op een hoger niveau brengen.

Momenteel is nog niet goed bekend welk verband bestaat tussen de grondstofsamenstelling en het drooggedrag. Indien hier meer duidelijkheid over bestaat, kan een drogerij niet alleen worden geoptimaliseerd door een betere afstelling van de droger zelf, maar kan ook door aanpassing van de kleimassa het droogproces worden vereenvoudigd (bijv. toevoeging van vliegias, houtmeel, papier, zand, lava, etc.).

De hierboven beschreven onderwerpen worden in de volgende hoofdstukken verder besproken, met uitzondering van de aanpassingen aan het product. Tijdens de uitvoering van het project is de interesse van de keramische industrie en de toeleveranciers voor de droogsnelheidsregeling zo groot gebleken, dat aan dit onderwerp uitgebreider aandacht is besteed. Hierdoor zijn aanpassingen aan het product niet verder onderzocht.

2 Ontwerp van een moderne droger

In een brainstormsessie bij Keller GmbH in Laggenbeck (D) werd eerst een lijst met eisen opgesteld waaraan een moderne droger moet voldoen. Deelnemers aan de sessie waren van Keller: Helmut Lindemann, Thomas Fleischer en Ralf Köper, en van TNO: Han Velthuis en Jan Denissen.

Lijst met eisen uit de brainstorm:

- Lage investeringskosten (terugverdientijd < 10 jaar)
- Flexibele omstelling, productwisseling
- Lage bedrijfskosten
 - Elektra (< 20 Wh/kg water)
 - Gas (< 3600 kJ/kg water)
 - Personeel
 - Onderhoud (reserveonderdelen)
- Goede uniformiteit
 - Korte droogtijd
 - Constante productkwaliteit
 - Eenduidig eindwatergehalte
- Gemakkelijke meting/regeling

Uit deze lijst volgden een aantal overwegingen waarmee rekening gehouden moet worden bij het ontwerp van een moderne drogerij:

- Optimaal gebruik van de ovenlucht
 - Intelligent energie management systeem (regeling starttijden, weekend droging)
 - In de toekomst wordt een hoge temperatuur van de oven verwacht (> 300 °C)
 - Techcon principe?
- Energie terugwinning
 - Condensatie van vocht
 - Warmtepompen
 - Warmtewisselaars
 - Warmteterugwinning is alleen interessant als de ovenlucht niet voldoende is voor de droging. In de dakpanindustrie komt het vaak voor dat er een overschot aan ovenlucht is door de grote hoeveelheid vuurvast in de oven.
- Interne recirculatie
 - Gematigde en gelijkmatige luchtstroming over de producten
 - Regelbare ventilatie
 - Geometrie van de droger
 - Transversale of longitudinale recirculatie
 - Luchtsnelheden van 0.5 tot 4 m/s
- Constructie
 - Wanden uit steen of staal?
 - Geen valse lucht
 - Materialen moeten corrosie resistent zijn, zeker als het dauwpunt in de droger toeneemt als gevolg van een hoge ovenluchttemperatuur
 - De constructie moet modulair en snel zijn
 - Latten of planken?
 - Ideale hoogte is 3 tot 3.5 meter

- Inbedrijfname
 - Bij de inbedrijfname moet een goede keuze gemaakt kunnen worden voor het eerste droogprogramma (momenteel veel trial and error)
 - Drogermodel kan behulpzaam zijn voor ontwerpen van eerste droogprogramma
 - Begeleiding van de inbedrijfname op afstand via telefoonverbinding?
- Drogerregeling
 - Eigenlijk is de enig belangrijke parameter de droogsnelheid
 - Bij droogsnelheidsregeling is T en RV output en geen input!
 - Er mag geen invloed zijn van de weersomstandigheden (zomer of winter)
 - Meting van de krimp is ook een methode om de droogsnelheid te bepalen
 - De drogerregeling moet eenvoudig te begrijpen zijn
 - De drogerregeling moet betrouwbaar zijn

Onderstaand zullen de genoemde onderwerpen nader uitgewerkt worden aan de hand van expertise van TNO en Keller, die in de vervolgbijeenkomsten werd uitgewisseld.

2.1 Optimaal gebruik van de ovenlucht

Aangezien in de keramische fabriek van vandaag nagenoeg altijd een tunneloven aanwezig is, die steeds een hoeveelheid lucht produceert (uit de koelzone), is het van groot belang dat in ieder geval deze lucht zo goed mogelijk wordt benut. Deze energie is per slot van rekening gratis beschikbaar.

Vaak kan een groot deel van de energiebehoefte van de drogerij worden geleverd uit de beschikbare ovenlucht, en wordt slechts een (klein) gedeelte van de benodigde droog-energie toegevoerd in de vorm van aardgas in de bijstook.

Om een efficiënt gebruik van de ovenlucht in een kamerdrogerij te realiseren is door TNO het zogenaamde MPS systeem ontwikkeld [1]. Met dit systeem kan worden nagegaan hoe het luchtverbruik over de week is verdeeld, en hoe de starttijden van de drogers moeten worden aangepast om een optimale benutting te realiseren. Voor het MPS systeem moet echter het luchtverbruik van elk droogprogramma bekend zijn.

Daarom is het aan te raden om bij de regeling van een droogkamer de droogluchtklep direct te regelen, en niet indirect via de relatieve vochtigheid in de kamer. Op die manier is het luchtverbruik van elke kamer vrij te kiezen en bekend. Bij een regeling op RV is steeds het luchtverbruik onbekend (andere nadelen van de T-RV regeling komen later in dit rapport aan de orde).

Voor een energiezuinig droogproces is het van belang dat het luchtverbruik van de droger zo laag mogelijk is [2][3]. Op die manier verlaat het grootste deel van de toegevoerde energie de droger in de vorm van waterdamp, en slechts een klein deel in de vorm van warme lucht.

De laatste ontwikkelingen gaan dan ook in de richting van een zo laag mogelijk debiet van de ovenlucht, met een zo hoog mogelijke temperatuur.

Daarnaast is het natuurlijk voordelig om de drogerij zo continu mogelijk te bedrijven; dan is afstemming van het luchtverbruik op het aanbod het gemakkelijkst. In de ideale situatie kan een tunneldroger worden gebruikt, waarin de ovenlucht optimaal kan worden ingezet. In Nederland worden echter vele verschillende formaten en kleien

gebruikt binnen één fabriek, waardoor een zekere mate van flexibiliteit gewenst is. In dat geval wordt in het algemeen gekozen voor een kamerdrogerij.

Een continu luchtverbruik in een kamerdrogerij kan worden benaderd door het zogenaamde Techcon principe. Hierbij zijn steeds alle droogkamers in bedrijf op twee na: de ene wordt volgereden en de andere wordt leeggereden.

Omdat in de meeste Nederlandse bedrijven niet in het weekend en niet gedurende de nacht wordt gewerkt, is in deze gevallen een buffercapaciteit nodig om deze periodes te overbruggen. Bovendien moet het omrijden van de kamers 's nachts en in het weekend automatisch gebeuren. Indien dit bedrijfszeker kan worden gedaan, dan is het Techcon principe een erg zuinige manier van drogen in droogkamers.

Tenslotte kan nog worden gedacht aan een energie management systeem. Dit moet ervoor zorgdragen dat het luchtverbruik van alle actieve kamers toeneemt op het moment dat er veel ovenlucht beschikbaar is en omgekeerd. Echter, een dergelijk systeem is moeilijk te integreren in de regeling van een kamerdrogerij. Een oplossing wordt gevormd door het gebruik van een droogsnelheidsregeling. Hierbij is al automatisch sprake van goed energie management. Later in dit rapport zal hierop nader worden ingegaan.

2.2 Energie terugwinning

Energie terugwinning is een mooie zaak, maar alleen zinvol in die gevallen waarin de teruggewonnen energie nuttig kan worden hergebruikt. In de vorige paragraaf is al gememoreerd dat een groot deel van de energiebehoefte voor de droging wordt geleverd uit de afvalwarmte van de tunneloven. Terugwinning is dus zinvol tot op een niveau waarop geen bijstook in de drogerij meer nodig is.

De eenvoudigste manier om energie terug te winnen is door middel van een warmtewisselaar. Een warmtewisselaar in de uitgang van een droger kan warmte op een laag niveau terugwinnen, maar dat is altijd nog beter dan het aanzuigen van koude lucht. Een warmtepomp kan op een effectieve manier de condensatiewarmte terugwinnen, maar dat is alleen mogelijk indien de drooglucht erg veel waterdamp bevat. Zolang het aanbod van ovenlucht hoog blijft, is toepassing van een warmtepomp niet zinvol.

2.3 Interne recirculatie

De taak van de interne recirculatie is om een gelijkmatige luchtstroming te genereren over de te drogen producten. Deze circulatie moet homogeen zijn van onder tot boven en van voor tot achter in de droger. Dit alles is te realiseren door de keuze van de geometrie van de droger (gelijkmatige luchtuitblaas over de hoogte van een Rotamixer, het gebruik van een spleetwand met een gelijkmatige verdeling, voldoende Rotamixers in de lengte van de droger).

Van het grootste belang voor een uniforme droging is echter een voldoende hoge luchtsnelheid over de breedte van de belading. Op die manier wordt een groot droogsnelheidsverschil tussen de eerst en de laatst aangeblazen producten voorkomen. Een zo hoog mogelijke snelheid is daarbij het beste, maar een hoge luchtsnelheid betekent ook een hoog elektrisch energieverbruik van de ventilatoren. Een praktisch compromis blijkt te liggen bij een luchtsnelheid over de producten van 0.5 tot 4 m/s.

Welk systeem van interne recirculatie het beste is, Rotamixers of een spleetwand, is niet zonder meer te zeggen. Een spleetwand lijkt een iets homogener droging op te leveren, maar de investeringskosten zijn ook iets hoger.

Tenslotte nog twee belangrijke aspecten voor een goed functioneren van de interne recirculatie. In de praktijk is namelijk meermalen gebleken dat met deze aspecten geen rekening gehouden is.

Ten eerste moet tussen de buitenkant van de droogwagens en de wand voldoende ruimte zijn om de lucht dóór de belading te dwingen alvorens deze weer wordt aangezogen door de interne ventilatoren. Een ruimte van 0.5 tot 1 meter wordt aanbevolen om kortsluiting van het interne circulatiecircuit te voorkomen.

Ten tweede, ook een maatregel om kortsluiting van het interne circulatiecircuit te voorkomen, is het aanbrengen van een tussendeuk in de droogkamer zodat de uitblaas en de aanzuig van de interne ventilatoren daadwerkelijk gescheiden zijn. Op die manier kan de drooglucht niet worden aangezogen voordat hij de belading heeft doorlopen.

Indien met deze aspecten geen rekening wordt gehouden gaat kostbare elektrische energie verloren.

2.4 Constructie

De eerste vraag die opkomt bij de constructie van een droger is de opbouw van de wand. Moet de wand bestaan uit steen of uit staal? Een eerste vereiste is dat de wanden voldoende isolatie bieden. Op die manier is het warmtelek naar de omgeving het kleinst en wordt een beïnvloeding van twee naast elkaar gelegen kamers vermeden.

Bij een tunneldroger is het niet zo belangrijk uit welk materiaal de wanden zijn opgebouwd. Hier kan eenvoudigweg worden volstaan met de goedkoopste oplossing. Bij een kamerdroger echter, is de keuze wel belangrijk. In het geval van een stenen wand in een kamerdroger wordt aan het einde van het droogproces (hoge temperatuur) een grote hoeveelheid warmte opgeslagen in de wanden. Bij het inrijden van de volgende lading natte producten kan dit problemen opleveren als de producten in de nabijheid van de warme wand al beginnen te drogen. Bij drooggevoelige producten wordt daarom geadviseerd om te kiezen voor wanden met een lage warmtecapaciteit.

Daarnaast ligt natuurlijk voor de hand dat de droger geen lekkage mag vertonen. Indien door spleten (bijv. bij de deur) warme verzadigde lucht naar buiten lekt dan zal meteen condensatie optreden. Dit leidt tot onnodige corrosie. In de ideale situatie staat de hele droger onder een lichte onderdruk waardoor alleen een klein lek naar binnen mogelijk is maar geen lek naar buiten.

Zoals genoemd in paragraaf 2.1 is de trend dat de hoeveelheid ovenlucht afneemt en de temperatuur toeneemt. Dit heeft als gevolg dat het dauwpunt van de lucht in de droger toeneemt. Hierdoor wordt het in de toekomst noodzakelijker om corrosieresistente materialen toe te passen, en om koudebruggen met de omgeving nog beter te vermijden.

Om een snelle constructie van een droger mogelijk te maken is een modulaire opbouw aan te bevelen. Op die manier kunnen de onderdelen van een droger geheel worden voorbereid bij de toeleverancier, en hoeft in de fabriek de droger alleen te worden geassembleerd. Dit bespaart arbeidskracht en dus kosten op de droger.

Bij het plaatsen van de producten op de droogwagens zijn er in feite twee keuzes: moeten de producten op latten of op planken en hoe groot moet de etageafstand zijn?

Voor de Nederlandse situatie is de eerste keuze gemakkelijk. Omdat veel producten volgens het 'softmud' proces worden gemaakt kunnen deze producten alleen op planken worden geplaatst. Bij producten die het toelaten om op latten gelegd te worden is de keuze voor latten beter omdat het drogende oppervlak dan groter is. Nadeel van latten is echter dat zij markeringen achterlaten in de strek van de stenen.

Vervolgens moet de vraag worden beantwoord hoe groot de etageafstand moet zijn. Het antwoord hierop is weer een compromis: voor een goede uniforme droogsnelheid moet de etageafstand zo groot mogelijk zijn, en voor een economische droger met voldoende inhoud moet de etageafstand zo klein mogelijk zijn. Het compromis lijkt hier te zijn: de afstand tussen de bovenkant van de producten en de onderkant van de volgende etage moet ongeveer ééntiende bedragen van de te doorstromen breedte van de belading.

Dan is er nog de vraag wat de hoogte van de droger moet zijn. Een erg hoge droger heeft als voordeel dat met een geringe meerinvestering beduidend meer producten in de droger passen. Het nadeel is dat het intern transport in de fabriek moeilijker wordt naarmate de droogwagens hoger zijn. Een ideale hoogte lijkt te liggen in de buurt van 3.5 meter.

Wat betreft de externe recirculatie rijst de vraag of deze nodig is of niet. In sommige gevallen wordt de extra energie aan een droogkamer toegevoerd door diverse kleine branders in de droogkamer zelf, en is een externe recirculatie geheel afwezig. Het voordeel van deze methode is de goedkopere uitvoeringsvorm, er is dan namelijk geen externe recirculatie ventilator nodig. Het nadeel is het gevaar voor plaatselijk hoge droogsnelheden, met name in de buurt van de branders.

Hierdoor lijkt het toch aan te bevelen om een externe recirculatie aan te leggen. In dat geval worden de hete rookgassen van de gasbrander eerst verdund met de externe recirculatielucht. Bij het binnentreden van de droogkamer is de drooglucht dan minder agressief en is de kans op plaatselijke scheuren minder.

Bovenstaande redenering geldt alleen voor kamerdrogers. Bij tunneldrogers blijkt een externe recirculatie helemaal niet nodig te zijn [4]. Hier is het van belang dat de drooglucht zo goed mogelijk wordt verdeeld over de totale lengte van de tunnel. Een kleine verbetering zou nog kunnen bestaan uit de verdeling van de drooglucht over ca. 90 % van de tunnallengte, waarbij 10 % van de tunnallengte aan de uitrijzijde wordt benut om de energie uit de warme producten terug te winnen.

2.5 Inbedrijfname

Een belangrijk probleem dat een rol speelt bij de ingebruikname van een nieuwe droger is de keuze voor het eerste droogprogramma. In het algemeen zijn de grootheden waarop wordt geregeld bij een nieuwe droger anders dan in de oude situatie. In dat geval moeten geheel nieuwe droogprogramma's worden samengesteld door simpelweg "uitproberen". Ook als de grootheden waarop geregeld wordt gelijk zijn, kan meestal niet worden gewerkt met de oude programma's, vanwege andere klepkarakteristieken, andere interne circulatie of andere eisen aan de droogtijd.

Dit heeft tot gevolg dat de ingebruikname een lange tijd in beslag neemt, en dat is duur voor de toeleverancier. Volgens Keller zou het een hele verlichting betekenen indien de keuze voor het eerste droogprogramma goed gefundeerd gemaakt zou kunnen worden.

Een hulp hierbij zou kunnen zijn het TNO drogersimulatiemodel DrySim. Hiermee kan een zeer goede eerste schatting worden gemaakt voor de benodigde setpoints bij elk te produceren product.

De oorzaak van bovengenoemd probleem is het feit dat er geen duidelijke correlatie is tussen de gekozen setpoints en het droogsnelheidsverloop dat daarvan het gevolg is. Dit is eigenlijk een algemeen probleem, maar de oplossing ervan is in zicht, namelijk door te regelen op droogsnelheid (zie 2.6 en Hoofdstuk 3).

Tenslotte is een besparing op reiskosten en manuren te realiseren door assistentie van de toeleverancier op afstand, bijvoorbeeld door middel van een telefoonverbinding tussen de regelcomputer in de fabriek en een communicatiecomputer bij de toeleverancier.

2.6 Droogerregeling

Een veel bediscussieerd thema bij de keuze voor een nieuwe droger is het type regeling waarmee de droogcyclus wordt geregeld. Momenteel zijn een aantal combinaties van regelgrootheden gangbaar:

- Temperatuur in de kamer en relatieve vochtigheid in de kamer
- Temperatuur ná de brander en relatieve vochtigheid in de kamer
- Temperatuur in de kamer en klepstand van de droogluchtoevoer
- Temperatuur ná de brander en klepstand van de droogluchtoevoer

Bij alle bovenstaande regeltypen geldt dat de correlatie tussen de setpoints en het droogsnelheidsverloop onbekend is. Bij de eerstgenoemde regelvariant (T en RV in de kamer) valt nog wel enigszins een voorspelling van de droogsnelheid te maken aan de hand van praktische metingen in de kamer. Door de keuze van een verloop van het psychrometrisch temperatuurverschil van de kameratmosfeer kan de droogsnelheid redelijk worden ingeschat.

Een groot nadeel is echter de instabiliteit van een T-RV regeling. Het blijkt in de praktijk moeilijk te zijn om de regelparameters P, I en D zodanig in te stellen dat de kamercondities weinig fluctueren. In het algemeen slingeren de werkelijke waarden voor T en RV rond de ingestelde waarden, waardoor ook de droogsnelheid fluctuaties vertoont.

De oorzaak voor deze instabiliteit ligt in de temperatuurafhankelijkheid van de relatieve vochtigheid. Een toename van de kamertemperatuur heeft direct een afname van de RV tot gevolg. Een temperatuuroename heeft in het algemeen als doel om de droogsnelheid te verhogen, maar doordat bij een afname van de RV de droogluchtklep verder sluit neemt de droogsnelheid juist af. Hierdoor wordt de regeling instabiel.

Een tweede nadeel van een regeling op T en RV is het onbekende luchtverbruik. Het luchtverbruik is dan afhankelijk van de werkelijke waarden van T en RV, en bij schommelingen hierin schommelt ook het luchtverbruik. Daarnaast is het belangrijk om het luchtverbruik wél te kennen. In paragraaf 2.1 is al gewezen op de noodzaak om het luchtverbruik van de droger zo goed mogelijk af te stemmen op het aanbod, en dit is alleen mogelijk als het luchtverbruik van een droogcyclus bekend is. Een regeling op klepstand is daarom ook aan te bevelen boven een regeling op RV. Een bijkomend voordeel is de veel stabielere regeling: de kamertemperatuur heeft veel minder neiging om te fluctueren, waardoor het droogsnelheidsverloop rustiger is.

klepstand is daarom ook aan te bevelen boven een regeling op RV. Een bijkomend voordeel is de veel stabielere regeling: de kamertemperatuur heeft veel minder neiging om te fluctueren, waardoor het droogsnelheidsverloop rustiger is.

Bij de regeling van een droogkamer is in feite alléén het verloop van de droogsnelheid van belang. Bij een voldoende hoge droogsnelheid is het droogproces kort, en door de droogsnelheid beneden de kritische waarde te houden is een scheurvrij product verzekerd. Een ideale regeling is dan ook een regeling op droogsnelheid, met de volgende voordelen:

- Het setpoint heeft een begrijpelijke waarde.
- Verkorting van een droogcyclus is eenvoudig te realiseren door een hogere waarde voor de droogsnelheid te kiezen.
- De regeling is eenvoudig te bedienen.
- Er is geen invloed meer van de weersomstandigheden.
- Laag elektrisch energieverbruik door korte droogcycli.
- Laag gasverbruik door optimaal gebruik van de beschikbare ovenlucht.
- Een groot aantal droogprogramma's voor diverse producten en omstandigheden is niet meer nodig.
- Geen langdurige 'trial and error' methodes meer om te komen tot een optimale droogcurve.
- Bij verandering van de kleivoorraad is het gemakkelijk om het droogprogramma aan te passen aan de nieuwe droogeigenschappen.
- Snelle ingebruikname van een nieuwe droger.
- Droogscheuren worden te allen tijde vermeden.

De uitdaging is dus om een sensor te ontwerpen die in staat is om de werkelijke droogsnelheid in een droogkamer te meten. In het volgende hoofdstuk zal hierop verder worden ingegaan.

3 Regeling op droogsnelheid

In het vorige hoofdstuk is al gewezen op de voordelen van een droogsnelheidsregeling. De uitdaging is dan om een sensor te ontwikkelen die in staat is om de droogsnelheid te meten. Hiervoor heeft TNO TPD gebruik gemaakt van haar expertise op het gebied van drogersimulatie (DrySim).

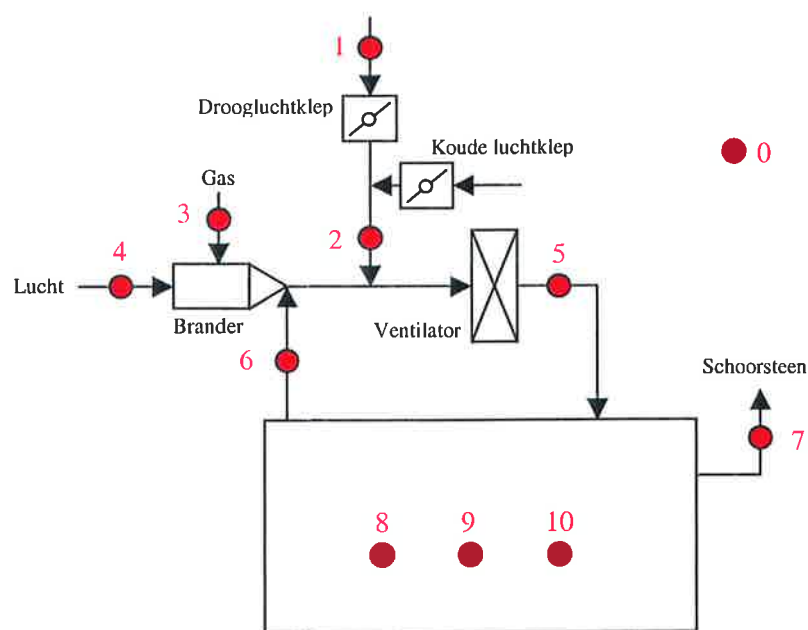
Bij de ontwikkeling van de droogsnelheidssensor DrySimBox (DSB) werd uitgegaan van het volgende standpunt: de sensor moet door meting van een beperkt aantal, eenvoudig te meten signalen in staat zijn om via een berekening de droogsnelheid met een goede nauwkeurigheid te schatten.

Een uitgebreide analyse van de mogelijkheden heeft uiteindelijk geleid tot een sensor die gebruik maakt van 3 signalen: twee temperaturen en één relatieve vochtigheid. Deze signalen worden continu gemeten en de DSB bepaalt de actuele droogsnelheid met behulp van rekenrelaties uit het drogersimulatieprogramma DrySim.

De aldus ontwikkelde sensor werd in de praktijk getest bij Steenfabriek Façade in Beek.

3.1 Bestaande situatie bij Façade Beek

Voordat de test van de droogsnelheidssensor werd uitgevoerd, werd eerst een aantal metingen doorgevoerd aan de bestaande situatie in droogkamer 1 van Façade Beek. De meetplaatsen zijn weergegeven in Figuur 1.

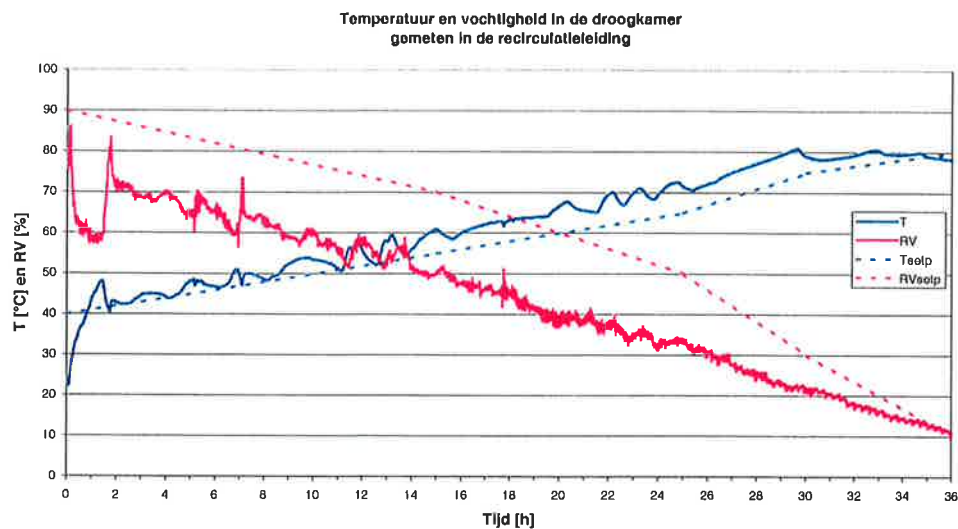


Figuur 1. Schematische weergave van de meetpunten in en om droogkamer 1 van Façade Beek.

Toelichting bij de meetpunten in Figuur 1:

0. T en RV van de omgevingslucht
1. Debiet en T van de verse drooglucht
2. T van de drooglucht na de koude lucht klep
3. Debiet en T van de gastoevoer (druk handmatig)
4. (Debiet branderlucht handmatig)
5. T naar de kamer (debiet handmatig)
6. T, RV en debiet van de recirculatie
7. Debiet van de schoorsteen
8. Gewicht, Tlucht en Tsteen
9. Gewicht, Tlucht en Tsteen
10. Gewicht, Tlucht en Tsteen

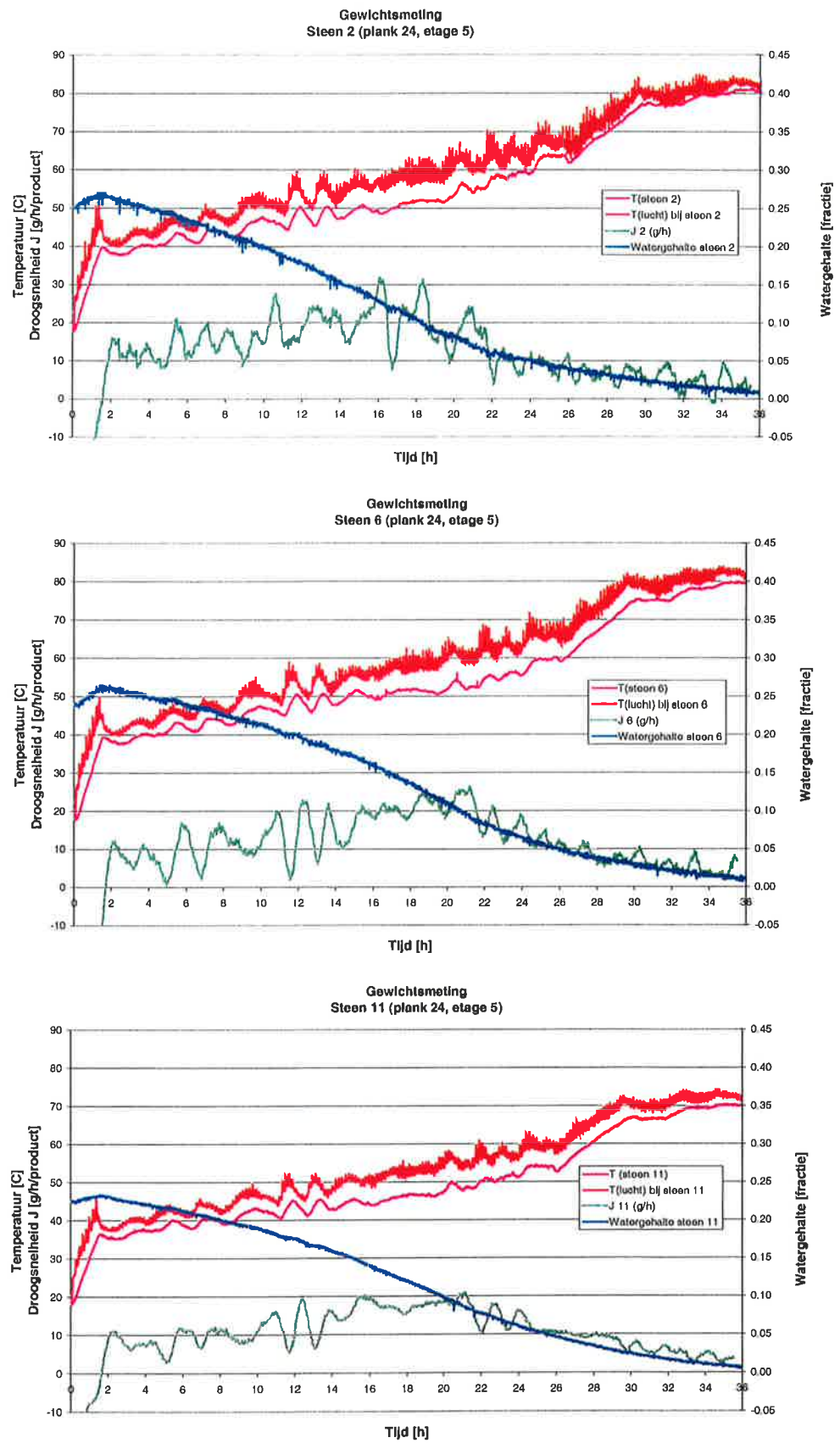
Tijdens de droging van 1 november 2000 werd een complete meting van de droogcyclus uitgevoerd, inclusief bepaling van het gewichtsverlies van 3 stenen in de droogkamer. In onderstaande figuren is het resultaat weergegeven.



Figuur 2. Temperatuur en Relatieve Vochtigheid tijdens de droging van 1 november 2000.

In Figuur 2 valt direct op dat de temperatuur in de recirculatieleiding hoger is dan het setpoint, en de relatieve vochtigheid lager dan het setpoint. In principe moeten de condities in de recirculatieleiding gelijk zijn aan die in de kamer. Bij een controle is echter gebleken dat er een kortsluiting van warme ingaande lucht naar de recirculatie plaatsvindt. Hierdoor is de temperatuur in de recirculatie hoger en de relatieve vochtigheid lager dan in de kamer. De kamercondities liggen wel in de buurt van het setpoint.

Daarnaast valt op dat de temperatuur in de kamer nogal wat schommelingen vertoont. De regeling is kennelijk niet in staat om de ingestelde setpoints voor de temperatuur en de relatieve vochtigheid goed te volgen. De consequentie van deze schommelingen is duidelijk terug te vinden in Figuur 2, waarin het gewichtsverlies van 3 stenen in de droogkamer is weergegeven.

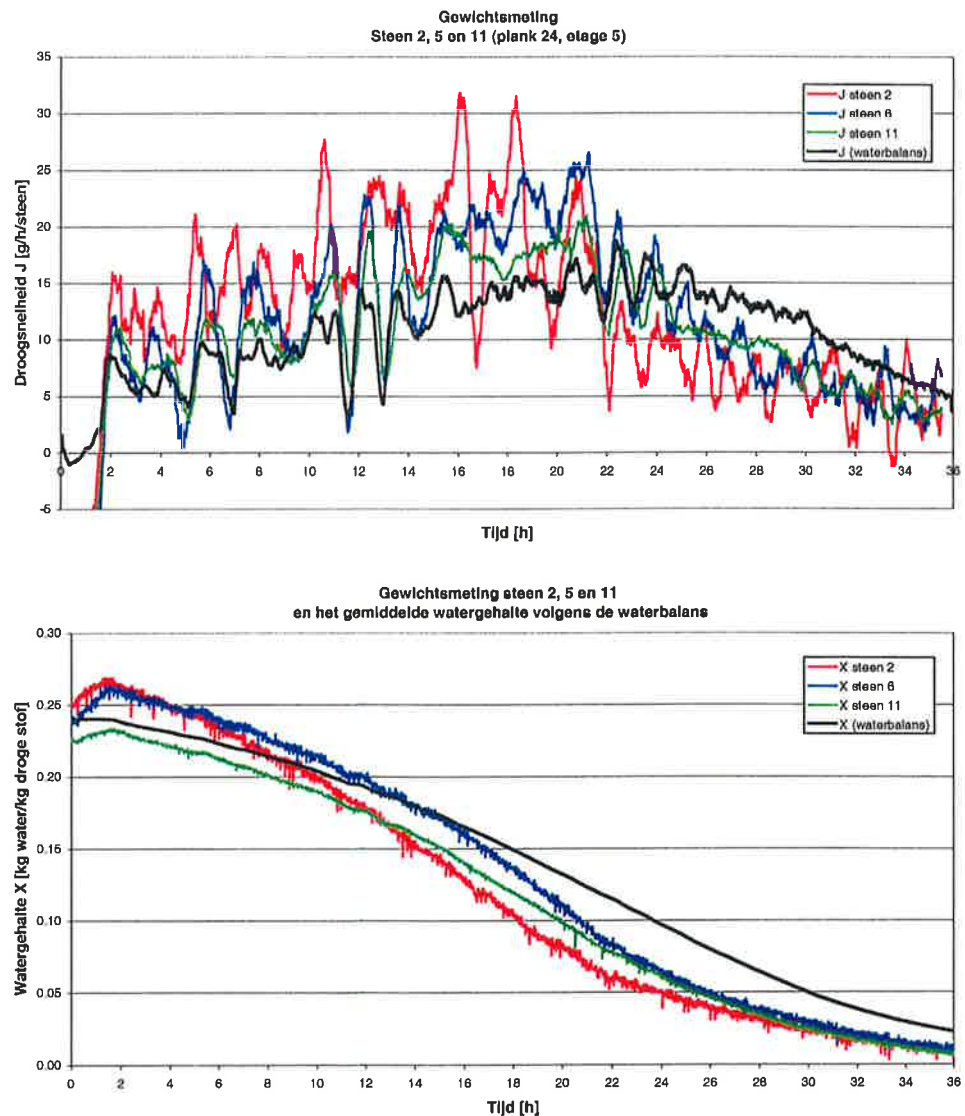


Figuur 3. Gewichtsmeting van 3 stenen tijdens de droging van 1 november 2000.

In Figuur 3 is duidelijk te zien dat de droogsnelheid dezelfde schommelingen vertoont, evenals de steentemperatuur. Bij een goede regeling heeft de steentemperatuur en de droogsnelheid een rustig verloop zonder pieken. De pieken in de droogsnelheid zijn zelfs gevaarlijk omdat de kans op overschrijding van de kritische droogsnelheid dan groter is.

De kleine piekjes op de luchttemperatuur in de buurt van de stenen worden veroorzaakt door de roterende ventilatoren. Indien de temperatuurmeting plaatsvindt bij passage van de ventilator, dan zal de temperatuur op dat moment iets hoger zijn. Het effect neemt ook af in de richting van steen 11, omdat die het verst van de ventilator ligt.

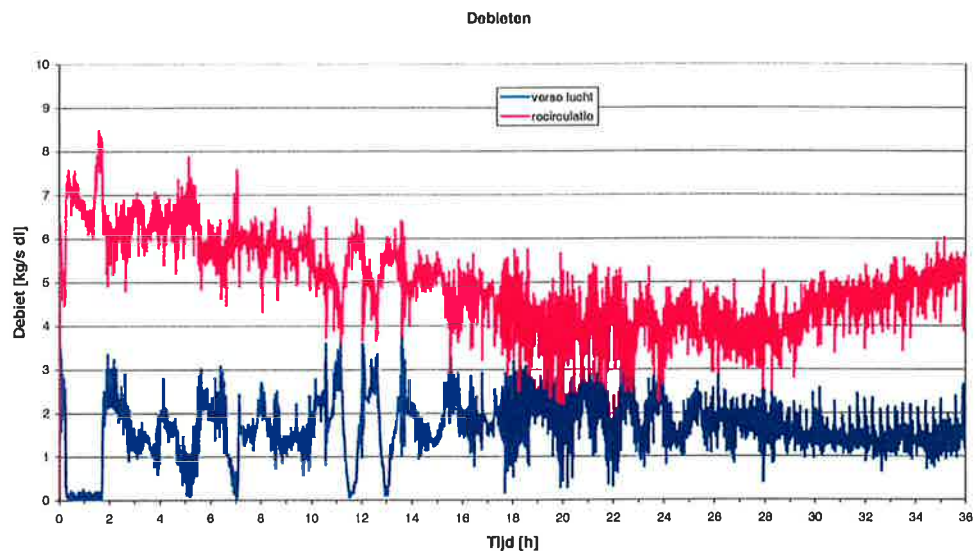
De gemiddelde droogsnelheid van alle producten in de kamer kan worden berekend aan de hand van een waterbalans over de droger. Het resultaat van deze berekening is weergegeven met de zwarte lijn in Figuur 4.



Figuur 4. Droogsnelheid en watergehalte van 3 meetstenen in de droger, samen met de gemiddelde waarde over de hele droger (uit de waterbalans) tijdens de droging van 1 november 2000.

In Figuur 4 valt op dat de gemiddelde droogsnelheid van de hele kamer in het begin wat lager ligt dan die van de individuele stenen, en aan het eind wat hoger. De oorzaak hiervan ligt in het feit dat de 3 meetstenen op een positie liggen die relatief snel droogt. Hierdoor is de gemiddeld droogsnelheid over de hele kamer niet gelijk aan de gemiddelde droogsnelheid van de 3 meetstenen. Het gemiddelde eindvochtgehalte van de kamer is dan ook iets hoger. De schommelingen in de gemiddelde droogsnelheid zijn weliswaar kleiner, maar nog steeds aanwezig.

Nu zijn de fluctuaties in de droogsnelheid niet alleen het gevolg van schommelingen in de kamertemperatuur, maar ook de hoeveelheid verse lucht speelt daarbij een rol. Doordat de klep van de verse lucht wordt gestuurd afhankelijk van de relatieve vochtigheid, vertoont ook het luchtverbruik van de droger fluctuaties (zie Figuur 5).



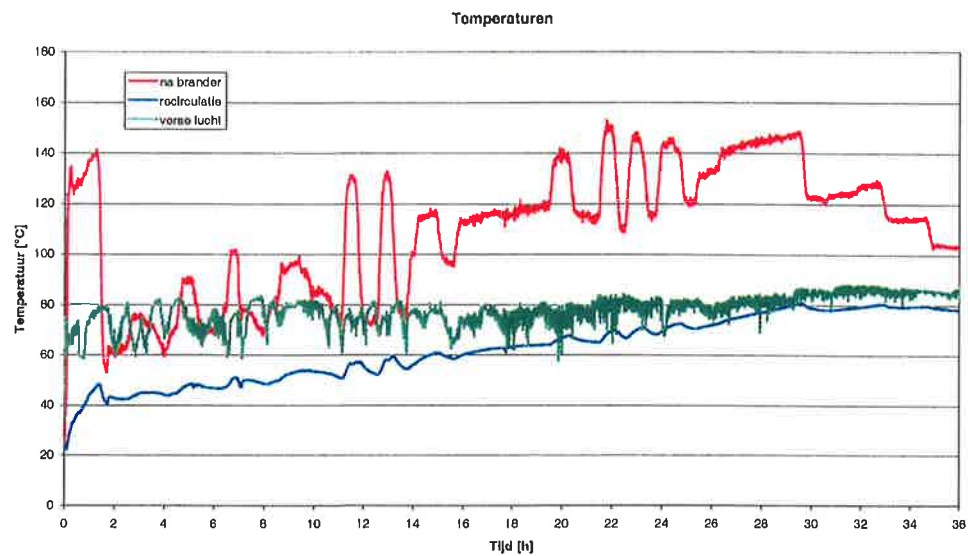
Figuur 5. Het debiet aan verse lucht en het recirculatie-debiet bij de droging van 1 november 2000.

Bij een piek in de kamertemperatuur zal de relatieve vochtigheid in de kamer afnemen. De reactie van de regeling daarop is het sluiten van de verse lucht klep om de RV weer op te voeren. Het effect is echter dat door het sluiten van de verse lucht klep de droogsnelheid afneemt. Een temperatuurpiek geeft dus een verlaging van de droogsnelheid. Dit is geheel tegen het gevoel in, maar wel een weergave van de werkelijkheid, zoals later in dit rapport zal blijken.

In Figuur 6 is de temperatuur op diverse plaatsen in de droogkamer weergegeven, en hierin is te zien dat de temperatuur na de brander (van de lucht die naar de kamer gaat) fluctuaties vertoont van wel 60 °C !

Voor een rustig droogverloop zijn dergelijke grote temperatuurvariaties zeer ongewenst.

De hierboven gegeven beschouwing over het droogverloop in droogkamer 1 van Façade Beek is niet slechts een éénmalige uitschieter. Bij andere drogingen zijn soortgelijke waarnemingen gedaan (zie Bijlage A).



Figuur 6. *Temperatuur na de brander, temperatuur van de verse lucht en temperatuur van de recirculatie bij de droging van 1 november 2000.*

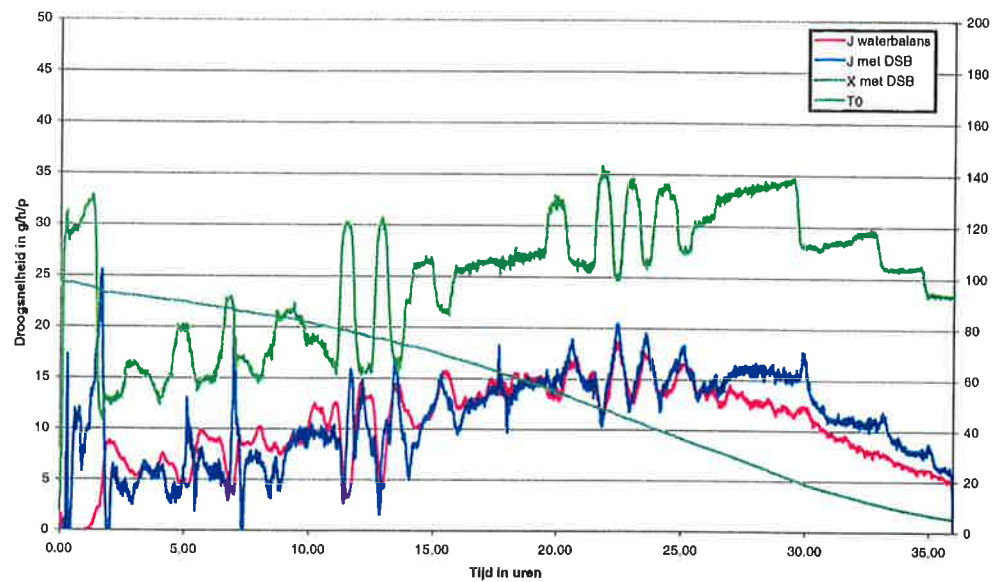
Bij de droging van 13 oktober 2000 (zie Bijlage A) werd geconstateerd dat een schommeling van de verse lucht temperatuur (als gevolg van periodiek reduceren in de tunneloven) erg grote fluctuaties teweegbrengt in de droogsnelheid. De regeling is niet in staat om dergelijke fluctuaties op te vangen, waardoor deze verstoring versterkt doorwerkt in het droogverloop.

Tenslotte is op 10 maart 2000 in droogkamer 5 de uniformiteit gemeten door van een aantal producten het restvochtgehalte te meten na 23 uur drogen (van de 36 uur). Het resultaat van deze meting is weergegeven in Bijlage B.

3.2 Praktijktest van de droogsnelheidssensor bij Façade Beek

Bij TNO werd in de zomer van 2000 een eerste prototype van een droogsnelheidssensor gebouwd. Deze bestaat uit een meetbox, een signaalbox en een computer. De meetbox wordt op de droger geplaatst en meet daar twee temperaturen en één relatieve vochtigheid. Deze signalen worden door de meetbox digitaal verstuurd naar de computer, die vervolgens uit de signalen de droogsnelheid berekend. De droogsnelheid wordt door de computer doorgegeven aan de signaalbox die het signaal van de droogsnelheid omzet in een 4 tot 20 mA signaal. De signaalbox geeft tenslotte dit signaal door aan de regelcomputer van de drogerij van Façade Beek.

Om de droogsnelheidssensor (DrySimBox DSB) te testen werd tijdens diverse drogingen het signaal van de DSB geregistreerd. Bij andere drogingen, die eerder werden uitgevoerd, is het ook mogelijk om een signaal van de DSB te genereren door simpelweg achteraf de berekeningen van de DSB uit te voeren. Het resultaat bij de meting van 1 november 2000 is weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7. Vergelijking tussen de werkelijke droogsnelheid (J waterbalans) en de droogsnelheid zoals gemeten met de droogsnelheidssensor (J met DSB) bij de droging van 1 november 2000.

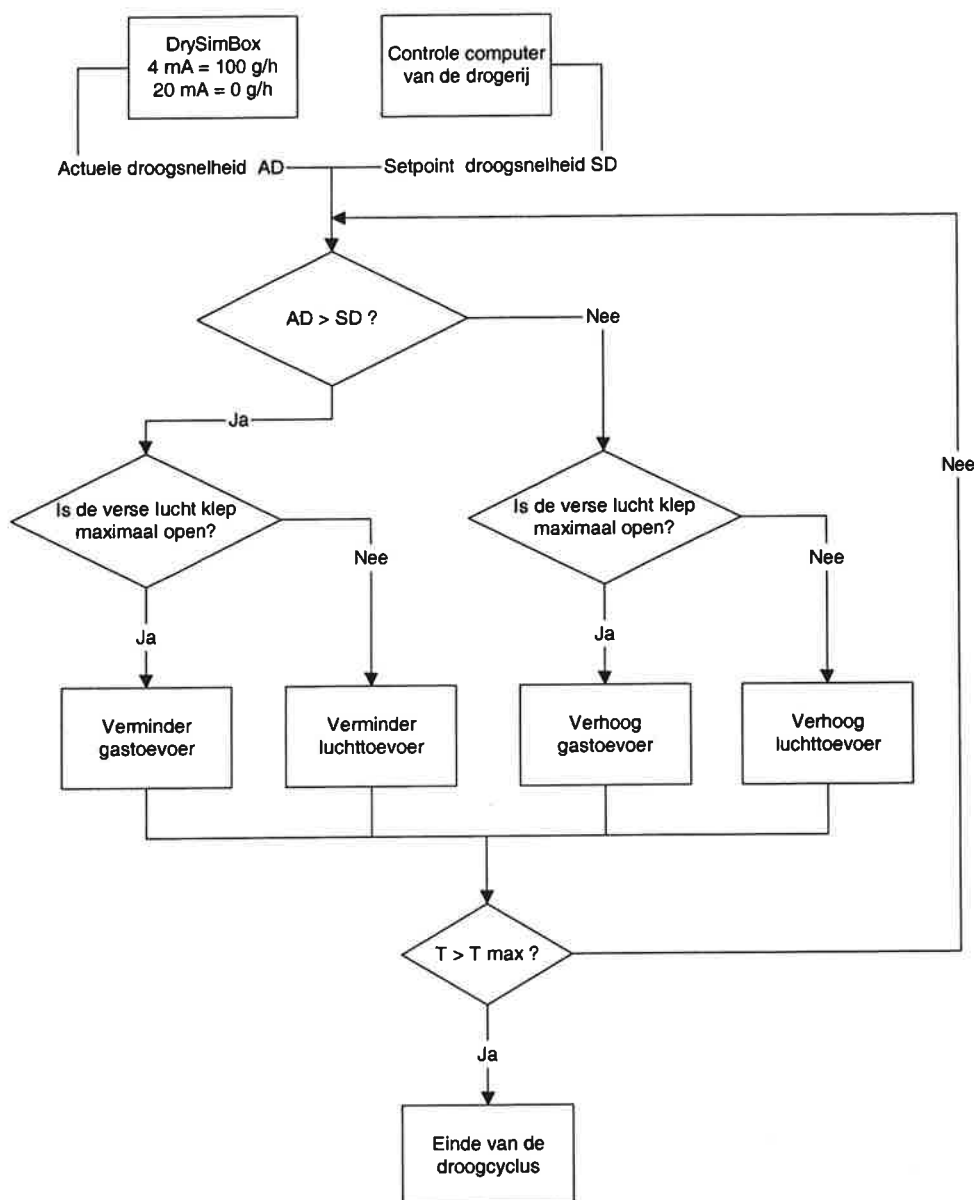
In Figuur 7 is te zien dat de droogsnelheidssensor de werkelijke droogsnelheid vrij nauwkeurig weergeeft. Zelfs het onrustige verloop van de droogsnelheid wordt in het algemeen goed gevolgd. Ook bij andere drogingen is dat het geval zoals te zien is in Bijlage A. Concluderend mag worden gesteld dat de droogsnelheidssensor DrySimBox goed functioneert.

3.3 De droogsnelheidssensor in een regelkring

Na de constatering dat de droogsnelheidssensor goed werkt, is de volgende uitdaging om de sensor op te nemen in een regelkring om op die manier een echte droogsnelheidsregeling te realiseren.

Het idee is om een droogkamer in zijn geheel te regelen via de droogsnelheidssensor. Dit betekent dat de droogkamer eerst de beschikbare energie in de ovenlucht benut voordat de brander wordt ingeschakeld. Pas als de energie in de ovenlucht niet voldoende is om de gewenste droogsnelheid te bereiken, zal de brander inkomen. In dat geval wordt de brander verder geopend indien de droogsnelheid te laag is. Dit principe is schematisch weergegeven in Figuur 8.

Op deze manier zal de temperatuur in de kamer aan het eind van de droging oplopen omdat de droogsnelheid dan niet meer gehaald kan worden. De producten zijn dan immers droog. Het stopcriterium van de droogcyclus is dan het bereiken van een bepaalde kamertemperatuur.



Figuur 8. Schematische weergave van de werking van de droogsnelheidsregeling.

Er lijkt nu echter een probleem te spelen: in Figuur 7 is te zien dat de droogsnelheid afneemt als de brander toeneemt. De reactie van de droogkamer is dus een dal in de droogsnelheid bij een piek in de kamertemperatuur, terwijl het bij de droogsnelheidsregeling de bedoeling is dat de droogsnelheid toeneemt als de brander verder open gaat.

Het probleem is echter geheel te wijten aan het type regeling waarmee de droogkamer momenteel wordt geregeld, nl. op T en RV . Bij een verhoging van de gastoevoer neemt de kamertemperatuur weliswaar toe, maar gelijktijdig neemt de relatieve vochtigheid af. De reactie van de regeling is dan om de verse lucht toevoer verder te sluiten om de RV weer op peil te krijgen. Door dit sluiten van de verse lucht toevoer neemt de droogsnelheid af!

Het probleem bij een regeling op T en RV is dus het feit dat de twee parameters waarop geregeld wordt afhankelijk zijn van elkaar. Dit maakt de regeling erg instabiel, en verklaart tevens de grote schommelingen die worden waargenomen in de kamercondities en in de droogsnelheid.

Tenslotte zijn nog een aantal simulaties uitgevoerd met het droger simulatie programma DrySim, om bij twee typen regelingen na te gaan wat de reactie van de droogsnelheid is indien de brander verder open gaat. Bij de droogsnelheidsregeling is namelijk de gewenste situatie: brander verder open → droogsnelheid omhoog. Bij een T-RV regeling wordt echter waargenomen: brander verder open → droogsnelheid omlaag. In onderstaande simulaties wordt nagegaan hoe de droogsnelheid zich gedraagt bij twee typen regelingen: T-RV en T-klepstand.

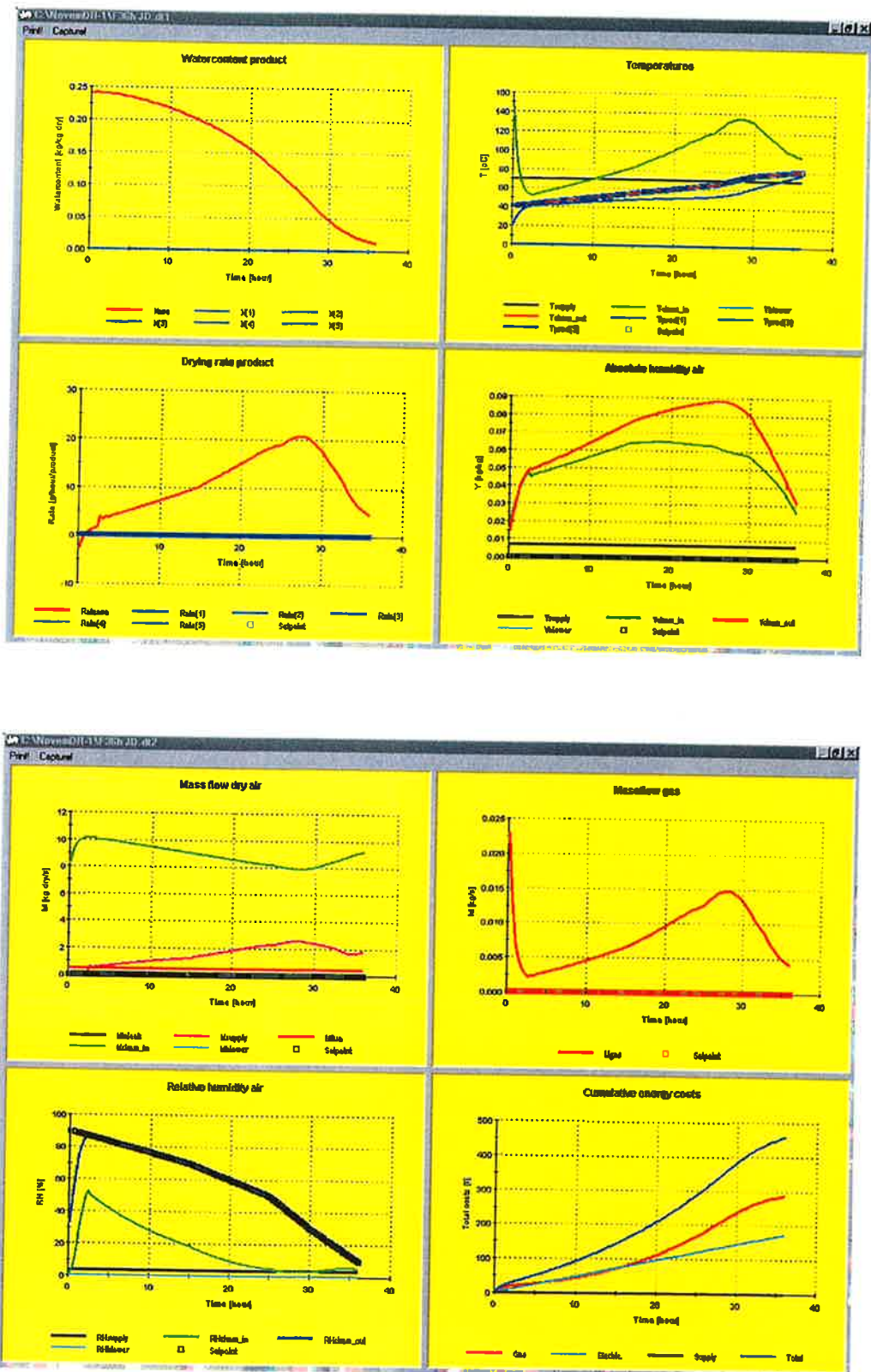
In Figuur 9 is het 36 uren droogproces van Façade Beek weergegeven indien de regeling op T en RV erg goed functioneert. Hier is te zien dat het verloop van de droogsnelheid gelijk is aan dat in de praktijk, echter zonder pieken (met DrySim is een T en RV regeling gemakkelijker stabiel te krijgen dan in de praktijk). Ook de condensatie gedurende het eerste uur van de droging wordt goed voorspeld.

Vervolgens is in Figuur 10 de situatie weergegeven in het geval van een piek in de kamertemperatuur. Hier wordt inderdaad het waargenomen effect bevestigd: een stijging van de kamertemperatuur gaat gepaard met een daling in de droogsnelheid en een daling van de kamertemperatuur gaat gepaard met een stijging in de droogsnelheid.

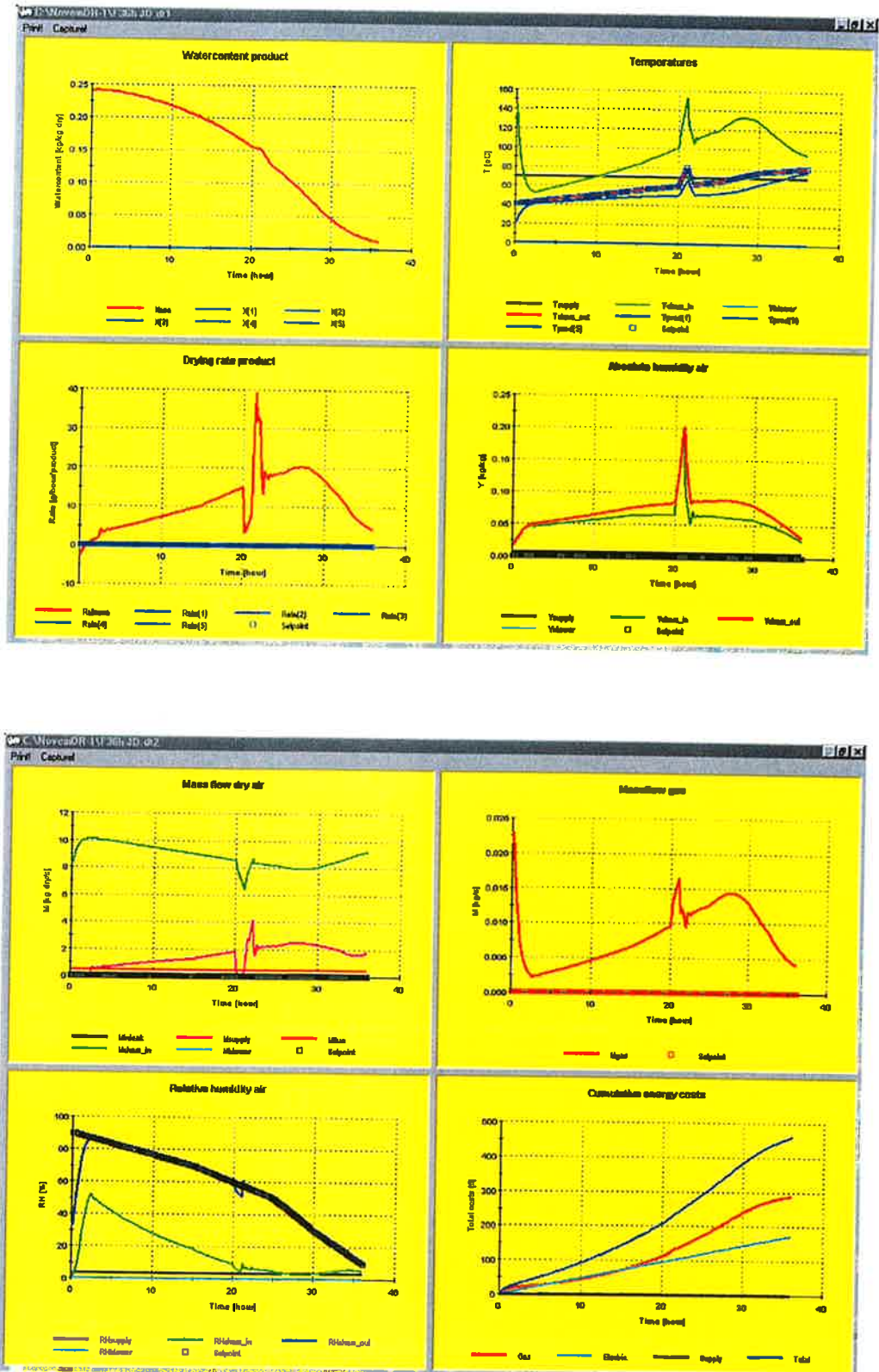
In Figuur 11 is een simulatie uitgevoerd met hetzelfde programma voor de kamertemperatuur, maar de toevoer van verse lucht wordt nu niet geregeld aan de hand van de RV maar door een vast klepprogramma. Uit deze figuur blijkt dat in dit geval het droogsnelheidsverloop vlakker is en het droogproces korter. Bovendien is dit type regeling veel stabiel. Een regeling op T en Klepstand heeft dan ook de voorkeur boven een regeling op T en RV.

Belangrijker is echter het resultaat uit Figuur 12. Hier is ook een piek op de kamertemperatuur gesimuleerd, waarbij de reactie van de droogsnelheid precies is zoals gewenst: een toename van de kamertemperatuur heeft een toename van de droogsnelheid tot gevolg. Een regeling op droogsnelheid moet dus mogelijk zijn, zonder het probleem dat de droogsnelheid tegengesteld reageert aan het beoogde effect.

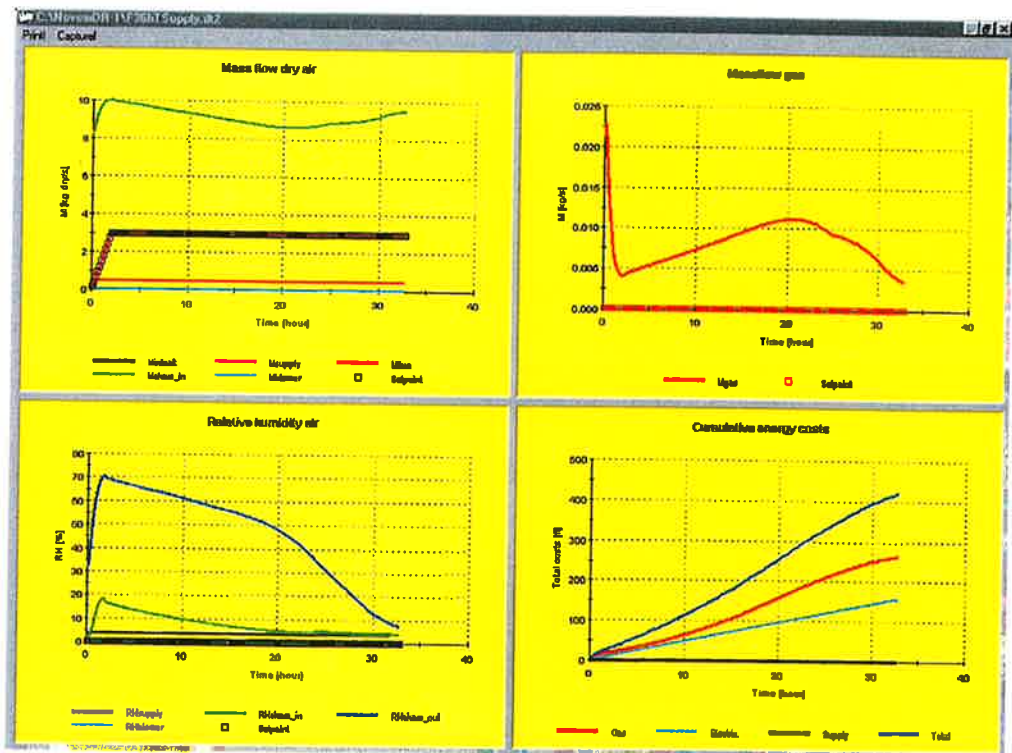
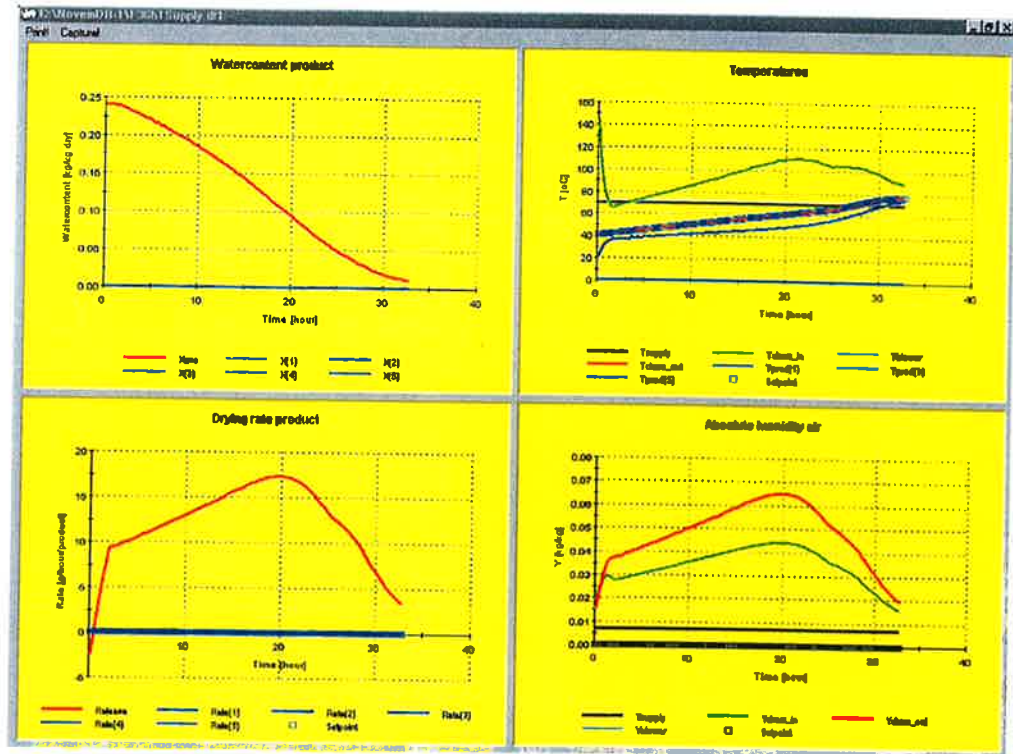
De daadwerkelijke implementatie van de droogsnelheidssensor in de regeling van Façade Beek, zodat een echte droogsnelheidsregeling ontstaat, zal plaatsvinden in het vervolgproject “Droogsnelheidsregeling voor kamerdrogers” onder Novem nummer 305503/5640.



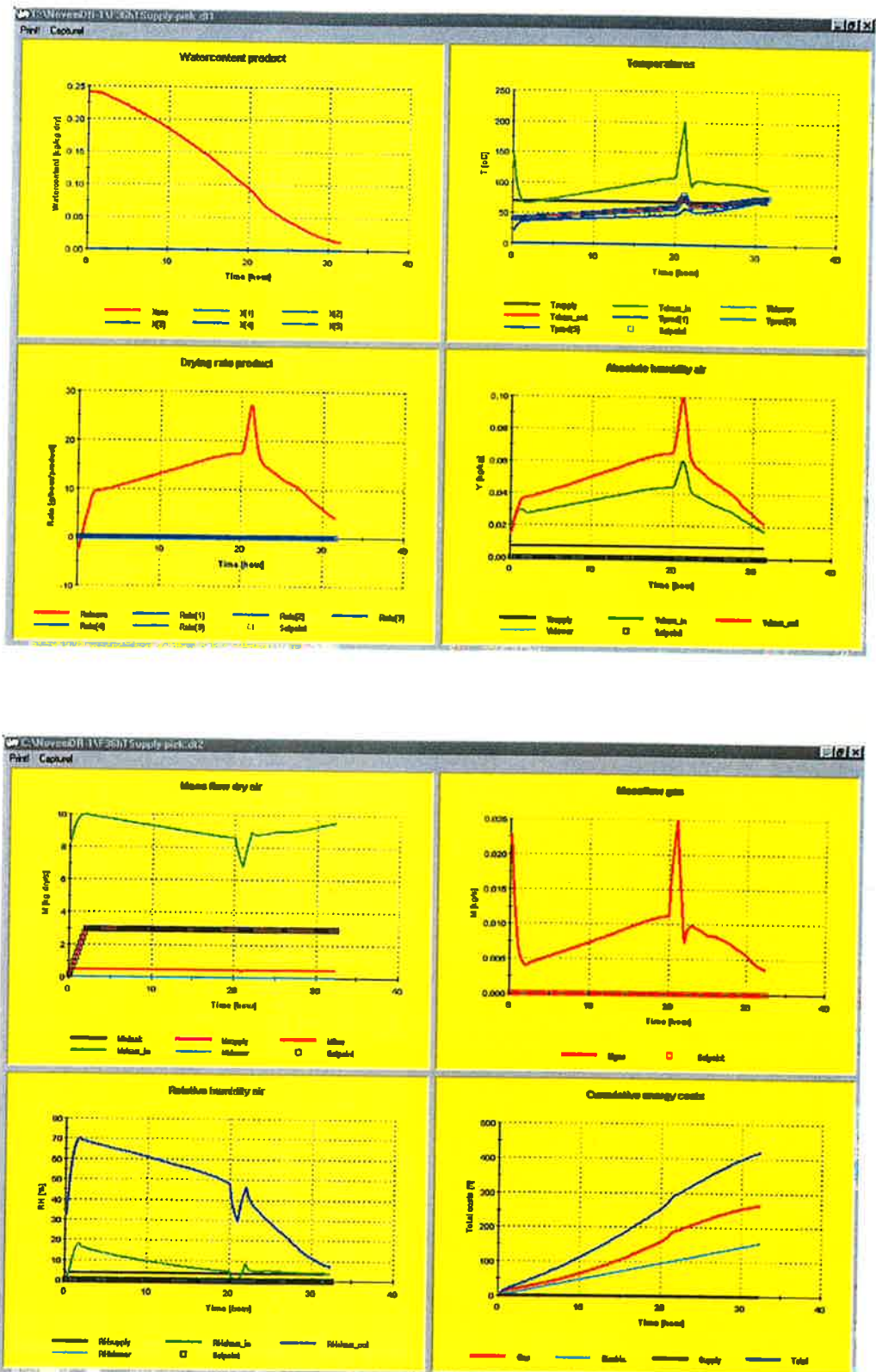
Figuur 9. DrySim simulatie van het 36 uurs droogproces met T-RV regeling.



Figuur 10. DrySim simulatie voor het geval van een piek in de kamertemperatuur bij een T-RV regeling.



Figuur 11. DrySim simulatie voor het geval van een regeling op kamertemperatuur en klepstand voor de verse lucht.



Figuur 12. DrySim simulatie voor het geval van een regeling op kamertemperatuur en klepstand voor de verse lucht, met een piek op de kamertemperatuur.

4 Conclusies

Ten aanzien van het ontwerp van een moderne droger hebben de discussies tussen TNO en Keller geleid tot de volgende belangrijke punten:

- Maak optimaal gebruik van de ovenlucht
 - Gebruik het computerprogramma MPS [3].
 - Gebruik een regeltype waarmee het luchtverbruik ingesteld kan worden.
 - Minder ovenlucht van een hogere temperatuur maakt de droging energiezuiniger.
 - Techcon principe maakt erg goed gebruik van de beschikbare ovenlucht.
 - Gebruik een energiemangement systeem dat het luchtverbruik regelt.
- Pas energierugwinning toe
 - Alleen zinvol tot op een niveau waarop geen bijstook meer nodig is.
 - Een warmtewisselaar in de drogeruitgang levert energie op een laag niveau, maar is altijd nog beter dan het aanzuigen van koude lucht.
 - Zolang het aanbod van ovenlucht blijft is een warmtepomp niet zinvol.
- Pas een effectieve interne recirculatie toe
 - Zorg voor een gelijkmatige luchtverdeling over de hoogte en lengte van de droger.
 - Luchtsnelheid over de producten tussen 0.5 en 4 m/s.
 - Creëer voldoende ruimte tussen buitenkant belading en drogerwand (0.5 tot 1 m).
 - Pas een tussendeck toe om de interne recirculatie door de belading te dwingen.
- Zorg voor een goede constructie
 - Bij drooggevoelige producten is een wand met een lage warmtecapaciteit gewenst.
 - Vermijd lekkages van lucht uit de droger.
 - Het gebruik van corrosieresistente materialen en het vermijden van koudebruggen wordt belangrijker naarmate het dauwpunt in de droger toeneemt.
 - Een modulaire opbouw zorgt voor een snelle constructie.
 - Etageafstand niet kleiner dan ééntiende van de te doorstromen lengte.
 - Ideale drogerhoogte is ongeveer 3.5 meter.
 - Externe recirculatie is nuttig om grote droogsnelheidsverschillen te vermijden.
 - Bij tunneldrogers is externe recirculatie onzinnig.
- Snelle ingebruikname
 - Nieuwe droogprogramma's genereren met DrySim en niet door "trial and error".
 - Droogsnelheidsregeling vereenvoudigt de ingebruikname enorm.
 - Communicatie tussen droger en toeleverancier via een telefoonverbinding.
- Pas een goede drogerregeling toe
 - Een regeling op T en RV is instabiel en heeft een onbekend luchtverbruik.
 - Een regeling op T en klepstand is stabiel en het luchtverbruik is bekend.
 - Een ideale regeling zou een regeling op droogsnelheid zijn.
 - * Begrijpelijk en eenvoudig te bedienen.
 - * Verkorting van een droogprogramma is eenvoudig.
 - * Geen invloed van weersomstandigheden.
 - * Energiezuinig door optimaal gebruik van ovenlucht.
 - * Nieuwe programma's bij nieuwe droger of klei zijn eenvoudig te vinden.
 - * Nooit meer droogscheuren.

Met betrekking tot de situatie bij Façade Beek en de test van de droogsnelheidssensor zijn de volgende conclusies te trekken:

- Er treedt een kortsluiting op tussen de warme lucht die de kamer ingaat en de externe recirculatie. Hierdoor zijn de kamercondities niet gelijk aan de condities van de recirculatielucht.
- De regeling is niet goed in staat om de setpoints te volgen. Hierdoor fluctueert de droogsnelheid en het luchtverbruik, hetgeen ongewenst is.
- Indien in de oven gereduceerd wordt, dan heeft dat invloed op de ovenlucht. Deze verstoring werkt door in het droogproces en de regeling schommelt nog erger.
- De droogsnelheidssensor DrySimBox (DSB) geeft op basis van eenvoudige signalen een goede schatting van de actuele droogsnelheid.
- Realisering van een droogsnelheidsregeling moet mogelijk zijn, en dit gaat ook gebeuren in het project “Droogsnelheidsregeling voor kamerdrogers” (TNO projectnummer 008.02996 en Novem nummer 305503/5640).

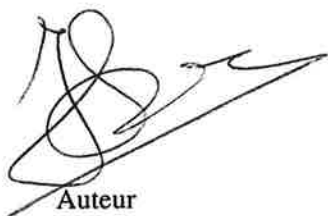
5 Referenties

- [1] J.A.M. Denissen, J.F.M. Velthuis, *ENERGIEZUINIG DROGEN, (DEEL 1)*, **KleiGlasKeramik**, 16 (11), page 18-23, December 1995.
- [2] J.A.M. Denissen, J.F.M. Velthuis, *ENERGIEZUINIG DROGEN, (DEEL 2)*, **KleiGlasKeramik**, 16 (12), page 25-29, December 1995.
- [3] C.M. Rops, “*User Guide M.P.S. Energy savings in the production of ceramics by adapting the air demand of the dryers to meet the supply of hot waste air of the kiln*”, TNO-report FSP-RPT-010042, 28 mei 2001.
- [4] J.F.M. Velthuis, “*Tunneldrogers als alternatief voor kamerdrogers in de keramische industrie*”, TNO-rapport TPD-FSP-RPT-940098 (Novem-nr. 332104/1630), 31 oktober 1994.

6 Ondertekening

Eindhoven,

TNO TPD



Auteur
Ir. J.A.M. Denissen



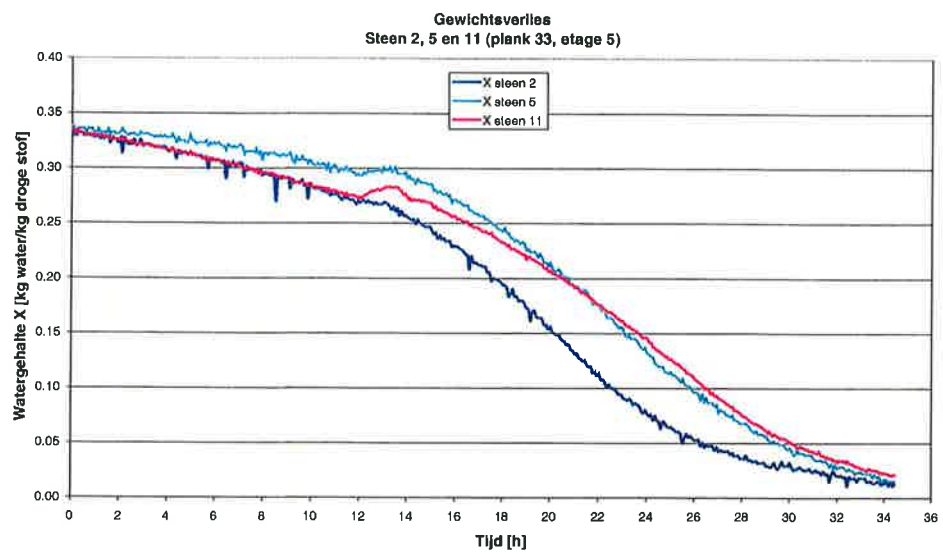
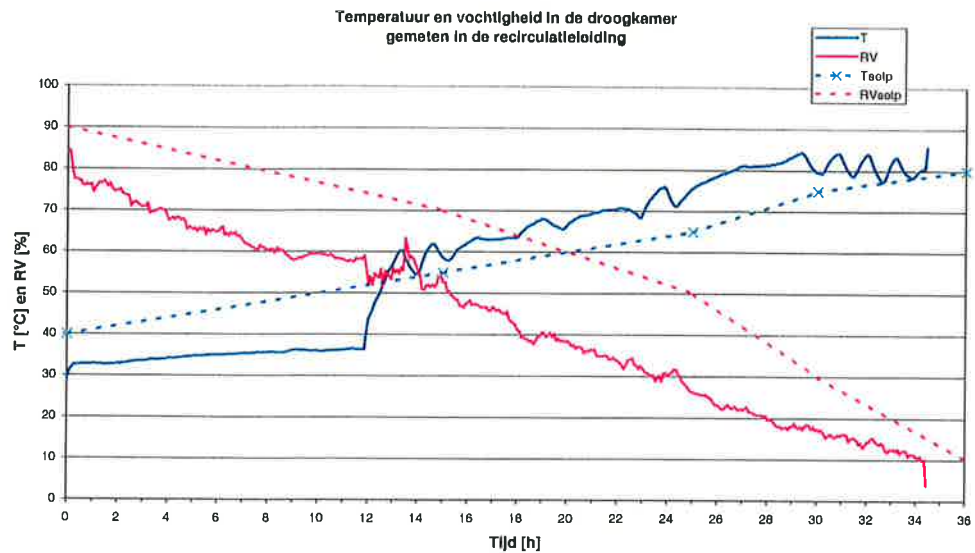
Auteur
Ir. J.F.M. Velthuis

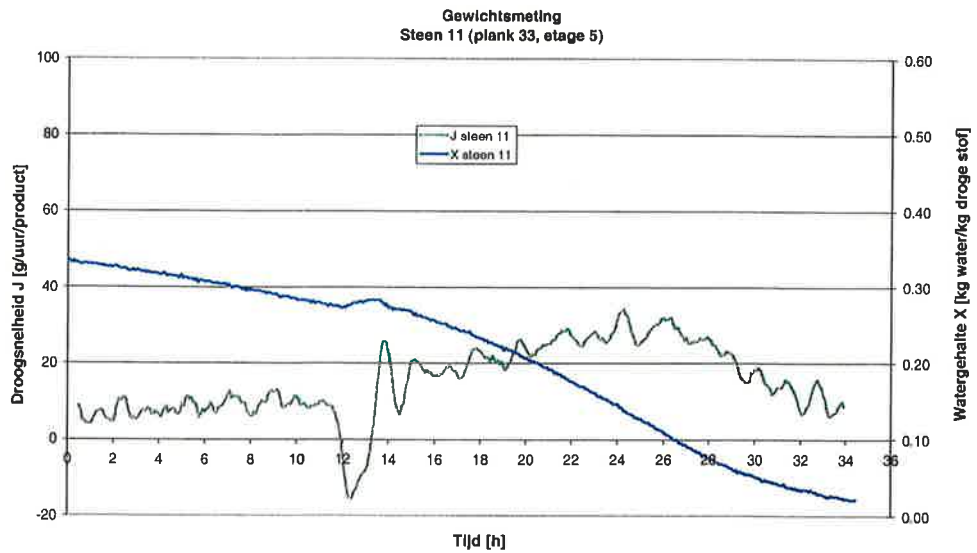
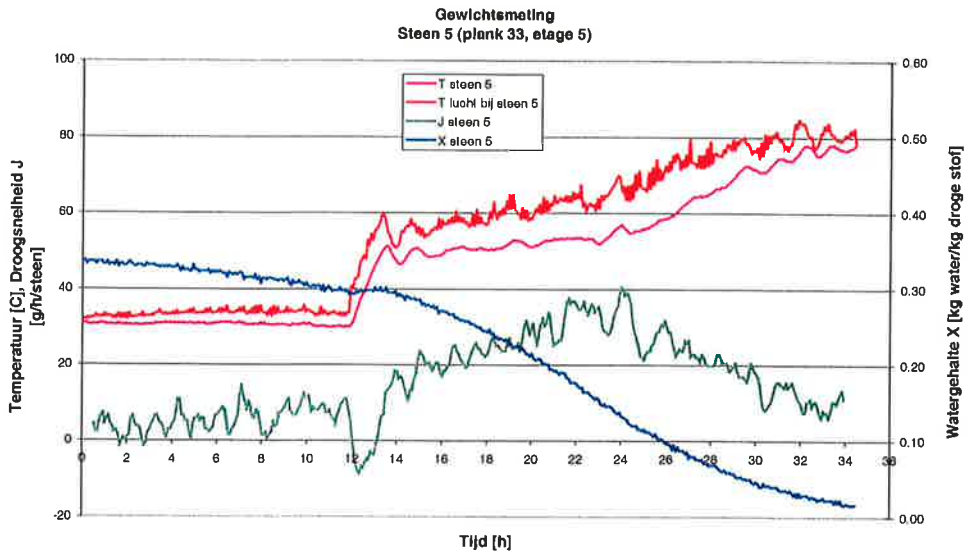
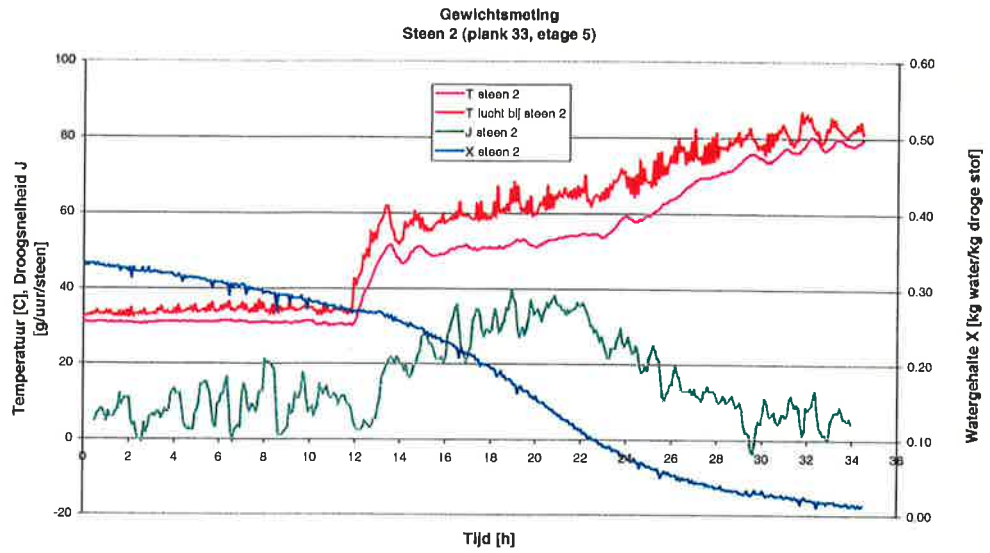


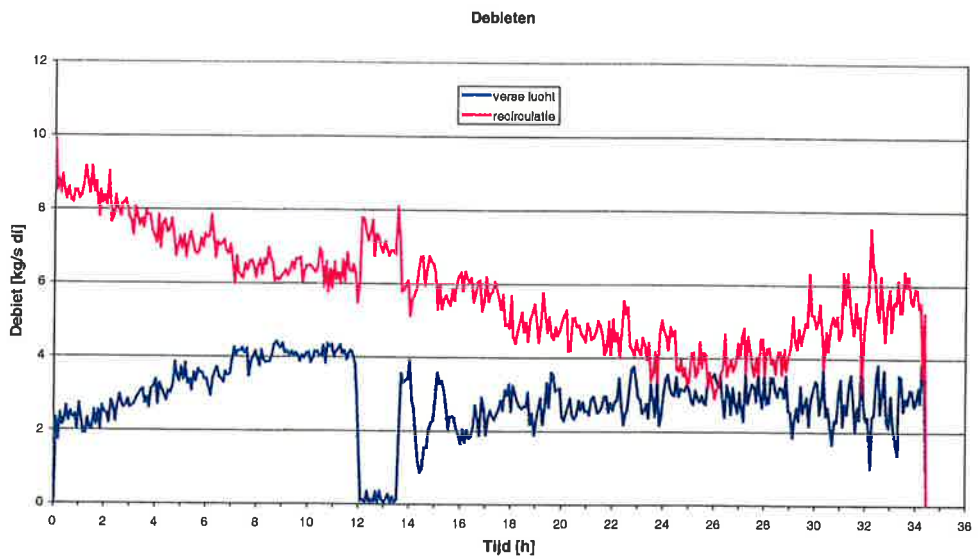
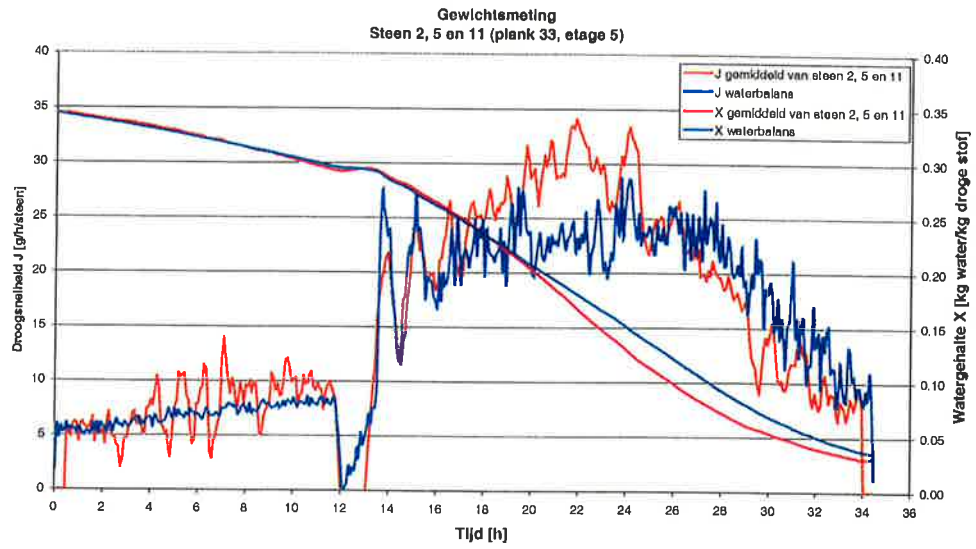
Autorisatie
Ir. F. Simonis

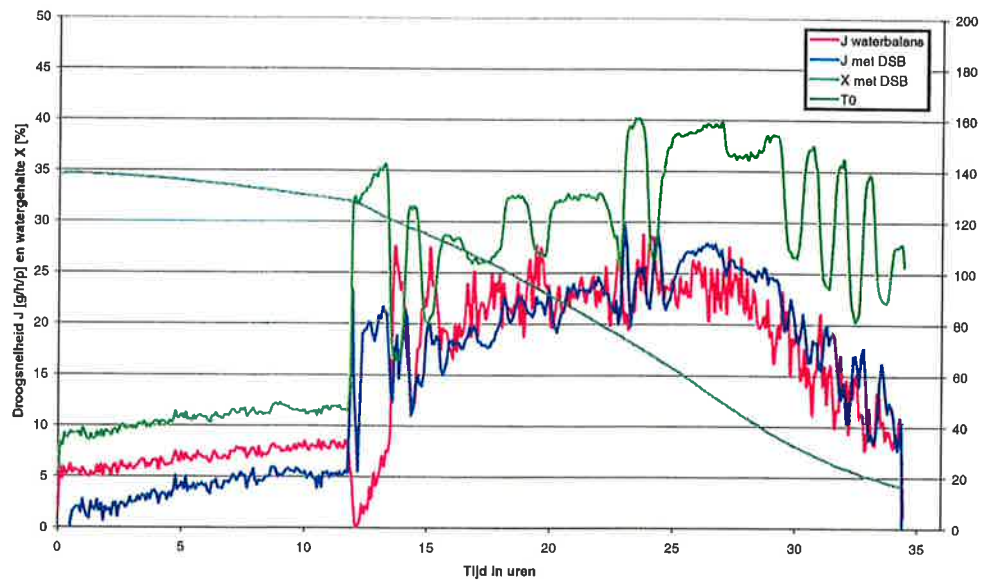
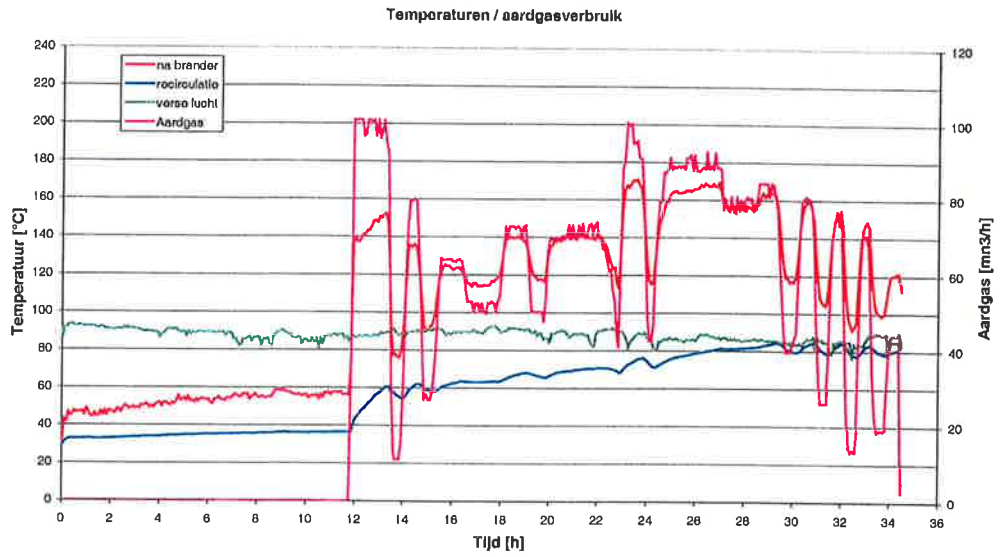
Bijlage A: Resultaten van diverse drogingen in droogkamer 1.

Resultaten van de droging op 8 april 2000



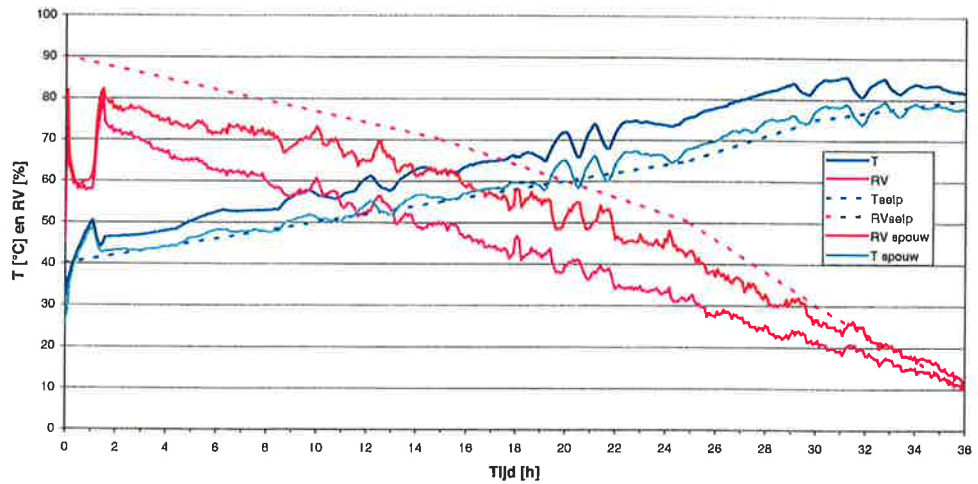




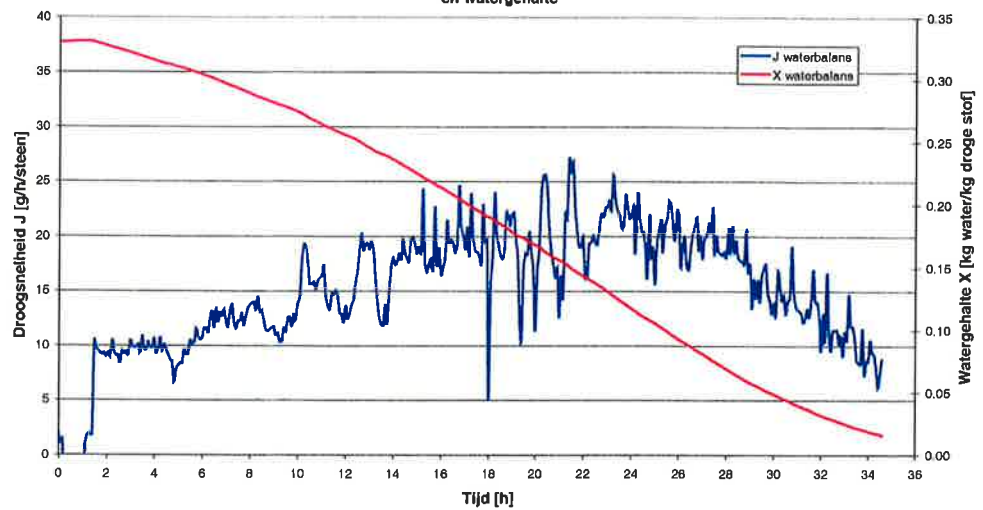


Resultaten van de droging op 22 september 2000

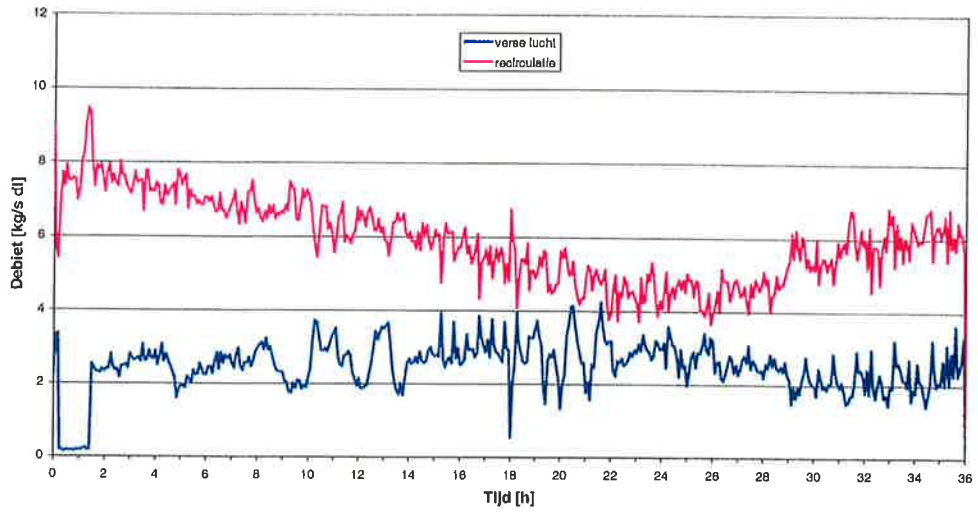
Temperatuur en vochtigheid in de droogkamer
gemeten in de recirculatieleiding en in de spouw



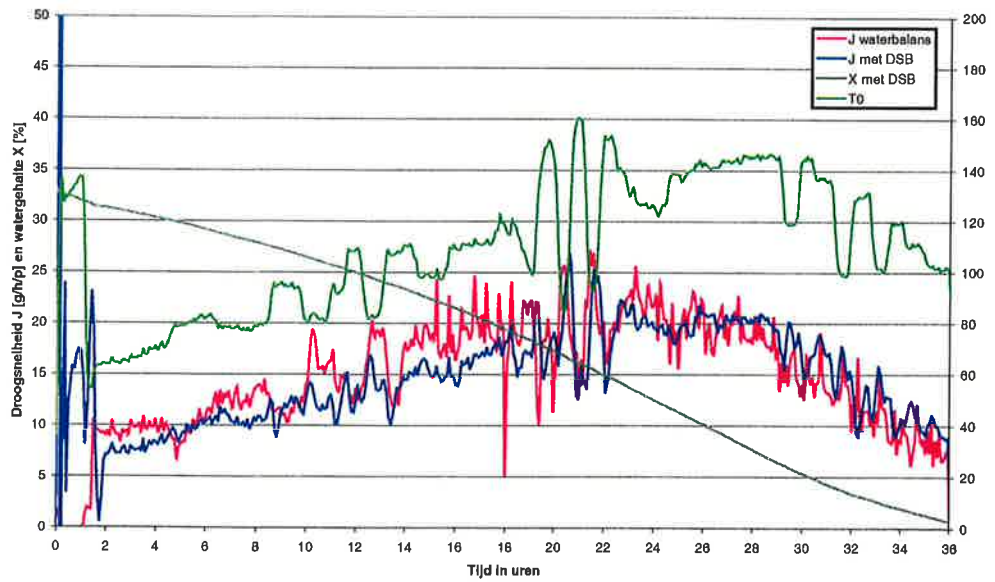
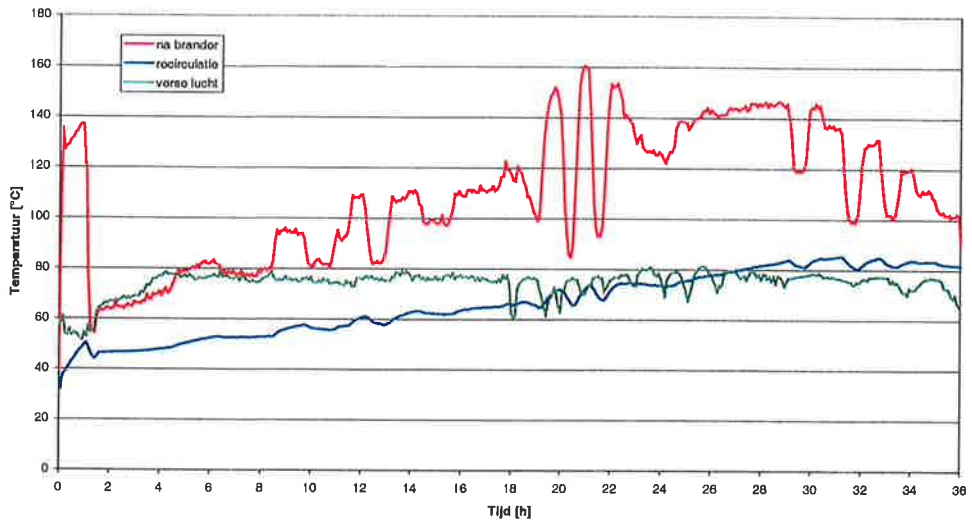
Gemiddelde droognelheid
en watergehalte



Deblaten

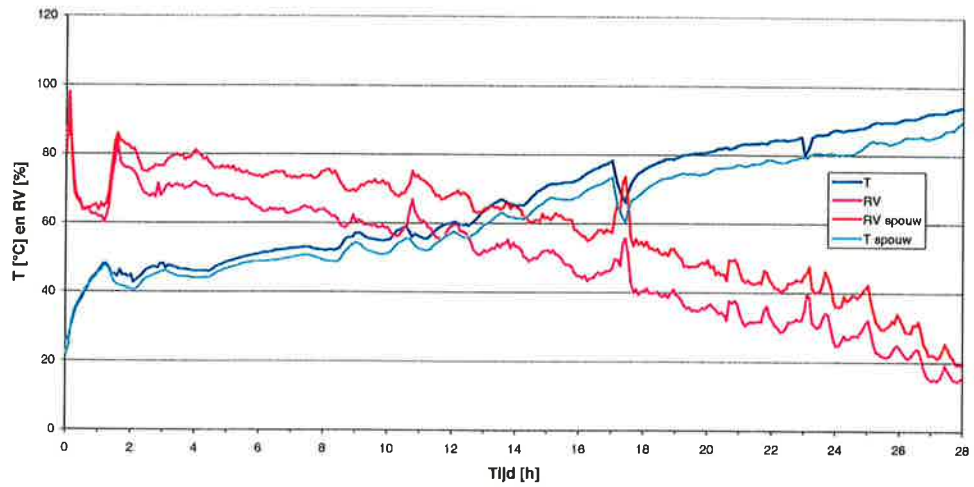


Temperaturen

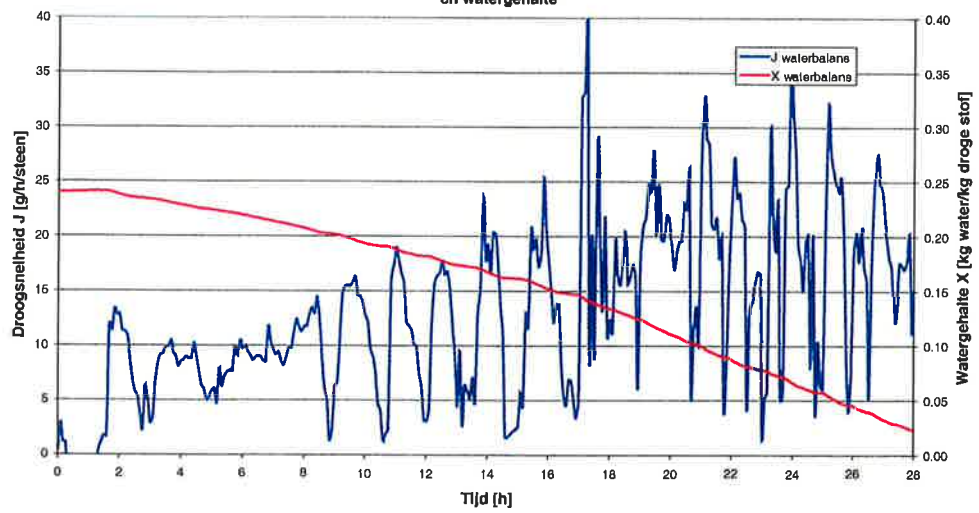


Resultaten van de droging op 10 oktober 2000

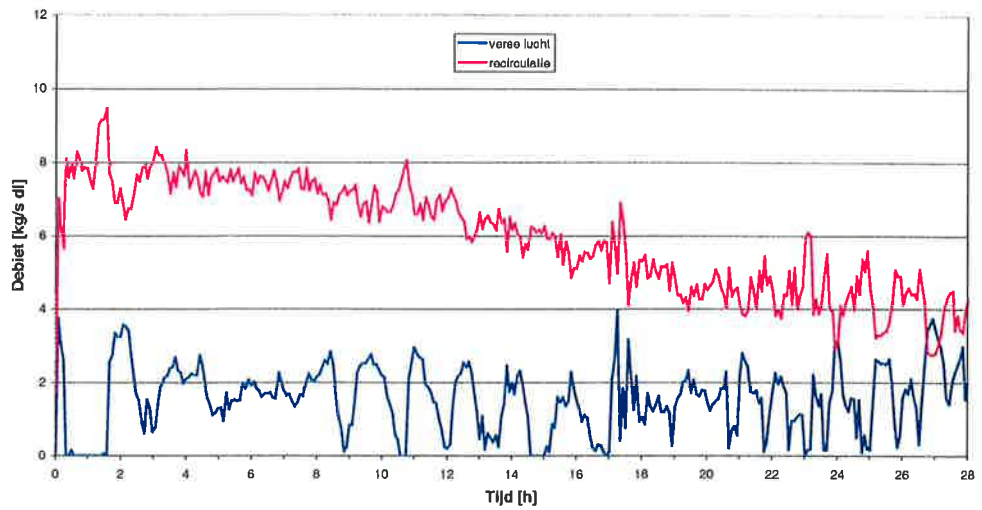
Temperatuur en vochtigheid in de droogkamer
gemeten in de recirculatieleiding en in de spouw



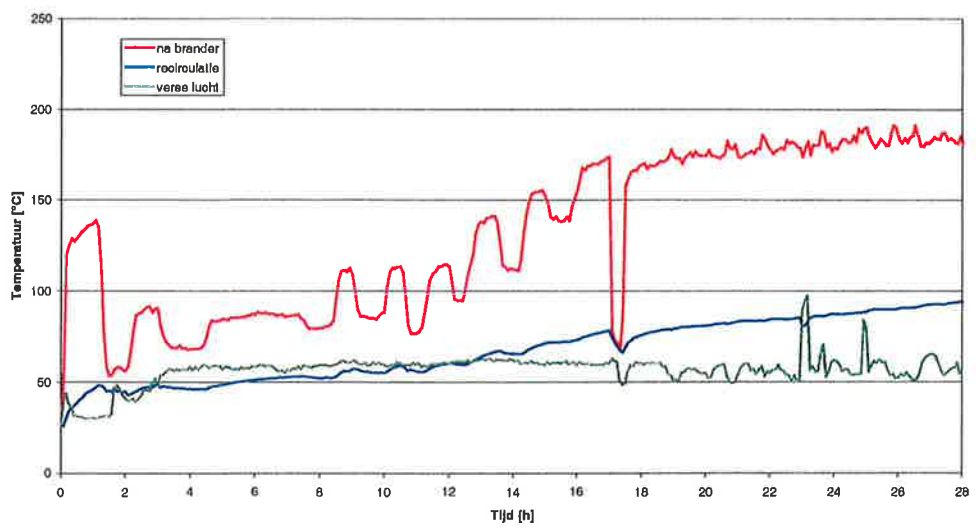
Gemiddelde droog snelheid
en watergehalte



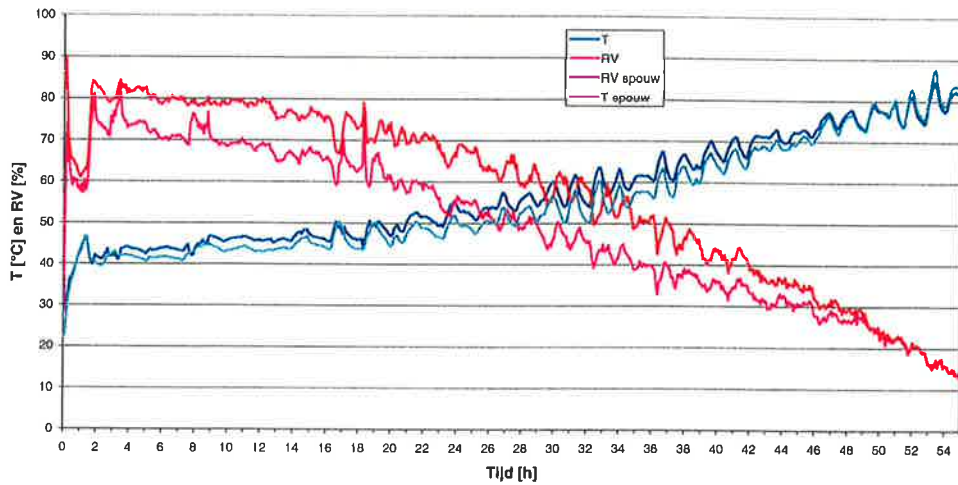
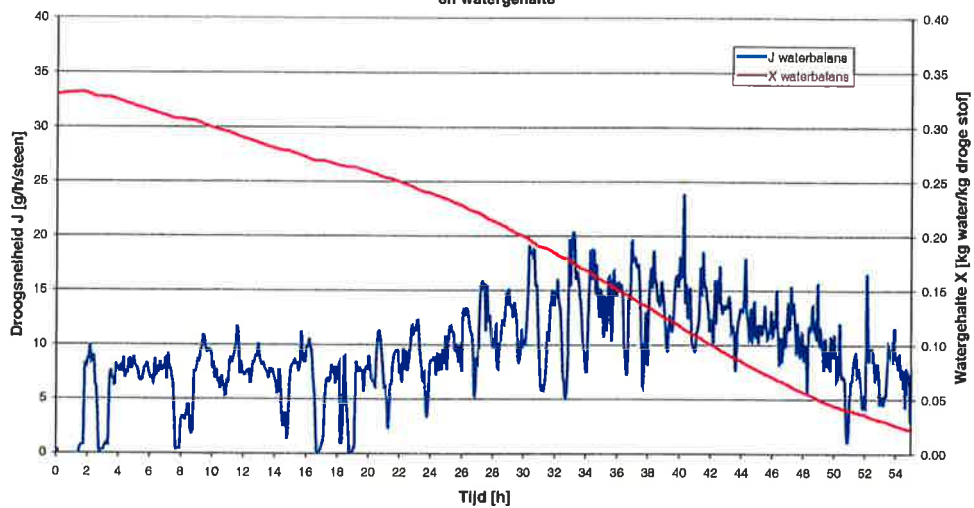
Debiten



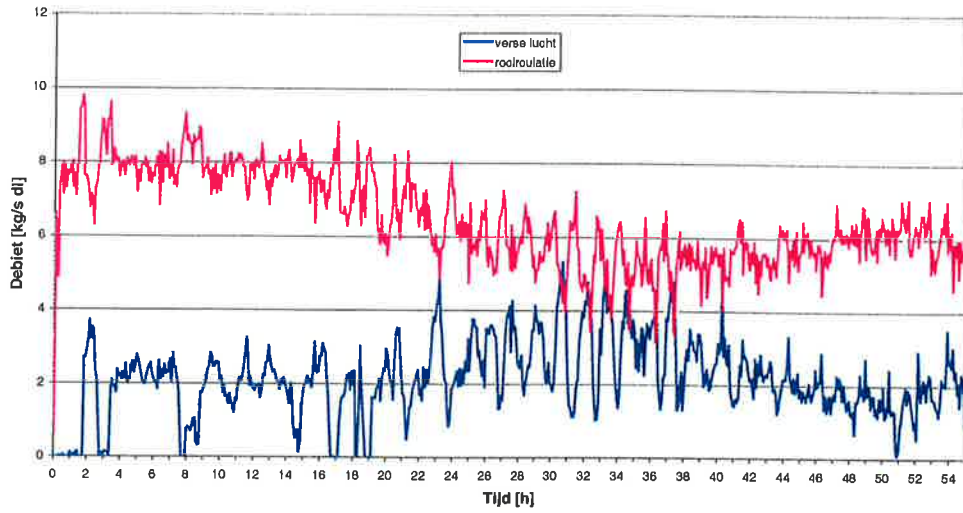
Temperaturen



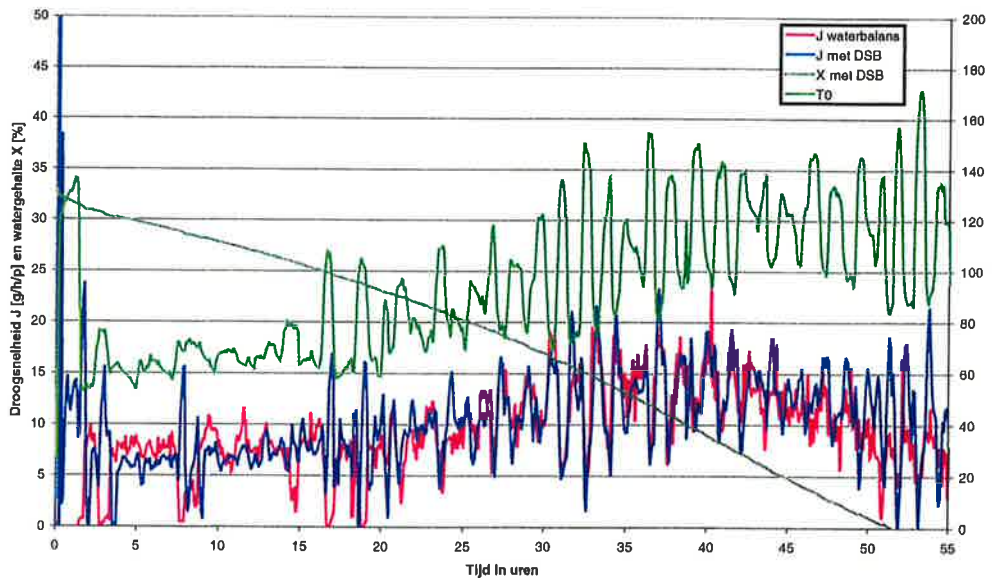
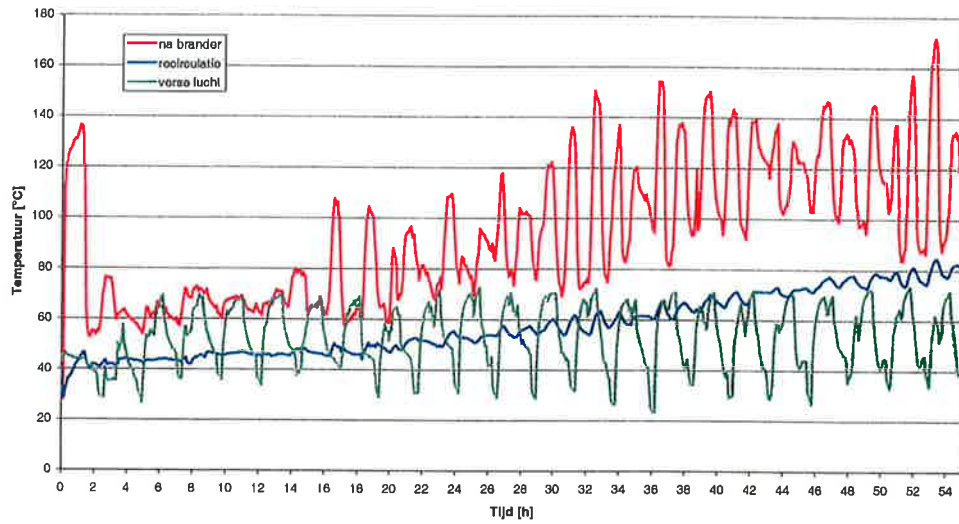
Resultaten van de droging op 13 oktober 2000

Temperatuur en vochtigheid in de droogkamer
gemeten in de recirculatieleiding en in de spouwGemiddelde droogsnelheid
en watergehalte

Deblieten



Temperaturen

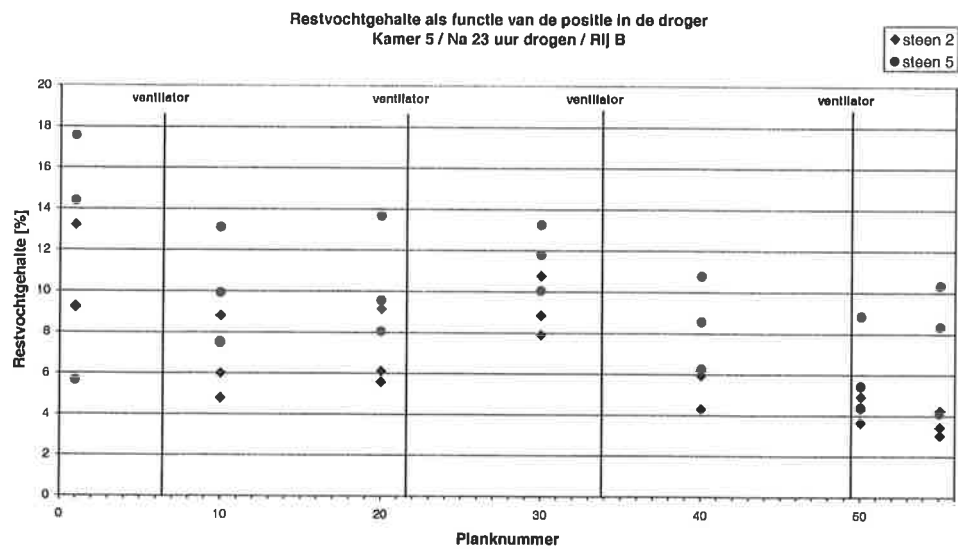


Bijlage B: Resultaten van de uniformiteitsmeting in droogkamer 5.

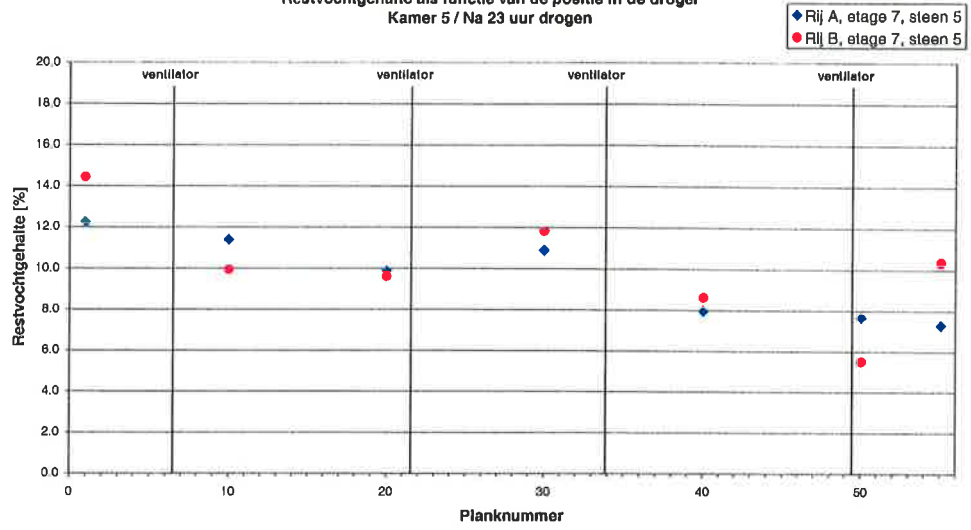
De uniformiteit werd gemeten door bepaling van het restvochtgehalte na het verstrijken van 23 uur van de droogtijd (van de 36 uur).

- Datum: 10 maart 2000
- Droogkamer 5
- Product: FBL-WF
- Droogtijd: 36 uur
- Monstercodering:
 - Rij A t/m D. Rij A is de linker rij met producten, gezien vanaf de deur en D is de meest rechtse rij.
 - Plank 1 t/m 56. Plank 1 ligt achter in de droger en plank 56 ligt bij de deur.
 - Etage 1 t/m 14. Etage 1 is de onderste en etage 14 de bovenste.
 - Steen 1 t/m 12. Steen 1 ligt naast de ventilator en steen 12 aan het andere uiteinde van de plank.

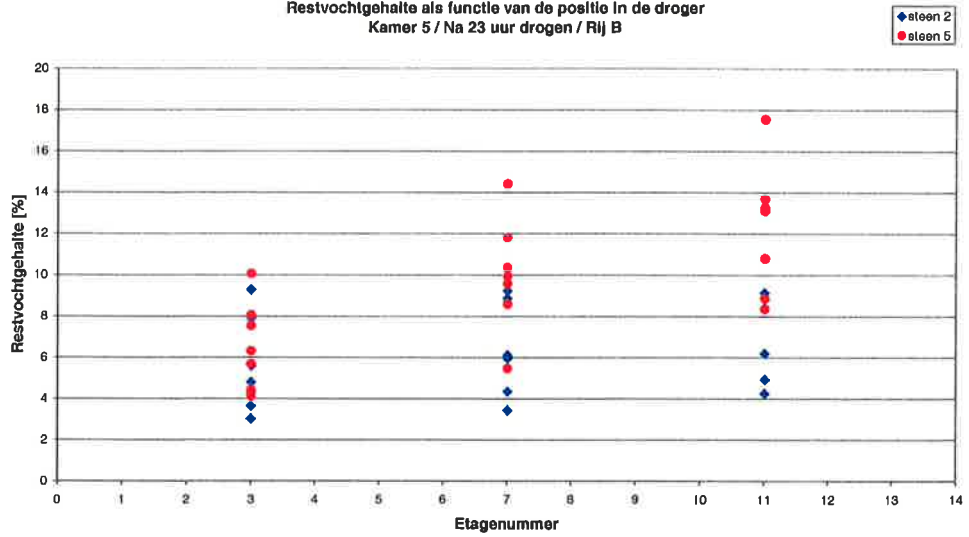
Het restvochtgehalte is weergegeven in onderstaande figuren.



Restvochtgehalte als functie van de positie in de droger
Kamer 5 / Na 23 uur drogen



Restvochtgehalte als functie van de positie in de droger
Kamer 5 / Na 23 uur drogen / Rij B



Restvochtgehalte als functie van de positie in de droger
kamer 5 / na ca. 23 uur drogen / rij B

