

Oogst en conserverings- techniek van vezelhennepe

*Techniques for harvesting and storage of
fibre hennepe*

Ir. E.A.A. de Maeyer
(IMAG-DLO)

Dr. ir. W. Huisman
(LUW, Vakgroep Agrotechniek en fysica)



Agrotechniek en fysica

Landbouwniversiteit
Wageningen

imag-dlo



CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Maeyer, E.A.A. de

Oogst- en conserveringstechniek van vezelhennep / E.A.A. de Maeyer, W. Huisman. – Wageningen : IMAG-DLO. – Ill. – (Rapport / Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Instituut voor Milieu- en Agritechniek ; 94-27)

Met lit. opg.

ISBN 90-5406-095-6 geb.

NUGI 849

Trefw.: hennep teelt / papierindustrie.

IMAG-DLO

Postbus 43 – 6700 AA Wageningen

Telefoon 08370-76300

Telefax 08370-25670

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enig andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

Abstract

Maeyer E.A.A. de and W. Huisman, Institute of Agricultural and Environmental Engineering (IMAG-DLO), Wageningen and Department of Agricultural Engineering and Physics, Wageningen Agricultural University: Techniques for harvesting and storage of fibre hemp. Report 94-27 (Org. NL), ISBN 90-5406-095-6, 134 pp.

A mechanized cultivation system had to be developed for the use of hemp fibres as a raw material for paper pulp. Equipment that is already being used by farmers and contractors in other crops, is cheap and available, so it was concluded to harvest the crop best with a field chopper. Artificial drying is not economically feasible. Drying in the field in September is weather-dependent and not reliable under Dutch weather conditions. Preservation of the wet material on the farm is possible under acid and alkaline anaerobic conditions. Fibre strength decreased with wet preservation (ensiling), but no losses of cellulose or hemicellulose were measured. Before chopping the crop can be defoliated with a flail mower. An indication for the working height with defoliation is 2.6 m. This depends on harvest date, variety and plant density. After preservation and just before pulping, bark and core can be separated by flotation in water while the fibres are washed. Decortication in the field would be very expensive, and the separation of bark and core is worse than when using flotation. More research is needed to maintain bast fibre strength during wet preservation.

Keywords: fibre hemp, *Cannabis Sativa*, storage, preservation, ensiling, harvesting, bark, core, bast fibre, decortication, defoliation, crop regularity

Voorwoord

In het kader van een agrificatie-onderzoek om hennepvezels te gebruiken als grondstof voor de papierindustrie, hebben het IMAG-DLO en de vakgroep Agrotechniek en fysica van de LUW sinds 1990 onderzoek gedaan naar de mechanisatie van de oogst van vezelhennep en de conservering van de geoogste hennepvezels. Vezelhennep is een gewas dat een vezel kan leveren voor velerlei toepassingen. De komst van kunststoffen verdrong de behoefte aan natuurlijke vezels en zo ook de teelt van dit gewas. Een hernieuwde kijk op de teelt, handling en bewaring van dit gewas was nodig om het te kunnen introduceren in het bouwplan van een huidig akkerbouwbedrijf.

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de overwegingen die een rol hebben gespeeld om tot een aanpak te komen voor de oogst en verwerking van vezelhennep op bedrijfsniveau. Het uitgangspunt is geweest om zoveel mogelijk gebruik te maken van bekende en beschikbare technieken. Echter door de omvang en het vezelig karakter van het gewas en ook de eisen die aan het geoogste produkt werden gesteld, waren aanpassingen van beschikbare oogsttechnieken nodig. Ideeën ter verbetering van de oogst en handling zijn uitgewerkt. Voordat de hele hennepketen als business-concept haalbaar is voor het leveren van een papiergrondstof, zal nog meer onderzoek nodig zijn. Op het gebied van oogstmechanisatie, opslag en conservering zijn nadere onderzoeksdoelen beschreven.

De uitvoering van het henneponderzoekprogramma is mogelijk gemaakt door medefinanciering van de ministeries LNV en EZ en de provincies Groningen en Drenthe. Het onderzoek naar de conservering van de hennepvezels is uitgevoerd in nauwe samenwerking met de vakgroep Agronomie van de LUW en het vezellaboratorium van het ATO-DLO. In het kader van afstudeeropdrachten hebben diverse studenten binnen de vakgroep Agrotechniek en fysica van de LUW, in de afgelopen 4 jaren hieraan meegewerkt. Voor hun bijdragen aan dit onderzoek willen we ook graag de volgende bedrijven bedanken: Franken bv te Goes, New Holland te Zedelgem (B) en Greenland te Geldrop. Tenslotte hebben kritische opmerkingen van de volgende personen positief bijgedragen aan de inhoud van dit rapport: H.M.G. van der Werf (CABO-DLO), E.P.M. de Meijer (CPRO-DLO), W.J. Middelhoven (LUW) en R.J.A. Gosselink, B. de Groot en S.J. Lips (ATO-DLO).

Ir. A.A. Jongebreur
directeur

Inhoud

Samenvatting	9
1 Inleiding	12
1.1 Doelstelling	12
1.2 Overzicht van de mechanisatie bij de teelt van vezelgewassen	13
1.3 Afbakening van het onderzoek	15
2 Het zaaien en verwijderen van bladmateriaal	23
2.1 Inleiding	23
2.2 Invloed van het zaaien op de gewasuniformiteit	24
2.2.1 Materialen en methoden	24
2.2.2 Resultaten en discussie	24
2.2.2.1 Plantdichtheid	24
2.2.2.2 Plantlengte, plantlengteverdeling en toplengte	27
2.2.3 Conclusies	32
2.3 Het verwijderen van bladmateriaal	32
2.3.1 Gewaskarakterisering	32
2.3.1.1 Materialen en methoden	32
2.3.1.2 Resultaten en discussie	34
2.3.1.3 Conclusies	41
2.3.2 Ontbladeren	42
2.3.2.1 Materialen en methoden	42
2.3.2.2 Resultaten en discussie	43
2.3.2.3 Conclusies	47
3 Het inkuilen van hennepvezels	49
3.1 Inleiding	49
3.1.1 Inkuilen als natte conserveringsmethode	49
3.1.2 Literatuur over het nat conserveren van vezels	50
3.1.3 Doel van het inkuilonderzoek	51
3.2 Materialen en methoden	52
3.2.1 Inkuilen	52
3.2.2 Beoordeling inkuilproces	55
3.2.3 Karakterisering ingekuild materiaal	55
3.2.4 Vezelsterkte	56
3.3 Resultaten en discussie	57
3.3.1 Beoordeling inkuilproces	57
3.3.2 Karakterisering ingekuild materiaal	65
3.3.2.1 Wasverliezen en natronloogoplosbaarheid	65
3.3.2.2 Cellulose-, hemicellulose- en ligninegehalte en polymerisatiegraad	67
3.3.3 Vezelsterkte	70
3.4 Conclusies	75

4	Het scheiden van de stengel in bast en hout	77
4.1	Inleiding	77
4.1.1	Algemeen	77
4.1.2	Literatuur	77
4.1.3	Doel	79
4.2	Het scheiden van hele stengels in het veld	79
4.2.1	Materialen en methoden	79
4.2.1.1	Proefveld en proefmachine	79
4.2.1.2	Berekeningswijze scheidingsresultaat	83
4.2.2	Resultaten en discussie	85
4.2.2.1	Zwingelintensiteit	85
4.2.2.2	Houtafscheiding	86
4.2.2.3	Capaciteit en kosten	90
4.2.3	Conclusies	91
4.3	Het scheiden van gehakselde hennep	92
4.3.1	Materialen en methoden	92
4.3.2	Resultaten en discussie	94
4.3.3	Conclusies	98
5	Evaluatie van de teelt, oogst en handling van vezelhennep	100
5.1	Overzicht van de verschillende bewerkingen	100
5.2	Produktiekosten van vezelhennep	102
5.3	Aanbevelingen	104
	Summary	106
	Literatuur	109
	Verklarende woordenlijst	114
Bijlage A	Bepaling van de stoppelverliezen op basis van stengelopbrengst en stengeldiktes	115
Bijlage B	Turbo Pascal programma voor het berekenen van het stengelverlies en de bladverwijdering bij een simulatie van het ontbladeren van een gewas vezelhennep	117
Bijlage C	Resultaten van het ontbladeren van een hennepgewas (cultivar Futura, 105 planten/m² ≈ 'futura hoog')	123
Bijlage D	Resultaten van het ontbladeren van een hennepgewas (cultivar Futura, 35 planten/m² ≈ 'futura laag')	124
Bijlage E	Resultaten van het ontbladeren van een hennepgewas (cultivar Kompolti Hybrid TC, 65 planten/m² ≈ 'kompolti hoog')	125
Bijlage F	Resultaten van het ontbladeren van een hennepgewas (cultivar Kompolti Hybrid TC, 20 planten/m² ≈ 'kompolti laag')	126

Bijlage G	Analyse van organische zuren en ethanol in een waterextract van ingekuilde hennep	127
Bijlage H	Opwerkingsmethode voor een gecombineerde AIL-/ASL- en suikergehaltebepaling	129
Bijlage I	Vezelklemmen voor het meten van de vezelsterkte (met rek) in een trekbank	132
Bijlage J	Formules voor de berekening van de hoeveelheden hout en bast na scheiding	133

Samenvatting

In een vierjarig onderzoekprogramma naar het gebruik van hennepvezels voor de papierindustrie, hebben het IMAG-DLO en de LUW-vakgroep Agrotechniek en fysica onderzoek gedaan naar de oogstmechanisatie en de bewaring van vezelhennep. De totale hennepketen begint bij het zaaien en loopt van verzorging, oogst, opslag, bewaring en transport naar de fabriek tot mechanische verbouwen in de fabriek. Hennep kan het best gezaaid worden met een graanzaaimachine (met een rijenafstand van 12 cm). De beoogde plantdichtheid is 90 planten/m². Onkruidbestrijding is niet nodig. Schimmels (met name *Botrytis cinerea*) die onder natte omstandigheden veel schade aanrichten, kunnen chemisch niet bestreden worden. Een herhaalde preventieve bespuiting is zowel economisch als vanuit milieu-oogpunt niet aantrekkelijk, zodat een oplossing gezocht moet worden in de veredeling van schimmelresistente rassen.

Verschillende oogsttechnieken zijn onderzocht, waarbij werktuigen zijn gebruikt die in de praktijk ingezet worden in andere gewassen. De volgende machines zijn in hennep getest: maaiers, maaierkneuzers, persen en hakselaars. De teeltkundige randvoorwaarde om een laat gewas te telen met een hoge potentiële vezelopbrengst, had tot gevolg dat september de oogstperiode zou worden, waarin het onder Nederlandse omstandigheden onmogelijk is om de hennep (na het maaien) met zekerheid te laten drogen op het veld. Om een pulpfabriek jaarrond van grondstof te kunnen voorzien, moet de hennep worden opgeslagen en bewaard. Als velddrogen niet kan, is het droog opslaan niet haalbaar, omdat kunstmatig drogen te duur is. Uitgaande van de droogkosten van vers gras, zou het drogen van hennep minimaal f 3000,- per ha kosten, terwijl de vezelopbrengst, bij de huidige prijzen van de papierpulpgrondstoffen, op slechts f 1800,- per ha ingeschat wordt (excl. subsidies). Een andere methode van conservering is inkuilen. Dit berust op een natuurlijke verzuring door melkzuurbacteriën. Ook hennep kan zo worden geconserveerd en inkuilen is dan als opslagmethode een aantrekkelijke optie. De hennep zou in geperste balen of gehakseld ingekuild kunnen worden. Echter persen is én te duur én de dichtheid van de geperste pakken is te laag voor een goed kuilproces, zodat gekozen moet worden voor het maaihakselen. Op de hakselaar is het mogelijk om middelen toe te dienen die het kuilproces bevorderen.

Op het moment van oogsten is er ongeveer 0,20 kg droge stof (ds) bladmateriaal per kg ds plantmateriaal aanwezig. Bladmateriaal is in dit geval de verzamelterm voor blad, bloeiwijzen en zaad. Omdat dit materiaal niet interessant is als papiergrondstof en bovendien extra verontreiniging geeft bij de verwerking, is het wenselijk dit, voordat het gewas wordt geoogst, te verwijderen. Bovendien worden zo nutriënten teruggebracht in de bodem. Bij 2 ton ds bladmateriaal per ha zou dit ongeveer 64 kg N, 30 kg P₂O₅ en 50 kg K₂O zijn. Met behulp van gewasgegevens is een simulatie uitgevoerd van het verwijderen van het bladmateriaal (ofwel het 'toppen'). Hieruit bleek dat het voor de effectiviteit van deze bewerking interessant was om de oogst uit te stellen van 21 augustus tot 7 september. Een richtlijn voor de hoogte waarboven getopt zou moeten worden, is 2,6 m., en is afhankelijk van oogsttijdstip, ras en plantdichtheid. Uit de simulatie volgde ook dat er na het toppen nog ongeveer 0,05 kg ds bladmateriaal per kg ds plantmateriaal in het gewas achterblijft bij een stengelverlies van ongeveer 0,02 kg/kg.

Bij praktijkproeven met een roterende borstel als topmachine bleef ongeveer 0,04 kg ds bladmateriaal achter per kg ds plantmateriaal, bij een stengelverlies van 0,05 kg/kg. De ingestelde tophoogte was 2,2 m. De omstandigheden bij de simulatie waren idealer ingeschat dan in de praktijk kon worden gerealiseerd. Het is wel duidelijk geworden dat behalve de hoogte waarboven getopt wordt, ook factoren als plantdichtheid en ras van invloed zijn op het topresultaat. Voor de praktijk wordt het gebruik van een klepel-maaier aanbevolen of een roterende borstel. Een borstel zou voordeel kunnen bieden, omdat het blad als het ware meer van de plant wordt afgestript zodat minder stengel verloren gaat. De optimale uitvoering hiervan vraagt echter nog wel nader onderzoek.

Bij de oogst van groenvoer, zoals gras en maïs, is hakselen een zeer gebruikelijke techniek. Het voordeel is dat er een produkt ontstaat dat zich gemakkelijk laat behandelen (zoals verdichten en mengen) omdat het enigszins stromend is. Door de taaie bast is het hakselen van hennepstengels echter niet altijd zonder problemen verlopen. De maaibek van de hakselaar moet rijenonafhankelijk zijn, om te voorkomen dat stengels zich rond de invoerkettingen wikkelen. Machines met een hakselrad, waarbij de draaiende as evenwijdig is aan de ingevoerde materiaalstroom, zijn gevoeliger voor storingen dan die met een hakselkooi. Gehakselde bastvezels kunnen zich namelijk gemakkelijk rond de as van het hakselrad wikkelen, waardoor uiteindelijk de lagers stuk gaan. Om verstoppingen te voorkomen moet het kanaal, waardoor het gehakselde produkt wordt afgevoerd, glad zijn en er mogen geen roterende vijzels en dode hoeken in zitten. Ook moet gewerkt worden met scherpe messen en een kleine haksellengte (ongeveer 6 mm). De elementaire bastvezellengte is langer (gemiddeld 20 mm) maar de diverse geteste maaihakse-laars sneden de bast niet door op de ingestelde haksellengte. De lengte van de gehakselde bast varieerde namelijk van 1 cm tot ruim 20 cm. De capaciteit bij het hakselen van hennep zal naar schatting iets lager zijn dan bij maïs (door extra storingen) en wordt ingeschat op 0,9 ha/uur.

Het doel van het nat en anaëroob conserveren (inkuilen) van hennep is om de vezels op een goedkope en goede manier te bewaren, zodat de verwerking van het geoogste produkt kan worden verspreid over een heel jaar. Omdat in hennep niet voldoende suikers aanwezig zijn, verzuurt een hennepkuil bijna nooit spontaan. Daarom is het toevoegen van middelen noodzakelijk voor een succesvol kuilproces. Tijdens dit proces mag de cellulose en de hemicellulose niet aangetast worden en moet de vezelsterkte van de bast zoveel mogelijk op peil blijven. De vezelsterkte is het best gewaarborgd onder zure (pH<4) of basische (pH>12) omstandigheden. Echter ook onder deze omstandigheden was de vezelsterkte na een kuilperiode van drie maanden met 18% gedaald ten opzichte van droog bewaarde vezels. Het is niet duidelijk hoe het verloop van de sterkte-daling in de tijd is. Er zijn aanwijzingen dat de bastvezelsterkte in een stabiel conserveringsmilieu continu achteruit gaat.

Bij het nat en anaëroob conserveren van hennep ging geen cellulose of hemicellulose verloren. Het toevoegen van natronloog in de kuil splitste acetylketens af van de hemicellulose. Bij het wassen van basisch geconserveerde hennep ging meer materiaal in oplossing. Het is onbekend in hoeverre dit afbraakprodukten zijn van (hemi)cellulose of van lignine. Door de vezels nat en anaëroob te conserveren werd de scheursterkte van het papier dat ervan werd gemaakt, lager. De daling van de scheursterkte was echter minder groot dan die van de bastvezelsterkte. De natte conservering verlaagde ook de

witheid van het papier (vooral bij het basisch conserveren). Bij deze bewaring moet dus enig kwaliteitsverlies geaccepteerd worden.

De scheiding van bast en hout kan het beste worden uitgevoerd in de voorfase van het verpulpen (in combinatie met het wassen). Een scheidingsbewerking tijdens de oogst heeft nauwelijks perspectieven omdat het resultaat onvoldoende is en de bewerking duur (ruim f 110,- per ton ds). Bij de oogst met een maaihakselaar wordt het hout losgemaakt van de bast. De hennep kan dan gescheiden worden door flotatie. Bij flotatie zinkt de bast en blijft het hout drijven. De kosten van deze scheidingsbewerking zijn aanzienlijk lager (f 5,- per ton ds) en de technische (scheidings)resultaten zijn hoger.

In de onderzochte keten voor de teelt, oogst en opslag van vezelhennep, is de opslag in een kuil de meest onbetrouwbare factor voor de levering van een goede en gelijkmatige vezelkwaliteit gedurende het hele jaar. Verder onderzoek naar de processen in een kuil die de vezelsterkte doen veranderen, is noodzakelijk om de techniek van hakselen en inkuilen te kunnen introduceren in de praktijk. Een andere optie is wellicht de teelt van een vroeg afrijpend gewas (eind juli) zodat de hennep gedroogd kan worden in het veld en ook droog kan worden opgeslagen. Het winnen van zaad is dan ook mogelijk en zou de lagere vezelopbrengst kunnen compenseren.

1 Inleiding

1.1 Doelstelling

Een grootschalige teelt en verwerking van hennep in Nederland als grondstof voor papierpulp was op voorhand niet ondenkbeeldig. Zo luidde de belangrijkste conclusie van een eerste haalbaarheidsanalyse die Heidemij Adviesbureau BV (1989) uitvoerde in opdracht van enkele agrarische standsorganisaties in Drenthe en Groningen. Daarom hebben in 1990 de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) en de Landbouwniversiteit Wageningen (LUW) een vierjarig onderzoekprogramma gestart met als doel de mogelijkheden te onderzoeken van de teelt en verwerking van vezelhennep als grondstof voor de papierindustrie. Dit onderzoek is in hoofdzaak gefinancierd door de ministeries van Economische Zaken en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Medefinanciers waren de provincies Groningen en Drenthe omdat zij belang hebben bij een vierde akkerbouwgewas voor met name het veenkoloniale gebied.

De Nederlandse akkerbouw kampt momenteel met enkele structurele problemen. Als gevolg van de lagere prijzen van de geteelde akkerbouwprodukten en de stijgende vaste lasten, dalen de geldelijke opbrengsten. De prijzen zijn enerzijds gedaald omdat de EG de landbouwsubsidies beperkt (o.a. voor granen) en anderzijds door overschotten als gevolg van areaaluitbreiding (bijv. aardappelen en uien). Nog een structureel probleem is de verslechtering van de bodemgezondheid. Door het intensieve bouwplan (met de rooigewassen aardappelen en suikerbieten) wordt een aanslag gepleegd op de bodemstructuur, doordat zware machines onder slechte (bodem)omstandigheden op het land rijden, en wordt de bodem besmet met diverse ziekteverwekkers (aaltjes).

De geschetste ontwikkelingen noodzaken de Nederlandse akkerbouw te zoeken naar andere gewassen. De werkgroep veenkoloniën heeft na een studie begin jaren tachtig hennep aangedragen als een gewas dat perspectieven bood voor een economisch verantwoorde teelt en verwerking. Als gunstige eigenschappen van het gewas hennep werden genoemd:

- aantrekkelijke vruchtwisselingseigenschappen (onkruidonderdrukking, verbetering bodemstructuur, kort groeiseizoen),
- niet concurrerend met andere gewassen wat afzet betreft (hennep levert een non-food produkt) en
- mogelijkheden voor een grootschalige teelt.

Tevens zou dit gewas bijdragen aan de werkgelegenheid in de veenkoloniën, aangezien voor een economisch verantwoorde verwerking, de verwerkingsfabriek in het teeltgebied gesitueerd moet zijn.

In het kader van het henneponderzoekprogramma hebben het IMAG-DLO en de vakgroep Agrotechniek en fysica van de Landbouwniversiteit, vanaf 1990 tot en met 1993 de mechanisatie-aspecten bij de teelt van vezelhennep onderzocht. Omdat de oogst en de conservering van de hennep de grootste probleemvelden waren, heeft het onderzoek zich voornamelijk hierop gericht. De doelstelling was een gefundeerde uitspraak te doen over de voor Nederland meest geschikte methode van oogst en opslag van vezel-

hennep als grondstof voor papierpulp. Een opslagperiode tot maximaal 1 jaar is noodzakelijk om een jaarrondverwerking mogelijk te maken. Voor de verwerking is het bovendien gewenst om de twee verschillende vezelweefsels die in de hennepstengel aanwezig zijn (bast en hout), te scheiden. Ook dit laatste aspect is meegenomen in het onderzoek.

Allereerst is nagegaan wat de gangbare oogstmethoden voor vezelhennep zijn. Op basis van deze kennis en verdere inzichten in alternatieve mogelijkheden, zijn keuzes gemaakt voor verschillende onderzoekaspecten. Hierop zal in dit hoofdstuk nader worden ingegaan. In de hoofdstukken 2, 3 en 4 worden vervolgens resultaten en conclusies weergegeven van onderzoek naar resp. het verwijderen van bladmateriaal, het conserveren van de vezels met behulp van inkuilen en het scheiden van bast en hout. Tenslotte worden de resultaten gecombineerd in een slotevaluatie van oogstketens (hoofdstuk 5).

1.2 Overzicht van de mechanisatie bij de teelt van vezelgewassen

De teelt van een gewas omvat de bewerkingsprocessen grondbewerking, zaaien, verzorging, oogst, transport en bewaring. Het zaaien en de verzorging van hennep geven normaal gesproken geen problemen of vereisen geen nader onderzoek. Het zaad moet voldoende diep in de grond gebracht worden om te kunnen beschikken over voldoende vocht tijdens de kiem- en opkomstperiode. Door de snelle groei kan hennep gemakkelijk onkruid onderdrukken, zodat bestrijding hiervan overbodig is. Anders dan de ervaringen in het buitenland, is hennep in Nederland niet vrij van ziektes. Vooral in een nat groeiseizoen kunnen de schimmels *Sclerotinia sclerotiorum* en *Botrytis cinerea* opbrengstverlies en gewaslegering veroorzaken. Het laatste kan extra problemen geven tijdens de oogst. Een chemische bestrijding is moeilijk te realiseren, omdat het probleem zich voordoet in de onderste laag van het gewas waar, door de grote hoogte van het gewas, met de huidige spuittechnieken geen middelen toe te dienen zijn. Ook een herhaalde preventieve bespuiting is vanuit economisch en milieutechnisch oogpunt niet aanvaardbaar (van der Werf, 1993^b). Een oplossing voor dit probleem moet gezocht worden in het kweken van meer resistente rassen.

De teelt van vezelhennep heeft tot enige jaren geleden voornamelijk in het teken gestaan van de produktie van lange vezels voor grove textielen. Bij deze toepassing zijn factoren als sterkte, kleur en zuiverheid van de bastvezels enorm belangrijk. De oogstmethode was hierop toegespitst. Om een goede kwaliteit textielvezel te leveren, was een rootstap in de verwerking noodzakelijk. Dit komt overeen met de verwerking van vlas, dat geschikt is om een fijne textielvezel (linnen) te leveren. Roten is een bacteriologisch proces en het doel is een gemakkelijkere scheiding van (droge) stengels in een hout- en bastgedeelte en het kwijtraken van niet-vezel componenten van de bast (zoals parenchymweefsel, gummen en harsen). Er zijn drie manieren om te roten: dauwroten, waarbij het rootproces op het veld plaatsvindt nadat het gewas is gemaaid, en water- resp. sneeuwroten, waarbij droge stengels een bepaalde tijd in (warm) water of sneeuw worden gelegd. De kwaliteit van watergerote vezels is het hoogst. Als grondstof voor papierpulp hoeven de stengels echter niet te roten.

De oogstmechanisatie is in veel gebieden blijven steken bij het gebruik van een (aangepaste) maaibinder. Deze machine is in staat om het gewas te maaien en vervolgens de

gemaaide stengels te bundelen tot bossen die handmatig te hanteren zijn. De hennep kan het best geoogst worden in de periode tussen het bloeien van de mannelijke planten en het rijp worden van het zaad (Kirby, 1963; Berger, 1969). Volgens een Hongaars testrapport (Zsolt, 1989) is de capaciteit van een hennepmaaibinder 4 ha per dag. Veel (handling)werkzaamheden (zoals het bij elkaar zetten van de bossen op het veld om te drogen en daarna het laden op een wagen en vervolgens ook lossen) worden echter nog uitgevoerd in handwerk en zijn dus tijdrovend. Het roten, de winning van het zaad en de extractie van de vezel vinden plaats op verwerkingsbedrijven. In de Oekraïne wordt de hennep tegenwoordig ook wel gemaaid en in zwaden gelegd om te dauwroten (van der Werf, 1993¹). De hennep wordt dan alleen voor de vezels geteeld en niet voor het zaad. Na de dauwrootperiode, afhankelijk van het weer 10 tot 30 dagen later, wordt de hennep in pakken geperst. Een andere methode (Berger, 1969) is, te wachten tot het zaad rijp is, de hennep vervolgens te maaien en na drie dagen velddrogen het zaad te oogsten met een dorsmachine. Maaien en dorsen wordt tegenwoordig in één werkgang uitgevoerd (van der Werf, 1993¹). Hierna blijven de stengels goed verdeeld op het veld achter om één tot drie weken te dauwroten. De vezelkwaliteit is bij deze methode lager, maar de zaadopbrengsten zijn hoger.

In Amerika is voor de oogst van kenaf (een vezelgewas van ruim 3 meter hoog) een experimentele maaimachine ontwikkeld, waarbij de stengels loodrecht op de rijrichting op de grond kwamen te liggen, zodat ze konden dauwroten of drogen (USDA, 1988). Na de root- of droogperiode zouden de stengels mechanisch geladen kunnen worden in wagens om naar de pulpfabriek getransporteerd te worden. Een vervolg van deze ontwikkeling is niet bekend. Ook in Australië zijn proeven uitgevoerd met kenaf als grondstof voor papierpulp. Hier zijn in de jaren '70 proeven gedaan met suikerrietoogsters en maaihakselaars. Technisch voldeden de suikerrietoogsters goed maar, mede door de voor kenaf overbodige uitrusting (Wood e.a., 1978), bleken zij te duur te zijn. Door de lange snijlengte (20 tot 25 cm) was de dichtheid van de kenaf die met suikerrietoogsters was geoogst, niet veel hoger dan 130 kg vers produkt per m³. Dit komt overeen met slechts 30 kg droge stof (ds) per m³. Om een grotere dichtheid te kunnen realiseren, moesten de stengels in kleinere stukken gesneden worden. Hiervoor werden maaihakselaars gebruikt en positief beoordeeld (Wilkes e.a., 1969; Quick e.a., 1980). Bij een haksellengte van 13 mm was de dichtheid 80 kg ds per m³. Verder bleek dat bij het hakselen de bast loskwam van de houtpijp. Dit is gunstig om later de bast en het hout te kunnen scheiden. Echter noch in de Verenigde Staten noch in Australië hebben de onderzoekingen geleid tot een commerciële verwerking van kenafvezels tot papier.

Op praktijkschaal wordt alleen in Frankrijk vezelhennep geteeld, mechanisch geoogst en vervolgens verwerkt tot papier. In hoofdlijnen zijn er twee oogstmethoden te onderscheiden (Thomas, mondelinge mededeling, 1991¹; van der Werf, 1992). Bij de eerste methode wordt de hennep in de derde week van augustus gemaaid met een dubbele messenbalk of een maaierkneuzer. Bij het gebruik van een dubbele messenbalk moet extra zorg worden besteed aan de scheiding tussen het te maaien gewas en het gewas dat rechtop blijft staan (de zogenaamde gewasscheiding). Om de stengels op een goede manier in het zwad te kunnen leggen, moeten ze namelijk gelijkmatig achterover vallen.

¹) Gesprek met dhr. Thomas van het FNPC (Fédération Nationale des Producteurs de Chanvre), Parijs, 15 maart 1991

Dit proces wordt gemakkelijk verstoord door gelegeerde stengels die dwars op de rijrichting liggen. Voor een goede gewasscheiding wordt de hennep soms gezaaid op stroken, waarvan de breedte hetzelfde is als de werkbreedte van de dubbele messenbalk (FNPC, 1985). Om de gemaaide stengels goed te leiden terwijl ze achterover vallen, wordt een speciale maar simpele stangenconstructie aan de trekker en de dubbele messenbalk bevestigd. Meestal wordt de hennep echter gemaaid met een maaierkneuzer die voorzien is van pletrollen. Het voordeel van deze machine is dat de stengels gekneusd worden, waardoor de droogperiode, om een drogestofgehalte te bereiken van 85%, aanzienlijk afneemt (ongeveer 4 in plaats van 8 dagen). De afstand tussen de pletrollen is maximaal om zo weinig mogelijk zaad te verliezen. Als de stengels voldoende droog zijn om bewaard te kunnen worden (85% ds), worden ze in balen geperst. Meestal worden hiervoor rondebalenpersen gebruikt. In dat geval is het zelfs noodzakelijk dat het gewas gemaaid is met een maaierkneuzer, omdat anders het begin van de ronde baal niet gemaakt kan worden. Het zaad, dat niet verloren is gegaan, wordt pas gewonnen in de verwerkingsfabriek.

Bij de tweede methode wordt meer aandacht besteed aan het winnen van het zaad. Hiervoor moet het gewas ongeveer twee weken langer op het veld blijven staan. Het zaad is dan rijper en wordt direct geoogst door met een maaidorser de stengels zo hoog mogelijk af te maaien (op ongeveer 1,5 m hoogte) en te dorsen. Hierna worden de restanten gemaaid (met een maaierkneuzer), gedroogd op het veld en vervolgens geperst in ronde balen. Met deze methode wordt meer zaad gewonnen, maar is de vezelopbrengst lager. Soms is door het latere oogsttijdstip, ook de vezelkwaliteit lager. Het weerrisico is namelijk groter zodat, voor het behoud van een goede en gelijkmatige vezelkwaliteit, het droogproces in enkele jaren te lang duurt.

1.3 Afbakening van het onderzoek

De genoemde mogelijkheden in overweging genomen, zijn voor de oogst van vezel-hennep in Nederland, op hoofdlijnen vier alternatieven opgezet (figuur 1). De gevormde ketens beginnen bij het toppen (dit is een bewerking om het bladmateriaal te verwijderen en is facultatief) en eindigen net voor het verpulpen in de fabriek. De plaats van het transport van de boerderij naar de fabriek is in de figuur niet aangegeven zodat de locatie van de scheidingsbewerking (in drie van de vier gevallen) en de opslag nog vrij kan worden ingevuld. In de vier ketens verschillen voornamelijk het drogestofgehalte van de hennep en de manieren van handling:

I: Toppen-maaihakselen-inkuilen-scheiden

Deze keten is organisatorisch gemakkelijk uitvoerbaar. De praktijk is vertrouwd met deze manier van werken, omdat deze overeenkomt met de oogst van snijmaïs. De verliezen tijdens de oogst en de weersafhankelijkheid zijn klein en er kan een hoge capaciteit behaald worden (ongeveer 0,9 ha per uur). Het is onbekend wat de invloed van het inkuilen is op de vezelkwaliteit. Dit vereist onderzoek alsook de mogelijkheden van het scheiden van bast en hout na het hakselen en het inkuilen.

II: Toppen-maaischeiden-gescheiden opslaan (inkuilen/drogen)

De hennepstengels worden op het veld gescheiden in bast en hout. Dit is een zeer specifieke keten en vereist veel onderzoek. Indien blijkt dat het inkuilproces de kwaliteit van de waardevolle bastvezel te veel aantast, kan de bast gedroogd worden (wat duur is) en het hout worden ingekuild. Er is dan een betere afstemming van de

conserveermethode op de waarde van het op te slaan produkt. Het grote voordeel is dat een maximale vezelkwaliteit geleverd kan worden. Hiertegenover staat dat de kosten hoog zijn door de hoge prijzen van de speciale oogstmachines en door de extra opslag- en transportkosten. Deze zijn hoger dan in keten I, omdat hout en bast reeds vanaf het veld gescheiden gehanteerd moeten worden.

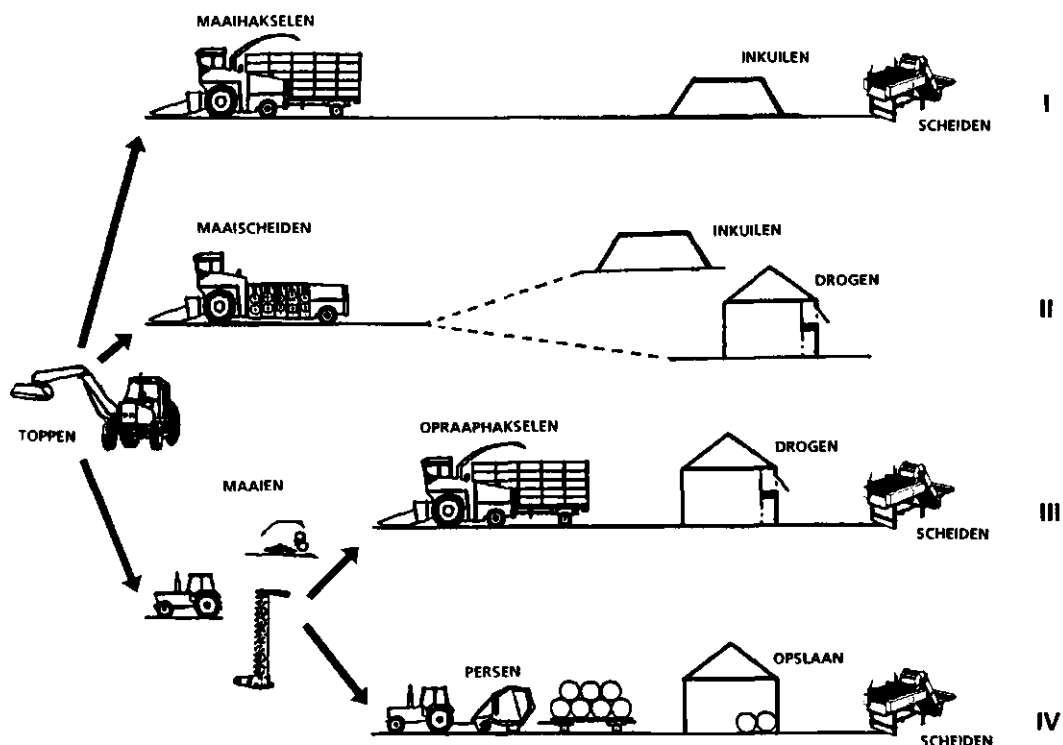
III: Toppen-maaien-opraaphakselen-drogen-scheiden

Door het gewas te maaien (en te kneuzen) en op het veld neer te leggen, kunnen de stengels drogen. In enkele dagen is dan bij goed drogend weer een drogestofgehalte van 50 tot 60% te bereiken. Na het opraaphakselen kunnen de tot chips verhakselde stengels nagedroogd worden in een droogschuur.

IV: Toppen-maaien-persen-op slaan-scheiden

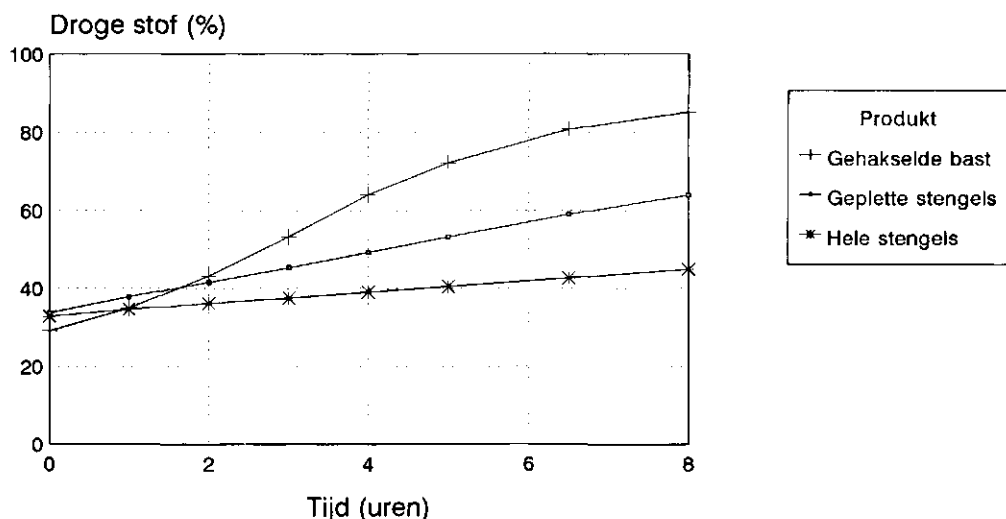
In deze keten zit een velddroogperiode die zo lang is dat het drogestofgehalte 85 tot 90% wordt. Bij dit gehalte kunnen de stengels in balen worden geperst die op het akkerbouwbedrijf droog worden opgeslagen.

De vezels kunnen dus na de oogst nat worden opgeslagen (inkuilen) of droog. Voor het laatste moet de hennep worden gedroogd; dit kan op het veld, kunstmatig of een combinatie van beide. Voor het behoud van de vezelkwaliteit is een droge opslag te prefereren. Dit is echter vanuit economisch oogpunt of oogstzekerheid een moeilijk haalbare optie als uitgegaan wordt van rassen met een hoog opbrengstpotentieel, die pas in september geoogst kunnen worden. Deze uitspraak wordt hierna toegelicht.



Figuur 1 Schematische weergave van vier ketens voor de oogst van vezelhennep.

Figure 1 Schematic view of four harvest chains for fibre hemp.



Figuur 2 Droogcurves van gehakselde bast en geplette en ongeplette hennepstengels (bij 20 °C en 75% relatieve luchtvochtigheid).

Figure 2 Drying curves of chopped bast and flattened and unflattened hemp stems (at 20 °C and 75% relative air humidity).

Kunstmatig drogen

Het kunstmatig drogen van (gehakselde) hennep met een drogestofgehalte van iets meer dan 30% is enigszins vergelijkbaar met het drogen van gras. De kosten hiervoor bedragen ongeveer 15 tot 20 cent per kg eindprodukt (met een drogestofgehalte van ongeveer 90%). In deze prijs zit echter een EG-subsidie verwerkt van nog eens 15 tot 20 cent per kg. Dit betekent eigenlijk dat het drogen van gras 30 tot 40 cent per kg eindprodukt kost. De directe, geldelijke vezelwaarde wordt voor hennep, bij een opbrengst van 10 ton droge stof per ha, ingeschat op f 1800,- per ha (excl. subsidie) (van Berlo, 1993). Als de kosten voor alleen het drogen al meer dan f 3000,- per ha zijn, is het duidelijk dat een oogstketen waarin de totale stengelopbrengst meteen na de oogst gedroogd moet worden, om economische redenen geen perspectieven biedt.

Velddrogen

Met velddrogen is het misschien mogelijk om het droog opslaan toch binnen economisch haalbare grenzen te krijgen. Hiervoor moeten de stengels gemaaid en eventueel gekneusd worden. Ondanks hogere verliezen (van vooral hout) heeft het maaien-kneuzen de voorkeur, omdat het gewas hierdoor sneller droogt. Onder geconditioneerde omstandigheden (20 °C en 75% relatieve luchtvochtigheid) is van gehakselde bast en geplette en ongeplette hennepstengels het verloop van het drogestofgehalte gemeten (figuur 2). De bast was grof gehakseld, zodat de lengte varieerde van ongeveer 5 tot 20 cm. Bij het drogen werd geen straling gebruikt; deze heeft overigens de meeste invloed op de droogsneldheid (Kasper, 1993). Met deze proef willen we aangeven wat de droogeigenschappen zijn van de drie genoemde produkten. Het verschil tussen de geplette en ongeplette stengels zou in de praktijk overeenkomen met het gebruik van resp. een maaierkneuzer en een dubbele messenbalk. De bast droogde het snelst, vervolgens de geplette en dan de ongeplette stengels. Pletten of kneuzen zou de snelheid van het

stijgen van het drogestofgehalte (op natte basis) meer dan verdubbelen. In het weergegeven traject steeg het drogestofgehalte van de geplette stengels met 3,8% per uur en die van de ongeplette stengels met slechts 1,5% per uur.

Een groot nadeel van de afhankelijkheid van velddrogen is dat het de kans verkleint op een bedrijfszekere oogst van kwalitatief goede vezels. Bij slecht drogend weer gaan de stengels aan de onderkant roten. Hessler (1945) toonde met sterktemetingen aan dat na dauwroten de bast in kwaliteit achteruit was gegaan. Ook Robinson (1946) achtte dauwroten geen betrouwbare methode voor de levering van goede en sterke bastvezels. Om het dauwroten zoveel mogelijk tegen te gaan, moet het droogproces zo snel mogelijk verlopen. Echter in de oogstperiode september is in Nederland de kans op een snelle en goede droging zeer klein. In tabel 1 zijn van twee plaatsen in Nederland en in Frankrijk enkele weergegevens vermeld die illustreren hoe in de loop van juli tot en met oktober de kansen dalen voor het succesvol drogen in het veld. De hoeveelheid neerslag blijft maandelijks ongeveer gelijk maar, als gevolg van vooral de lagere stralingsintensiteit, verdampt er vanaf juli steeds minder. Ten opzichte van de twee Franse plaatsen Troyes en Le Mans, waar momenteel op praktijkschaal hennep wordt verbouwd en droog

Tabel 1 Maandnormalen van de neerslaghoeveelheid (mm), de verdamping² (mm) en de globale straling³ (kJ/cm²) van Eelde en De Bilt, Nederland (Krijnen en Nellestijn, 1992), en voor Troyes en Le Mans, Frankrijk⁴.

Table 1 Monthly normals of the amount of precipitation (mm), evaporation (mm) and solar radiation (kJ/cm²) for Eelde and The Bilt, The Netherlands (Krijnen en Nellestijn, 1992), and for Troyes and Le Mans, France.

Weergegevens	Plaats	Juli	Augustus	September	Oktober
Neerslag (mm)	Eelde	75	67	72	68
	De Bilt	75	71	67	72
	Troyes	56	60	59	54
	Le Mans	49	61	59	60
Verdamping (mm)	Eelde	89	79	49	26
	De Bilt	89	78	50	28
	Troyes	112	93	63	34
	Le Mans	118	93	66	37
Globale straling (kJ/cm ²)	Eelde	52,5	46,7	30,6	17,9
	De Bilt	51,7	45,6	30,8	18,8
	Troyes	62,5	52,5	37,8	23,4
	Le Mans	64,7	52,5	38,3	24,6

²) Hier is de referentie-gewasverdamping weergegeven die is berekend volgens de methode van Makkink.

³) De globale straling bestaat uit de directe en de diffuse stralingscomponent. Voor de kalibratie van de stralingsmeters is de World Radiometric Reference gebruikt.

⁴) De Franse weergegevens zijn verstrekt door het KNMI in De Bilt.

wordt geoogst, zijn de kansen voor een zelfde oogststelsel in Nederland klein. In Frankrijk wordt normaal gesproken half augustus begonnen met de vezeloogst, terwijl de opzet van het onderzoek voor de hennepoogst in Nederland zo is, dat uitgegaan moet worden van een oogst in september. Bovendien blijkt uit tabel 1 dat in augustus en september er in Eelde en De Bilt ten opzichte van Troyes en Le Mans gemiddeld 16% meer regen valt en er 19% minder verdampst. Als dan in acht genomen wordt dat een velddroogperiode minimaal vier dagen duurt in de Franse regionen met hennepoogst (bij maaien-kneuzen), is in Nederland naar verwachting zeker een periode nodig van zes dagen met aanhoudend drogend weer. Echter de kans dat er zes dagen lang geen regen valt, is zeer klein.

Betrouwbaarheid velddrogen

Om concrete uitspraken te kunnen doen over drogingskansen in het veld, moet met behulp van modellen het droogproces gesimuleerd worden. Het opstellen van dergelijke modellen is tijdrovend, omdat het droogproces afhankelijk is van verscheidene weergegevens (zoals straling, neerslag, wind en temperatuur) en gewascondities (zoals hoeveelheid produkt per m², kneusgraad, aanvangsdrogestofgehalte, laagdikte en stoppelhoogte). Momenteel zijn er nog geen geschikte modellen bekend, waarmee deze simulatie voor hennep betrouwbaar kan worden uitgevoerd. Een andere en relatief eenvoudige manier om de kansen in te schatten van het velddrogen, is de werkbaarheid te bekijken van een weergevoelige bewerking.

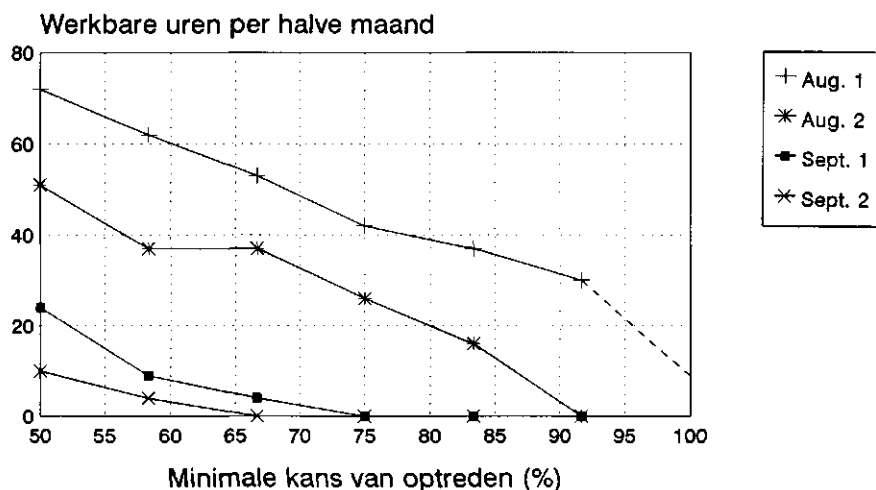
Portiek (1975) heeft onderzoek gedaan naar het aantal werkbare uren voor de graanoogst. Een uur werd werkbaar genoemd als:

- er niet meer dan 0,1 mm neerslag viel;
- er geen aanhangend vocht aan stengel en aar voorkwam;
- er geen condens optrad en
- het korrelvochtgehalte niet hoger was dan een bepaald percentage (17 tot 27% op natgewichtbasis).

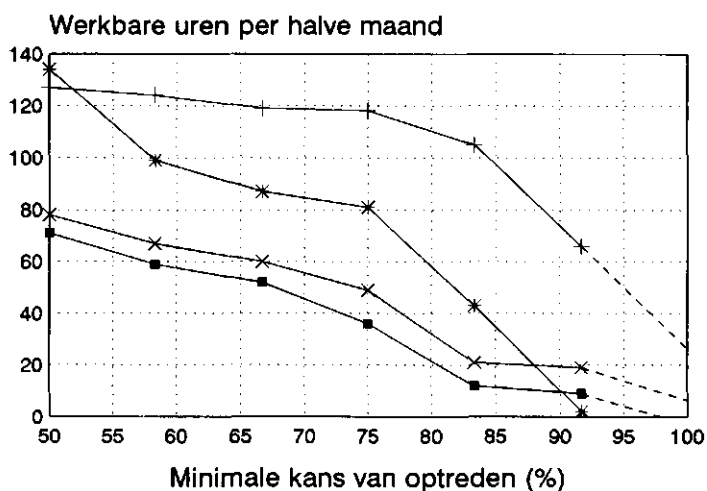
Hij heeft met behulp van: de weergegevens van De Bilt in de periode 1957-1968, de berekende vochttoestand van het gewas en de gekozen werkbaarheidscriteria, berekend hoeveel werkbare uren er in een bepaald aantal jaren zijn voor de graanoogst (in %). Voor de korrelvochtgehalten van 19 en 23% (op natgewichtbasis) zijn deze cijfers voor de vier halfmaandelijke periodes in augustus en september, weergegeven in figuur 3. De halfmaandelijke periodes waren:

- Aug. 1 = 1 augustus t/m 15 augustus;
- Aug. 2 = 16 augustus t/m 31 augustus;
- Sept. 1 = 1 september t/m 15 september en
- Sept. 2 = 16 september t/m 30 september.

In figuur 3 is op de onderste as de kans weergegeven dat in een bepaald jaar het in de grafiek weergegeven aantal werkbare uren **minimaal** voorkomt. Dit is een maat voor de oogstzekerheid. Bij het doen van onderzoek naar een betrouwbare oogstmethode is het niet relevant uit te gaan van een gemiddeld aantal werkbare uren door over de jaren heen deze getallen voor een bepaalde periode te middelen. Indien het **gemiddelde** aantal werkbare uren als uitgangspunt dient (dus een oogstzekerheid van 50%), betekent dit dat het toegestaan wordt dat een bewerking het ene jaar wel met voldoende



Maximaal korrelvochtgehalte 19%



Maximaal korrelvochtgehalte 23%

Figuur 3 Aantal werkbare uren per halve maand voor de graanoogst bij twee korrelvochtgehaltes (19 en 23% op natgewichtbasis) als functie van de kans dat in een bepaald jaar het betreffende aantal werkbare uren minimaal voorkomt (naar Portiek, 1975).

Figure 3 The number of workable hours in half a month for grain harvest at two levels of grain moisture content (19 and 23% on wet weight basis) in relation to the chance that in a year that specific number of workable hours at least is reached (after Portiek, 1975).

zekerheid uitgevoerd kan worden en het andere jaar weer niet. Een methode is pas oogstzeker als er (bijna) elk jaar de benodigde werkbare uren voor beschikbaar zijn.

We kunnen in figuur 3 aflezen dat in 90% van de jaren er voor de graanoogst in augustus en september resp. 35 en 0 werkbare uren zijn bij een korrelvochtgehalte van 19% en resp. 82 en 28 bij een korrelvochtgehalte van 23%. Met de aanname dat er voor het maaidorsen ongeveer 8 werkbare uren in een dag zijn, zijn er in het *gunstigste* geval

in augustus en september resp. 10 en 3,5 werkbare dagen voor het maaidorsen. Tevoren was bepaald dat er minstens 6 dagen *aanhoudend* drogend weer moest zijn voor een succesvolle velddroging. Als het korrelvochtgehalte van rijpe tarwe groter is dan 23%, impliceert dat vochtig (niet drogend) weer. We nemen daarom aan dat er niet meer drogende uren zijn dan dat er gemaaidorst kan worden. Dit betekent dat het drogen van hennepstengels tot een drogestofgehalte van 85% geen betrouwbare oogstmethode is en in september zelfs onmogelijk lijkt. Keten IV achten we daarom in Nederland in september niet haalbaar en in augustus onbetrouwbaar. In Frankrijk zijn de kansen voor dit systeem beter omdat het weer beter is, het gewas eind augustus verder afgerijpt is, de opbrengsten lager zijn en de stengels dunner.

Een keten met een korte veldperiode (ongeveer 4 dagen), waarin de stengels gedeeltelijk drogen, lijkt moeilijk haalbaar (keten III). Mede als gevolg van de slechte droogomstandigheden, wordt het produkt op het veld zeer heterogeen. De bovenste laag van het gemaaide gewas droogt misschien redelijk goed, maar de onderkant blijft, als het gewas niet wordt gekeerd, vochtig. Op deze plaatsen rotten (of rotten) de bastvezels en dit heeft nadelige gevolgen voor de sterkte. Het kersen van het gewas is bij velddrogen naar verwachting noodzakelijk maar is met de bestaande machines niet altijd goed uit te voeren (wikkelp Problemen). Omdat een succesvolle velddroging niet gewaarborgd is, moet, om de vezelkwaliteit ook in een nat seizoen te behouden, ingecalculeerd worden dat in sommige jaren de hele opbrengst kunstmatig gedroogd moet worden. De financiële marges hiervoor zijn te klein of zelfs niet aanwezig.

Opslag na velddrogen

Behalve de genoemde bezwaren van het velddrogen (een verhoogd oogstrisico, extra opbrengstverliezen door het kneuzen en de benodigde extra arbeid om het gewas te keren), heeft ook de handling van het produkt nog nadelen. Als het drogestofgehalte is gestegen tot ongeveer 60% (wat in september naar verwachting maximaal haalbaar is), moet de hennep nagedroogd worden. Hiervoor moeten de stengels worden gehakseld (met een opraaphakselaar) en als bulk worden gehanteerd (keten III). Dit vraagt relatief veel ruimte. De dichtheid van losgestorte, gehakselde hennep is ongeveer 60 kg ds/m³. Bij lichte verdichting (door het eigen gewicht) is een bulkdichtheid te verwachten van 80 tot 100 kg ds/m³ (gemeten onder laboratoriumomstandigheden). Dit betekent dat per ha een droogruimte nodig is van 110 m³ (bij een opbrengst van 10 ton ds per ha). Het gebruik van bestaande schuren zal niet altijd eenvoudig zijn, omdat vanaf september veel werktuigen en andere geoogste produkten opgeslagen moeten worden. Daarom gaan we uit van nieuw te bouwen droog- en opslagruimtes. Door de lage dichtheid zijn de investeringen hiervoor aanzienlijk. De jaarlijkse kosten van een nieuw te bouwen opslagruimte (een landbouwschuur met een verharde vloer) zijn minimaal f 22,50 per m² (Roeterdink en Brantjes, 1992) en dit betekent dat bij een storthoogte van 5 m de opslagkosten ongeveer f 50,- per ton ds zijn. Hierbovenop komen nog de kosten voor installaties om te drogen en de droogkosten zelf. De jaarlijkse kosten van een gebouw met installaties vergelijkbaar met die van een luchtgekoelde aardappelbewaarplaats, zouden drie keer zo hoog zijn (f 150,- per ton ds). Dit is voor hennep weliswaar niet reëel, omdat de constructie lichter uitgevoerd kan worden en de eisen aan isolatie ook lager zijn, maar het geeft wel aan dat de kosten voor een goed uitgeruste bewaarschuur voor hennep misschien wel f 100,- per ton ds kunnen zijn. Het **centraal** drogen en opslaan van veld-droge hennep geeft weinig oplossingen, omdat ook dan opslagruimten gebouwd

moeten worden. Bovendien is het vanuit logistiek oogpunt niet aantrekkelijk om in de oogstperiode een extra aanslag te plegen op de transportcapaciteit in de teeltregio. Indien bestaande loodsen met een eenvoudige beluchtingsinstallatie gebruikt kunnen worden, is keten III wellicht een optie. Immers met lage temperaturen is het mogelijk om hennep relatief snel droog te ventileren (figuur 2).

Samengevat bieden voor Nederland de ketens III en IV, voornamelijk door hun afhankelijkheid van het velddrogen, weinig perspectieven voor de hennepoogst in september. Deze ketens scoren ook laag op het gebied van storingsgevoeligheid, winbare hoeveelheid vezelmateriaal, benodigde uren per ha (door meer bewerkingen op het veld) en kosten (tabel 2).

Tabel 2 Vergelijking van vier oogstketens voor vezelhennep, op zes aspecten. Per aspect wordt aangegeven hoe een keten scoort ten opzichte van de andere drie (— = zeer slecht; - = slecht; o = normaal; + = goed; ? = onbekend).

Table 2 Comparison between four harvest chains for fibre hemp on six aspects. Per aspect each chain is qualified relatively to the other three chains (— = very bad; - = bad; o = normal; + = good, ? = not known).

Keten	Vezel-verliezen	Vezel-kwaliteit	Storings-gevoeligheid	Oogst-zekerheid	Capaciteit	Kosten
I	+	?	+	+	+	o
II	+	+	-	o	-	-
III	-	+	-	-	o	-
IV	-	+	-	--	o	o

Het onderzoek is beperkt gebleven tot vragen die voornamelijk betrekking hebben op de ketens I en II. Dit is allereerst het verwijderen van het blad om een zo schoon mogelijk produkt aan te leveren aan de pulpfabriek. Voor verwerking tot papierpulp zijn van de hennep alleen de stengels interessant, omdat alleen zij cellulose en hemicellulose bevatten. Ten tweede moest onderzocht worden hoe de stengel gescheiden kan worden in bast en hout. Hiervoor zijn twee mogelijkheden: scheiden van de hele stengel op het veld (tijdens de oogst) of scheiden van het gehakselde materiaal na de oogst en eventueel ook na de bewaring. Tenslotte is veel aandacht besteed aan het conserveren van de hennepvezels door middel van inkuilen. Hierbij is het vooral van belang dat de vezels zo sterk mogelijk blijven en dat er nauwelijks cellulose en hemicellulose verloren gaat. Op deze drie onderwerpen wordt nader ingegaan in de volgende hoofdstukken.

2 Het verwijderen van bladmateriaal

2.1 Inleiding

Als grondstof voor papier kan van hennep alleen de stengel worden gebruikt. Deze bestaat uit een houtpijp met daaromheen bast. Het blad, bloeiwijzen en eventueel zaad (samen wordt dit vanaf nu 'bladmateriaal' genoemd) moeten bij voorkeur achtergelaten worden op het veld, aangezien deze plantendelen geen cellulose bevatten. Bovendien kunnen zaadjes als storende zwarte puntjes terugkomen in het papier, als ze vóór het verpulpen niet worden weggehaald. Ongeveer een vijfde deel van de bovengrondse massa bestaat uit bladmateriaal dat zich op het oogsttijdstip voornamelijk in het bovenste gedeelte van het gewas bevindt. Door de bovenste gewaslaag af te maaien of schoon te strippen, kan het grootste gedeelte van het bladmateriaal worden verwijderd, zodat een schoon stengelprodukt kan worden afgeleverd. Een algemene term voor deze bewerking is 'toppen'. Bij dit toppen wordt behalve bladmateriaal onvermijdelijk ook een gedeelte van het stengelmateriaal verwijderd. Dit laatste moet tot een minimum beperkt blijven. De belangrijkste stuurvariabele is de hoogte boven het maaiveld waarop het bladverwijderingswerktuig in het gewas hangt (de tophoogte). Hoe lager de tophoogte, des te meer blad- en stengelmateriaal wordt verwijderd. Een compromis moet gezocht worden tussen de hoeveelheid bladmateriaal die niet en de hoeveelheid stengelmateriaal die wel wordt verwijderd. De kans op afbreken en uittrekken van planten tijdens het toppen is de beperking voor het verlagen van de tophoogte. Er treden dan niet alleen veel verliezen op, maar er kunnen ook problemen ontstaan met het werktuig doordat losgetrokken planten zich om draaiende machinedelen wikkelen.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op verschillende aspecten van het toppen. In paragraaf 2.2 zal eerst aandacht worden besteed aan eventuele mogelijkheden om de uniformiteit van het gewas te vergroten. Omdat het bladmateriaal aan het eind van het groeiseizoen vooral bovenin de planten aanwezig is, kan de efficiëntie van de topbewerking vergroot worden door een geringe variatie in plantlengte. Bij plantdichtheden van ongeveer 100 planten/m² is de plantlengte zeer onregelmatig. Het vermoeden bestond dat de wijze van zaaien de variatie in plantlengte zou verkleinen, in het algemeen gezegd, de gewasregelmaticheid zou vergroten. Door gebruik te maken van precisiezaai, waarbij de afstand in de rij alsook de zaaidiepte beter gecontroleerd kunnen worden, zou het zaad gelijkmatiger kiemen en zou ook de opkomst van de kiemplantjes gelijkmatiger zijn. Verondersteld werd dat door een regelmatigere opkomst minder achterblijvers zouden voorkomen, zodat de planten elkaar als het ware eerlijker zouden beconcurreren om licht. Dit zou kunnen leiden tot kleinere verschillen in plantlengtes en -diktes en dus tot een uniformer gewas.

Door onderlinge concurrentie sterven in de loop van het groeiseizoen planten af. Dit wordt zelfdunning genoemd. In Nederland blijkt zelfdunning in een hennepgewas groter te zijn dan in het buitenland (van der Werf, 1991^a). Bij de oogst zijn plantdichtheden geconstateerd van 35 tot 70 planten/m² waar kort na opkomst nog 100 tot 600 planten/m² aanwezig waren. Een hoge plantdichtheid is gewenst voor een hogere stengelopbrengst en voor een hoger bastaandeel in de stengel. Het wegvallen van planten

heeft, behalve het verlies aan opbrengst, nog het nadeel dat dood materiaal in het gewas komt. Dit kan een invalspoort zijn voor ziekten. Daarom is het belangrijk om zelf-dunning zoveel mogelijk te beperken; dit is misschien mogelijk door een uniformer gewas te telen, bijv. door precisiezaai toe te passen.

In paragraaf 2.3 wordt tenslotte ingegaan op de hoeveelheden bladmateriaal bij verschillende combinaties van ras en plantdichtheid. In het algemeen is gebleken dat de totale opbrengst aan bovengrondse massa weinig afhankelijk is van de plantdichtheid. De stengel/blad verhouding is dat wel en deze zou bij hogere plantdichtheden hoger zijn (van der Werf, 1991^b). De consequenties hiervan voor het mechanisch verwijderen van het bladmateriaal tijdens de oogst worden belicht door allereerst een theoretische beschouwing te geven van de mogelijkheden van het toppen. Ook wordt aangegeven wat met diverse praktijkmachines kon worden ontbladerd en in hoeverre dit aansloot bij de theorie.

2.2 Invloed van het zaaien op de gewasuniformiteit

2.2.1 Materialen en methoden

In 1991 is op 19 april een proefveld aangelegd met verschillende zaaivarianten: twee rassen, twee zaaimethoden, twee grondsoorten, drie herhalingen. Het hoofddoel van de proef was om te bepalen of met precisiezaai een meer regelmatig hennepgewas geteeld kon worden. De twee rassen waren Fedrina 74 (eenhuizig, Frans) en Kompolti Hybrid TC (tweehuizig, Hongaars) en de grondsoorten zand en klei. De zandgrond was 11% afslibbaar met een organische stofgehalte van 4,4% en de kleigrond was 39% afslibbaar met een organische stofgehalte van 2,9%. Bij het zaaien is gebruikgemaakt van een graanzaaimachine met een nokkenradverdeelmecanisme (nokkenradzaai, afgekort tot nrz) en een pneumatische precisiezaaimachine (precisiezaai, afgekort tot pz). De rijenafstand was 12,5 cm en de machines waren zo afgesteld dat er 140 zaden/m² werden gezaaid.

In deze proef is de plantlengte gevolgd in de tijd. Gedurende het groeiseizoen zijn hiervoor op zes tijdstippen uit elk veld tien levende planten genomen die aaneengesloten in een rij stonden. Van elke plant is de lengte gemeten. Per combinatie van tijdstip, grondsoort, ras en zaaimethode is over drie veldjes (totaal 30 planten) de gemiddelde plantlengte berekend en de variatiecoëfficiënt hiervan. Per veld is in drievoud ook de lengte gemeten van een stuk rij met tien planten. Met behulp van de afstand tussen de rijen, die 12,5 cm was, kon een schatting worden gemaakt van de plantdichtheid in een veldje.

2.2.2 Resultaten en discussie

2.2.2.1 Plantdichtheid

In alle velden is nagegaan hoeveel planten tijdens het groeiseizoen zijn weggevallen. In tabel 3 is voor beide grondsoorten het verloop van de plantdichtheid weergegeven voor de vier zaaivarianten (twee rassen * twee zaaimethoden). In figuur 4 zijn deze data grafisch weergegeven. Voordat de resultaten worden besproken, wordt benadrukt dat

de dichtheidsbepalingen niet de hoogste prioriteit hadden. Door de gehanteerde meetmethode is er een grote spreiding in de dichtheidscijfers, waardoor de kleinste significante verschillen (ksv) in tabel 3 groot zijn.

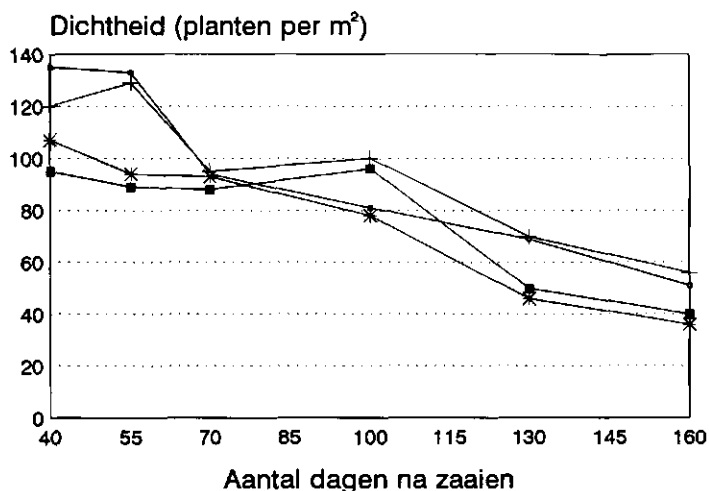
Op de lichte grond (zand) was er een groot (significant) verschil in opkomst tussen beide rassen. Uitgaande van 140 zaden/m², is er 89% bij Fedrina 74 opgekomen en 71% bij Kompolti Hybrid TC. De plantdichtheid bij Fedrina 74 daalde echter al vroeg in het groeiseizoen (69 dagen na zaaien). Dit was het gevolg van onderlinge concurrentie tussen de jonge hennepplanten (zelfdunning). Op het eind van het groeiseizoen was van het aantal opgekomen planten bij Fedrina 74 en Kompolti Hybrid TC respectievelijk 43% en 36% overgebleven. Dit betekende een plantdichtheid van resp. 60 tot 40 planten/m². Op de zware grond (klei) was de opkomst veel trager en onregelmatiger. Dit werd veroorzaakt door de droogte. Het verschil in opkomst tussen beide rassen was echter gering. Gemiddeld bedroeg de opkomst 71%. Van de opgekomen planten was nog ongeveer 50% aanwezig aan het eind van het groeiseizoen.

Vermoedelijk werd de plantdichtheidsdaling vooral veroorzaakt door een combinatie van natuurlijke afsterving (als gevolg van concurrentie) en schimmelaantasting (door voornamelijk *Botrytis cinerea*). Op de zware grond was de daling van het aantal planten bij

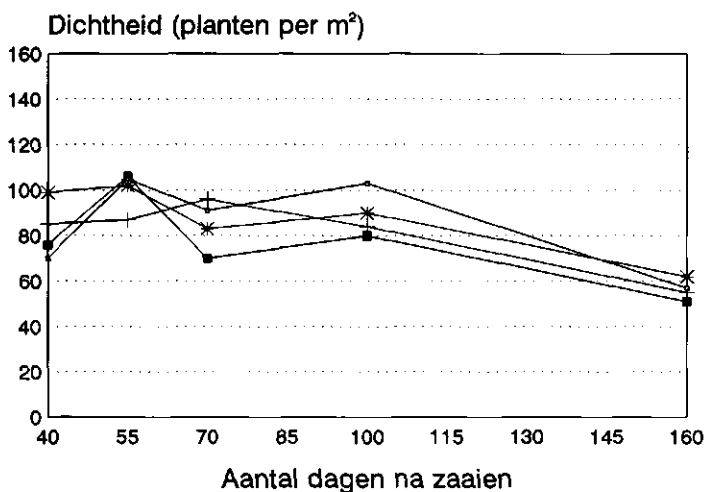
Tabel 3 Plantdichtheden (planten/m²) bij twee rassen, twee zaaimethoden (precisiezaai, pz; nokkenradzaai, nrz) op twee grondsoorten (zand en klei) in de loop van het groeiseizoen (de zaaihoeveelheid was afgesteld op 140 zaden/m²). Het kleinste significante verschil (ksv) tussen de vier zaaivarianten is vermeld voor een zelfde tijdstip en een zelfde grondsoort.

Table 3 Plant density (plants/m²) in a cultivation test with two varieties, two drill methods (spaced drilling, pz; normal drilling, nrz) on two soils (clay and sand) during the growing season (140 seeds were drilled per m²). The least significant difference (ksv) between the four combinations of drill method and variety is given for each combination of date and soil.

Grondsoort	Datum	Dagen na zaaien	Ksv (p=0,05)	Fedrina 74		Kompolti Hybrid TC	
				pz	nrz	pz	nrz
Zand	30-5	41	28	135	120	107	95
	13-6	55	36	133	129	94	89
	27-6	69	21	94	95	93	88
	25-7	97	35	81	100	78	96
	28-8	131	29	69	70	46	50
	27-9	161	23	51	56	36	40
Klei	30-5	41	23	70	85	99	76
	13-6	55	49	105	87	102	106
	27-6	69	37	91	96	83	70
	25-7	97	33	103	84	90	80
	27-9	161	18	57	55	62	51



Grondsoort: zand



Grondsoort: klei

Figuur 4 Plantdichtheden (planten/m²) bij vier combinaties van ras en zaaimethode op twee grondsoorten (zand en klei) in de loop van het groeiseizoen (de zaaihoeveelheid was afgesteld op 140 zaden/m²).

Figure 4 Plant density (plants/m²) in a cultivation test with four combinations of variety and drill method on two soils (sand and clay) during the growing season (140 seeds were drilled per m²).

beide rassen gelijk. Opmerkelijk is de sterke daling vanaf 97 dagen na het zaaien bij Kompolti Hybrid TC op de lichte grond (figuur 4).

In deze veldproef waren de dichtheden van beide rassen in de periode tussen 69 en 97 dagen na zaaien op de lichte grond ongeveer gelijk. We mogen daarom aannemen dat ook de concurrentiestrijd gelijk was zodat later in het seizoen de planten vooral sneuvelen door aantasting van *Botrytis cinerea*. De dichtheid tussen Fedrina 74 en Kompolti

Hybrid TC verschillen weliswaar niet significant maar de cijfers zijn mogelijk wel een indicatie dat het Franse ras minder te lijden had van *Botrytis cinerea* dan het Hongaarse. Ook recent veredelingsonderzoek wees uit dat Franse vezelhennepassen minder vatbaar zijn voor *Botrytis cinerea* (de Meijer, 1992). Opmerkelijk is wel dat dit vatbaarheidsverschil voor *Botrytis cinerea* alleen op de lichte grond optrad.

De opkomst van de hennep na precisiezaai, was sneller en regelmatiger. Hier zijn geen metingen van, maar dit was visueel goed te beoordelen. De betere opkomst was een gevolg van een betere controle van de zaaidiepte en een betere beschikbaarheid van water dat nodig is om te kiemen. Met de beschikbare gegevens kon geen verschil aangetoond worden in de mate van zelfdunning tussen de varianten die met de verschillende machines gezaaid waren (nokkenradzaai versus precisiezaai). De snelle groei van het gewas nivelleerde het aanvankelijk aanwezige verschil in opkomstonregelmatigheid tussen de twee zaaivarianten zo sterk, dat de invloed van de zaaimethode op het uitvallen van planten tijdens het groeiseizoen niet te merken was.

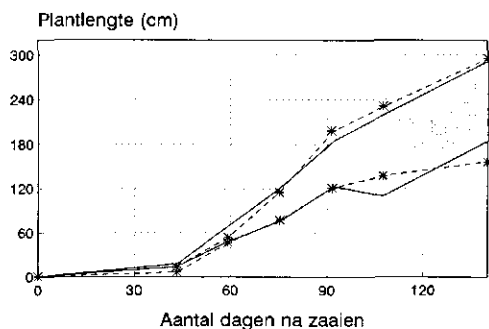
2.2.2.2 Plantlengte, plantlengteverdeling en toplengte

Het bereiken van een kleinere variatie in plantlengte als gevolg van een grotere gewas-uniformiteit zou een reden kunnen zijn om bij hennep te kiezen voor precisiezaai. In

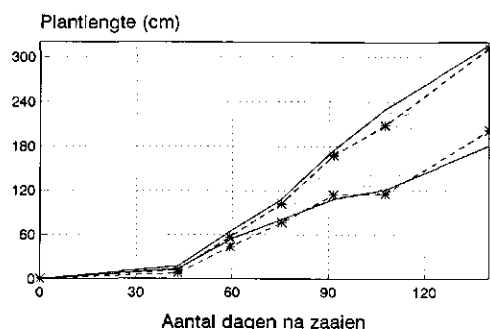
Tabel 4 Gemiddelde plantlengte (Pl, in cm) van 30 planten, met de bijbehorende variatiecoëfficiënt (Vc, in %), bij twee rassen, twee zaaimethoden (precisiezaai en nokkenradzaai) op twee grondsoorten (zand en klei) in de loop van het groeiseizoen (de zaaihoeveelheid was afgesteld op 140 zaden/m²).

Table 4 Mean plant length (Pl, in cm) of 30 plants with the corresponding variation coefficient (Vc, in %), in a cultivation test with two varieties, two drill methods (spaced drilling and normal drilling) on two soils (sand and clay) during the growing season (140 seeds were drilled per m²).

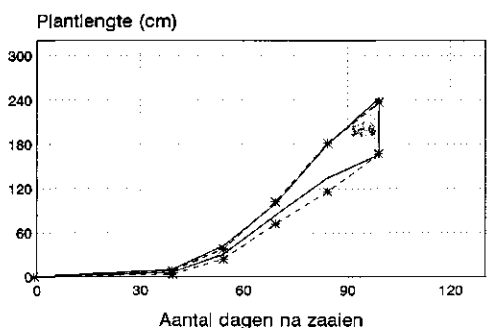
Grondsoort	Datum	Dagen na zaaien	Fedrina 74				Kompolti Hybrid TC			
			Precisiezaai		Nokkenradzaai		Precisiezaai		Nokkenradzaai	
			Pl (cm)	Vc (%)	Pl (cm)	Vc (%)	Pl (cm)	Vc (%)	Pl (cm)	Vc (%)
Zand	30-5	41	16	13	11	27	15	13	10	20
	13-6	55	59	10	51	6	58	10	50	12
	27-6	69	97	24	96	20	94	15	89	15
	11-7	83	152	20	159	25	145	23	141	19
	25-7	97	165	34	184	26	175	31	162	28
	28-8	131	237	23	226	31	248	27	257	21
Klei	30-5	41	8	25	6	33	11	18	7	29
	13-6	55	36	17	31	23	48	10	32	13
	27-6	69	91	9	87	17	91	13	85	9
	11-7	83	157	15	149	22	156	14	155	14
	25-7	97	204	19	202	17	205	18	190	22



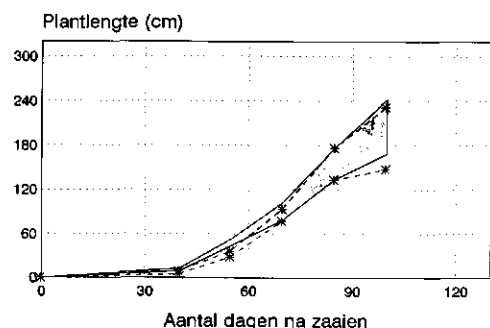
Grondsoort: zand
Ras: Fedrina 74



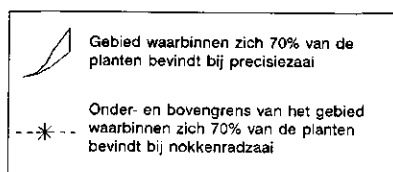
Grondsoort: zand
Ras: Kompolti Hybrid TC



Grondsoort: klei
Ras: Fedrina 74



Grondsoort: klei
Ras: Kompolti Hybrid TC



Figuur 5 Plantlengtes (cm) bij twee zaaimethoden (nokkenradzaai en precisiezaai), twee rassen, op twee grondsoorten (zand en klei) in de loop van het groeiseizoen.

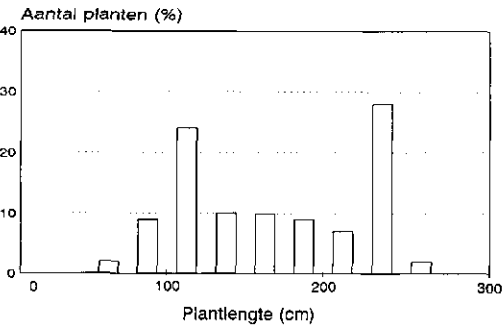
Figure 5 Plant lengths (cm) in a cultivation test with two drill methods (spaced drilling and normal drilling), two varieties on two soils (sand and clay) during the growing season.

tabel 4 wordt per grondsoort en ras het verloop van de gemiddelde plantlengte weergegeven bij beide zaaimethoden. In figuur 5 is de lengtegroei grafisch uitgezet. In deze grafiek is steeds het gebied aangegeven waarbinnen zich ongeveer 70% van de planten bevindt bij precisiezaai. De grenzen van dit gebied hebben we bepaald door de standaardafwijking van de plantlengte op te tellen en af te trekken van de gemiddelde plantlengte. De gestippelde lijnen in de grafiek zijn steeds de onder en bovengrens van een evengrote groep planten bij nokkenradzaai. Indien deze stippellijnen dus ruim naast het gekleurde vlak van precisiezaai vallen, is dit een aanwijzing dat de variatie bij nokkenradzaai groter is dan bij precisiezaai. Uit de grafiek blijkt echter dat dit niet zo is. Op geen enkel tijdstip is tussen beide zaaivarianten een verschil te constateren in de

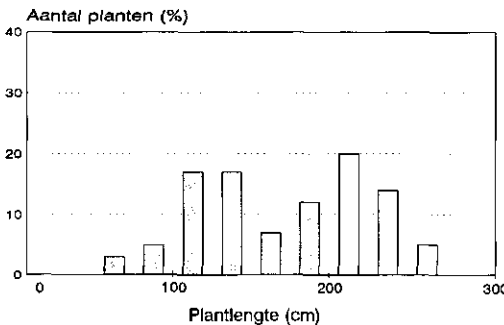
Tabel 5 Aantal planten in lengteklassen van 25 cm bij twee rassen, twee zaaimethoden (precisie- en nokkenradzaai) op twee grondsoorten (klei en zand), 100 dagen na zaaien.

Table 5 Number of plants in specified length classes of 25 cm, classified by variety, drill method (spaced and normal drilling) and soil type (clay and sand), 100 days after drilling.

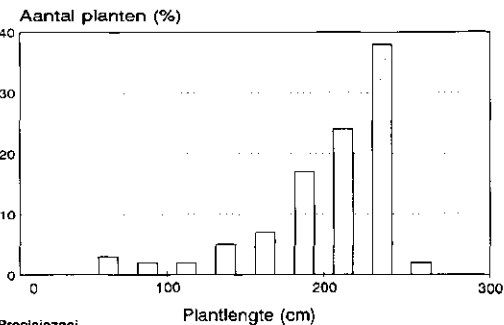
Grond- soort	Ras	Zaai- methode	Lengteklassen (cm)								
			51- 75	76- 100	101- 125	126- 150	151- 175	176- 200	201- 225	226- 250	251- 275
Zand	Fedrina 74	Precisie	1	3	7	3	4	3	1	7	1
		Nokkenrad	0	1	5	5	0	4	7	4	3
	Kompolti Hybrid TC	Precisie	0	2	7	3	2	2	3	9	0
		Nokkenrad	2	2	5	5	4	3	5	4	0
Klei	Fedrina 74	Precisie	1	1	1	1	2	5	5	13	1
		Nokkenrad	0	1	1	1	2	7	10	7	0
	Kompolti Hybrid TC	Precisie	1	0	0	2	2	5	9	9	0
		Nokkenrad	0	0	2	5	5	3	6	6	1



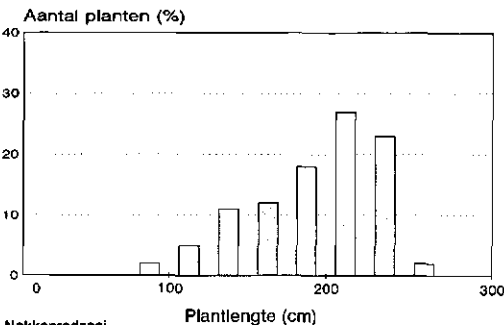
Precisiezaai
Grondsoort: zand



Nokkenradzaai
Grondsoort: zand



Precisiezaai
Grondsoort: klei



Nokkenradzaai
Grondsoort: klei

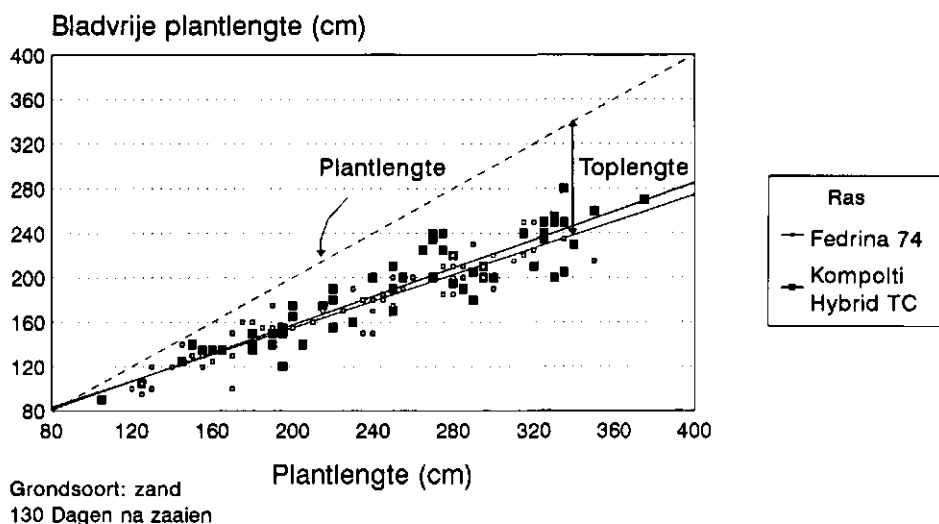
Figuur 6 Lengteverdeling van hennepplanten bij precisie- en nokkenradzaai op twee grondsoorten (zand en klei), 100 dagen na zaaien.

Figure 6 Distribution of plant lengths (%) after precision and normal drilling, on two soils (sand and clay), 100 days after drilling.

gemiddelde plantlengtes en ook niet in de variatiecoëfficiënt. Dit betekent dat in deze proef het gewas na precisiezaai niet regelmatig was dan na nokkenradzaai. De variatiecoëfficiënt was bij de teelt op zand groter dan op de klei.

Een andere manier om de regelmaat van de plantlengtes te illustreren, is de planten te verdelen in lengteklassen en vervolgens het aantal planten uit te zetten dat in een bepaalde klasse hoort. 232 planten zijn verdeeld in lengteklassen van 25 cm (tabel 5) en vervolgens is het percentage van het aantal planten in een bepaalde klasse, uitgezet in figuur 6. In deze figuur is geen onderscheid gemaakt tussen de twee rassen. Indien sprake zou zijn van een uniform gewas wat plantlengte betreft, moet in één of twee aaneengesloten klassen de meerderheid van de planten te vinden zijn. Uit de grafiek blijkt dat er vrijwel geen verschil is tussen het verloop van de plantlengte bij precisiezaai en bij nokkenradzaai. De plantlengteverdelingen op de twee grondsoorten zijn overigens wel verschillend. Op de lichte grond kwamen relatief veel kleine planten voor (<175 cm). Een verklaring hiervoor is dat de concurrentie op de lichte grond net na opkomst groter was, omdat meer planten waren opgekomen (vergelijk figuur 4). In het begin van de groei heeft deze concurrentie veel planten in de verdrukking gebracht. Een gedeelte hiervan kon overleven, maar liep toch een grote groeiachterstand op.

Behalve de totale plantlengte is ook de bladvrije plantlengte gemeten. Het verschil tussen de totale plantlengte en de bladvrije plantlengte is de toplengte. De toplengte wordt in dit geval gedefinieerd als de lengte van het bovenste gedeelte van de stengel, waar bladmateriaal aanwezig is. In figuur 7 is voor de rassen Fedrina 74 en Kompolti Hybrid TC de bladvrije plantlengte uitgezet tegen de bijbehorende totale plantlengte. De waarnemingen werden 130 dagen na het zaaien gedaan (28 augustus 1991). Voor beide rassen apart is in figuur 7 een regressielijn getekend voor de bladvrije plantlengte. De lijnen verschillen nauwelijks. Duidelijk is dat de toplengte toeneemt met de plantlengte.



Figuur 7 Bladvrije plantlengte (cm) als functie van de plantlengte (cm) bij twee rassen, 130 dagen na zaaien, zandgrond.

Figure 7 Bare stem height (cm) in relation to the total plant height (cm), for two varieties, 130 days after drilling, sandy soil.

Voor het verwijderen van het bladmateriaal is het niet gewenst dat er erg grote planten in het gewas aanwezig zijn, dus moet de plantdichtheid voldoende groot zijn. Overigens ook voor een goede onkruidonderdrukking in het begin van het groeiseizoen is dit nodig. De toplengte van grote planten is zo groot dat de bandbreedte waarin het bladmateriaal zich bevindt ook groot is. De bandbreedte voor het toppen is de strook waar het bladmateriaal moet worden verwijderd en wordt boven begrensd door de hoogste planten en onder door de tophoogte. Nog een nadeel van zeer grote planten is dat ze sneller breken tijdens een storm of een topbewerking. De stengels van deze grote planten zijn namelijk sterk verhout waardoor ze niet flexibel zijn en de kans op breken groot is.

De gemiddelde toplengte is bij beide rassen ongeveer gelijk en kan gemiddeld weergegeven worden door de lineaire regressielijn: $\text{toplengte (cm)} = -36 + 0,4 * \text{plantlengte (cm)}$, met een plantlengte tussen 100 en 350 cm. Rassenonderzoek heeft uitgewezen dat bij laat bloeiende rassen meer dan 90% van de stengellengte wordt gevormd in de vegetatieve fase (de Meijer, mondelinge mededeling, 1993⁵). Aangezien beide rassen tot deze categorie behoren en na 130 dagen reeds in de generatieve fase waren, kan verondersteld worden dat de plantlengte niet veel meer toenam. Dit betekent dat de toplengte in de nabloeifase kleiner werd omdat bladeren van vooral het vegetatieve stengeldeel afvielen. De gemiddelde regressielijn geeft een indicatie van de maximale toplengte die bij de oogst van deze twee rassen op kan treden.

Om het toppen goed uit te voeren is dus enerzijds een hoge plantdichtheid (> 100 planten/m²) gewenst (zie bovenstaande), anderzijds niet. Uit de literatuur is namelijk bekend dat in geval van laat bloeiende hennepassen een gewas kleiner blijft naarmate de plantdichtheid toeneemt (van der Werf, 1991^b). Een hoge dichtheid geeft kleinere planten met kleinere toplengtes, maar door het relatief veel voorkomen van kleine planten (<175 cm), is de lengteverdeling ongunstig. Van deze kleine planten is het onmogelijk om tijdens de oogst het bladmateriaal op eenvoudige wijze te verwijderen. Onderzoek naar de teelt van vezelhennep in Nederland gaf aan dat een plantdichtheid van 90 planten/m² uit teeltkundig oogpunt een goede keus is, omdat zowel de stengel-opbrengst het hoogst is als het bastaandeel in de droge stof van de stengel (van der Werf, 1993^b).

Het is echter moeilijk om alleen op basis van de lengteverdeling en de toplengte een uitspraak te doen over een in te stellen tophoogte bij de bladverwijderingsbewerking. Indien de doelstelling is om van alle planten langer dan 250 cm het blad te verwijderen, wordt de tophoogte ongeveer 190 cm. De toplengte is volgens de berekende regressielijn immers 64 cm. Overigens was bij de onderzochte varianten van ras en plantdichtheid, 40 tot 50% van alle aanwezige planten groter dan 250 cm. Een tophoogte van 190 cm is al relatief laag, aangezien er planten in het gewas aanwezig zijn met een lengte van 350 cm. De eerdergenoemde bandbreedte voor het toppen zou dan 160 cm zijn en dit is naar verwachting te groot voor het storingsvrij kunnen verwijderen van het bladmateriaal. Een betere benadering voor het bepalen van de tophoogte is na te gaan hoeveel bladmateriaal op welke hoogte van het gewas aanwezig is (zie ook 2.3).

⁵) E.P.M. de Meijer, CPRO-DLO, Wageningen.

2.2.3 Conclusies

Het gebruik van precisiezaai bij vezelhennep lijkt, gezien de te kleine perspectieven voor een meer regelmatig gewas, niet interessant. Er was namelijk geen verschil in plantlengtereelmaat tussen een hennepgewas dat gezaaid was met een precisiezaaimachine en één dat gezaaid was met een zaaimachine met een nokkenradverdeelmecanisme. Het gebruik van de laatste is eenvoudiger en goedkoper.

De zaaidichtheid (140 zaden/m^2) en de concurrentie tussen de planten bleek zo groot te zijn dat er onvermijdelijk een verschil in groeisnelheid was. Hierdoor had de zaaimethode ook geen invloed op de mate van zelfdunning. Globaal haalde de helft van het aantal opgekomen kiemplanten het einde van het groeiseizoen.

Door droogte tijdens de kieming was de opkomst op de klei slechter en onregelmatiger dan op het zand. Hierdoor waren aanvankelijk minder planten aanwezig per m^2 zodat onbewust een verschil in plantdichtheid gecreëerd was. Dit had vermoedelijk meer invloed op de plantlengtereelmaat dan de grondsoort zelf. De plantdichtheid op het eind van het groeiseizoen was op beide grondsoorten gelijk. Op de lichte grond was het ras Kompolti Hybrid TC extra vatbaar voor schimmelaantasting (voornamelijk *Botrytis cinerea*). De mate van schimmelaantasting bleek niet afhankelijk te zijn van de zaaimethode.

Omdat de toplengte toeneemt met de plantlengte is het onverstandig om te kiezen voor extreem lage plantdichtheden ($<50 \text{ planten/m}^2$ bij het zaaien). De plant- en toplengte worden dan naar verwachting zo groot dat problemen verwacht kunnen worden door het breken van stengels bij het verwijderen van het bladmateriaal of ook bij storm. Ook voor een snelle onkruidonderdrukking is het wenselijk een wat hogere plantdichtheid na te streven. Zeer hoge plantdichtheden ($>100 \text{ planten/m}^2$) zijn echter niet wenselijk door de grote onderlinge concurrentie van de planten waardoor zelfdunning optreedt en een slechte plantlengtereelmaat. Vanuit het mechanisatie-onderzoek wordt daarom aangesloten bij de richtlijn van 90 planten/m^2 die vanuit het teeltonderzoek is aangedragen.

Uit de metingen blijkt dat het niet gemakkelijk is om een tophoogte vast te stellen op basis van plantlengtereelmaat en toplengte. Het is beter de tophoogte te bepalen als bekend is hoe de bladmassa verdeeld is over de plantlengte.

2.3 Het verwijderen van bladmateriaal

2.3.1 Gewaskarakterisering

2.3.1.1 Materialen en methoden

Stengel- en bladopbrengsten

In 1992 is een proefveld aangelegd met twee rassen (Futura 77 en Kompolti Hybrid TC) en twee dichtheden (hoog en laag). In totaal resulteerde dit in vier verschillende zaai-varianten die hier omschreven worden als 'Futura hoog', 'Futura laag', 'Kompolti hoog' en 'Kompolti laag'. Futura 77 is een Frans eenhuizig ras en Kompolti Hybrid TC een Hongaars tweehuizig ras. Van elke variant werden twee veldjes ingezaaid met een zaai-

machine met een nokkenradverdeelmecanisme. De rijenafstand was 12,5 cm. Bij Futura 77 was de gemiddelde plantdichtheid na opkomst bij de hoge en lage zaaivariant resp. 105 en 35 planten/m² en bij Kompolti Hybrid TC 65 en 20 planten/m². De opkomst bij Kompolti Hybrid TC was duidelijk achtergebleven bij die van Futura 77.

Op drie tijdstippen (21 augustus, 7 september en 2 oktober 1992) is bepaald hoeveel bladmateriaal op bepaalde hoogtes aanwezig was. Hiervoor werden uit ieder proefveld drie monsters genomen. Een monster bestond uit de levende planten van een oppervlakte van 0,5 m². De planten werden bij de grond doorgesneden en in de volgende stukken verdeeld: 0-1,5 m [A]; 1,5-2,2 m [B]; 2,2-2,5 m [C]; 2,5-2,8 m [D]; 2,8-3,1 m [E]; 3,1 m en hoger [F]. Van elk deel werd de stengeldrogestof bepaald. Bij het bladmateriaal is de drogestofmassa van deel [A] en [B] getotaliseerd, [C] t/m [F] zijn afzonderlijk bepaald. Voor elk veldje zijn de absolute stengel- en bladopbrengsten in ton ds/ha berekend (op de verschillende planthoogtes) en deze zijn per combinatie van ras en dichtheid gemiddeld.

Voor de stengelopbrengst zijn op deze manier cijfers verzameld van de volgende gewashoogtes: 1,5 m, 2,2 m, 2,5 m, 2,8 m en 3,1 m; voor de bladopbrengst alleen van de laatste vier gewashoogtes. In een simulatie van een ontbladeringsbewerking zijn de meetpunten met elkaar verbonden. Voor de tussenliggende stukken is verondersteld dat de opbrengst van zowel stengel- als bladmateriaal lineair toenam met de gewashoogte. Naar onze indruk is deze aanname zeer acceptabel voor het uitvoeren van deze ontbladeringssimulatie omdat de stappen relatief klein waren (voornamelijk 30 cm). Ook de volgende aannames zijn gedaan:

- er was geen blad aanwezig beneden 1,2 m;
- boven 3,1 m was de toename van de cumulatieve stengelmassa gelijk aan de toename tussen 2,8 en 3,1 m;
- boven 3,1 m was de toename van de cumulatieve bladmassa gelijk aan de toename tussen 2,8 en 3,1 m.

De laatste twee aannames zijn niet helemaal reëel, omdat er hoger in het gewas steeds minder stengel en steeds meer blad voorkomt. Bij dit onderzoek is dit geen bezwaar, omdat een tophoogte lager zal zijn dan 3,0 m, waardoor het exacte verloop van de hoeveelheid stengel en blad boven 3,1 m niet belangrijk is.

Simulatie ontbladeringsbewerking

Met de stengel- en bladopbrengsten is een ontbladeringsbewerking gesimuleerd. Uitgaande van een bepaalde tophoogte en een ontbladeringsefficiëntie kan aangegeven worden hoeveel stengel- en bladmateriaal verwijderd wordt. De ontbladeringsefficiëntie (%) is het gedeelte van het bladmateriaal (boven de tophoogte) dat verwijderd wordt ten opzichte van het totaal aanwezige bladmateriaal boven de tophoogte. Samen met het bladmateriaal wordt echter ook (een gedeelte van het) stengelmateriaal verwijderd. Dit is afhankelijk van de methode van bladverwijderen, de afstellingen van de machine en het gewas. De koppeling tussen de blad- en de stengelverwijdering is met de volgende formule gesimuleerd:

$$\text{ontbladeringsefficiëntie} = (0,95 + (\text{stengelverwijderingspercentage} * 0,05)) * 100\%.$$

Equivalent aan de ontbladeringsefficiëntie geeft het stengelverwijderingspercentage aan hoeveel stengelmateriaal van het totale stengelmateriaal boven de tophoogte, verwij-

derd wordt. Als uitgangspunt is een ontbladeringsefficiëntie van 95 tot 100% gekozen, omdat ernaar gestreefd moet worden om (bijna) alle bladmateriaal boven een bepaalde hoogte te verwijderen. Dit is ook mogelijk maar het gaat gepaard met verlies van stengelmateriaal. In principe varieert het stengelverwijderingspercentage van 0 tot 100% en is afhankelijk van de ontbladeringstechniek. Bij een maaimachine is het per definitie 100%, maar bij een machine die het bladmateriaal als het ware van de stengel stript (bijv. een borstel), is het veel lager. Bij een ideale ontbladeringsbewerking gaat er geen stengelmateriaal verloren (stengelverwijderingspercentage = 0%) en wordt aangenomen dat dan een ontbladeringsefficiëntie van 95% bereikt wordt. Zoals reeds beschreven, correspondeert het afmaaien van de toppen met een stengelverwijderingspercentage van 100%. Omdat dit automatisch betekent dat ook alle bladmateriaal weg is, wordt met bovenstaande formule de ontbladeringsefficiëntie ook 100%. Samengevat is in de simulatie de ontbladeringsefficiëntie minimaal 95% en loopt op tot 100% naarmate ook het stengelmateriaal wordt verwijderd (boven de tophoogte).

Bij een stengelverwijderingspercentage van 0, 25, 50, 75 en 100% is voor tophoogtes tussen 1,5 en 3,5 m uitgerekend hoeveel blad- en stengelmateriaal verwijderd zou worden. De bladverwijdering (%) wordt uitgedrukt als de drogestofmassa bladmateriaal die is verwijderd ten opzichte van de totale drogestofmassa bladmateriaal. Equivalent is het stengelverlies (%) de drogestofmassa stengelmateriaal die is verwijderd ten opzichte van de totale drogestofmassa stengelmateriaal. De simulatie is uitgevoerd voor de eerdergenoemde vier zaaivarianten en de drie tijdstippen. De berekeningen zijn uitgevoerd met een programma in Turbo Pascal dat is vermeld in bijlage B.

2.3.1.2 Resultaten en discussie

Stengelopbrengsten

In tabel 6 en 7 zijn voor de drie meettijdstippen resp. de stengel- en bladopbrengsten weergegeven op de gemeten gewashoogtes (absoluut en relatief). De spreiding tussen de metingen was groot. De variatiecoëfficiënt van de totale stengelopbrengst was bij Futura 77 gemiddeld 10% en bij Kompolti Hybrid TC 24%. De stengelopbrengst bij Kompolti Hybrid TC leek iets lager te zijn dan bij Futura 77 (gemiddeld over de eerste twee meettijdstippen resp. 11,3 en 12,3 ton ds/ha). Dit verschil is niet significant ($ksv=1,4$ ton ds/ha). De dichtheid had helemaal geen invloed op de opbrengst. Opvallend zijn de uitzonderlijk lage stengelopbrengsten bij Kompolti Hybrid TC op het derde meettijdstip. Voor het bepalen van de stengelopbrengst per ha moeten eigenlijk grotere monsters genomen worden (bijv. 2 m²), vooral bij lage plantdichtheden. Bij grotere monsters zal de spreiding tussen de monsters lager zijn, zodat eventuele verschillen in opbrengstniveaus nauwkeuriger kunnen worden geschat. Voor het verwijderen van bladmateriaal is echter de stengelmassaverdeling naar planthoogte van groter belang. Daarom wordt voortaan uitgegaan van de relatieve stengelopbrengst op een bepaalde hoogte. Dit is de stengelopbrengst per ha op een bepaalde hoogte als percentage van de totale stengelmassa per ha.

Bij zowel Kompolti Hybrid TC als Futura 77 bleek bij een lagere plantdichtheid het gewas hoger te worden, waardoor meer stengelmateriaal aanwezig was in de hogere gewaslagen (figuur 8). Dit komt overeen met gegevens uit de literatuur (van der Werf, 1991^b).

Bij de lagere dichtheden was boven 2,5 m ongeveer 4% meer stengelmateriaal aanwezig. Omdat de plantdichtheid bij Kompolti Hybrid TC lager was dan bij Futura 77 (zowel bij de hoge als bij de lage zaaidichtheid) waren de planten bij Kompolti Hybrid TC langer geworden en was meer stengelmateriaal aanwezig op grotere hoogtes. Opmerkelijk is dat bij Futura 77 het verschil in stengelmassaverdeling tussen de lage en de hoge plantdichtheid, in oktober niet meer aanwezig was. Een verklaring hiervoor is dat op dat tijdstip het aantal levende planten per m² niet zo veel meer verschilde. De gewassen waren al aan het afsterven en de extreem kleine planten bij de grote dichtheid waren sneller afgestorven, waardoor de verschillen in plantgrootteverdeling tussen de twee dichtheden niet zo groot meer was.

Met behulp van deze stengelopbrengstmetingen is een schatting te maken van de verliezen die optreden bij het maaien (of maaihakselen). Hierbij blijft altijd het onderste

Tabel 6 Cumulatieve stengelopbrengsten (in ton ds/ha en %) op verschillende gewashoogtes bij vier zaaivarianten op drie tijdstippen. Bij de totale opbrengst is tussen haakjes de variatiecoëfficiënt vermeld van drie bepalingen.

Table 6 Cumulative stem yields (both in tons of dry matter per ha and %) at different crop heights for four different combinations of variety and plant density, at three dates. The variation coefficient of three measurements of the total yield is given in parentheses.

Datum	Hoogte (m)	Futura hoog		Futura laag		Kompolti hoog		Kompolti laag	
		ton ds/ha	%	ton ds/ha	%	ton ds/ha	%	ton ds/ha	%
21 aug	1,5	10,49	81	8,78	75	8,40	73	7,10	67
	2,2	12,10	94	10,44	90	10,28	89	8,84	84
	2,5	12,54	97	10,93	94	10,81	94	9,43	89
	2,8	12,79	99	11,30	97	11,24	97	9,90	94
	3,1	12,87	100	11,58	100	11,48	100	10,27	97
	totaal	12,89 (11%)	100	11,63 (13%)	100	11,54 (22%)	100	10,56 (26%)	100
7 sept	1,5	8,82	75	9,21	71	8,55	72	7,20	65
	2,2	10,64	91	11,23	86	10,64	89	9,09	82
	2,5	11,18	95	11,95	92	11,22	94	9,73	88
	2,8	11,50	98	12,48	96	11,63	97	10,27	93
	3,1	11,67	100	12,83	99	11,89	99	10,69	97
	totaal	11,72 (9%)	100	13,00 (9%)	100	12,04 (17%)	100	11,08 (27%)	100
2 okt	1,5	9,95	73	8,30	74	5,73	74	5,70	67
	2,2	12,15	89	10,12	90	7,05	91	7,15	84
	2,5	12,83	94	10,65	95	7,41	95	7,63	90
	2,8	13,26	98	11,00	98	7,66	98	8,02	94
	3,1	13,52	99	11,17	100	7,79	100	8,30	97
	totaal	13,61 (10%)	100	11,22 (13%)	100	7,82 (26%)	100	8,55 (25%)	100

Tabel 7 Cumulatieve bladmateriaalopbrengsten (in ton ds/ha en %) op verschillende gewas-hoogtes bij vier zaaivarianten en op drie tijdstippen. Bij de totale opbrengst is tussen haakjes de variatiecoëfficiënt vermeld van drie bepalingen.

Table 7 Cumulative foliage quantities (both in tons of dry matter per ha and %) at different crop heights for four different combinations of variety and plant density, at three dates. The variation coefficient of three measurements of the total yield is given in parentheses.

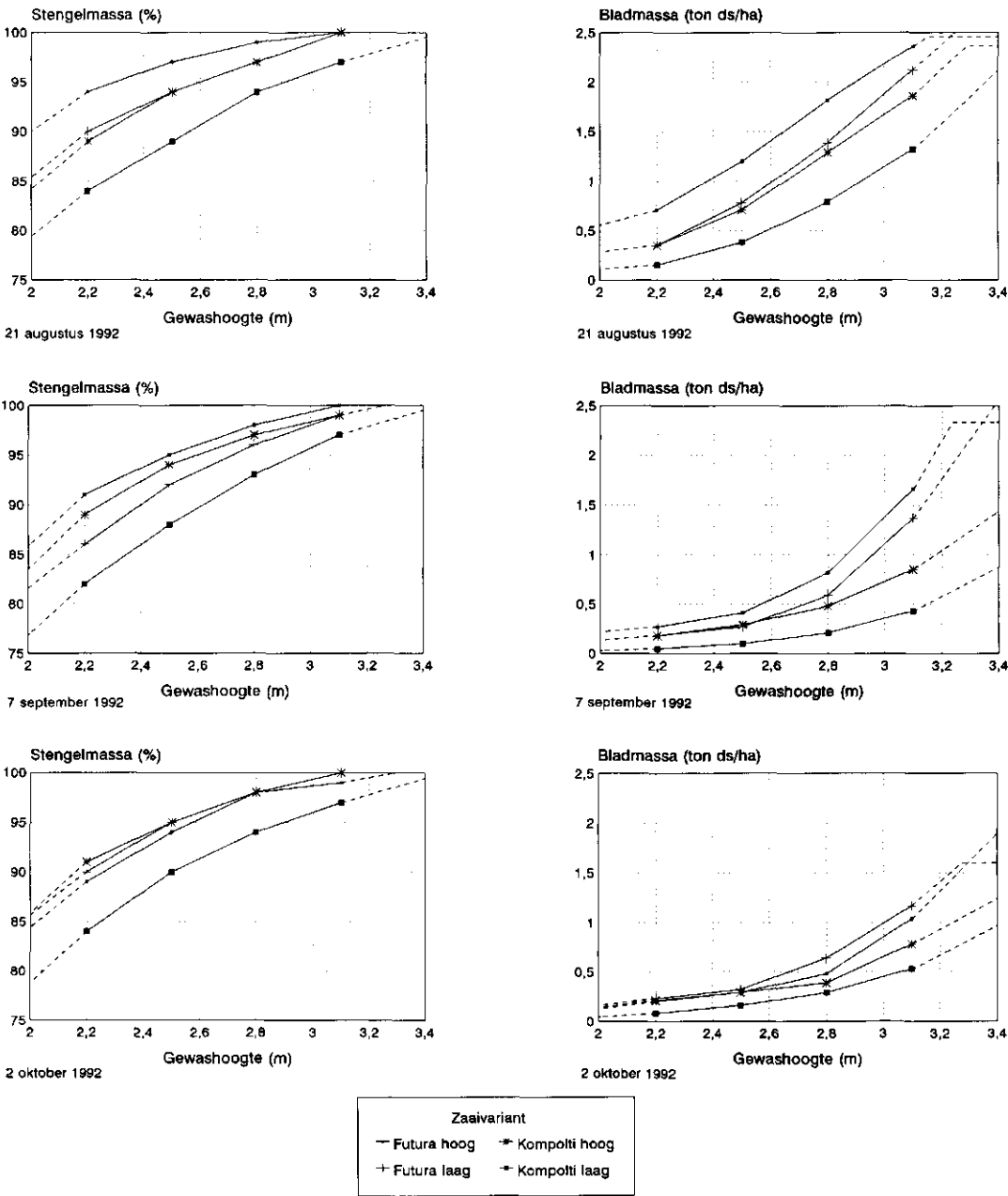
Datum	Hoogte (m)	Futura hoog		Futura laag		Kompolti hoog		Kompolti laag	
		ton ds/ha	%	ton ds/ha	%	ton ds/ha	%	ton ds/ha	%
21 aug	2,2	0,71	29	0,35	13	0,35	16	0,15	6
	2,5	1,20	49	0,78	29	0,71	32	0,38	15
	2,8	1,82	74	1,39	53	1,29	57	0,79	32
	3,1	2,36	96	2,12	80	1,86	80	1,32	54
	totaal	2,46 (13%)	100	2,73 (21%)	100	2,37 (29%)	100	2,51 (28%)	100
7 sept	2,2	0,27	11	0,18	6	0,18	13	0,05	3
	2,5	0,41	17	0,27	6	0,29	21	0,10	6
	2,8	0,82	35	0,59	19	0,48	34	0,21	12
	3,1	1,66	71	1,37	41	0,85	59	0,43	25
	totaal	2,35 (22%)	100	3,20 (26%)	100	1,58 (19%)	100	1,81 (41%)	100
2 okt	2,2	0,20	11	0,23	14	0,21	20	0,08	6
	2,5	0,29	16	0,32	21	0,29	29	0,16	12
	2,8	0,48	27	0,64	41	0,39	39	0,29	20
	3,1	1,04	56	1,17	73	0,78	71	0,53	36
	totaal	1,93 (28%)	100	1,62 (40%)	100	1,20 (39%)	100	1,75 (53%)	100

gedeelte van de stengel staan (de stoppel). De hoeveelheid stengelmateriaal die als stoppel blijft staan, is het stoppelverlies, en wordt uitgedrukt als een percentage van de totale stengelmasa. Beneden 1,5 m zat gemiddeld over alle zaaivarianten 72% van de stengelmasa. Uit metingen van de stengeldikte bij zowel de voet als op 1,5 m hoogte (bij 180 planten), is gebleken dat de stengel bij de voet de helft dikker is dan op 1,5 m hoogte. Als aangenomen wordt dat de diameter over dit stengelgedeelte naar boven toe lineair afneemt en dat de hoeveelheid materiaal lineair gecorreleerd is met de diameter, kan het stoppelverlies weergegeven worden in de volgende formule: $\text{stoppelverlies (\%)} = 58 \cdot \text{stoppelhoogte (m)}$. De afleiding van deze formule staat in bijlage A. Uitgaande van een stoppelhoogte van 10 tot 15 cm kan bij het maaien een stengelverlies verwacht worden van 6 tot 9% van de totale stengelmasa droge stof.

Bladopbrengsten

Ook de meetgegevens van de (totale) bladopbrengsten (in ton ds/ha) varieerden veel. De variatiecoëfficiënt van de bladopbrengst was bij Futura 77 en Kompolti Hybrid TC resp. 25 en 35%. Dit betekent dat het gewas bij Futura 77 gelijkmatiger was dan bij Kompolti Hybrid TC, waarschijnlijk omdat bij Kompolti Hybrid TC meer planten aangetast en gestorven waren door *Botrytis cinerea* (vergelijk 2.2.2.1). Ondanks de grote spreiding zijn er toch enkele duidelijke resultaten. In de periode tussen de eerste twee meetdata vielen

bij beide rassen bladeren af van het vegetatieve stengelgedeelte. Bij Futura 77 is dit verlies aan bladmateriaal begin september gecompenseerd door de vorming van bloeiwijzen waardoor bij 'Futura laag' de totale hoeveelheid bladmateriaal zelfs steeg. Bij Kompolti Hybrid TC nam de totale hoeveelheid bladmateriaal in de tijd alleen maar af.



Figuur 8 Stengelopbrengsten (%) en bladopbrengsten (ton ds/ha) als functie van de gewashoogte bij vier zaaivarianten en op drie tijdstippen.

Figure 8 Stem yields (%) and foliage quantities (tons of dry matter per ha) in relation to the crop height, for four different combinations of variety and plant density, at three dates.

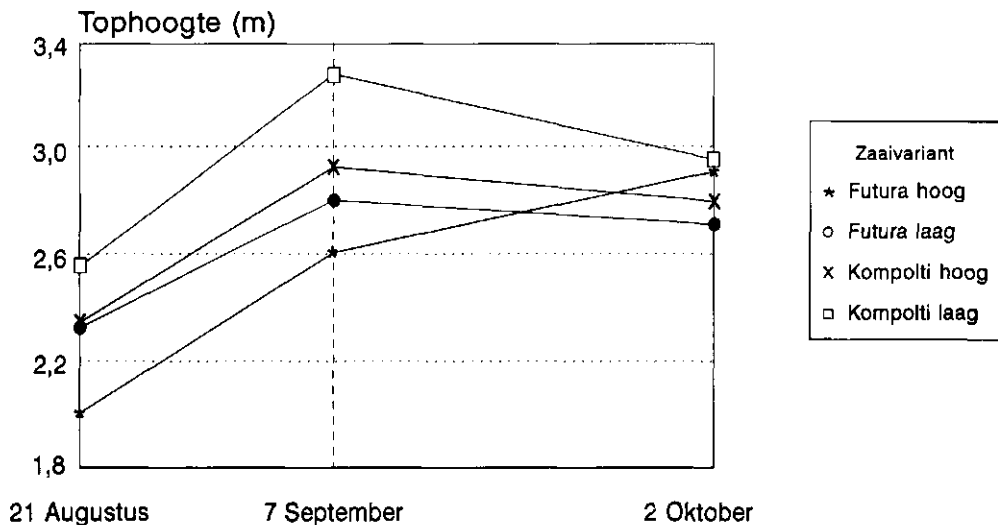
De verschillen in bloeiwijzen waren hiervan de belangrijkste oorzaak. Bij het eenhuizige ras Futura 77 waren de bloeiwijzen zwaarder dan bij het tweehuizige ras Kompolti Hybrid TC. De afname van bladmateriaal tussen de laatste twee meetdata werd veroorzaakt door uitval van zaad en (verdere) afsterving van bladeren en bloeiwijzen.

Belangrijker dan de totale hoeveelheid bladmateriaal is de verdeling hiervan naar de planthoogte. Tussen 21 augustus en 7 september was tot 2,8 m gewashoogte een substantieel gedeelte van het bladmateriaal verdwenen. De toename van de bladmassa was onderin het gewas kleiner geworden en bij Futura 77 bovenin het gewas groter. De curves van de bladmassa in figuur 8 geven dit duidelijk weer. Voor een verwijderingsbewerking werd de verdeling van het bladmateriaal naar planthoogte gunstiger. Voor en tijdens de bloei was bij beide rassen, bij de hogere dichtheden, meer bladmateriaal aanwezig op lagere hoogtes. Op 2,8 m hoogte bedroeg deze meeropbrengst aan bladmateriaal eind augustus ongeveer 500 kg ds/ha en begin september 250 kg ds/ha. Dit is ongunstig voor de ontbladeringsbewerking. Zoals al eerder genoemd, wordt dit veroorzaakt door meer kleine planten bij hogere plantdichtheden (als gevolg van een grotere onderlinge concurrentie).

Voor het maken van papier kan alleen de stengel worden gebruikt en daarom moet de hoeveelheid bladmateriaal in het geoogste produkt (de bladfractie) zo laag mogelijk zijn. De bladfractie wordt gedefinieerd als de hoeveelheid bladmateriaal van de totale bovengrondse plantmassa (bladmateriaal + stengel). Zij wordt uitgedrukt als een percentage (op ds-basis) en geeft weer in welke mate het te oogsten stengelprodukt verontreinigd is met bladmateriaal. Rond de oogstdatum was er bij Futura 77 ongeveer 0,20 tot 0,25 kg ds bladmateriaal per kg ds plantmateriaal aanwezig, ofwel een bladfractie van 20 tot 25%. Omdat Kompolti Hybrid TC minder bloeiwijzen vormde, was de bladfractie bij dit ras ongeveer 5% lager. Het meegeoogste bladmateriaal is een verontreiniging die tijdens de verwerking verwijderd moet worden. Het water waarin de hennepvezels eerst worden gewassen, raakt daardoor vervuild en extra voorzieningen moeten worden getroffen om dit waswater te zuiveren. Omdat het bladmateriaal tijdens de oogst voornamelijk bovenin het gewas zit, zou met een eenvoudige bewerking de bladfractie aanzienlijk kunnen worden verkleind. Het is zeker de moeite waard om het bladmateriaal op het veld achter te laten, omdat de daarin aanwezige nutriënten weer ten goede komen aan de bodem. Uit analyse bleek dat per ton bladmateriaal de volgende nutriëntequivalenten aanwezig waren: 32 kg N, 15 kg P_2O_5 en 25 kg K_2O .

Richtlijnen voor een in te stellen tophoogte

Het doel van een ontbladeringsbewerking is het bladmateriaal zodanig weg te halen, dat bij een zo klein mogelijk verlies aan stengelmassa, de bladfractie zo klein mogelijk wordt. De resultaten van een topsimulatie worden grafisch weergegeven in de bijlagen C t/m F. Hierin is als functie van de tophoogte op de linker-as het berekende stengelverlies weergegeven (als doorgetrokken lijnen met stengelverwijderingspercentages van 25, 50, 75 en 100%) en op de rechter-as de maximale bladverwijdering (als een gestippelde lijn). In de stengelverliescurves zijn ook lijnen getekend die het niveau aangeven van de bladfractie. Met de bij de topsimulatie gedane aannames blijkt dat de bladfractie bij alle zaaivarianten verminderd kan worden tot ongeveer 5%. Om in te schatten hoe groot de tophoogte moet zijn om dit bij de verschillende zaaivarianten te verwezenlijken, is voor elke grafiek in de bijlagen C t/m F de tophoogte bepaald die correspondeert met een



Figuur 9 Minimale tophoogte (m) voor een maximale bladfractie van 5% na toppen, bij een stengelverliespercentage van 50%, uitgezet voor vier zaaivarianten op drie tijdstippen.

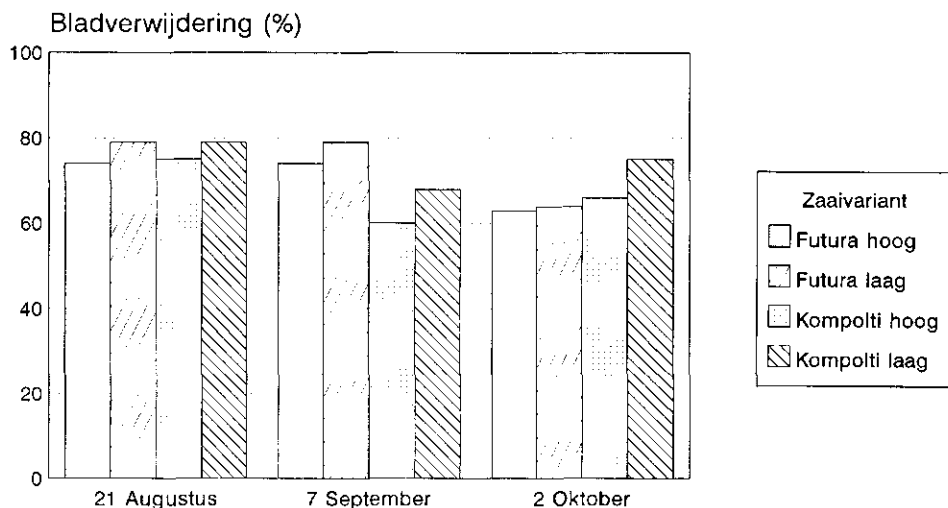
Figure 9 Minimum topping height (m) for a maximum foliage content in the topped crop of 5%, for four combinations of variety and plant density, at three dates.

bladfractie van 5%. Hiervoor is alleen de lijn van het (gemiddelde) stengelverwijderingspercentage van 50% gebruikt. De tophoogtes zijn vermeld in figuur 9.

Voor alle zaaivarianten nam de tophoogte toe tussen 21 augustus en 7 september. Dit komt omdat tussen die twee tijdstippen veel bladmateriaal op natuurlijke wijze was afgevallen (vergelijk de bladcurves op 21 augustus en 7 september in figuur 8). Gemiddeld zou op 7 september 0,6 m hoger getopt kunnen worden dan op 21 augustus. Het verloop van de tophoogte tussen het tweede en het derde meettijdstip is niet duidelijk. In de tussentijd stierf het gewas verder af waarbij nog meer bladmateriaal afviel. Hierdoor zou verwacht worden dat de tophoogte verder zou stijgen indien de vereiste bladfractie van 5% gelijk zou blijven. Slechts bij één zaaivariant gebeurt dit ('Futura hoog'). Bij 'Futura laag' en 'Kompolti hoog' zou de tophoogte ongeveer 10 cm moeten dalen en bij 'Kompolti laag' 30 cm. Vooral dit laatste is moeilijk te verklaren. Gezien de lage stengelopbrengsten van Kompolti Hybrid TC op 2 oktober waren in de loop van september nog enkele planten gesneuveld (mogelijk aangetast door *Botrytis cinerea*). Maar tot 3,1 m hoogte was bij 'Kompolti laag' wel meer bladmateriaal aanwezig. Hierdoor was de bladfractie bij deze zaaivariant tot een gewashoogte van 3,1 m op 2 oktober groter dan op 7 september. Hoewel de variatie in de monsters groot was, wordt toch vermoed dat vooral grote planten waren gesneuveld. Deze hebben veel invloed op de totale stengelopbrengst, maar minder op de hoeveelheid bladmateriaal tot 3,1 m hoogte. Bovendien waren bij het tweehuizige ras Kompolti Hybrid TC de mannelijke planten, die groter zijn dan de vrouwelijke planten en minder bladmateriaal hebben, op 2 oktober afgestorven.

Invloed van de plantdichtheid en het ras op de topresultaten in de simulatie

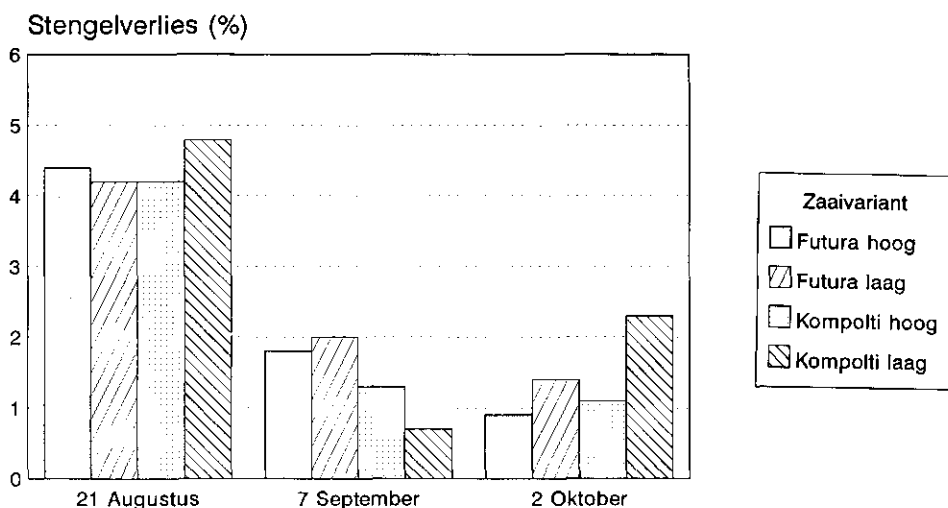
Ook duidelijk is het verschil in plantdichtheid en ras. Gemiddeld over de eerste twee tijdstippen blijkt dat bij de hogere plantdichtheden 0,3 m lager getopt moet worden



Figuur 10 Hoeveelheid bladmateriaal (% van de totale bladmassa) die maximaal verwijderd kan worden boven de tophoogtes, zoals weergegeven in figuur 9.

Figure 10 Foliage quantity (% of the total foliage quantity) which can be removed at most above the topping heights as were given in figure 9.

(gemiddeld over beide rassen). Bij Futura 77 moet bijna 0,4 m lager getopt worden dan bij Kompolti Hybrid TC (gemiddeld over beide zaaidichtheden). De gemiddeld lagere plantdichtheid bij Kompolti Hybrid TC was waarschijnlijk hiervan mede de oorzaak. Om de gemiddelde bladfractie van 5% te bereiken, moet ongeveer tweederde van de totale bladmassa verwijderd worden. In het begin van de oogstperiode (eind augustus) zou



Figuur 11 Stengelverlies (% van de totale stengelmassa) bij het verwijderen van het bladmateriaal op de tophoogtes, zoals weergegeven in figuur 9 (bij een stengelverwijderingspercentage van 50%).

Figure 11 Loss of stem material (% of the total mass of stem material) while removing foliage at the topping heights as were given in figure 9 (with the assumption that half of the stem material above the topping height is removed by the topping machine).

relatief meer bladmateriaal verwijderd moeten worden (in totaal ongeveer driekwart) dan op het eind (figuur 10).

Zoals eerder is vermeld, werd bij het bepalen van de tophoogte die correspondeerde met een bladfractie van 5%, uitgegaan van een stengelverliespercentage van 50%. Met dit gegeven zijn bij de punten in figuur 9, stengelverliescijfers afgebeeld in figuur 11. Omdat de tophoogte later in het seizoen groter wordt (voor een even lage bladfractie), mag een lager stengelverlies verwacht worden. Bij alle varianten zou eind augustus uitgegaan moeten worden van een verlies van ruim 4%, in september van gemiddeld 1 à 2%. Als de toppen afgemaaid zouden worden (het stengelverwijderingspercentage is dan 100%), moet rekening worden gehouden met een verdubbeling van het stengelverlies.

2.3.1.3 Conclusies

Eerder in dit hoofdstuk was aangegeven dat het moeilijk was om op basis van lengteverdelingen van hennepplanten een geschikte tophoogte te kiezen en dat dit zou moeten gebeuren na bestudering van de verdeling van zowel blad- als stengelmassa bovenin een hennepgewas. Deze massaverdelingen zijn bij enkele hennepgewassen gekarakteriseerd, waarbij zowel de plantdichtheid varieerde als het ras. In de generatieve fase vormen de planten bloeiwijzen die bij Futura 77 zwaarder zijn dan bij Kompolti Hybrid TC. De hoeveelheid bladmateriaal (de totale massa van blad, bloeiwijzen en zaad) nam daarom bij Futura 77 toe in de generatieve fase en bij Kompolti Hybrid TC af. In de onderste lagen van een gewas hennep (tot ongeveer 2,8 m) nam de bladmassa tot in de eerste week van september duidelijk af. Dit is een gunstige ontwikkeling voor het machinaal verwijderen van het bladmateriaal tijdens de oogst.

In een simulatie van een ontbladeringsbewerking, bleek het tijdstip een grote invloed te hebben op de in te stellen tophoogte (met de voorwaarde dat na de ontbladeringsbewerking een zelfde hoeveelheid bladmateriaal achterblijft in het gewas). Om niet meer dan 0,05 kg ds bladmateriaal per kg ds te oogsten produkt te krijgen (bladfractie $\approx$ 5%), zou de tophoogte versteld kunnen worden van gemiddeld 2,2 m op 21 augustus naar 2,8 m op 7 september. In de loop van september zou deze hoogte alleen nog maar iets moeten stijgen, hoewel de resultaten van gewasmetingen op 2 oktober dit niet onderschreven. Waarschijnlijk had het afstervingsproces invloed op de plantlengteverdeling van de overlevende planten. Het was ook duidelijk dat een topmachine hoger afgesteld kon worden in een gewas met een lagere plantdichtheid omdat de planten langer waren. Bij de aangelegde plantdichtheidsverschillen in deze proef betekende dit een tophoogteverschil van 0,3 m.

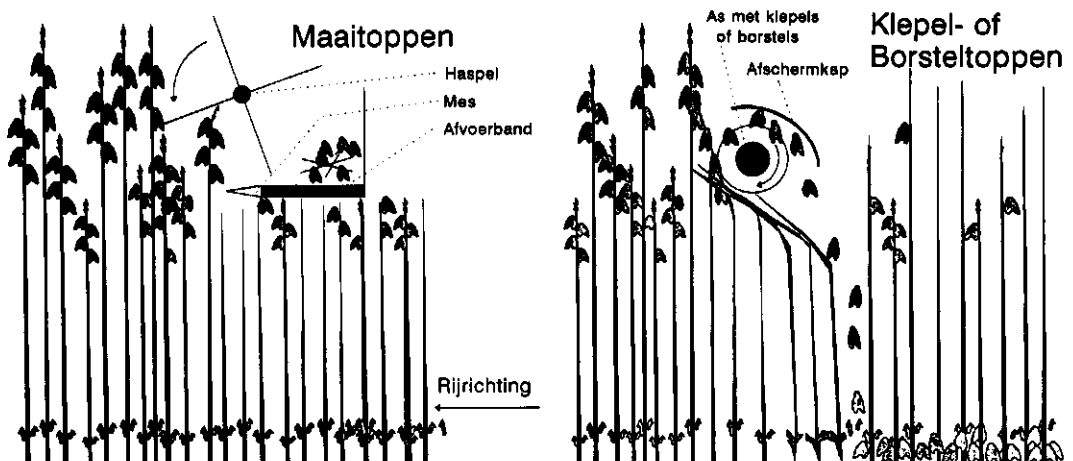
Uit de simulatie bleek ook dat eind augustus bij de genoemde voorwaarde (bladfractie $\approx$ 5%) ongeveer driekwart van de totale bladmassa moest worden verwijderd, en ongeveer tweederde in de loop van september. In deze situatie was de tophoogte in september groter dan in augustus, waardoor het te verwachten stengelverlies daalde van ongeveer 4 naar 1%. Hierbij is de aanname gedaan dat de helft van de stengeldelen die getopt (gestript) worden, verloren gaat. Bij het volledig afmaaien zou alle stengelmassa boven de tophoogte verloren gaan en moet er rekening worden gehouden met het dubbele van de genoemde verliezen.

2.3.2 Ontbladeren

2.3.2.1 Materialen en methoden

In het veldonderzoek is het bladmateriaal bovenin een hennepgewas verwijderd met drie technieken. De eerste techniek was een dubbele messenbalk met een grote haspel (Φ 1,2 m) en een afvoerband, de tweede een klepelmaaier en de derde een borstelma-
chine. Het verwijderen van het bladmateriaal wordt respectievelijk het maaitoppen, het klepeltoppen en het borsteltoppen genoemd. De dubbele messenbalk hing in een frame naast de trekker en de hoogte kon variëren van 1,7 tot 2,7 m boven maaiveld. De klepelmaaier kon met een giekconstructie op hoogte worden gebracht. Voor het borstelen werd van de klepelmaaier de as met klepels vervangen door een waar drie borstels-
trippen in radiale richting op waren gemonteerd. De uitwendige diameter van de klepel- en borstelas bedroeg 44 cm. Het materiaal van de borstelharen was de kunststofvezel rilsan. Het grote verschil tussen het maaitoppen en het klepel- en borsteltoppen is, dat bij het maaitoppen alle massa boven de tophoogte wordt verwijderd en dat bij de andere technieken het bladmateriaal van de stengel wordt afgestript (zie figuur 12).

In 1991 is een proef uitgevoerd om de drie toptechnieken met elkaar te vergelijken in een proefveld met Fedrina 74, een eenhuizig Frans ras dat overeenkomt met Futura 77. De plantdichtheid op het moment van het toppen was 70 (levende) planten/m². De tophoogte bedroeg 2,1 m. Dit is de afstand tussen het maaiveld en de hoogte van het mes of de onderkant van de buitendiameter van de as met klepels of borstels. Voor elke toptechniek werden vier stroken aangelegd en uit elke bewerkte strook werden twee monsters genomen van levende planten van een oppervlakte van 0,5 m². De planten



Figuur 12 Schematische voorstelling van het verwijderen van de bladmassa door maaien met een dubbele messenbalk met afvoerband (maaitoppen, linkerafbeelding) of door strippen met klepels of borstels (klepel- of borsteltoppen, rechteraafbeelding).

Figure 12 Schematic view of removing foliage by mowing with a double knife mower and conveyor belt (on the left side) or by stripping with a flail mower or a rotating brush (on the right side).

werden bij de grond doorgesneden. Van elk monster is de stengel- en bladmassa bepaald (op ds-basis).

In 1992 is nader onderzoek gedaan naar het borsteltoppen. Er werden telkens twee herhalingen aangelegd en uit elke herhaling werden drie monsters genomen met levende planten van een oppervlakte van 0,5 m². Het onderzoek behelsde allereerst de inzetbaarheid van de borsteltechniek in de verschillende zaaivarianten op twee tijdstippen (21 augustus en 7 september). Het betreffende proefveld werd reeds toegelicht in 2.3.1.1. In deze proef is een constante borstelhoogte aangehouden van 2,2 m. Het klepeltoerental was 1600 per minuut (tpm) en de rijsnelheid bedroeg 2,5 km/uur.

Om een indruk te krijgen van de capaciteit van een de borsteltechniek in relatie tot de verwijderingsgraad en de invloed van het toerental van de borstelas, is in een andere proef de borstelintensiteit gevarieerd. Hiervoor werd het borsteltoerental ingesteld op 800 of 1600 tpm en de rijsnelheid op 2,5 of 5,0 km/uur. Voor deze proef werden de zaaivarianten 'Kompolti hoog' en 'Futura hoog' gebruikt. De tophoogte was 2,2 m. In beide zaaivarianten werden 4 verschillende bewerkingen uitgevoerd (de genoemde combinaties van toerental en rijsnelheid). Uit elke bewerkte strook werden 3 monsters genomen van levende planten van een oppervlakte van 0,5 m². Deze proef is in 2 herhalingen uitgevoerd op 28 augustus 1992.

2.3.2.2 Resultaten en discussie

Verschillende toptechnieken

In de vergelijkende proef kwam het borsteltoppen er als beste uit. De bladfractie was bij alle bewerkingen ongeveer 4%, maar in vergelijking met het maai- en het klepeltoppen was het verlies aan stengelmateriaal bij het borsteltoppen het laagst (tabel 8). Wat inzetbaarheid en betrouwbaar functioneren betreft, scoorde het maaitoppen niet goed door de noodzakelijk grote haspelconstructie. Dit alles leidde tot een lage rijsnelheid (<2 km/uur). Het klepeltoppen ging aardig maar omdat hierbij meer bast werd losgeslagen dan bij het borsteltoppen was de kans op het wikkelen van bast rond de klepelas

Tabel 8 Stengelverlies (% van de totale stengelmasa) en bladfractie (% van de bovengrondse massa) bij drie toptechnieken en een tophoogte van 2,1 m.

Table 8 Loss of stem material (% of the total mass of stem material) and foliage content after topping (% of the overground crop mass) with three methods of topping at a height of 2.1 m.

Toptechniek	Stengelverlies (%)	Bladfractie (%)
Onbehandeld	0	23,7
Maaitoppen	14	4,4
Klepeltoppen	7	3,8
Borsteltoppen	4	4,3

groter. De meer gelijkmatige verdeling van de borstelharen ten opzichte van de verdeling van de klepels is waarschijnlijk beter voor het betrouwbaar en goed kaalstrippen van de hennepstengels.

Inzetbaarheid van het borsteltoppen

Omdat het borsteltoppen de meeste perspectieven lijkt te bieden, zijn hiermee additionele tests uitgevoerd. Bij de borsteltechniek worden de planten zover voorover geduwd tot ze, onder de machine door, terug kunnen buigen (figuur 12). Hiervoor moeten de stengels dus in zekere mate buigzaam zijn. Een gewas dat uit dunnere planten bestaat, is hierbij in het voordeel. Bij dikke planten met een stevige houtpijp (bij een lage plantdichtheid) is de kans groter dat het bovenste gedeelte van de plant tijdens het borstelen afbreekt. Dit is ongewenst door de extra verliezen van stengelmateriaal en een grote kans dat afgebroken stengelgedeeltes zich rond de borstelas wikkelen. De kans op het afbreken van stengels is ook sterk afhankelijk van de tophoogte. Naarmate de borstelas lager wordt ingesteld, worden de stengels sterker gebogen en neemt de kans op afbreken toe. In de praktijk betekent dit alles dat de planten naar schatting niet meer dan 1,5 m boven de onderkant van de borstelas uit mogen steken. Bij een maximale plantlengte van 3,5 tot 4 m kan de tophoogte niet veel lager zijn dan 2 m bij hoge plantdichtheden en 2,5 m bij lage plantdichtheden. In de proeven is gebleken dat de ingestelde tophoogte van 2,2 m bij de lage plantdichtheden, soms te laag was. De planten werden of zover voorover geduwd dat ze met de wortels uit de grond werden getrokken of dat het bovenste stengelgedeelte afbrak.

De resultaten van de gewasmetingen na de borstelbewerking worden weergegeven in tabel 9. De stengelopbrengst bij Futura 77 en Kompolti Hybrid TC verschilden veel. Bij

Tabel 9 Stengelopbrengsten (ton ds/ha) en bladfractie (% van bovengrondse massa), na borsteltoppen in vier verschillende zaaivarianten en op twee meettijdstippen. De tophoogte was 2,2 m.

Table 9 Yield of stem material (tons of dry matter per ha) and foliage content after topping (% of the overground crop mass), using a rotating brush in four different combinations of variety and plant density at two dates. The topping height was 2.2 m.

Zaaivariant	Datum	Stengelopbrengst na toppen (ton ds/ha)	Bladfractie (%)	
			veld	diagram
Futura hoog	21 aug	11,5	6,2	5,7
	7 sept	12,4	4,6	2,8
Futura laag	21 aug	12,3	3,8	3,6
	7 sept	12,8	3,8	2,0
Kompolti hoog	21 aug	9,3	4,5	3,5
	7 sept	11,8	4,4	1,8
Kompolti laag	21 aug	9,0	3,7	2,1
	7 sept	11,5	2,1	0,9

Kompolti Hybrid TC was bovendien een groot verschil tussen de gemeten opbrengsten op het eerste en het tweede tijdstip. Dit was niet geconstateerd bij de gewasmetingen (vergelijk tabel 6).

Het verschil tussen de stengelopbrengsten in deze proef en in tabel 6 (zie 2.3.1.2), is het stengelverlies door het toppen. Bij het uitrekenen van dit verlies is uitgegaan van een gemiddelde stengelopbrengst bij Futura 77 van 12,3 ton ds/ha en bij Kompolti Hybrid TC van 11,3 ton ds/ha. Gemiddeld over alle metingen uit tabel 9 was het stengelverlies resp. 0% en 8%. Bij Kompolti Hybrid TC wordt het verlies veroorzaakt door de proef op 21 augustus. Als we deze gemeten waarden vergelijken met de resultaten van de simulatie (zie de diagrammen in de bijlagen C t/m F) dan kon bij een tophoogte van 2,2 m een gemiddeld stengelverlies worden verwacht van 4,9 en 7,1% voor resp. Futura 77 en Kompolti Hybrid TC (bij een stengelverwijderingspercentage van 50%). Dit zou betekenen dat er gemiddeld bij Futura 77 geen of weinig stengel werd weggeslagen (stengelverwijderingspercentage < 25%) en bij Kompolti Hybrid ongeveer de helft (stengelverwijderingspercentage $\approx$ 50%). Reeds aangegeven is dat bij Kompolti Hybrid TC de planten hoger waren en ook meer verhout (door de lagere plantdichtheden). De ingestelde tophoogte (2,2 m) was daarom te laag waardoor er tijdens het toppen stengels afbraken en dit resulteerde gemiddeld in een groter stengelverlies.

In tabel 9 is ook de bladfractie weergegeven die in de veldproef is gemeten en die in de simulatie is berekend bij de betreffende zaaivariant en datum (vergelijk de diagrammen in de bijlagen C t/m F). De bladfractie na toppen was op 21 augustus gemiddeld 4,6% en op 7 september 3,7%. Bij 'Kompolti laag' was de bladfractie het laagst en bij 'Futura hoog' het hoogst. Dit was ook geconstateerd bij de simulatie van de topbewerking. Over alle proeven heen was er een significante invloed van de plantdichtheid ('laag' t.o.v. 'hoog'). Bij een lage plantdichtheid was de bladfractie gemiddeld 1,6% lager (ksv=1,2%; $p=0,05$). De verklaring hiervoor is dat bij alle zaaivarianten een gelijke tophoogte is gebruikt. Als we de in het veld gemeten bladfracties vergelijken met de berekende en de in de diagrammen weergegeven bladfracties (zie tabel 9) is de conclusie dat het niveau te laag was ingeschat, vooral bij de meting op 7 september. In de veldproef was het moeilijk om de bladfractie onder de 3,5% te krijgen. In de simulatie was aangenomen dat de ontbladeringsefficiëntie 97,5% was (bij een stengelverwijderingspercentage van 50%). In de veldproeven werd dit niet gehaald. Teruggerekend is wat de ontbladeringsefficiëntie in de veldproeven was en deze varieerde van 76% tot 96% met een gemiddelde van 90%. Omdat de bladfractie hiermee daalde van ongeveer 20% tot 4%, was de topbewerking zeer bevredigend uitgevoerd.

Borstelintensiteit

De borstelintensiteit bij het toppen is veranderd door verschillende rijsnelheden en borstelastoerentallen te kiezen. De intensiteit was het grootst bij een rijsnelheid van 2,5 km/uur en een borstelastoerental van 1600 tpm en het laagst bij 5,0 km/uur en 800 tpm. In tabel 10 zijn de stengelopbrengsten en bladfracties vermeld bij 4 borstelintensiteiten in zowel Futura 77 als Kompolti Hybrid TC (bij de 'hoge' plantdichtheden). Het valt op dat de opbrengsten bij Kompolti Hybrid TC wederom laag waren. Het hogere borstelastoerental veroorzaakte een hoger stengelverlies en een hogere bladfractie (vooral bij Kompolti Hybrid TC). Overigens was de bladfractie bij de laagste borstelintensiteit (800 tpm; 5,0 km/uur) bij beide rassen erg laag.

Tabel 10 Stengelopbrengsten (ton ds/ha) en bladfractie (% van bovengrondse massa) na borsteltoppen bij twee borstelastoeentallen (800 en 1600 tpm), twee rijsnelheden (2,5 en 5,0 km/uur) en twee rassen. De tophoogte was 2,2 m.

Table 10 Yield of stem material (tons of dry matter per ha) and foliage content after topping (% of the overground crop mass), using a rotating brush with two different numbers of revolutions (800 and 1600 rpm), two driving speeds (2,5 and 5,0 km/h) and two varieties. The topping height was 2.2 m.

Ras	Stengelopbrengst (ton ds/ha)				Bladfractie (%)			
	800 tpm		1600 tpm		800 tpm		1600 tpm	
	2,5 km/uur	5,0 km/uur	2,5 km/uur	5,0 km/uur	2,5 km/uur	5,0 km/uur	2,5 km/uur	5,0 km/uur
Futura 77	12,3	12,7	11,8	11,2	3,7	3,3	3,4	4,8
Kompolti Hybrid TC	9,7	11,7	9,2	9,2	3,1	2,6	4,9	3,9

Uitgaande van een gemiddelde (geschatte) stengelopbrengst van 12,3 ton ds/ha bij Futura 77 en 11,3 ton ds/ha bij Kompolti Hybrid TC (tabel 6), zijn de stengelverliezen uitgerekend. De effecten van ras, toerental en snelheid op het stengelverlies en de bladfractie zijn zichtbaar in tabel 11. De bladfractie was niet significant verschillend. Bij Kompolti Hybrid TC was het stengelverlies significant hoger. De oorzaak hiervan was de relatief te lage tophoogte. De planten waren hoger dan bij Futura 77 en sommige braken bij het toppen af. Er was ook een interactie-effect van het toerental met de snel-

Tabel 11 Stengelverlies (% van de totale stengelmasa) en bladfractie (% van bovengrondse massa) na toppen met een roterende borstel, gemiddeld per ras en combinatie van borstelastoeental (800 en 1600 tpm) en rijsnelheid (2,5 en 5,0 km/uur). De tophoogte was 2,2 m.

Table 11 Loss of stem material (% of the total mass of stem material) and foliage content (% of the overground crop mass) after topping with a rotating brush, averaged per variety and pairs of number of revolutions of the brush (800 and 1600 rpm) with driving speed (2.5 and 5.0 km/hour). The topping height was 2.2 m.

			Stengelverlies (%)	Bladfractie (%)
Ras	Futura 77		2a ^y	3,8a
	Kompolti Hybrid TC		12b	3,6a
Toerental en rijsnelheid	800 tpm	2,5 km/uur	7B	3,4A
		5,0 km/uur	-3A	3,0A
	1600 tpm	2,5 km/uur	11B	4,3A
		5,0 km/uur	14B	4,4A

^y Binnen een zelfde kolom verschillen getallen met een zelfde letter niet significant van elkaar (P<0,05). Kleine letters gelden voor het rasverschil en hoofdletters gelden voor verschillen tussen de combinaties van toerental en rijsnelheid.

heid. Het stengelverlies bij een laag borstelastoerental en een hoge rijsnelheid was significant lager. Het negatieve verlies wordt overigens veroorzaakt door te laag geschatte opbrengsten (op basis van tabel 6).

Gemiddeld was bij een hoog borstelastoerental zowel het stengelverlies hoger als de bladfractie. Dit heeft met elkaar te maken. Bij een hoger toerental werden namelijk meer stengels gebroken en deels stukgeslagen in plaats van schoongestript. Hierdoor ging meer stengelmateriaal verloren, maar werd ook het aanhangende bladmateriaal niet verwijderd. Beide factoren verhogen de bladfractie. In deze proef nam de bladfractie niet toe als de rijsnelheid verhoogd werd van 2,5 naar 5,0 km/uur. De borstelintensiteit werd vooral bepaald door het borstelastoerental.

Voor de praktische toepassing van klepelmaaiers en borstels als ontbladeringswerktuigen is nader onderzoek nodig naar de meest optimale uitvoering. Vooral de stand van de afschermkap boven de roterende as kan invloed hebben op het ontbladeringsresultaat, omdat deze bepaalt hoe groot het stengelgedeelte is dat gestript wordt door de klepels of de borstels. Hoe meer de kap de borstels aan de voorkant afschermt, des te kleiner is het gedeelte van de stengel dat gestript wordt. Dus voor een snelle en goede ontbladering is het wenselijk dat de kap de borstels zo weinig mogelijk aan de voorzijde afschermt. Echter een gedeeltelijke afscherming is nodig, om te voorkomen dat de stengels zich om de draaiende as wikkelen en uit de grond worden getrokken. In het geval van borstels verdient ook het materiaal van de borstelharen nog aandacht. De kunststofharen van het prototype waren niet voldoende duurzaam.

2.3.2.3 Conclusies

In een veldproef was de bladfractie na toppen gemiddeld 3 tot 5% en dit betekent dat er 0,03 tot 0,05 kg ds bladmateriaal per kg ds plantmassa aanwezig was. De in een ontbladeringssimulatie geschatte bladfracties waren lager dan de (in een veldproef) gemeten bladfracties, omdat we in de simulatie waren uitgegaan van te ideale omstandigheden. Gemiddeld werd 90% van het bladmateriaal verwijderd dat aanwezig was boven de tophoogte. Met de geschetste topmethoden (maaien, klepelen en borstelen) kan de bladfractie niet onder de 2% gebracht worden, omdat het niet mogelijk is het bladmateriaal, dat laag in het gewas aanwezig is, te verwijderen.

Om de stengelverliezen bij het toppen zo laag mogelijk te houden, is het beter de planttoppen niet af te maaien maar te klepelen of te borstelen. Afmaaien is ook door de noodzakelijk grote constructie (met een haspel) niet aantrekkelijk. Bij het borstelen werd de intensiteit meer beïnvloed door het borstelastoerental dan door de rijsnelheid. Een toerental van 800 tpm veroorzaakte minder stengelverlies dan een van 1600 tpm en mede hierdoor was ook de bladfractie lager. Bij het ras Kompolti Hybrid TC was het verlies groter dan bij Futura 77. Dit komt vooral omdat het eerstgenoemde gewas verhoudingsgewijs te laag werd getopt (de planten bij Kompolti Hybrid TC waren langer).

Duidelijk is dat bij een lagere tophoogte de bladfractie kleiner wordt maar het stengelverlies groter. Er zal dus altijd een compromis gezocht moeten worden. Met de gegevens van de simulatie van de topbewerking kunnen we concluderen dat een zodanige

tophoogte gekozen kan worden dat een bladfractie haalbaar is van maximaal 5%, waarbij het stengelverlies (bij maaitoppen) lager blijft dan 8%. Bij een goede afstelling van een borstelmachine moet naar verwachting een stengelverlies van niet meer dan 2% haalbaar zijn. Samen met het stengelverlies bij het maaien (ofwel het stoppelverlies, vergelijk 2.3.1.2) moet er rekening mee worden gehouden dat tijdens de oogst ongeveer 10% van de stengelmassa op het land achterblijft.

3 Het inkuilen van hennepvezels

3.1 Inleiding

3.1.1 Inkuilen als natte conserveringsmethode

Bij de toepassing van hennep als alternatieve grondstof voor papierpulp zal een opslagperiode tussen oogst en verwerking onvermijdelijk zijn. In verband met de produktierendbaarheid van een papierpulpinstallatie is jaarrondverwerking van hennep noodzakelijk. Dit betekent dat het geoogste produkt tot maximaal 13 maanden bewaard moet kunnen worden. Een opslag bij de teler verdient de voorkeur omdat anders logistieke problemen te verwachten zijn bij het transport van het vers geoogste produkt naar een centrale opslagplaats. Inkuilen (het conserveren van nat plantmateriaal door luchtdicht afsluiten) is een eenvoudige en goedkope methode van opslag die past binnen het huidige akkerbouwbedrijfssysteem. Omdat het onvoldoende bekend was of de kwaliteit van de vezels bewaard zou blijven bij natte conservering, was onderzoek nodig naar het inkuilen van hennepvezels.

In gras- en maïskuilen mag de kwaliteit van het voer niet achteruitgaan. Dit betekent dat zo weinig mogelijk suikers mogen worden omgezet, zodat zoveel mogelijk droge stof behouden blijft voor de dieren. Enige afbraak van hemicelluloses (door enzymen) wordt op prijs gesteld. Het doel van het inkuilen van hennep is echter het behoud van cellulose, hemicellulose en vezelkwaliteit. Omdat cellulose en hemicellulose ook onder anaërobe omstandigheden aangetast kunnen worden, moet in een hennepkuil microbiële activiteit tot een minimum beperkt worden. Bovendien mag het milieu geen destructieve werking hebben op de vezels. Zowel een zuur als een basisch milieu is mogelijk. Een zuur milieu kan ofwel op natuurlijke wijze ontstaan (vergisting van suikers tot melkzuur) of met behulp van toevoegmiddelen. Voor zover bekend tasten melkzuurbacteriën geen cellulose aan. Door de vorming van melkzuur, azijnzuur en antibiotica (nisine en verwante stoffen) remmen zij andere micro-organismen (Middelhoven, mondelinge mededeling, 1994⁶). Een basisch milieu kan alleen met toevoegmiddelen worden gerealiseerd.

Inkuilen is bekend als conserveermethode van groenvoeders. Het proces bestaat uit verschillende fasen, waarin telkens verschillende micro-organismen actief zijn. Dit wordt uitvoerig gerapporteerd door McDonald e.a. (1991). Bij gras en maïs is het inkuilproces gebaseerd op een goede en snelle ontwikkeling van het aantal melkzuurbacteriën onder anaërobe omstandigheden. In de eerste fase wordt de zuurstof die nog in de kuil aanwezig is, opgebruikt door ademhaling van planten en micro-organismen. Hierbij worden vrije suikers omgezet in o.a. koolstofdioxide en water. Zodra de zuurstof op is, worden enzymen en anaërobe bacteriën actief. Enzymen hydrolyseren voornamelijk eiwitten en onoplosbare koolhydraten (cellulose en hemicellulose). Van de anaërobe bacteriën zijn de melkzuurbacteriën van de geslachten *Lactobacillus* en *Leuconostoc* de belangrijkste. Deze vergisten de nog aanwezige suikers tot melkzuur, azijnzuur en

⁶) W.J. Middelhoven, vakgroep Microbiologie, Landbouwniversiteit Wageningen.

ethanol. De conserverende werking is het gevolg van een daling van de pH en de toxiciteit van de gevormde stoffen (Woolford, 1972). In een goede kuil verloopt dit proces snel, waardoor clostridia en coliformbacteriën (dit zijn azijnzuur producerende bacteriën van de familie *Enterobacteriaceae*) nauwelijks gelegenheid krijgen om suikers en/of melkzuur om te zetten in zwakkere zuren (resp. boterzuur en azijnzuur); dit zou tot een pH-stijging leiden. Zowel clostridia als coliformbacteriën worden gevonden in feces en in grond. Dit betekent dat een in te kuilen produkt zo schoon mogelijk (zonder grond) geogost moet worden.

Melkzuurbacteriën kunnen suikers onder zuurdere omstandigheden vergisten dan clostridia en coliformbacteriën. De kritieke pH, waaronder ook de melkzuurbacteriën niet meer actief zijn, is bij een drogestofgehalte van 20% ongeveer 4,2. Als deze pH bereikt is, vinden er vrijwel geen enzymatische en bacteriële omzettingen meer plaats en is de kuil stabiel. Het drogestofgehalte bepaalt voor een belangrijk gedeelte bij welke pH een kuil stabiel is. Hoe droger het materiaal, des te groter is de remmende werking van het gevormde zuur. Bij een drogestofgehalte van 35% is een kuil reeds stabiel bij een pH 4,6 (Wieringa en de Haan, 1961). Bij 25 tot 30% ds wordt de activiteit van clostridia meer geremd door gebrek aan water dan door de aanwezigheid van zuur (McDonald en Whittenbury, 1973).

3.1.2 Literatuur over het nat conserveren van vezels

Uit voorafgaand kuilonderzoek met hennep bleek er nauwelijks vorming van melkzuur te zijn, waardoor de pH in een hennepkuil slechts weinig daalde. Verdonschot (1986) heeft inkuilproeven in potten uitgevoerd. Zij concludeerde dat hennep moeilijk inkuilbaar is door de lage concentratie vrije suikers. Op praktijkschaal werd in 1987 door van Middelkoop (1990) hennep ingekuild. In een kuil met getopte hennep werd na een jaar een pH gemeten van 5,6 en in een ongetopte 5,0. De pH van een ATO-DLO henneppraktijkuil varieerde van 5,6 tot 6,1 en was dus niet verzuurd. De bastvezel werd als zwak beoordeeld, omdat deze met de hand stukgetrokken kon worden (van der Kolk, 1991). Ook Middelhoven e.a. (1990) toonden in een pottenproef aan dat hennep niet verzuurde. Zij vonden wel azijnzuur, wat wijst op microbiële activiteit. In een andere, wel verzuurde hennepkuil lukte het om twee stammen heterofermentatieve melkzuurbacteriën (*Lactobacillus brevis*) te isoleren (Middelhoven, 1991). Middelhoven isoleerde later ook de homofermentatieve *Lactobacillus plantarum* in hennep.

In de Verenigde Staten zijn in de jaren zeventig enkele proeven gedaan met het anaëroob opslaan van verse kenaf. Bagby e.a. (1973) concludeerden dat een wasstap (waarbij alleen wateroplosbare stoffen worden verwijderd) het cellulosegehalte van de pulp doet stijgen. Het cellulosegehalte van de gewassen verse en ingekuilde materialen was gelijk. Bij het wassen van het gekuilde materiaal ging echter meer verloren dan bij het wassen van het verse materiaal. De kwaliteit van de materialen waarbij het blad vóór de conservering was verwijderd, was iets hoger. Ook in tests van Clark e.a. (1970) had het ontbladeren van kenafstengels een positief effect op de pulpqualiteit na inkuilen. De algemene conclusie was dat door het inkuilen en het wassen de kwaliteit van het papierpulp toenam. Dit is in tegenstelling met de eerste papiertestresultaten van hennep. In een proef van ATO-DLO (Zomers e.a., 1991; Lips, 1990) was de scheursterkte van papier van

ingekuilde hennep drastisch lager dan van papier van droog opgeslagen hennep. De trek- en berststerkte van het papier werd door het inkuilen niet negatief beïnvloed. De betreffende hennepkuilen waren matig of niet verzuurd. De pH varieerde van 4,9 tot 7,3. Een oorzaak hiervoor kan zijn dat de kuilen niet verdicht waren.

Bonarius (1991) voegde in potproeven maximaal 80 g ureum of 70 g natronloog per kg verse hennep toe. Zowel het lignine- als het cellulose- en het hemicellulosegehalte daalde hierbij. Bij lagere doseringen was het verlies kleiner of werd niet meer geconstateerd. De scheursterkte van het testpapier van deze (laboratorium)kuilen kwamen vooral bij 3,5% natronloogtoevoeging overeen met de papierresultaten van het ingevroren bewaarde uitgangsmateriaal. Van de hennep die zonder toevoegingen was ingekuild, was het cellulosegehalte niet gedaald, maar wel de scheursterkte en de witheid van het testpapier ervan. Deze resultaten bieden zeker perspectieven voor verder onderzoek naar het basisch inkuilen van hennep.

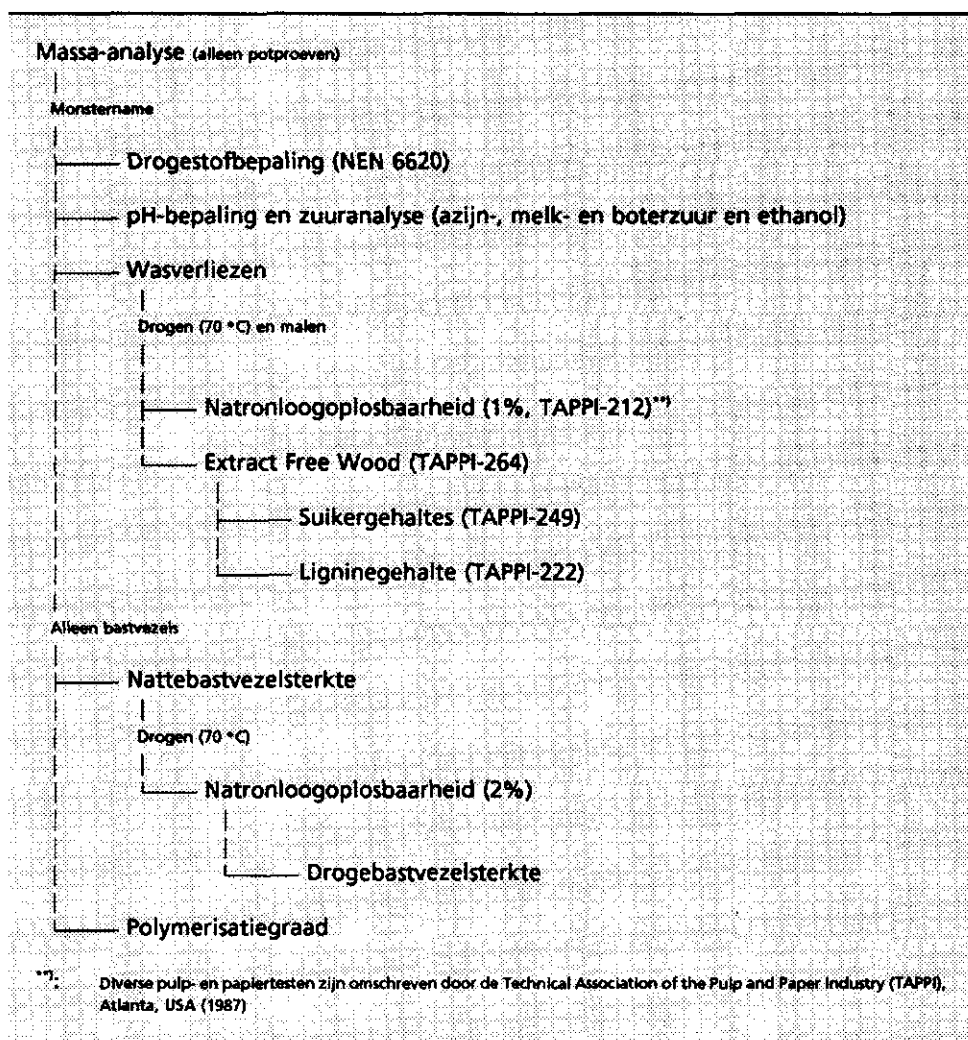
In dezelfde proeven van Bonarius (1991) had het niet verwijderen van bladmateriaal een negatieve invloed op de gemeten papierkarakteristieken. Om een goede verzuring in een kuil te krijgen, is ontbladeren enerzijds negatief, omdat met het blad ook de meeste vrije suikers worden verwijderd, maar anderzijds positief, omdat de eiwitten in het blad de gevormde zuren zouden bufferen. Ook de bovengenoemde onderzoekresultaten van kuilproeven geven aanwijzingen dat het verwijderen van het blad bij de oogst, de kwaliteit van het gekuilde produkt zou bevorderen.

In een hennepkuil moet aantasting van cellulose en hemicellulose voorkomen worden. Dewar e.a. (1963) vonden aanwijzingen in de literatuur dat in voederkuilen ook hydrolyse van hemicellulose zou optreden. De hoeveelheid zuur in een kuil kon namelijk niet verklaard worden uit de hoeveelheid vrije suikers die in het gras aanwezig is. Zij hebben in laboratoriumproeven aangetoond dat, naarmate de pH daalt, zure hydrolyse toe- en enzymatische afbraak afneemt. Bij zure hydrolyse (pH=4) was na 90 dagen bij 22 °C gemiddeld 7,5 mg xylose⁷ gevormd per 100 mg hemicellulose. Onderzoek naar de activiteit van enzymen toonde aan dat de activiteit bij een pH<5 enorm werd geremd en na 7 dagen zelfs stopte. Bij deze enzymatische omzettingen was de totaal gevormde hoeveelheid xylose (pH=4; 22 °C) gemiddeld 11 mg per 100 mg hemicellulose. Het is belangrijk om het verzuringsproces zo snel mogelijk te laten verlopen, zodat (hemi)cellulases niet lang actief kunnen zijn. Zure hydrolyse is een veel langzamer proces en dus niet zo schadelijk. Deze processen verliepen overigens sneller bij hogere temperaturen. Hemicellulose-afbraak door micro-organismen kon niet worden aangetoond.

3.1.3 Doel van het inkuilonderzoek

De inkuilproeven met vezelhennep zijn uitgevoerd om vast te kunnen stellen hoe de vezelkwaliteit is na een natte conservering. Hiervoor moet bekend worden hoeveel de bastvezelsterkte daalt en hoe groot de hemicellulose- en celluloseverliezen zijn. Met de proeven wordt tevens een screening uitgevoerd van geschikte toevoegmiddelen. Deze

⁷) Xylose is de belangrijkste suiker in de hemicellulose van hennep hout.



Figuur 13 Analyse-overzicht van de hennepkuilmonsters.

Figure 13 Analysis overview of the hemp samples in the preservation tests.

goed gemengd werd met de hennep. De verschillende objecten werden na elkaar aangelegd in zo'n volgorde dat een bepaald middel de werking van het volgende middel niet of nauwelijks beïnvloedde: neutraal (zonder additieven), zuur, zout, natronloog, melasse en ten slotte melkzuurbacteriën. Tussen de objecten werd een kleine strook hennep gehakseld zonder een middel toe te dienen, zodat het hakselkanaal werd geneutraliseerd.

Nadat de stengels waren gehakseld, werd de hennep ofwel op plastic of op beton gestort en met behulp van een trekker aangereden. Elke kuilvariant (hennepmateriaal met een bepaald toevoegmiddel) vormde een compartiment. Alle compartimenten werden door plastic gescheiden en vormden samen één kuil. Over de kuil werd een afdekzeil van polyethyleen (0,15 mm) getrokken, waarop een grondlaag werd aange-

bracht van ongeveer 10 cm. Zes maanden na de oogst werd de dichtheid bepaald. Hiervoor werd ongeveer 3 kg hennep uit de kuil gegraven. Met behulp van water in een plastic zak werd vervolgens het volume gemeten van de uitgegraven hoeveelheid. Totaal werden zo 4 bepalingen gedaan.

Voor de inkuilproeven is altijd een Frans eenhuizig ras gebruikt. In 1990 was dit Fedora 19, in 1991 Fedrina 74, in 1992 en 1993 Futura 77. Uit zowel de potten als de praktijkkuilen werden monsters genomen voor diverse analyses. Niet in elk jaar of aan elke variant zijn alle analyses uitgevoerd. Een overzicht van een volledig analyseschema wordt weergegeven in figuur 13.

3.2.2 Beoordeling inkuilproces

Een eerste indruk van het kuilproces wordt verkregen door een massa-analyse uit te voeren (alleen mogelijk bij de potproeven), de pH en de daling van het drogestofgehalte te meten en te analyseren welke zuren in de verschillende kuilen gevormd zijn.

Directe inkuilverliezen ontstaan door de vorming van gasen (o.a. CO₂). Deze zijn bepaald door een drogestofbalans uit te voeren. Voor het bepalen van het drogestofgehalte werden per pot of praktijkkuil drie monsters genomen van het materiaal en 24 uur gedroogd bij 105 °C (NEN 6620). Van de drie monsters werd het gemiddelde drogestofgehalte berekend. Het drogestofgehalte van het uitgangsmateriaal werd bepaald na het eventueel toevoegen van inkuilmiddelen, zodat voor de toevoegmiddelen geen correctie nodig was van het drogestofverlies.

De pH van een kuil werd in 1990 en 1991 bepaald van een 1:10 hennepextract, analoog aan de pH-meting van een groenvoederkuil. Hiervoor werd 50 gram vers materiaal afgewogen en aangevuld tot 500 gram met gedemineraliseerd water (demiwater). Het verkregen mengsel werd gemalen en afgefilterd. In 1992 is de pH gemeten van een 1:5 hennepextract dat ook werd gebruikt voor zuuranalyses. De pH van een 1:10 extract is niet meetbaar verschillend van een 1:5 extract. Bij de potproeven is van elke pot de pH in enkelvoud bepaald en bij de praktijkproeven is het gemiddelde genomen van vijf metingen.

Azijn-, melk-, boterzuur en ethanol zijn bepaald met behulp van een HPLC-analyse van een 1:5 hennepextract. Het analysevoorschrift staat vermeld in bijlage G. De gemeten concentraties van deze stoffen zijn teruggerekend naar de hoeveelheid hennep (op drogestofbasis) die bij het maken van het extract was gebruikt.

3.2.3 Karakterisering ingekuild materiaal

Cellulose en hemicellulose zijn de bestanddelen in het hennepmateriaal die interessant zijn voor de verwerking tot papier. Deze moeten zo veel mogelijk intact blijven, zowel kwalitatief als kwantitatief. Indicaties van kwantitatieve verliezen bij verschillende kuilomstandigheden kunnen verkregen worden bij verschillende oplosbaarheidsmetingen (wasverlies, natronloeloplosbaarheid en Extract Free Wood extracties).

Van alle materialen die in 1992 waren ingekuuld, zijn wasverliezen bepaald. Hiervoor werd 50 gram hennep in een filter gedaan en gespoeld met 1,0 l demiwater. Het verlies aan droge stof werd bepaald door de hennepmassa (op ds-basis) na wassen te vergelijken met de massa vóór het wassen (op ds-basis). Het gewassen materiaal is vervolgens gedroogd (70 °C) en vermalen tot een fractiegrootte van 0,5 mm. Bij het wassen worden eventueel nog aanwezige additieven verwijderd alsook gemakkelijk in water oplosbare stoffen. Door de materialen te wassen wordt het uitgangsmateriaal voor verdere analyses uniform en zijn de resultaten van die analyses beter met elkaar te vergelijken. Het wassen is verwant aan de koudwateroplosbaarheid volgens TAPPI-207 en geeft een eerste indicatie van het optreden van grote verliezen in de kuil.

De natronloogoplosbaarheid is uitgevoerd volgens TAPPI-212. In een kokende 1%-NaOH-oplossing lossen van gemalen hennep gedurende 1 uur, polymeren op met een laag molecuulgewicht. Dit zijn met name hemicellulose en cellulose-afbraakprodukten. Deze methode geeft een indicatie van de aantasting van pulp of hout door hitte, licht, oxydatie of microbiële activiteit. Een hogere natronloogoplosbaarheid na inkuilen duidt op afbraak van cellulose en hemicellulose tijdens de kuilperiode. De TAPPI-212 richtlijn is alleen in 1990 gevolgd. In 1992 en 1993 is de 2%-natronloogoplosbaarheid gemeten van ongemalen bast door deze 2 uur te koken in een 2%-NaOH-oplossing. Deze bepaling correleert voor meer dan 99% met de 1%-natronloog-oplosbaarheidsbepaling volgens TAPPI-212 (de Meijer, mondelinge mededeling, 1993¹²).

Bij het maken van Extract Free Wood (EFW) volgens TAPPI-264 lossen alle stoffen op behalve hemicellulose, cellulose en lignine. Hoge extractiegehaltes betekenen dat het hennepmateriaal minder geschikt is als grondstof voor papierpulp, omdat grotere verliezen optreden bij het verpulpen. Het EFW-materiaal is vervolgens voorbereid voor een gecombineerde lignine- en suikeranalyse. Deze methode is afgeleid van TAPPI-249 en TAPPI-222 en het voorschrift wordt vermeld in bijlage H. Na hydrolyse van het EFW-materiaal zijn via HPLC de suikergehaltes bepaald. Bij de interpretatie van deze suikeranalyses wordt aangenomen dat cellulose hydrolyseert tot glucose en hemicellulose tot de suikers rhamnose, arabinose, xylose, mannose en galactose.

Een specifieke kwaliteitsmeting van de bastvezelcellulose was de bepaling van de polymerisatiegraad. Hiervoor is de dynamische viscositeit bepaald van een hennepbastoplossing in cueen (circa 0,5 gram bast per liter 0,5 M cueen). Deze methode is afgeleid van de viscositeitsbepaling van papierpulp volgens TAPPI-methode T230 om-82 (Gosselink, 1991^a). De polymerisatiegraad van de hennepbast is ten slotte uit de intrinsieke viscositeit van de hennepbastoplossing berekend (Gosselink, 1991^b).

3.2.4 Vezelsterkte

De bastvezels zijn het meest waardevolle produkt in de hennepstengels omdat zij door hun sterkte een papierpulp kunnen opwaarderen. Daarom is de bastvezelsterkte een belangrijk criterium om te bepalen welk inkuilmilieu de beste conservering geeft. Voor

¹²) E.P.M. de Meijer, CPRO-DLO, Wageningen.

deze sterktemetingen bij de potproeven zijn bastlinten van de stengels afgestript met een lengte van 25 tot 30 cm. Hiervoor waren stengels geselecteerd met een stengeldiameter van 10 tot 15 mm (op 1,5 m planthoogte) en van elke stengel werd alleen het gedeelte gebruikt van 0,9 tot 1,8 m planthoogte. Bij de laboratoriumproeven is per pot één bastlint mee ingekuuld.

De sterktemetingen zijn op twee manieren uitgevoerd. Bij de eerste werd uitgegaan van natte, met water verzadigde bastlinten. De linten werden hiervoor, nadat ze uit de kuil waren gehaald, 10 uur in water gelegd. Een lint werd opgedeeld in sublinten. Vervolgens werd de lengte L van een sublint gemeten en tussen twee ronde, zelf geconstrueerde klemmen gezet. Met een INSTRON-trekbank werd de kracht K bepaald, waarbij het sublint brak. In bijlage I zijn de gebruikte klemmen (in meetopstelling) weergegeven. De hartafstand tussen de klemmen was 8,0 cm. Na de meting werd het sublint 24 uur gedroogd (105 °C) en werd de massa M gemeten. Om de verschillende meetresultaten te kunnen vergelijken, is gecorrigeerd voor breedte- en dikteverschillen van de verscheidene sublinten. Hiervoor is de massa per lengte-eenheid (MpL) berekend door van het stukgetrokken sublint de massa M te delen door de lengte L . De vezelsterkte kan in deze proef vervolgens worden uitgedrukt als de kracht per massa per lengte-eenheid door K te delen door MpL . De eenheid voor de vezelsterkte is dan Nm/g. De vezelsterkte per pot is het gemiddelde van drie metingen.

De tweede methode gaat uit van droge, geconditioneerde vezels. Voor de metingen zijn dezelfde bastlinten gebruikt als bij de hiervoor besproken sterktebepaling. Na deze sterktebepaling werden de linten eerst 2 uur gekookt in een 2%-NaOH-oplossing (natronloog-oplosbaarheidsbepaling). Hierna werden de vezels geconditioneerd bij 23 °C en een relatieve luchtvochtigheid van 50%. De vezelsterkte werd gemeten met een stelometer volgens de standaardrichtlijn ASTM D-1445 voor het bepalen van de katoenvazelsterkte (ASTM¹³, 1967). Er is zonder inspanlengte gemeten, zodat geen rek kon optreden. Aan elk bastlint werden vijf afzonderlijke metingen verricht, waarvan vervolgens het gemiddelde werd bepaald. De vezelsterkte wordt hierbij uitgedrukt met de standaard eenheid g/tex, die ook gebruikt wordt bij katoenvazelsterktes; 1,0 g/tex komt overeen met 9,8 Nm/g.

3.3 Resultaten en discussie

3.3.1 Beoordeling inkuilproces

Drogestofgehalte en dichtheid

Het drogestofgehalte van hennep in september varieerde in 1990 tot en met 1992 gemiddeld tussen 30 en 33%. De gescheiden bast was iets natter (een drogestofgehalte van 28 à 29%) en het gescheiden hout iets droger (34 à 35%). In 1990 kuilden we pas 23 oktober in. Het gewas was al een groot gedeelte afgestorven en het drogestofgehalte lag toen tussen de 55 en 58%. In 1993 daarentegen zijn relatief natte praktijkkuilen aangelegd. Het gemiddelde drogestofgehalte was toen 24%. Vermoedelijk was dat het gevolg van de voortdurende regen in augustus en september.

¹³) ASTM = American Society for Testing and Materials.

Bij de pottenproef van 1991 bedroeg de gemiddelde dichtheid van het gehakselde stengel materiaal (bast en hout gemengd) 115 kg ds/m^3 . Bij een drogestofgehalte van 31% komt dit overeen met 371 kg/m^3 op versgewichtbasis. Na toevoeging van natronloog liet het hennepmateriaal zich beter verdichten. Hierbij was de gemiddelde dichtheid 144 kg ds/m^3 . In 1992 was de gemiddelde dichtheid van de hennep 132 kg ds/m^3 (alle kuilvarianten excl. de basisch behandelde variant); het basische materiaal was verdicht tot 176 kg ds/m^3 . Met afzonderlijk ingekuilde bast werd een hogere dichtheid bereikt dan met afzonderlijk ingekuild hout: 165 tegenover 112 kg ds/m^3 . De hogere soortelijke massa van de bast ten opzichte van die van het hout is hiervan enerzijds de oorzaak. Bovendien kan de bast, door z'n flexibelere structuur, makkelijker worden verdicht dan het relatief harde hout. In de praktijkkuilen zijn in de verschillende jaren de volgende gemiddelde dichtheden gemeten:

1990: 110 kg ds/m^3 (drogestofgehalte > 50%),

1991: 160 kg ds/m^3 ,

1992: 180 kg ds/m^3 ,

1993: 150 kg ds/m^3 .

Bij een drogestofgehalte van ruim 30% (oogsttijdstip in september) is dus in een gemengde hennepkuil een dichtheid mogelijk van minstens 150 kg ds/m^3 (500 kg/m^3 op versgewichtbasis). In 1987 werd door Goethals en Van Middelkoop (1988) ook een dichtheid van een hennepkuil gemeten van 153 kg ds/m^3 . Deze dichtheid werd bij de laboratoriumproeven met potten niet gehaald.

Toevoegmiddelen en inkuilmilieu

In tabel 12 was weergegeven welke toevoegmiddelen (additieven) in het inkuilonderzoek zijn gebruikt. Omdat de omstandigheden voor een optimale vezelconservering moesten worden onderzocht, was de aandacht minder gericht op afzonderlijke middelen maar meer op conserveringsmilieus. Binnen een specifieke conserveringsdoelstelling (directe verzuring, bevorderdering melkzuurvergisting of alkalische conservering) is aangenomen dat het additief van ondergeschikt belang is. De meest relevante middelen, mede voor een toepassing in de praktijk, waren Foraform voor een geforceerd zuur milieu, zout of melkzuurbacteriën in combinatie met melasse voor de bevordering van natuurlijke melkzuurvergisting en ten slotte natronloog voor een basisch milieu.

De enzymen in het middel Clampzyme tastten de bastvezel aan. Handmatig was te constateren dat de bastvezelsterkte sterk achteruit was gegaan. De met gammastralen behandelde (zuur ingekuilde) hennep in 1991 was niet verschillend van de onbestraalde. Het vermoeden bestaat dat door de toevoeging van het zuur de pH zo laag was dat er geen micro-organismen meer actief waren. Hierdoor had bestralen geen extra effect meer. In een dergelijk zuur milieu gaat de bast alleen achteruit door eventuele zure hydrolyse van cellulose.

In het pottenonderzoek was de massadaling gemiddeld 0,3% (op drogestofbasis). Bij heterofermentatieve melkzuurvergisting van glucose en fructose wordt CO_2 gevormd (McDonald, 1976; Seale, 1986), dat bij een bepaalde overdruk uit de potten kon ontsnappen. Bij de neutrale variant was het verlies groter (vooral bij 'gemengd'). Dit betekent dat in deze potten meer microbiële activiteit aanwezig was. Na zes maanden was de massadaling iets hoger dan na drie maanden, maar het grootste verlies trad op in de eerste periode. Dit wijst erop dat aanvankelijk vergistingsprocessen optraden, maar

Tabel 13 Massadaling (%), drogestofverlies (%) en pH-waarden van in potten ingekuilde vezel-hennep (voor de oogstseizoenen 1991 en 1992, na drie en zes maanden; gemiddelden van vijf potten).

Table 13 Mass decrease (%), dry matter losses (%) and pH values of fibre hemp, anaerobically preserved in bottles (in the years 1991 and 1992, after three and six months; mean values of five bottles).

Hennep- produkt	Additief	Massadaling kuil (%)				Drogestofverlies (%)				pH			
		1991		1992		1991		1992		1991		1992	
		3 mnd	6 mnd	3 mnd	6 mnd	3 mnd	6 mnd	3 mnd	6 mnd	3 mnd	6 mnd	3 mnd	6 mnd
Gemengd	Geen	1,1	1,2	0,4	0,6	2,6	5,1	2,6	3,0	6,4	6,0	6,1	5,6
	Zuur	0,1	-- ¹⁴⁾	—	0,1	xx ¹⁵⁾	1,4	xx	xx	4,0	4,0	3,9	3,7
	Zout	0,2	0,2	0,3	0,2	1,5	2,9	1,5	1,6	5,8	5,4	5,9	5,4
	Natronloog	—	—	—	—	xx	0,1	1,9	1,5	12,7	11,9	12,5	12,6
	Bacteriën ¹⁶⁾	0,3	0,3	0,2	0,3	1,1	2,9	3,1	3,6	5,0	5,1	5,6	5,1
Bast	Geen			0,2	0,3			2,5	3,1			4,9	4,4
	Zuur			—	0,1			xx	xx			4,2	4,0
	Zout	0,3	0,3	0,3	0,4	xx	0,3	1,0	2,8	5,0	4,8	5,1	4,7
	Natronloog			—	—			xx	xx			12,7	12,7
	Bacteriën			0,3	0,5			2,7	3,2			5,0	4,7
Hout	Geen	0,5	0,6	0,3	0,5	4,7	4,5	3,3	4,3	6,4	6,4	5,6	5,3
	Zout	0,3	0,3	0,2	0,3	0,5	0,9	0,7	1,0	5,7	5,6	5,9	5,4
	Bacteriën	0,3	0,3	0,3	0,4	xx	xx	0,9	1,2	5,3	5,3	5,5	5,1

¹⁴⁾ — = < 0,1% (niet aantoonbaar).

¹⁵⁾ xx = negatieve waarde.

¹⁶⁾ De term 'bacteriën' is vanaf nu de afkorting voor een preparaat met homofermentatieve melk-zuurbacteriën.

dat uiteindelijk een stabiel milieu was ontstaan. De massadaling van de aangezuurde en basische varianten was laag (<0,1%), zodat ervan kan worden uitgegaan dat deze kuilen vanaf de beginfase stabiel waren.

Potproeven

Er is een gemiddeld drogestofverlies gemeten van 2 à 3%. Dit betekent dat er afbraak was van droge stof. Lagere verliezen waren er na het toevoegen van zout en melkzuurbacteriën bij hout. Algemeen geldt dat de laagste verliezen optraden bij aangezuurde en basisch behandelde varianten. Bij de basisch gemengde potten is in 1992 een groter verlies gemeten dan in 1991. Hier kan geen verklaring voor gegeven worden. De negatieve waarden in tabel 13 zijn het gevolg van meetonnauwkeurigheden van het drogestofgehalte, maar dit geeft wel aan dat bij de betreffende varianten weinig of geen drogestofverlies optrad.

Tabel 14 Dosering (g per kg verse hennep) van additieven en pH-waarden van hennep uit praktijk-kuilen in 1990 t/m 1993.

Table 14 Quantities of additives (g per kg of fresh hemp) and pH values of fibre hemp, preserved anaerobically in practical heaps in the years 1990 up to 1993 inclusive.

Additief	1990 (kuilperiode: 6 maanden)		1991 (kuilperiode: 6 maanden)		1992 (kuilperiode: 6 maanden)		1993 (kuilperiode: 3 maanden)	
	Dosering (g per kg verse hennep)	pH	Dosering (g per kg verse hennep)	pH	Dosering (g per kg verse hennep)	pH	Dosering (g per kg verse hennep)	pH
Geen	0	4,5	0	4,6	0	5,5	0	4,6
Zuur	39	3,8	20 (h) ¹⁸⁾	6,4				
Zout			30 (h)	4,7	10	5,1		
Natronloog			30 (h)	9,2	10	8,1 ¹⁹⁾	19	7,0
Melasse	12 (o) ¹⁸⁾	4,3					20	4,3
Bacteriën					overdosis	5,3		
Melasse + Bacteriën							20 (melasse) bacteriën: overdosis	4,4

¹⁸⁾ (h) = handmatig verdeeld (o) = ongelijkmatig verdeeld.

¹⁹⁾ Grote spreiding in de monsters (n = 5; sd = 0,9).

De pH-waarden geven aan wat er in een pot gebeurde. De pH van de aangezuurde hennep was ongeveer 4 en van de basische ongeveer 13. Bij alle andere varianten schommelde de pH voornamelijk tussen 5 en 6. Van de onbehandelde varianten 'hout' en 'gemengd' was de pH soms nog hoger dan 6. Dit betekent dat de hennep niet voldoende was verzuurd. De 'bast'-potten waren gemiddeld het zuurst. De pH van de varianten 'bast neutraal'¹⁷⁾, 'bast zout' en 'bast bacteriën' verschilden niet zoveel: na drie maanden was de pH 5,0 en na zes maanden 4,7. Bij 'hout' en 'gemengd' werkten de toevoegingen 'zout' en 'bacteriën' pH-verlagend. In 1991 was dit effect overigens groter dan in 1992. Na zes maanden was de pH gemiddeld 0,3 lager dan na drie maanden, vooral in natuurlijk verzuurde potten. Dit betekent dat de verzuringsprocessen en ook de afbraak van droge stof niet gestopt waren na drie maanden.

Praktijkkuilen

Bij de praktijkkuilen valt op dat er geen goede, spontane verzuring is geweest in 1992 (tabel 14). Het toevoegen van zout of bacteriën werkte slechts weinig pH-verlagend. In vergelijking met de potproeven was de hennep meer verzuurd, met name in 1991. Dat jaar was de aangezuurde hennep zeer heterogeen. Op verschillende plaatsen in de kuil was de bast geheel afgebroken, misschien wel door een te hoge zuurconcentratie, op andere plaatsen waren duidelijk schimmels zichtbaar. Deze heterogeniteit was veroor-

¹⁷⁾ Het inkuilen zonder additief noemen we in de bespreking 'neutraal' inkuilen.

zaakt door een slechte verdeling van het inkuilzuur (Foraform). Bij de toediening van een middel moet dus aandacht besteed worden aan een gelijkmatige verdeling.

De hoeveelheid natronloog die in 1992 en 1993 is toegediend, was te klein voor een goede basische kuil. Mede hierdoor varieerden in 1992 de pH-waarden van de basische kuilmonsters van 6,5 tot 9,0. Voor een conserverend basisch milieu is een pH nodig van ruim 10. Bij deze pH wordt verwacht dat de microbiële activiteit voor het grootste gedeelte is stilgelegd (Middelhoven, mondelinge mededeling, 1990²⁰). In potproeven is gebleken dat toevoeging van 30 g natronloog per kg verse hennep globaal voor pH 12 à 13 zorgt. Deze dosering komt overeen met 3% natronloog op versgewichtbasis hennep.

Natronloog- en suikerdosering

Het toevoegen van 2% natronloog (op versgewichtbasis) gaf in een pottenproef (oogstseizoen 1990) een gemiddelde pH van 10. Bonarius (1991) heeft de invloed van verschillende natronloogconcentraties onderzocht in een pottenproef. Bij een concentratie van 1%; 3,5% en 8% natronloog (op versgewichtbasis) was de gemiddelde pH van 3 potten resp. 7,8; 11,6 en 12,6.

In tabel 15 is het verband weergegeven tussen de hoeveelheid toegevoegd suiker of natronloog en de pH van een 1:10 hennepextract (na een kuilperiode van 18 dagen). Uit deze tabel kunnen we afleiden dat een dosering van ongeveer 20 g natronloog per kg verse hennep voldoende was om een goed basisch milieu te krijgen. Deze dosering is ook nagestreefd bij het aanleggen van de praktijkkuil in 1993. Deze kuil was minder basisch dan die in 1992 toen minder natronloog was gedoseerd. De oorzaak hiervoor zou het lagere drogestofgehalte in 1993 kunnen zijn of een verlies van natronloog bij het toedienen vóór de hakselkooi. Een onbekend gedeelte van de natronloogkorrels viel door de bundel afgemaaide hennepstengels heen op de grond. Nader onderzoek is nodig om vast te stellen hoe hoog de natronloogdosering moet zijn voor een goede basische conservering van hennep.

Als bij het inkuilen de natronloog met 2% op versgewichtbasis wordt toegediend, komt dit overeen met 5 à 6% op drogestofbasis. Voor een half chemisch/half mechanisch pulp-proces, zoals APMP (Alkaline Peroxide Mechanical Pulping), is 2 à 3% NaOH nodig op drogestofbasis (de Groot, mondelinge mededeling, 1994²¹). De natronloogdosering bij het inkuilen was dus ruim twee keer hoger dan nodig is voor APMP-pulp.

De mate van melkzuurvergisting is sterk afhankelijk van de suikerconcentratie. Tabel 15 laat zien dat de onbehandelde hennep (dosering=0 g/kg) niet was verzuurd na 18 dagen (pH=6,4). Het toedienen van 15 g suiker per kg verse hennep deed de hennep verzuren tot pH=4,7. Het enten van melkzuurbacteriën en het toevoegen van 25 g suiker deed de hennep tot pH=4,2 verzuren. Bij een dosering van 15 g dook de pH niet onder 4,6. Uit deze proef komt naar voren dat de hoeveelheid suikers limiterend was voor het natuurlijk verzuren van hennep in een kuil.

²⁰) W.J. Middelhoven, vakgroep Microbiologie, Landbouwwuniversiteit Wageningen.

²¹) B. de Groot, ATO-DLO, Wageningen.

Tabel 15 pH-waarden van ingekuilde hennep (na 18 dagen) bij verschillende additieven en verschillende concentraties (gemiddelden van twee potten).

Table 15 pH values of anaerobically preserved fibre hemp after 18 days, using different additives with different concentrations (mean values of two bottles).

Additief	Dosering (g per kg verse hennep) ²²⁾				
	0	15	20	25	30
Suiker	6,4	4,7	4,7	4,6	
Suiker + Bacteriën	6,4	4,6	4,5	4,2	
Natronloog	6,4	10,3	12,7	12,6	12,7

²²⁾ Doseringen gelden voor suiker en natronloog. Melkzuurbacteriën zijn in een overdosis toegevoegd.

Zuuranalyses

De zuren die het meest in de hennepextracties voorkwamen, waren melkzuur en azijnzuur. In de aangezuurde variant was alleen mierzuur gedetecteerd. Dit zuur is het belangrijkste bestanddeel in het gebruikte kuilverzuringsmiddel (Foraform). In de tabellen 16 en 17 zijn de concentraties vermeld van melkzuur, azijnzuur en boterzuur. Het gehalte aan boterzuur geeft een indicatie over niet gewenste fermentaties. In de basische variant was azijnzuur (acetaat) aanwezig. Dit acetaat is het resultaat van chemische afbraak van hemicellulose. Als hout geïmpregneerd wordt met natronloog, worden reeds bij kamertemperatuur zeer veel acetylgroepen, die veresterd zijn aan xylaan, afgesplitst (Timell, 1967; Wallis en Wearne, 1985; de Groot e.a., 1994). Dit gebeurde ook in de basische kuil.

In een kuil die op natuurlijke wijze moet verzuren, zorgt voornamelijk melkzuur voor de pH-daling. Bij de neutrale varianten 'gemengd' en 'hout' was nauwelijks melkzuur gevormd. In de kuilen waar 'zout' en 'bacteriën' waren toegevoegd, was de concentratie van het melkzuur 1 à 3% (op drogestofbasis). Voor de varianten 'neutraal', 'zout' en 'bacteriën' was de (melk)zuurconcentratie in 1992, zowel in de potten als in de praktijkkuilen, lager dan in 1991. De concentratie melkzuur in de bastpotten was hoog, maar niet voldoende om pH 4,2 te bereiken. In de loop van de kuilperiode leek de melkzuurconcentratie af te nemen en die van azijnzuur iets toe te nemen. Dit is vreemd want de pH was na zes maanden lager dan na drie maanden; verwacht mocht worden dat er juist meer melkzuur was gevormd. Boterzuur is nauwelijks gevonden in de kuilmaterialen. Alleen in de neutrale praktijkkuil van 1992 was de boterzuurconcentratie extreem hoog (tabel 17). Bij toevoeging van melasse in 1993 was de melkzuurconcentratie zeer hoog; de pH bedroeg overigens 4,3. De toevoeging van melkzuurbacteriën bij melasse had geen noemenswaardig effect.

Gemiddeld verzuurden de hennepkuilen onvoldoende. Uit analyses van hennepmonsters uit 1992 bleek het suikergehalte in bast, hout en bladmateriaal resp. 6, 1 en 28 g/kg (op drogestofbasis) te zijn. Voor hennepstengels met 4% bladmateriaal, zoals het gewas op het veld staat na een bladverwijderingsbewerking, betekent dit dat het suikergehalte ongeveer 3,8 g/kg ds was. Deze waarden komen overeen met eerder gevonden gegevens (Verdonschot, 1986; Harsveld van der Veen, 1991) en zijn veel te laag om een voldoende

Tabel 16 Concentraties (in g per kg ds hennep) melkzuur, azijnzuur en boterzuur in gekuilde hennep (gemiddelden van twee potten).

Table 16 Concentrations (in g per kg hemp dm) lactic acid, acetic acid and butyric acid in preserved hemp (mean values of two bottles).

Hennep- produkt	Additief	Melkzuur			Azijnzuur			Boterzuur		
		1991		1992	1991		1992	1991		1992
		6 mnd	3 mnd	6 mnd	6 mnd	3 mnd	6 mnd	6 mnd	3 mnd	6 mnd
Gemengd	Geen	2	8	1	11	9	7	1	0	0
	Zuur	23)	--	--	3	--	1	--	--	--
	Zout	23	11	8	10	2	3	--	--	--
	Natronloog	8	1	--	36	35	36	--	--	--
	Bacteriën	31	16	8	8	8	8	0	--	--
Bast	Geen		51	40		8	10		--	--
	Zuur		7			3			--	--
	Zout	48	34	23	12	11	13	--	--	--
	Natronloog		2			16			--	--
	Bacteriën		41	24		12	22		1	--
Hout	Geen	2	11	3	6	7	8	2	0	2
	Zout	14	12	9	4	5	3	--	--	--
	Bacteriën	20	8	0	7	9	11	0	--	--

²³⁾ -- = niet aantoonbaar aanwezig.

lage pH te bereiken door melkzuurvergisting. Op basis van een homofermentatieve melkzuurvergisting is in een graskuil (33% ds) een suikerconcentratie vereist van 75 g/kg ds (naar Wieringa en de Haan, 1961). Natuurlijke verzuring is zeer sterk afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid vrije suikers en die zou beïnvloed kunnen worden door de groeiomstandigheden en het oogsttijdstip. Hierover zijn echter geen gegevens beschikbaar.

Invloed van blad, melkzuurbacteriën en clostridia op het inkuilproces

Eerder in 3.1.2 was vermeld dat het mee inkuilen van het blad veeleer negatief was dan positief. De hogere suikerconcentratie in het blad zorgde er in de pottenproef (1992) voor dat meer melkzuur werd geproduceerd, vooral als geen melkzuurbacteriën waren toegevoegd (tabel 18). Echter de pH daalde hierdoor niet, wellicht door zuurbuffering van het blad. Middelkoop (1990) concludeerde daarentegen dat het zuurbufferend effect van hennetoppen zeer gering was.

Tabel 17 Concentraties (in g per kg ds hennep) melkzuur, azijnzuur en boterzuur in gekuilde hennep uit praktijkkuilen. De kuilperiode in 1991 en 1992 was zes maanden en in 1993 drie maanden.

Table 17 Concentrations (in g per kg hemp dm) lactic acid, acetic acid and butyric acid in hemp, preserved anaerobically in practical heaps. The period of preservation lasted six months in 1991 and 1992 and three months in 1993.

Additief	Melkzuur			Azijnzuur			Boterzuur		
	1991	1992	1993	1991	1992	1993	1991	1992	1993
Geen	58	2	41	19	14	15	--	11	--
Zuur	9			8			--		
Zout	40	4		17	21		--	--	
Natronloog	16	2	14	22	20	21	1	3	--
Melasse			91			15			--
Bacteriën		12			15			4	
Melasse + Bacteriën			81			12			--

Opmerkelijk is de analyse van de hennep waaraan behalve melkzuurbacteriën ook verdunde rundermest was toegevoegd. De pH van de hennep met en zonder mest was gelijk maar in het laatste geval was er nauwelijks of geen melkzuur aanwezig (zie tabel 18). Er was meer azijnzuur aanwezig en ook enig boterzuur. Vermoedelijk zijn de melkzuurbacteriën erin geslaagd om de pH te doen dalen, maar omdat dit niet voldoende was om de clostridia te doden, zijn deze ook nog actief geweest. Hiervan getuigt de grote hoeveelheid propionzuur.

Tabel 18 pH (n=5) en concentraties (in g per kg ds hennep) melk-, azijn-, propion- en boterzuur (n=2) in gekuilde hennep, in 1992 (n is het aantal potten).

Table 18 pH (n=5) and concentrations (in g per kg hemp dm) lactic, acetic, propionic and butyric acid (n=2) in preserved hemp, in 1992 (n is the number of bottles).

Hennep-product	Additief	pH		Melkzuur		Azijnzuur		Propionzuur		Boterzuur	
		3 mnd	6 mnd	3 mnd	6 mnd	3 mnd	6 mnd	3 mnd	6 mnd	3 mnd	6 mnd
Gemengd	Geen	6,1	5,6	8	1	9	7	2	--	0	0
	Bacteriën	5,6	5,1	16	8	8	8	--	--	--	--
	Bacteriën met mest	5,6	5,2	3	--	14	11	3	9	0	2
Gemengd met blad	Geen	6,2	5,5	19	20	13	9	3	--	0	0
	Bacteriën	5,4	5,2	28	8	13	14	1	1	1	2

Omdat het suikergehalte in hennep zo laag is, is het niet zinvol alleen melkzuurbacteriën te enten. Om melkzuur te produceren zijn immers suikers nodig. De invloed van suikertoevoeging en enting van melkzuurbacteriën op de pH-daling en de vorming van vergistingsproducten wordt geïllustreerd in tabel 19. Het toevoegen van suiker liet de pH na vier dagen dalen tot 5,1 en na twaalf dagen tot 4,6. De onbehandelde, ingekuilde hennep verzuurde nauwelijks (pH 6,4). Wanneer ook bacteriën waren geënt, daalde de pH reeds na 4 dagen tot 4,2 en was de kuil stabiel. De kleine hoeveelheid azijnzuur en de afwezigheid van ethanol betekent dat vooral homofermentatieve melkzuurvergisting was opgetreden. Deze vergisting van glucose en fructose is efficiënter dan heterofermentatieve, waarbij behalve melkzuur ook azijnzuur, kooldioxyde en ethanol wordt geproduceerd. (McDonald, 1976; Seale, 1986). In geen van de potten was boterzuur gevormd.

Tabel 19 pH en concentraties (in g per kg ds hennep) ethanol en melk-, azijn-, en boterzuur in gekuilde hennep (gemiddelden van twee potten). De suikerdosering was 1,5% op versgewichtbasis.

Table 19 pH and concentrations (in g per kg hemp dm) ethanol and lactic-, acetic-, and butyric acid in preserved hemp (mean values of two bottles). Sugar was added with 1,5% on fresh weight basis.

Additief	pH		Melkzuur	Aziijnzuur	Boterzuur	Ethanol
	4 dagen	12 dagen	12 dagen	12 dagen	12 dagen	12 dagen
Geen	6,4	6,4	7	5	--	1
Suiker (1,5%)	5,1	4,6	15	4	--	3
Suiker (1,5%) + bacteriën	4,2	4,2	32	2	--	--

3.3.2 Karakterisering ingekuild materiaal

3.3.2.1 Wasverliezen en natronloogoplosbaarheid

Nadat de potten en de praktijkkuilen waren geopend, hebben we in 1992 per behandeling twee monsters gewassen. Dit wassen is een vereenvoudigde waterextractie. Stoffen die oplossen in water (inclusief eventueel toegevoegde middelen) spoelen met het wassen uit. Deze verliezen worden hier wasverliezen genoemd en worden weergegeven in tabel 20 (pottenproef) en in tabel 21 (praktijkkuilen). Heetwaterextracten volgens TAPPI-207 bestaan voor ongeveer de helft uit anorganisch materiaal en bedragen voor bast en hout respectievelijk 14% en 9% op drogestofbasis (Harsveld van der Veen, 1991). Bij het wassen van ingevroren bewaarde hennep spoelde 6% uit. Zoals verwacht werd, is dit lager dan bij de heetwaterextractie.

Bij 'gemengd', 'bast' en 'hout' zijn respectievelijk wasverliezen gemeten van 2 tot 10%, 9 tot 23% en 1 tot 5%. Na een kuilperiode van zes maanden zijn gemiddeld lagere wasverliezen geconstateerd dan na drie maanden. Uit de materialen waaraan zout en natronloog was toegevoegd, spoelde meer uit. Deze extra uitspoelhoeveelheden waren in principe laag omdat het zout en de natronloog met een concentratie van 9% op drogestofbasis waren toegevoegd. Bovendien werden bij de met natronloog ingekuilde monsters

Tabel 20 Wasverliezen (%) van ingekuilde hennep en 2%-natronloogoplosbaarheid (%) van ingekuilde bast, na drie en zes maanden (gemiddelden van vijf potten in 1992).

Table 20 Wash losses (%) of preserved hemp and 2%-solubility in sodium hydroxide (%) of preserved bast, after three and six months (mean values of five bottles in 1992).

Conservering	Additief	Wasverliezen (%)		2%-NaOH-oplosbaarheid (%)	
		Kuilveriode		Kuilveriode	
		3 mnd	6 mnd	3 mnd	6 mnd
Gedroogd				26	
Ingevroren		6		32	
Gekuild, gemengd	Geen	3	4	19	19
	Blad	4	2	21	25
	Zuur	3	4	23	24
	Zout	7	5	19	23
	Natronloog	10	9	21	24
	Bacteriën	4	2	20	24
	Bacteriën met blad	6	4	22	23
	Bacteriën met mest	3	3	21	21
Gekuild, bast	Geen	12	9	21	23
	Zuur	15	9	21	24
	Zout	19	15	21	23
	Natronloog	23	19	21	21
	Bacteriën	9	9	22	24
Gekuild, hout	Geen	3	1		
	Zout	5	3		
	Bacteriën	3	3		

extra verliezen verwacht als gevolg van hemicellulose-afbraak. Het is mogelijk dat de hoeveelheid water (1 l per 50 g gekuilde hennep) niet voldoende was om alle wateroplosbare stoffen uit te spoelen. De wasverliezen van monsters uit de neutrale *praktijkkuil* waren hoog in 1992. In deze kuil waren ongewenste fermentaties opgetreden (vergelijk de hoge boterzuurconcentratie in tabel 17).

Van de (gewassen) bast uit de kuilproeven van 1992 en 1993 is de 2%-natronloogoplosbaarheid bepaald. Deze varieerde tussen 19 en 25%. Van de praktijkkuilen in 1992 was de oplosbaarheid hoger (26 tot 29%). Tussen de verscheidene varianten was geen noemenswaardig verschil. Voor de bepalingen waren de vezels al gewassen. Het gemiddelde wasverlies bij bast (9%), gecombineerd met de gemiddelde natronloogoplosbaarheid (23%), geeft een gecorrigeerde oplosbaarheid van 30%. Dit is overeenkomstig de

Tabel 21 Wasverliezen (%) van ingekuilde hennep en 2%-natronloogoplosbaarheid (%) van ingekuilde bast (praktijkkuilen in 1992 en 1993).

Table 21 Wash losses (%) of preserved hemp and 2%-solubility in sodium hydroxide (%) of preserved bast (practical silage heaps in 1992 and 1993).

Conservering	Additief	Wasverliezen (%)	2%-NaOH-oplosbaarheid (%)	
		1992	1992	1993
		6 maanden	6 maanden	3 maanden
Gedroogd			26	34
Ingevroren		6	32	
Gekuild	Geen	13	28	24
	Zout	4	26	
	Natronloog	9	26	21
	Melasse			23
	Bacteriën	5	29	
	Melasse + Bacteriën			26

gemiddelde oplosbaarheid van niet ingekuilde bast. TAPPI-212 bepalingen (1%-natronloogoplosbaarheid) van gemalen, niet gewassen, ingekuilde hennep varieerde van 25 tot 31%. Van gedroogde bast en gedroogd hout is de 1%-natronloogoplosbaarheid gemiddeld resp. 30,1% en 33,2% en daarmee hoger dan die van gekuilde hennep.

Samenvattend geven deze resultaten geen aanwijzingen dat er desastreuze afbraakprocessen plaatsvonden in de kuilen.

3.3.2.2 Cellulosegehalte, hemicellulosegehalte, ligninegehalte en polymerisatiegraad

Tabel 22 geeft de totale oplosbaarheid weer (Extract Free Wood oplosbaarheid + wasverliezen) en het cellulose-, hemicellulose- en ligninegehalte. De gegevens zijn afkomstig van potproeven van twee verschillende oogstseizoenen (1991 en 1992). De analyses werden verricht aan hennepmateriaal dat drie maanden ingekuild was geweest. De som van de Extract Free Wood (EFW) oplosbaarheid en de wasverliezen is gecorrigeerd voor de toegevoegde hoeveelheid zout en natronloog (9% op ds-basis). De totale extractie was gemiddeld 10% voor het gemengde stengelprodukt. Voor hout was dit lager (9%) en voor bast hoger (13%). Bij 'bast neutraal' en 'bast zuur' zijn in 1992 extreem hoge extracties gemeten, die voornamelijk veroorzaakt werden door de hoge wasverliezen; ze bedroegen respectievelijk 12 en 15%.

Bij basisch ingekuilde hennep zijn grotere extracties gemeten. Dit kan vooral bij het gemengd ingekuilde produkt verklaard worden door de afbraak van hemicellulose en misschien een beetje lignine. Het extractiegehalte van basisch ingekuild hout bedroeg in 1991 ruim 31%, zodat voor het gemengde produkt (op basis van een bast/hout verhou-

Tabel 22 Extractiewaardes en cellulose-, hemicellulose- en ligninegehaltes (% van ruwe grondstof op ds-basis) van gedroogd bewaarde en ingekuilde hennep, na drie maanden (gemiddelden van twee potten).

Table 22 *Extractives and cellulose, hemicellulose and lignin contents (% of starting material dry matter) of dry stored and wet anaerobically preserved hemp, after three months (mean values of 2 bottles).*

Hennep- produkt	Conserve- ring	Additief	Extractie (%)		Cellulose (%)		Hemicellulose (%)		Lignine (%)	
			1991	1992	1991	1992	1991	1992	1991	1992
Gemengd	Gedroogd		11* ²⁴⁾	15	50*	44	15*	13	16*	15
		Gekuild	11*	9	50*	48	14*	13	16*	15
		Geen	11*	9	50*	48	14*	13	16*	15
		Zuur	12*	9	49*	48	14*	14	16*	15
		Zout	9*	9	49*	45	14*	13	15*	15
		Natronloog	25*	21	50*	49	11*	11	11*	13
Bast	Gedroogd	Bacteriën	11*	10	48*	48	14*	12	15*	14
			15	13	62	63	6	8	4	7
	Gekuild	Geen	11	18	68	61	7	7	5	6
		Zuur	15	20	64	59	7	6	4	6
		Zout	9	13	67	66	6	7	3	7
		Natronloog	13	21	69	62	8	7	3	4
Hout	Gedroogd	Bacteriën	13	13	66	63	7	6	4	6
			9	10	44	38	20	19	22	23
	Gekuild	Geen	11	9	41	37	17	19	21	23
		Zout	8	9	40	37	18	19	21	23
		Bacteriën	10	9	38	38	17	19	22	23

²⁴⁾ * = berekend op basis van extracten van bast en hout afzonderlijk en een bast/hout verhouding in de stengel van 35/65.

ding van 35/65) een extractiegehalte geschat is van 25% (tabel 22). In 1992 is bij basisch ingekuilde hennep een extractie gemeten van 21%. De gehalten cellulose, hemicellulose en lignine komen bij bast en hout in beide jaren goed overeen. Gemiddeld over 1991 en 1992 is het hemicellulose- en ligninegehalte van de basisch (gemengd) ingekuilde hennep lager dan die van de andere kuilmaterialen. De Groot e.a. (1994) toonden ook aan dat bij impregnatie van het hout met 1 M natronloogoplossing, gedurende 30 minuten bij 20 °C, enige lignine en xylose (het hoofdbestanddeel van de hemicellulose) in oplossing ging.

In tabel 23 zijn algemene analyseresultaten weergegeven van het hennepas Fedora 19 (gedroogd bewaard). Als we de hennepsamenstelling hiervan vergelijken met die van de gekuilde monsters, kunnen we concluderen dat het inkuilproces geen of slechts een zeer klein effect heeft op de gehalten cellulose, hemicellulose en lignine. Alleen bij basisch inkuilen gaat kwantitatief meer materiaal verloren. Zoals reeds in 3.3.1 is aangegeven, is

Tabel 23 Extractiewaardes en cellulose-, hemicellulose- en ligninegehaltenes (% van ruwe grondstof op ds-basis) van gedroogd bewaarde hennep (ras Fedora 19); (Gosselink, mondelinge mededeling, 1993²⁵).

Table 23 Extractives and cellulose, hemicellulose and lignin contents (% of starting material dry matter) of dry stored hemp (variety Fedora 19); (Gosselink, personal communication, 1993²⁵).

Hennepmateriaal	EFW-Extractie (TAPPI-264, %)	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignine (%)
Bast	11,9	63,3	10,0	4,8
Hout	8,9	38,0	21,6	20,0

²⁵) R. Gosselink, ATO-DLO, Wageningen.

Tabel 24 De polymerisatiegraad van gedroogde en ingekuilde bast in 1991 (n=1) en 1992 (n=2) (n=aantal potten; standaardafwijking tussen haakjes).

Table 24 Degree of polymerisation of bast that was stored dry or anaerobically wet in 1991 (n=1) and 1992 (n=2) (n=number of bottles; standard deviation in parentheses).

Conservering	Additief	1991		1992	
		Kuilveriode (maanden)		Kuilveriode (maanden)	
		1,5	3	3	6
Gedroogd		6713		5952	
Gekuild in potten	Geen	7214	6031	6299 (507)	
	Zuur	6577	5000	4699 (161)	
	Zout	7206	6347	5458 (677)	
	Natronloog	5003	3506	7003 (1105)	
	Bacteriën	7369	6175	5730 (1033)	
Gekuild in praktijkkuilen	Geen			4648	
	Zout			5170	
	Bacteriën			5756	

er vooral bij basisch inkuilen een nauwe relatie met de keuze van het pulpproces. De grote verliezen zijn gebruikelijk bij de produktie van hoogwaardige pulp (celstof), maar als het pulprendement hoog moet zijn, zoals bij mechanische pulpprocessen, moeten de verliezen zo laag mogelijk zijn en daarom ook de natronloogconcentratie.

In tabel 24 is de polymerisatiegraad²⁶ weergegeven van de bast uit de verschillende kuilmilieus in 1991 en 1992. Het gemiddelde niveau was in 1992 lager. Dit geldt echter niet voor de basische variant. Dit is des te opmerkelijker, omdat in 1991 de polymerisatie-

²⁶) De polymerisatiegraad is een maat voor de celluloseketenlengte.

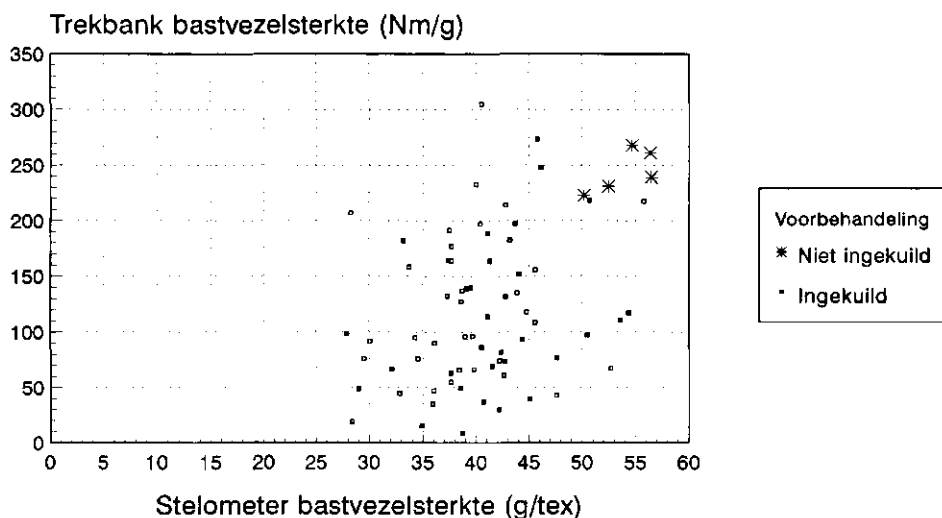
graad van de basisch ingekuilde vezels het laagst was. Gemiddeld over de beide jaren was de polymerisatiegraad van de zuur ingekuilde variant ook laag. Dit wijst erop dat in een zuur milieu de celluloseketen korter wordt. Lichte, zure hydrolyse is hier de meest waarschijnlijke verklaring voor, aangezien er geen bacteriën bekend zijn die bij een $\text{pH} < 4$ cellulose afbreken (Dewar e.a., 1963). De neutrale praktijkkuil in 1992 was, op basis van de polymerisatiegraad, het minst succesvol.

Van hennepbast uit een niet verzuurde ATO-DLO kuil was de polymerisatiegraad 4641 en dit was 30% lager dan die van gedroogde bast (Gosselink, 1991^b). De gemiddelde polymerisatiegraad van alle gekuilde bastmonsters (1991 en 1992) was 5844 en van twee gedroogde bastmonsters 6333. De gemiddelde daling bij deze proeven was 8%. De polymerisatiegraad is eigenlijk een maat voor de beoordeling van een pulpproces. Van organosolv hennepbastpulp bijvoorbeeld, daalde de polymerisatiegraad van 3700 (na 30 min koken) tot 2000 (na 2,5 uur koken) (Gosselink, mondelinge mededeling, 1993²⁵). Hieruit kan worden geconcludeerd dat de daling van de polymerisatiegraad in de kuil relatief klein is in vergelijking met de daling die veroorzaakt wordt bij een organosolv pulping.

3.3.3 Vezelsterkte

Vezelsterktemetingen met de trekbank

Het belangrijkste kwaliteitsaspect van de bast is de vezelsterkte. Van de pottenproef in 1992 zijn de sterktegegevens weergegeven in tabel 25. Na drie maanden kuilperiode is de vezelsterkte op twee manieren gemeten, na zes maanden alleen met behulp van de stelometer. Voor de kortste kuilperiode (drie maanden) zijn de bastvezelsterktes van de



Figuur 14 Relatie tussen de vezelsterkte, gemeten met een INSTRON-trekbank en een stelometer, van ingekuilde en niet ingekuilde bast (gegevens van de pottenproef in 1992).

Figure 14 Relation between the fibre strength, measured with an INSTRON test device and a stelometer, of wet anaerobically and dry preserved bast (data of the preservation research in bottles in 1992).

Tabel 25 Vezelsterkte (in Nm/g bij de INSTRON-trekbankmetingen en in g/tex bij de stelometermetingen) van gekuilde bast, na een kuilperiode van drie en/of zes maanden en van gedroogd en ingevroren bewaarde bast. De sterktedaling wordt weergegeven als een percentage van de sterkte van het in dezelfde kolom vermelde uitgangsmateriaal.

Table 25 Fibre strengths (in Nm/g for INSTRON break tests or in g/tex for stelometer tests) of wet anaerobically preserved bast, after three or six months, and of dry and frozen stored bast. The decrease in strength is given as a percentage of the strength of the starting material that is mentioned in the same column.

Conservering	Hennep-product	Additief	Trekbank		Stelometer			
			3 mnd		3 mnd		6 mnd	
			Sterkte (Nm/g)	Daling (%)	Sterkte (g/tex)	Daling (%)	Sterkte (g/tex)	Daling (%)
ksv (kleinste significante verschil, p=0,05)			62	25	7,2	13	5,4	12
Geen (vers)	Bast		254					
Gedroogd					54,1			
Ingevroren							44,7	
Gekuild	Gemengd	Geen	67	74	37,3	31	23,3	48
		Blad	91	64	40,0	26	25,6	43
		Zuur	208	18	39,8	26	31,2	30
		Zout	111	56	38,0	30	29,8	33
		Natronloog	214	16	43,6	19	35,9	20
		Bacteriën	70	72	39,5	27	30,2	32
		Bacteriën met blad	110	57	37,9	30	28,8	36
		Bacteriën met mest	102	60	39,8	27	28,7	36
Gekuild	Bast	Geen	151	41	37,0	32	29,3	34
		Zuur	147	42	47,6	12	29,3	34
		Zout	58	77	38,7	29	29,1	35
		Natronloog	110	57	46,5	14	34,0	24
		Bacteriën	117	54	38,6	29	27,4	39

twee meetmethoden tegen elkaar uitgezet in figuur 14. De resultaten van de twee methoden correleren nauwelijks. Duidelijk is wel dat de bastvezelsterkte in de kuil daalde (volgens beide meetmethoden). De eenheid g/tex komt overeen met 9,8 Nm/g. Dus de waarde van de bastvezelsterkte die bepaald is met de trekbank (254 Nm/g) is ongeveer de helft van de waarde die bepaald is met de stelometer (gemiddeld 484 Nm/g). De verklaring hiervoor is dat met de meting in de trekbank niet de vezelsterkte werd bepaald maar een combinatie van vezelsterkte en bindingssterkte van parallel

Tabel 26 *Vezelsterkte (g/tex) van gedroogde, ingevroren en ingekuilde bast. De sterkte daling wordt weergegeven als een percentage van de sterkte van het ingevroren materiaal.*
Table 26 *Fibre strengths (g/tex) of dry, frozen and wet anaerobically preserved bast. The decrease in strength is given as a percentage of the strength of the frozen stored bast.*

Conservering	Additief	1992 (kuilperiode: 6 maanden)		1993 (kuilperiode: 3 maanden)	
		Sterkte (g/tex)	Daling (%)	Sterkte (g/tex)	Daling (%)
Gedroogd				42,8	
Ingevroren		44,7		48,9	
Gekuild	Geen	15,8	65	35,0	18
	Zout	22,7	49		
	Natronloog	18,7	58	40,9	4
	Melasse			38,4	10
	Bacteriën	23,7	47		
	Melasse + bacteriën			33,4	22

gelegen vezels. Deze bindingssterkte is lager dan de vezelsterkte zelf. Omdat met de stelometer zonder rek werd gemeten (de afstand tussen de beide vezelklemmen was 0 mm), werd de werkelijke vezelsterkte bepaald. De daling van de vezelsterkte in de kuilen was bij de trekbankmetingen groter dan bij de stelometermetingen. Hieruit kunnen we concluderen dat de bindingssterkte relatief meer daalde dan de werkelijke vezelsterkte.

Vezelsterktemetingen met de stelometer

De vezelsterktemetingen met de stelometer zijn in 1992 in twee blokken (periodes) uitgevoerd. Als basismateriaal (referentie) zijn in het eerste blok gedroogde vezels gemeten en in het tweede blok ingevroren vezels. De ingevroren vezels waren later aan de proef toegevoegd omdat, op basis van papier testen, het vermoeden gerezen was dat door invriezen de vezelsterkte achteruitging. Vóór de sterktemetingen zijn ook deze (referentie)vezels opgewerkt met een 2%-natronloogextractie en vervolgens geconditioneerd. De gemiddelde vezelsterkte van de gekuilde bast in blok 1 (kuilperiode drie maanden) was 40,3 g/tex en in blok 2 (kuilperiode zes maanden) 29,2 g/tex. Dit zou betekenen dat de sterkte met een kwart gedaald was tijdens die drie maanden inkuilen. De gemiddelde daling na drie maanden inkuilen was ook een kwart. Omdat er in veel potten geen stabiel milieu was, kon een verdere daling van de bastvezelsterkte worden verwacht. Echter een dergelijk grote daling tussen drie en zes maanden lijkt extreem. Voorlopig wordt ervan uitgegaan dat het verschil tussen de gemiddelde vezelsterktes na drie en zes maanden inkuilen een combinatie was van een kuilperiode-effect en een blokeffect als gevolg van de meetprocedure. De metingen in de twee blokken zijn door twee verschillende personen uitgevoerd en dit zou het niveau van de metingen beïnvloeden kunnen hebben. Het verschil tussen de vezelsterkte van gedroogd en ingevroren bewaarde bast lijkt overigens ook erg groot. In 1993 is de vergelijking tussen drogen en

invriezen herhaald en toen was de vezelsterkte van de ingevroren bewaarde vezels zelfs hoger dan van gedroogd bewaarde vezels (tabel 26)

De sterkte van de bast in 1992 was in de praktijkkuilen zeer laag als we die vergelijken met de vezels in de potten (na zes maanden inkuilen). De pH van de kuil waaraan natronloog was toegevoegd, was slechts licht basisch. De andere kuilen moesten natuurlijk verzuren, maar de pH was relatief hoog gebleven (tabel 14), echter wel iets lager dan die in de potten.

De bastvezelsterkte in de kuilen van 1993 was in vergelijking met die in 1992 hoog. De kuilperiode was weliswaar korter (drie maanden). Het sterkst waren de vezels uit de natronloogkuil, hoewel de pH gemiddeld slechts 7,0 was. De hoge vezelsterkte is verrassend, want bij deze zuurgraad werden volop ongewenste microbiële afbraakprocessen verwacht, waardoor de sterkte zou dalen.

Invloed van het inkuilmilieu op de vezelsterkte

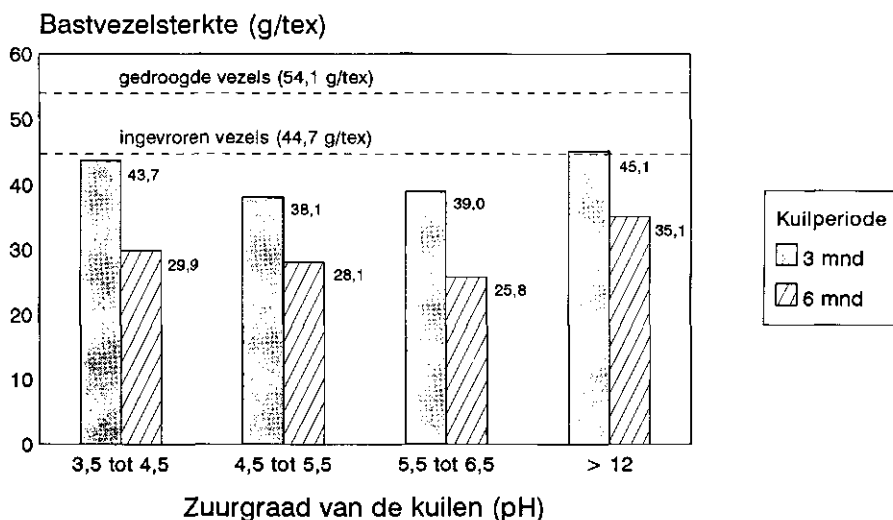
Uit tabel 25 blijkt dat bij bepaalde behandelingen de vezelsterkte significant slechter werd dan bij andere behandelingen. Vooral de basisch behandelde vezels zijn minder verzwakt. Omdat het vermoeden bestond dat er een verband was tussen de pH en de vezelsterkte zijn de behandelingen gegroepeerd naar pH. Er zijn vier verschillende groepen gevormd:

- $3,5 \leq \text{pH} \leq 4,4$,
- $4,5 \leq \text{pH} \leq 5,4$,
- $5,5 \leq \text{pH} \leq 6,4$ en
- $\text{pH} > 12$.

De gemiddelde vezelsterkte per groep is voor beide kuilperiodes weergegeven in figuur 15. Na drie maanden was de gemiddelde vezelsterkte van de meest zure en de basische groep significant hoger dan van de twee minder zure groepen ($k_{sv} \approx 4,2 \text{ g/tex}$). Na zes maanden was de vezelsterkte van de basische groep nog steeds het hoogst, maar het verschil was kleiner geworden en maar gedeeltelijk significant ($k_{sv} \approx 3,4 \text{ g/tex}$). De basisch ingekuilde bastvezels hielden het beste hun sterkte. Gedurende de kuilperiode daalde de vezelsterkte langzaam, ook bij de basische kuilen. Hoe groot deze daling in de tijd was, is op basis van deze inkuilgegevens niet te zeggen.

Papiertesten met ingekuilde hennep

In 1990 en 1991 is er van de hennep uit de praktijkkuilen testpapier gemaakt. Omdat de bastvezels in de praktijkkuilen van 1992 zwak waren, is er van deze ingekuilde hennep geen papier geproduceerd. De papierkwaliteit wordt door zeer vele factoren bepaald: o.a. breek lengte, berststerkte, scheursterkte, opaciteit en witheid. Omdat met name de bastvezel in de kuil wordt aangetast en deze een grote invloed heeft op de scheursterkte van het papier, beperkt dit verslag zich tot de scheursterkteresultaten. In 1990 was de scheursterkte relatief laag. De resultaten van deze proeven zijn uitvoerig gerapporteerd door Janssen (1992). Van thermomechanisch geproduceerde pulp (ofwel TMP-pulp) van gekuilde hennep kon testpapier worden gemaakt met een scheursterkte van $4,4 \text{ mNm}^2/\text{kg}$ (bij een maalgraad van $58,4$ graden SR). De scheursterkte van het papier is negatief gecorreleerd met de maalgraad. TMP-pulp van verse hennep zou papier kunnen geven met een scheursterkte van ongeveer $17 \text{ mNm}^2/\text{kg}$ (bij een maalgraad van 40



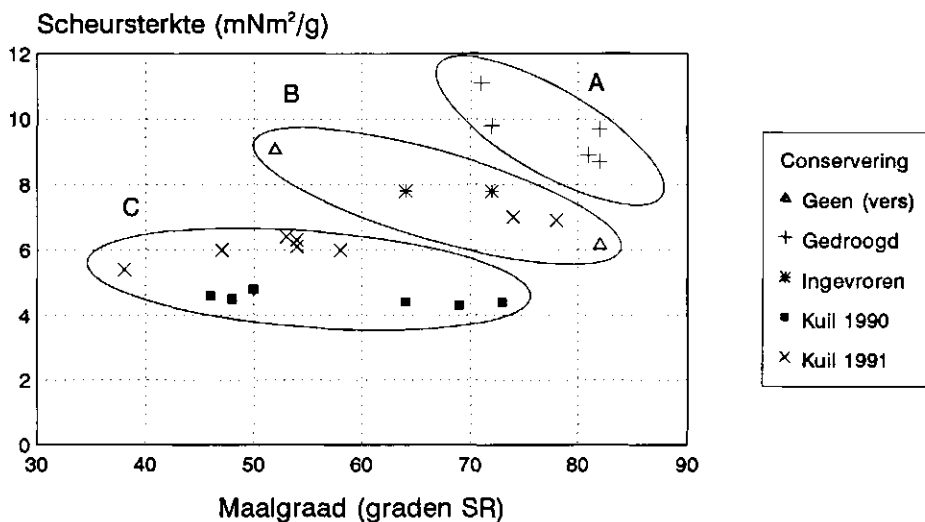
Figuur 15 Vezelsterkte van in potten ingekuilde bast, voor vier groepen conserverings-pH's en twee kuilperiodes (drie en zes maanden). De vezelsterkte van gedroogd en ingevroren bewaarde vezels (resp. bepaald na drie en zes maanden) is weergegeven met een stippe lijn.

Figure 15 Fibre strength of wet anaerobically preserved bast (in bottles), for four groups of preservation pH and two preservation periods (three and six months). The strengths of dry and frozen stored fibres (respectively determined after three and six months) is each given by a dotted line.

graden SR) en $10 \text{ mNm}^2/\text{kg}$ (bij een maalgraad van 60 graden SR) (Zomers e.a., 1991). In dezelfde proef was de scheursterkte van gekuilde hennep $5 \text{ mNm}^2/\text{kg}$ en $4 \text{ mNm}^2/\text{kg}$ bij maalgraden van resp. 40 en 60 graden SR. Hieruit bleek dat de sterkte van de bast laag was. Deze vezelafbraak was vermoedelijk veroorzaakt door het niet verdichten van de kuil (Lips, mondelinge mededeling, 1993²⁷). De pH varieerde hierdoor van 4,9 tot 7,3. De kuil in 1990 was echter wel verdicht en er was gedeeltelijk ook zuur toegevoegd. Deze zuurtoevoeging bij het inkuilen had wel een positief effect op de scheursterkte maar dit was zeer minimaal. Er was te weinig niet ingekuild uitgangsmateriaal overgebleven om er testpapier van te kunnen produceren, zodat het niet bekend is of alleen het inkuilen de oorzaak was van de slechte bastkwaliteit. Vermoedelijk waren de afbraakprocessen al op gang voordat de hennep werd ingekuild. De oogst was pas 23 oktober en op deze datum waren de stengels al afgestorven en verkleurd door diverse schimmels. Ook door rotten was de bastvezel op vele plaatsen losgekomen van de houtpijp.

Van de hennep uit de praktijkkuilen die in 1991 waren aangelegd, is ook TMP-pulp geproduceerd (Lips e.a., 1993). De scheursterkte was hoger dan in 1990 maar lager dan van ingevroren hennep. De volgorde van meest geschikte kuiltoevoeging op basis van een zo groot mogelijke scheursterkte was: natronloog > zout en neutraal > zuur (Foraform). Deze volgorde kwam overeen met de bastvezelsterkte. Echter de verschillen tussen de scheursterktes waren kleiner dan tussen de bastvezelsterktes. Het verpulpen

²⁷) S.J. Lips. ATO-DLO, Wageningen.



Figuur 16 Scheursterkte van TMP-pulpen van hennep die op verschillende wijze was bewaard (Lips e.a., 1993).

Figure 16 Tear index of TMP pulp of fibre hemp that was preserved in different ways (Lips e.a., 1993).

van de stengel vervlakte als het ware verschillen in bastvezelsterktes, mede omdat de bast slechts eenderde deel is van de stengel. De verdeling van het zuur in de kuil was zeer slecht. De pH van de kuil was gemiddeld 6,4, waardoor in deze kuil ongewenste omzettingen hebben plaatsgevonden. Een groot nadeel van het toevoegen van natronloog is, dat het testpapier van een TMP-pulp van basisch ingekuilde hennep een zeer lage witheid had. De witheid was overigens bij alle gekuilde hennepmaterialen lager dan bij niet ingekuilde hennep. Dit probleem zou gemakkelijk opgelost kunnen worden als een chemisch pulpproces gebruikt wordt omdat de hennep dan wordt gedelignificeerd. Bonarius (1991) leverde met het chemisch verpulpen van basisch ingekuilde hennep, een pulp waarvan even sterk papier gemaakt kon worden als van ingevroren hennep. De witheid was zelfs hoger door basisch inkuilen. De vereiste minimum dosering natronloog was 35 g per kg verse hennep. Het nadeel van chemisch verpulpen is dat de pulpopbrengst aanzienlijk lager is dan van een mechanisch proces (50 in plaats van 90%).

De resultaten van de scheurfactor van verschillende hennep-testpapiertjes zijn samenvattend weergegeven in figuur 16. Er is een verschil in scheurfactor tussen gedroogd bewaarde hennep (groep A in figuur 16) en ingevroren of vers geoogste hennep (groep B in figuur 16). De basisch ingekuilde hennep in 1991 valt in groep B en is ongeveer gelijkwaardig aan ingevroren of verse hennep. De andere kuilvarianten scoorden lager op basis van de scheurfactor (groep C). De kuilen in 1991 waren beter dan die in 1990.

3.4 Conclusies

Hennep is een moeilijker inkuilbaar produkt dan gras of maïs. Het doel van de conservering is het handhaven van de vezelkwaliteit. In de kuil moet een stabiel milieu gecreëerd

worden: zuur ($\text{pH} < 4,5$) of basisch ($\text{pH} > 10$). Door het gebrek aan voldoende suikers in hennep is vaak te weinig melkzuurvergisting in een hennepkuil om $\text{pH} = 4,5$ te bereiken. Daarom is het noodzakelijk dat suikers toegevoegd worden, eventueel samen met homofermentatieve melkzuurbacteriën, om een zo snel mogelijke verzuring in de kuil te krijgen. Het mee inkuilen van blad verhoogde weliswaar de hoeveelheid suikers en daarmee de hoeveelheid melkzuur in de kuil, maar het had geen effect op de pH. Voor zo weinig mogelijk verontreiniging van het vezelprodukt, kan het gewas dus beter worden ontbladerd bij de oogst. Ondanks de (relatief) neutrale kuilmilieus traden weinig bacteriologische afbraakprocessen op.

Natronloog in een kuil splitste acetylgroepen af van de hemicellulose en kon hemicellulose in oplossing brengen. Bij het wassen van de gekuilde hennep vóór het verpulpen ging veel materiaal verloren. Basisch conserveren is daarom niet geschikt voor een mechanisch pulpproces waarbij een hoog rendement moet worden gehaald. Het is noodzakelijk dat de keuze van het additief en de conservering afgestemd wordt op het pulpproces. Voor een goede basische conservering is een gelijkmatige dosering nodig van minstens 20 g natronloog per kg verse hennep. De resultaten van het inkuilonderzoek zijn geen aanleiding om te veronderstellen dat er cellulose, hemicellulose of lignine wordt afgebroken onder anaërobe omstandigheden.

De polymerisatiegraad van ingekuilde bast was soms lager dan van gedroogde bast. Dit betekent dat de celluloseketens in de kuil korter werden. Aangezuurde ingekuilde bastvezels ($\text{pH} < 4$) gaven de laagste polymerisatiegraad. De celluloseketen zou door zure hydrolyse korter worden. De waarden van de polymerisatiegraad geven over een basisch inkuilmilieu een wisselend positieve en negatieve beoordeling. De bastvezelsterkte is de meest directe kwaliteitsparameter van de bast. Deze daalde door het inkuilen. Een basisch milieu en in iets mindere mate een aangezuurd milieu handhaafden de bastvezelsterkte het beste. Deze resultaten kwamen niet overeen met wat op basis van de polymerisatiegraad werd geconcludeerd. Bij zelfs hele lage bastvezelsterktes bleef de polymerisatiegraad op een redelijk niveau (praktijkkuilgegevens van 1992). Het onderscheidend vermogen van de polymerisatiegraad van de bast is eigenlijk te klein om verschillende effecten van inkuilmilieus op de bastkwaliteit, waar te kunnen nemen. Geen of een verminderde activiteit van micro-organismen zou een oorzaak kunnen zijn van de hogere bastvezelsterktes bij basisch en aangezuurd inkuilen.

In papiertests met ingekuilde hennep bleek dat de scheursterkte afnam als gevolg van inkuilen. Basisch ingekuilde hennep benaderde de ingevroren en verse hennep het meest. In een kuil wordt de bastvezel aangetast (microbieel, zure hydrolyse). Hierdoor neemt de sterkte af en kan er van ingekuilde hennep minder sterk papier worden gemaakt dan van gedroogde hennep. De afbraak in de kuil is niet zo groot dat er cellulose of hemicellulose oplost. Verder onderzoek zal zich moeten richten op de relatie tussen conserveringsmilieu (pH), de elementaire structuur van de bastvezels en de bastvezelsterkte.

4 Het scheiden van de stengel in bast en hout

4.1 Inleiding

4.1.1 Algemeen

Het stengelmateriaal van vezelhennepe bestaat uit bast en hout. De bast zit aan de buitenkant van de stengel (buiten het cambium) en bestaat voornamelijk uit floëem. In het floëem liggen de zeefvaten en de bastvezels. Het hout vormt de kern van de stengel en is voornamelijk xyleemweefsel. Hierin zijn de houtvaten en houtvezels aanwezig. De bastvezels en de houtvezels verschillen zowel morfologisch (wat vezellengte betreft) als chemisch (Zomers e.a., 1991). De lengte van de bastvezels is gemiddeld 20 mm en varieert veel. Houtvezels zijn kort (5,5 mm). Zoals ook in hoofdstuk 3 duidelijk werd, bestaat het chemische verschil tussen bast en hout uit de opbouw van de hoeveelheden cellulose, hemicellulose en lignine. Gemiddeld bestaat bast uit 75% cellulose, 9% hemicellulose en 5% lignine en bij hout zijn de gehalten respectievelijk 40%, 24% en 22%.

Gezien bovengenoemde verschillen zijn beide vezelfracties twee aparte grondstoffen voor papierpulp. Dit betekent dat beide componenten van elkaar moeten worden gescheiden. Voor de plaats van de scheidingsbewerking in de keten zijn twee mogelijkheden. Allereerst kan de hennep gescheiden worden tijdens de oogst. Een tweede mogelijkheid is de gehakselde mix van vezels, net vóór het verpulpen, te scheiden in de fabriek. In het eerste geval moet het scheiden gezien worden als een deelbewerking van de oogstmethode, in het tweede als voorbereiding op het verpulpingsproces. Het is wellicht ook mogelijk na een maalbewerking het hout van de bast te scheiden. Deze mogelijkheid is in dit onderzoek niet meegenomen. Onderzoek naar en vergelijking van de eerste twee genoemde mogelijkheden moet uitwijzen welke methode, integraal gezien, de beste oplossing is. Bij de afweging zijn de volgende factoren van belang:

- bedrijfszekerheid,
- scheidingseffectiviteit,
- capaciteit en
- kosten.

4.1.2 Literatuur

Het winnen van lang vezelmateriaal bij gewassen, als vlas, kenaf en hennep, vereist dat het hout verwijderd wordt (onthouten). Deze bewerking berust bij de gangbare oogst- en verwerkingsmethoden voornamelijk op het principe van braken en zwingelen van gedroogde stengels, al dan niet voorafgegaan door een rootproces. Bij het roten breken enzymen pectines af, waardoor de bast gemakkelijker van de houtkern kan worden gescheiden. Pectine is een lijmstof die op de grens van bast en hout aanwezig is en die bij het indrogen deze twee stengeldelen aan elkaar klit. De totale oogst, handling en verwerking van de planten tot aan de schone vezel was erg arbeidsintensief, tijdrovend en dus ook duur. Dit heeft ertoe geleid dat in de twintigste eeuw het areaal vezelgewassen wereldwijd sterk is afgenomen.

Het mechanisch scheiden van bast en hout door de houten kern van de stengel te breken (braken) en vervolgens de gebroken houtdelen uit de lange vezel te verwijderen (zwingelen), is vermoedelijk ontstaan als een vervanging van het roten (Christian, 1818). De houten kern wordt gebroken door de stengels tussen getande rollensets door te voeren en vervolgens verwijderd door rollensets met slaglijsten. Aanvankelijk werd het principe gebruikt voor drooggeoogste stengels. Later is op lokale schaal ook geprobeerd om versgeoogst stengelmateriaal te scheiden in bast en hout, zodat minder materiaal (alleen de schone bast) getransporteerd en verder verwerkt (geroot) moest worden (Kirby, 1963; Makanjuola, 1973; Mazed en Roy, 1982). Van deze scheidingsbewerking zijn niet veel onderzoekresultaten bekend. Makanjuola (1973) verwijderde ruim 90% van het hout bij een gemiddelde capaciteit van 636 kg vers plantmateriaal (kenaf of roselle) per uur. De stengels moesten handmatig de machine worden ingevoerd. Hij concludeerde dat de scheiding beter was als eerst de top ingevoerd werd. De breedte van de machine was 36 cm en het beschikbare vermogen bedroeg 2,2 kW. Kirby (1963) stelde vast dat het moeilijk was een zeer schone bast te krijgen bij een hoge capaciteit. De maximale capaciteit van de machines die werden gebruikt, was naar huidige maatstaven zeer klein en bedroeg 250 stengels per minuut. Bij een plantdichtheid van 225 000 planten/ha waren 15 machine-uren per ha nodig. De benodigde vermogens werden niet genoemd. De stengels moesten met de hand worden ingevoerd. Het moeilijkst te verwijderen hout was te vinden bij de voet en aan de top van de stengel. De scheiding ging moeilijker bij een te ver afgestorven gewas. Een hoger drogestofgehalte was hiervan de belangrijkste oorzaak.

Vanaf de jaren zeventig zijn bij de hernieuwde aandacht voor vezelgewassen (in West-Europa, de Verenigde Staten en Australië) de mogelijkheden van een scheiding van bast en hout geïnventariseerd. Het scheiden van hennepstengels op het veld (via de braak- en zwingelmethode) is zowel in Frankrijk als in Italië op economische gronden niet kansrijk genoeg gebleken (Thomas, mondelinge mededeling, 1991²⁸; Pari, 1992). De bast zou ook nog na het hakselen van het hout gescheiden kunnen worden. In Italië en Australië is onderzoek gedaan naar de scheiding van drooggehakselde hennep en kenaf. De veld-droge stengels werden gehakseld in een hamermolen en de bast en het hout werden in een zeef van elkaar gescheiden. De fractie lange vezel (bast) bedroeg 27% met een houtgehalte van 10% (Bosia en Nisi, 1977). Deze scheidingsmethode wordt naar alle waarschijnlijkheid ook toegepast in de hennepverwerkende papierfabrieken in Frankrijk (Thomas, mondelinge mededeling, 1991²⁸). In Australië is een scheidingsinstallatie gepatenteerd om droog vezelmateriaal te scheiden in bast en hout. Dit scheidingsconcept bestaat ook uit het verpulveren van het stengelmateriaal, gevolgd door het zeven ervan (PCT, 1988).

Bij de oogst van kenaf met een maaihakselaar werd de bast enigszins van het hout gescheiden (Quick e.a., 1980). Bij een karakterisering van het gehakselde produkt werden drie fracties onderscheiden:

- a. hout waarvan de bast was afgestript,
- b. hout met de bast er nog aan en
- c. een gemengde fractie met voornamelijk bast, bloeiwijzen, zaad en blad.

²⁸) Gesprek met dhr. Thomas van het FNCP (Fédération Nationale des Producteurs de Chanvre, Parijs, 15 maart 1991.

Bij een haksellengte van 19 mm was de procentuele verdeling van de fracties a, b en c resp. 26,9; 6,7 en 66,5% en bij een haksellengte van 95 mm resp. 8,6; 54,5 en 36,8%. Hieruit blijkt dat bij een kleinere haksellengte de hoeveelheid hout waar bast aanzat, kleiner was. Dit betekent dat een kleine haksellengte gewenst is om het produkt na het hakselen goed te kunnen scheiden in een bast- en houtgedeelte. James en McCamley (1981) concludeerden uit oriënterende proeven met het verkleinen van gehakselde kenafstengels dat een scheiding in bast en hout goed mogelijk moet zijn. Zij stelden voor om een molen, die gebruikt werd om zaden te onthullen, te voorzien van een rotor met vrij bewegende hamers. Tegen een geriffelde zijwand zou de bast van de houten kern-deeltjes geschrapt kunnen worden. Het voordeel van de geriffelde zijplaat zou zijn dat, in vergelijking met een hamermolen, ook nat vezelmateriaal verwerkt kan worden.

4.1.3 Doel

In het kader van het onderzoekprogramma naar de verwerking van hennepvezels tot papier, is de scheiding van bast en hout onderzocht. Hiervoor bleken twee alternatieven het meest reëel. Bij het eerste alternatief zou de scheidingsbewerking tijdens de oogst kunnen plaatsvinden (op het veld). Op het bedrijf zouden de twee verschillende vezelfracties dan gescheiden opgeslagen moeten worden. In dit geval is dus sprake van decentrale scheiding van verse hennepstengels. Bij de tweede mogelijkheid is dat duidelijk anders, namelijk gecentraliseerde scheiding na opslag. Na de oogst met een maaihakelaar wordt de hennep eerst opgeslagen (ingekuuld). Nadat het uit de kuil is gehaald (en naar de pulpfabriek getransporteerd), wordt deze gehakselde vezelmix gescheiden in bast en hout. De scheiding zou dan een voorbereidingsstap zijn voor een verpulpsingsproces.

Van beide mogelijkheden is een onderzoek opgezet om de technische haalbaarheid in te schatten. Tenslotte is geïnventariseerd wat de economische consequenties zijn voor beide scheidingsvarianten. Op basis van de technische en de economische analyse zal een afweging gemaakt worden wat de beste optie is. Deze keuze zal een grote invloed hebben op de oogst- en opslagketen, omdat die in grote mate zowel de plaats van de scheidingsbewerking bepaalt als de aard van het produkt, zoals het aangeboden moet worden aan de scheidingsinstallatie.

4.2 Het scheiden van hele stengels in bast en hout in het veld

4.2.1 Materialen en methoden

4.2.1.1 Proefveld en proefmachine

Voor de scheidingsproeven waren in het jaar 1991 en 1992 proefvelden aangelegd met twee rassen en twee plantdichtheden. De gemiddelde plantdichtheden van de proefvelden zijn vermeld in tabel 27.

Voor het scheidingsonderzoek is een prototype ingezet, dat in 1987 in Frankrijk was gebouwd om velddroge hennepstengels in het veld te scheiden in bast en hout. Voor de

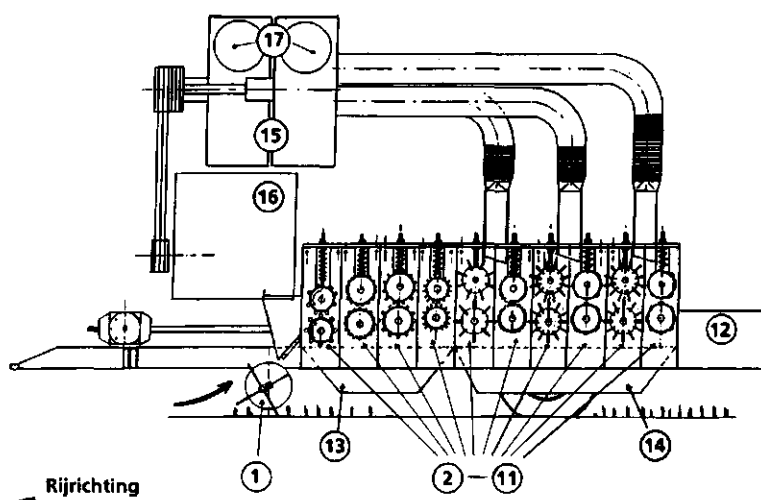
Tabel 27 Gemiddelde plantdichtheid (planten/m²) en stengeldiameter (mm) op 1,5 m planthoogte, in twee oogstseizoenen na 120 groeidagen, van twee rassen en bij twee zaaidichtheden.

Table 27 Average plant density (plants/m²) and stem diameter (mm) at 1.5 m above ground level, in two years after 120 growing days, with two varieties and two sowing rates.

Jaar	Ras	Hoge zaaidichtheid		Lage zaaidichtheid	
		Dichtheid (planten/m ²)	Diameter (mm)	Dichtheid (planten/m ²)	Diameter (mm)
1991	Fedrina 74	75	6,6	45	8,0
	Kompolti Hybrid TC	55	7,1	30	10,3
1992	Futura 77	100	6,5	35	8,4
	Kompolti Hybrid TC	65	8,9	20	12,6

Legenda

- 1 Opraper
- 2 Invoer
- 3 t/m 5 Braakgedeelte
- 6 t/m 10 Zwingelgedeelte
- 11 Uitvoer
- 12 Opvangbak voor de bast
- 13 Opvangbak voor het hout onder het braakgedeelte
- 14 Opvangbak voor het hout onder het zwingelgedeelte
- 15 Ventilatoren
- 16 Stationaire motor
- 17 Uitwerpopeningen van de ventilatoren voor de opvang van het hout dat werd afgezogen



Figuur 17 Doorsnede van het prototype om hennepstengels te scheiden op het veld.

Figure 17 Transverse profile of the prototype hemp decorticator.

proeven in 1991 werden geen noemenswaardige veranderingen aangebracht (Wolters, 1991). In 1992 is een andere opraper gemonteerd, een extra zwingelset en een afzuigsysteem voor het hout dat door de zwingels naar boven werd weggeslagen (Voskens, 1992). Een doorsnede van de machine, zoals deze in 1992 is beproefd, is weergegeven in figuur 17. In tabel 28 zijn enkele specifieke afmetingen van sommige machinedelen vermeld (toerental, diameter, omtreksnelheid en bijzonderheden). Het scheiden bestond uit vier stappen, nl. de invoer, het braken, het zwingelen en de afvoer. Met de opraper (1) werden de stengels vanaf de grond naar de invoerrollen (2) gebracht en tussen deze invoerrollen door vervolgens naar drie braaksets (3, 4 en 5). Elke braakset bestond uit twee geprofileerde rollen, waartussen de houten kern van de stengels gebroken werd. Door zijn sterkte en flexibiliteit bleef de bast hierbij in tact. De uitwendige diameter van de braakrollen was 28 cm. Door het verschil in profieltype (driehoekig of rechthoekig) en profieldiepte nam de intensiteit van het braken van set tot set toe. Het braken werd gevolgd door het zwingelen.

Bij het zwingelen sloegen de zwingelrollen de gebroken houten stengeldeeltes tussen de bast uit. Dit gebeurde zowel van onderaf als van bovenaf en werd in hoofdzaak veroorzaakt door het verschil in de doorvoersnelheid door de machine (bepaald door de omtreksnelheid van de braakrollen en de vasthoudrollen) en de omtreksnelheid van de zwingelrollen. De snelheid waarmee de slaglijsten langs de bast schraapten, was drie tot vier keer groter dan de gemiddelde doorvoersnelheid van ongeveer 3 m/s. Het zwingelgedeelte begon in principe al bij de laatste braakset (5) en bestond verder uit een zwingelset (6) en twee combinaties van een set met vasthoudrollen (7 en 9) en zwingelrollen (8 en 10). Elke vasthoudrol was zeer fijn geribd om de stengels stevig vast te kunnen klemmen, zodat deze niet meteen door de sneldraaiende zwingelrollen de machine uit

Tabel 28 Gegevens van de tien rollensets van de scheidingsmachine.

Table 28 Data of the ten roller sets of the hemp decorticator.

Nr	Naam	Diameter (cm)	Toerental (tpm)	Omtreksnelheid (m/s)	Bijzonderheden walsvorm
2	Invoerset	26	192	2,6	Niet stengelbrekend profiel
3	Eerste braakset	25	200	2,6	Grof stengelbrekend profiel (>2 cm)
4	Tweede braakset	29	172	2,6	Matig stengelbrekend profiel (2 cm)
5	Derde braakset/ eerste vasthoudset	21	238	2,6	Fijn stengelbrekend en klemmend profiel (1 cm)
6	Eerste zwingelset	30	540	8,5	8 slaglijsten
7	Tweede vasthoudset	22	238	2,7	Zeer fijn klemmend profiel
8	Tweede zwingelset	30	740	11,6	12 slaglijsten
9	Derde vasthoudset	22	267	3,1	Zeer fijn klemmend profiel
10	Derde zwingelset	30	790	12,4	12 slaglijsten
11	Uitvoerset	22	290	3,3	Zeer fijn klemmend profiel

werden gevoerd. Een zwingelrol bestond uit acht of twaalf slaglijsten die op een as gemonteerd waren. De onderrol van elke zwingelset en de bovenrol van de eerste zwingelset waren vast in het frame gemonteerd. De hoogte van de andere bovenste zwingelrollen kon (bij stilstand) zo worden ingesteld dat de slaglijsten van de onder- en bovenrol in elkaar grepen. Deze overlap kon variëren van 0 tot 5 cm.

Voor de afvoer van de bast was op het eind van de machine een uitvoerset (11) aanwezig die de geschoonde bastlinten overnam van de laatste zwingelset en vervolgens uitvoerde naar een opvangbak (12). Net als bij alle braak- en vasthoudsets, werd de bovenste rol van de uitvoerset met veren op de onderste rol gedrukt. Afhankelijk van de laagdikte die door de machine gevoerd werd, konden deze rollen tegen de veerdruk in, omhoog bewegen. Het hout kwam vrij onder het braakgedeelte en onder en boven het zwingelgedeelte. Het gedeelte dat reeds in het braakgedeelte vrijkwam, werd opgevangen in het zeil onder de braakrollen (13) en het gedeelte dat door de zwingelwalsen naar onder werd weggeslingerd, werd verzameld in het zeil onder het zwingelgedeelte (14). Het hout dat naar boven werd geslingerd, werd meegenomen in een luchtstroom die opgewekt werd door twee ventilatoren (15). Een dieselmotor (16) die voorop de scheidingsmachine stond, dreef deze ventilatoren aan. Over de halve breedte van de machine zoog elke ventilator de houtdeeltjes af van de drie zwingelsets. Aan beide ventilatoruitstroomopeningen (17) hing een zeefzak, waarin het hout verzameld werd. Door het toerental van de opgebouwde motor te veranderen, kon de luchtsnelheid in de zuigmonden boven de drie zwingelsets, variëren van 0 tot 9,6 m/s. De produktstroom van het scheidingsproces is in figuur 18 schematisch weergegeven.

Met de omschreven proefmachine was het mogelijk om de efficiëntie van een scheidingsbewerking te onderzoeken, waarbij gemaaid stengels (vers of veldgedroogd) gescheiden moesten worden in een bast- en houtgedeelte. De invloed van de volgende factoren op het scheidingsresultaat zijn bestudeerd:

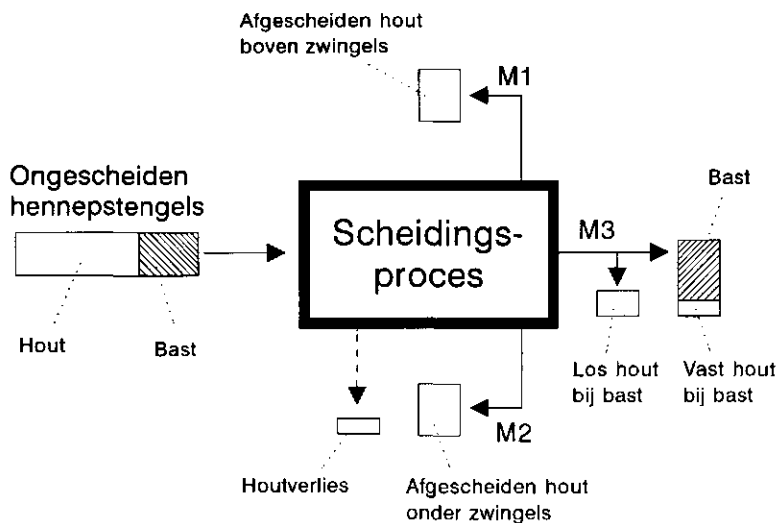
- Zwingelintensiteit:
 - afstelling zwingelwalsen (de mate van overlap van bovenste en onderste zwingelrol);
 - aantal slaglijsten per zwingelrol;
 - aantal zwingelsets;
- Houtafscheiding:
 - verloop van de houtafscheiding van de eerste tot en met de derde zwingelset;
 - luchtsnelheid afzuiginstallatie;
- Capaciteit:
 - laagdikte van de hennepstengels in de machine.

Bij elke proef werden de volgende instellingen en/of bepalingen gedaan:

- de rijsnelheid;
- het toerental van de stationaire motor;
- de drogestofgehaltes van bast en hout;
- het aansluiten van het aantal monden voor het afzuigen van het hout en
- het afstellen van de zwingeldiepte.

Een proef bestond uit vier runs waarbij het volgende werd gemeten:

- de massa van de hoeveelheid in beide zeefzakken (17) en in beide zeilen (13 en 14) verzameld hout (in totaal is dit de hoeveelheid afgescheiden hout en is in figuur 18 schematisch weergegeven als M1 en M2);
- de hoeveelheid hout die nog vastzat aan de bast (het gemiddelde van drie monsters van elk tien gezwingelde bastlinten uit de bastopvangbak) en



Figuur 18 Schema van de produktstroom bij het braken en het zwingelen.

Figure 18 Schematic view of the product flow of the decortication process.

- de massa van de hoeveelheid in de bastopvangbak (12) verzameld vezelmateriaal (bast en hout, M3 in figuur 18).

4.2.1.2 Berekeningswijze scheidingsresultaat

De totale hoeveelheid hout in de bastopvangbak bestond uit een losse hoeveelheid hout en een hoeveelheid hout die nog vastzat aan de bast. In de veldproeven was het niet uitvoerbaar om deze hoeveelheden afzonderlijk te meten. Met behulp van de eerdergenoemde metingen en het doen van enkele aannames was het wel mogelijk om deze hoeveelheden te berekenen. In tabel 29 is de totale berekeningsprocedure in het kort weergegeven. Met behulp van het bastaandeel in de stengel was het mogelijk de afzonderlijke hoeveelheden hout en bast te berekenen (formule 1). Het bastaandeel in de stengel is de hoeveelheid bast als gewichtsperscentage van de totale stengelhoeveelheid (op ds-basis); in eigen bepalingen bedroeg deze 33 en 37% bij resp. Futura 77 en Kompolti Hybrid TC. In teeltproeven was het bastaandeel bij beide rassen ongeveer 3% lager (van der Werf, 1993⁸). De manieren waarop deze bastgehalten zijn bepaald, verschilden. Omdat de eigen bepalingen uitgevoerd zijn overeenkomstig de manier waarop de stengels worden gescheiden met het braak- en zwingelproces, is aangenomen dat deze in dit kader realistischer zijn. Vermoedelijk is bij de bast ook parenchymweefsel en ander schorsmateriaal meegerekend, waardoor de waarden iets hoger liggen dan uit teeltonderzoek naar voren is gekomen.

Het bastaandeel in de stengel (*bastaandst*) is bepaald op drogestofbasis. Omdat bij de scheidingsproeven alleen de verse massa's van de opgevangen hoeveelheden bast en hout zijn gemeten, moest een correctie worden toegepast voor de verschillende drogestofgehalten van bast en hout en voor het hout dat tijdens de scheiding verloren ging (formule 2). Het gecorrigeerde bastaandeel in de stengel (*bastaandst'*) geeft het verband weer tussen de totaal opgevangen hoeveelheid vezelmateriaal (*uitvoer*) en de hoeveel-

Tabel 29 Formules voor de berekening van de hoeveelheden hout en bast (in kg ds) na scheiding op het veld.

Table 29 Formula to calculate the quantity of core and bast (in kg of dry matter) after decortication in the field.

$$bast_{nat} = bastaandst' * uitvoer \quad hout_{nat} = \frac{uitvoer - bast_{nat}}{1 - verfrac} \quad (1)$$

$$met: \quad bastaandst' = \frac{bastaandst * ds_{hout}}{ds_{bast} + bastaandst * (ds_{hout} - ds_{bast}) - verfrac * ds_{bast} * (1 - bastaandst)} \quad (2)$$

$$bast_{dr} = bast_{nat} * ds_{bast} \quad hout_{dr} = hout_{nat} * ds_{hout} \quad hout_{dr,afgesch} = hout_{nat,afgesch} * ds_{hout} \quad (3)$$

$$hout_{dr,vast} = vasthoutaand * bast_{dr} \quad (4)$$

$$hout_{dr,los} = (1 - verfrac) * hout_{dr} - hout_{dr,afgesch} - hout_{dr,vast} \quad (5)$$

$$houtbijbast = \frac{hout_{dr,los} + hout_{dr,vast}}{bast_{dr}} \quad (6)$$

Met: $bast_{nat}$	= ingevoerde hoeveelheid verse bast (kg),	
$bast_{dr}$	= ingevoerde hoeveelheid bast (kg ds),	
$bastaandst$	= bastaandeel in de stengel (kg bast per kg ingevoerde stengel, op ds-basis),	[aannname op basis van eigen bepalingen]
$bastaandst'$	= gecorrigeerde bastaandeel in de stengel (kg bast per kg uitvoer, op versgewichtbasis),	
ds_{bast}	= drogestofgehalte van de bast (kg ds per kg vers),	[gemeten]
ds_{hout}	= drogestofgehalte van het hout (kg ds per kg vers),	[gemeten]
$hout_{nat}$	= ingevoerde hoeveelheid vers hout (kg),	
$hout_{dr}$	= ingevoerde hoeveelheid hout (kg ds),	
$hout_{nat,afgesch}$	= hoeveelheid afgescheiden hout (kg),	[gemeten]
$hout_{dr,afgesch}$	= hoeveelheid afgescheiden hout (kg ds),	
$hout_{dr,los}$	= hoeveelheid los hout in de bastopvangbak (kg ds),	
$hout_{dr,vast}$	= hoeveelheid vast hout in de bastopvangbak (kg ds),	
$houtbijbast$	= hout in de bastopvangbak (kg hout per kg bast, op ds-basis),	
$uitvoer$	= hoeveelheid opgevangen materiaal (M1+M2+M3 in figuur 18, in kg),	[gemeten]
$vasthoutaand$	= vast hout aan de bast, na scheiding (kg ds hout per kg ds bast),	[gemeten]
$verfrac$	= verliesfractie van het hout tijdens het scheidingsproces (kg per kg ingevoerd hout).	[aannname op basis van stationaire scheidingsproeven]

heid bast op versgewichtbasis. De afleiding van deze gecorrigeerde waarde voor het bastaandeel staat beschreven in bijlage J. Van de houtverliezen die optraden in het veld, zijn met behulp van stationaire scheidingsproeven schattingen gemaakt. Hiervoor werd bij elke run zowel de totale invoer gemeten als de hoeveelheid los hout in de bastopvangbak. De houtverliezen varieerden hierbij van 5 tot 12% en waren afhankelijk van de intensiteit van het afzuigen. Aangenomen is dat de verliezen bij de stationaire proeven ook in het veld optraden. De hoeveelheid bast die bij het hout terechtkwam was verwaarloosbaar klein.

Uit de drogestofmassa's van de ingevoerde hoeveelheden hout en bast en van de hoeveelheid afgescheiden hout (formule 3) kon allereerst de hoeveelheid hout berekend worden die niet van de bast was afgezwingeld (formule 4). Uit monsters van de gezwingelde bast is bepaald hoeveel hout nog vast was blijven zitten (*vasthoutaand*). Vervolgens kon ook de hoeveelheid los hout worden uitgerekend die bij de bast werd opgevangen (formule 5). Behalve het *vasthoutaand*, waarmee het zwingelproces is te beoordelen, bepaalt ook de totale hoeveelheid hout bij de bast (*houtbijbast*) of de scheiding doeltreffend is of niet (formule 6).

4.2.2 Resultaten en discussie

4.2.2.1 Zwingelintensiteit

De zwingels moesten het hout van de bast losmaken en verwijderen. De intensiteit van de zwingelbewerking werd bepaald door het aantal klappen per stengellengte en de slag van elke klap. Bij de scheidingsmachine kon het verschil in omtreksnelheid van de zwingelrollen en vasthoudrollen niet gevarieerd worden. De zwingelintensiteit was daarom alleen afhankelijk van het aantal zwingelsets, het aantal slaglijsten per zwingelrol en de mate van overlap tussen de bovenste en de onderste zwingelrol. In 1991 waren op de machine 2 zwingelsets aanwezig waarbij het gemiddelde aandeel vast hout 0,22 kg ds per kg ds bast ($\sigma = 0,06$ kg) bedroeg. In 1992 is met 3 zwingelsets gewerkt waarbij een gemiddelde bereikt werd van 0,18 kg ds vast hout per kg ds bast ($\sigma = 0,04$ kg). Dit laatste betekent ook dat gemiddeld 89% van alle hout werd losgemaakt. Er was een grotere daling van de hoeveelheid vast hout verwacht door het toevoegen van een extra zwingelset. Het is gebleken dat vooral de houtdelen aan het einde van de stengel (het gedeelte dat het laatst de machine werd ingevoerd) het moeilijkst te verwijderen waren. Bij het zwingelen kon dit laatste stengelgedeelte niet vastgehouden worden en ontsnapte aan de klappen van de zwingelrollen. Omdat de stengel aan de voet dikker is en het hout gemakkelijker van de bast af te halen is, is het waarschijnlijk efficiënter om eerst de toppen van de stengels in te voeren. Dit gedeelte wordt dan beter gezwingeld dan wanneer de voet van de stengel eerst wordt ingevoerd. Makanjuola (1973) was ook tot deze conclusie gekomen bij het scheiden van kenaf en roselle. Het voordeel van de derde zwingelset was het realiseren van een gelijkmatiger scheidingsproces. Bij 3 zwingelstappen kon de intensiteit gelijkmatiger worden verhoogd dan bij 2 zwingelstappen. Hierdoor was de maximaal te bereiken capaciteit in 1992 hoger dan in 1991.

Uit de proeven is naar voren gekomen dat geschoonde bastlinten zich gemakkelijk wikkelen rond zwingelwalsen met acht slaglijsten. Wikkelp Problemen zijn nauwelijks opgetreden toen voor de tweede en derde zwingelsets rollen gebruikt werden met twaalf slaglijsten. Omdat de zwingelintensiteit bij twaalf slaglijsten hoger was, bleef er minder hout aan de bast vastzitten. Ook door de overlap van de onderste en bovenste zwingelwals te vergroten (van 2 naar 4 cm), bleef er minder hout vastzitten aan de bast. Bij de eerste proeven in 1991 kon het vasthoutaandeel met eenderde worden vermindert (tabel 30). Het niveau is nog verder naar beneden gehaald door een grotere overlap van de onderste en de bovenste zwingelrol. Overigens kon het hout bij Kompolti Hybrid TC gemakkelijker worden losgemaakt dan bij Fedrina 74. Gedeeltelijk was dit omdat bij Kompolti Hybrid TC meer dikke stengels aanwezig waren (vergelijk tabel 27). Dikke sten-

Tabel 30 Hoeveelheid vast hout aan de bast (kg per kg bast op ds basis) bij twee rassen en twee types zwingelrollen (met acht en twaalf slaglijsten), in 1991. Het aantal metingen (n) en de standaardafwijking (σ) zijn tussen haakjes vermeld.

Table 30 *Quantity of core, stuck to the bast, (kg per kg bast on dm basis) with 2 varieties and two types of decortication drums (with eight or twelve beat wings), in 1991. The number of measurements (n) and the standard deviation (σ) are given in parentheses.*

Aantal lijsten per zwingelrol	Fedrina 74	Kompolti Hybrid TC
8	0,56 (n=12, σ =0,09)	0,49 (n=9, σ =0,08)
12	0,33 (n=12, σ =0,04)	0,25 (n=9, σ =0,06)

gels waren gemakkelijker te scheiden dan dunne omdat de houtpijp hiervan sneller brak (bij een geringere buiging) en ook in grotere stukken. De zwingelrollen konden deze grotere houtdelen makkelijker uit de bastlinten wegslaan.

Terwijl een gewas afrijpt, stoppen de sapstromen. Hierdoor drogen de hennepstengels in en klit de bast als het ware vast aan de houtpijp. Het scheiden van bast en hout ging dan veel moeilijker. Fedrina 74 rijpte sneller af dan Kompolti Hybrid TC, waardoor niet alleen de kleinere stengeldikte, maar ook de hechtere verbinding tussen bast en hout, verklaart waarom bij Fedrina 74 meer hout aan de bast bleef vastzitten. In een proef met het scheiden van velddroge hennepstengels (69% ds) en verse hennepstengels (39% ds) was het vasthoutaandeel van de velddroge bast 0,47 kg ds per kg ds bast en van de verse bast slechts 0,20 kg ds per kg ds bast. Dit bevestigt dat (veld)droge stengels moeilijker te scheiden zijn.

4.2.2.2 Houtafscheiding

Bij het onderzoek in 1992 is met behulp van een afzuiginstallatie boven de zwingelsets onderzocht hoeveel hout daadwerkelijk kon worden verwijderd bij het zwingelen. In tabel 31 zijn de massa's vermeld van de hoeveelheden hout (% van de totale hoeveelheid hout) die op verschillende plaatsen werden opgevangen bij verschillende rijsnelheden. Het hout van de stengel verliet op vijf plaatsen de scheidingsmachine. Bij een ideale werking van de machine zou alle hout verzameld worden boven en onder de zwingelsets. Dit was niet het geval. In totaal kwam op deze plaatsen 54 tot 66% van alle hout terecht (tabel 31), afhankelijk van de rijsnelheid. Bij een hogere rijsnelheid werd minder hout opgevangen dan bij een lagere. Dit werd vooral veroorzaakt door het slechter losmaken van het hout. Vooral bij Futura 77 nam de hoeveelheid 'vast hout aan de bast' toe bij een hogere snelheid. De verliespercentages in de tabel zijn aangenomen waarden. Omdat alleen de intensiteit van het afzuigen het verlies beïnvloedde, kon het verliespercentage bij de rijsnelheidsproeven wel constant verondersteld worden.

Bij het verhogen van de rijsnelheid kwam ongeveer 10% van de totale houtmassa extra bij de bast terecht. Het doel van de scheiding is om een zo schoon mogelijke bast te oogsten. De hoeveelheid hout in de bastafvoer is een soort verontreiniging. Om te illustreren hoe schoon de bast was, is in figuur 19 de houtverontreiniging voor beide rassen bij vier verschillende rijsnelheden uitgezet. Omdat bij een hogere rijsnelheid meer hout werd opgevangen in de bastafvoer, werd ook de houtverontreiniging groter; van gemid-

Tabel 31 Hoeveelheid hout (% van de totale houtmassa), opgevangen op verschillende plaatsen op de scheidingsmachine, bij twee rassen en vier rijsnelheden (0,3; 0,4; 0,7 en 1,1 m/s).

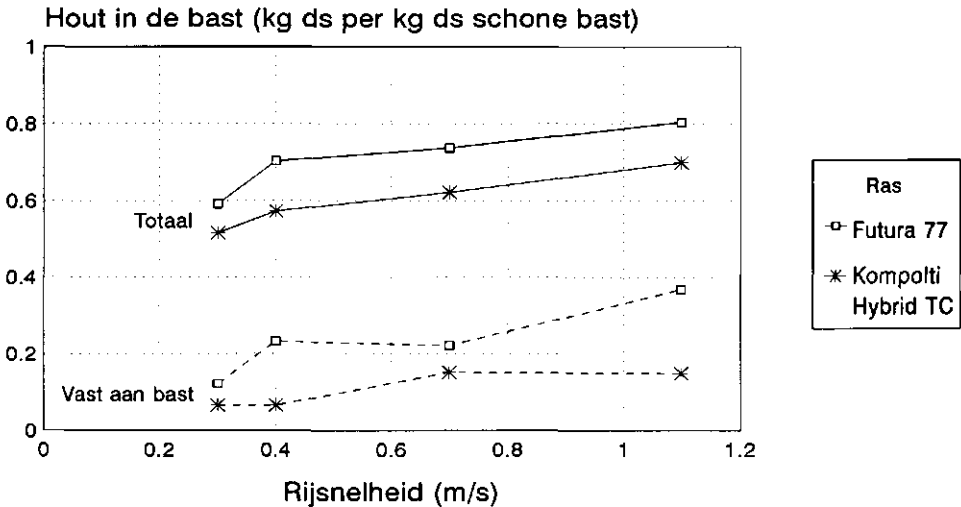
Table 31 Quantity of core (% of the total core mass), appearing at different locations on the decorticator, with two varieties and 4 driving speeds (0.3, 0.4, 0.7 and 1.1 m/s).

Plaats van de houtopvang	Futura 77 (35 planten/m ²)				Kompolti Hybrid TC (20 planten/m ²)			
	0,3 m/s	0,4 m/s	0,7 m/s	1,1 m/s	0,3 m/s	0,4 m/s	0,7 m/s	1,1 m/s
Boven zwingelsets	31	28	27	25	27	28	25	24
Onder zwingelsets	35	33	32	31	37	33	33	30
Los hout in uitvoerbak	23	23	25	21	27	30	28	32
Vast hout aan bast in uitvoerbak	6	11	11	18	4	4	9	9
Houtverlies ²⁹⁾	5	5	5	5	5	5	5	5

²⁹⁾ Berekend op basis van stationaire scheidingsproeven (zie 4.2.1.2).

deld 0,56 tot 0,75 kg ds per kg ds bast. Bij Futura 77 was ongeveer 0,08 kg ds hout per kg ds bast meer aanwezig dan bij Kompolti Hybrid TC. Er was te veel hout bij de bast. Voor een goed scheidingsresultaat moet er eigenlijk minder dan 0,10 kg ds hout per kg ds bast zijn.

Een hennepstengel bestaat uit ongeveer 35% bast en 65% hout. Bij het zwingelen moest het hout, dat het grootste deel van de totale stengelmasa is, worden verwijderd. Globaal lukte dit voor 65%. De resterende 35% is in verhouding tot de hoeveelheid bast nog erg groot en zorgde voor een grote verontreiniging van de bast.



Figuur 19 Invloed van de rijsnelheid op de hoeveelheid hout in de bastafvoer (kg ds per kg ds bast) bij twee rassen.

Figure 19 Effect of the driving speed on the quantity of core in the bast output (kg of dm per kg of bast dm) with two varieties.

Invloed van het afzuigen op de houtafscheiding

Om een beter inzicht in het proces te krijgen, is de afvoer van het hout nader onderzocht. Op de machine bestond de mogelijkheid om de afzuigmonden af te sluiten. Zo zijn verschillende proeven gedaan in Futura 77 waarbij alleen het aantal aangesloten afzuigmonden varieerde. In totaal waren er drie afzuigmonden: afzuigmond 1 boven zwingelset 1, afzuigmond 2 boven zwingelset 2 en afzuigmond 3 boven zwingelset 3. Er zijn scheidingsproeven uitgevoerd met alle zuigmonden aangesloten, alleen de eerste twee aangesloten, alleen de eerste aangesloten en ten slotte zonder afzuiging. Als niet afgezogen werd, werd boven de zwingelsets logischerwijs geen hout opgevangen. Hoe minder hout boven de machine werd afgevangen, des te meer hout kwam er onder de machine terecht (tabel 32). Hierbij moet overigens vermeld worden dat een aanname gemaakt is voor het verloop van het houtverlies bij het afsluiten van de afzuigmonden (zoals uitgelegd is in 4.2.1.2). In figuur 20 is de afvoer van het hout grafisch weergegeven bij de verschillende afzuigintensiteiten. De hoeveelheden 'los hout in uitvoerbak' en 'vast hout aan bast in uitvoerbak' uit tabel 32, zijn in figuur 20 gesommeerd tot 'hout in bastafvoer'.

In deze proef bleek dat het afzuigen van het hout boven de zwingels niet zo'n groot effect had op de hoeveelheid hout die bij de bast werd opgevangen. Er was zonder afzuiging weliswaar iets meer hout bij de bast, maar de hoeveelheid hout onder de zwingels nam veel meer toe. We kunnen hieruit concluderen dat het grootste gedeelte van het hout dat naar boven werd weggeslingerd, onder de zwingels terechtkwam, als dit niet werd afgezogen.

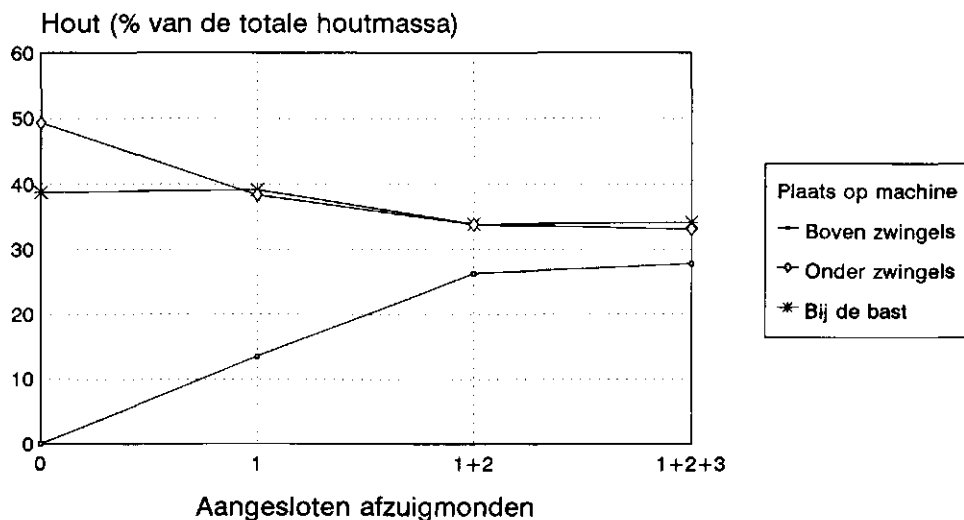
Het veranderen van de luchtsnelheid in de afzuigmonden was een andere manier om de afzuigintensiteit te veranderen. De maximale luchtsnelheid was 9,6 m/s. Deze was twee keer zo hoog als de luchtsnelheid die nodig was om houtdeeltjes van verse hennepstengels te doen zweven (de zogenaamde zweefsnelheid). In de veldproeven werd het resultaat van de scheiding niet beïnvloed zolang de luchtsnelheid groter was dan 4 m/s. Zodra de luchtsnelheid hieronder dook, werd er boven de zwingels minder hout afgevangen,

Tabel 32 Hoeveelheid hout (% van de totale houtmassa), opgevangen op diverse plaatsen op de scheidingsmachine bij een verschillend aantal aangesloten afzuigmonden (0, 1, 2 of 3).

Table 32 Quantity of core (% of the total core mass), appearing at several locations of the decorticator with a different number of suction mouths (0, 1, 2 or 3).

Plaats op machine	Aangesloten zuigmonden			
	geen	1	1+2	1+2+3
Boven zwingelsets	0	14	26	28
Onder zwingelsets	49	38	34	33
Los hout in uitvoerbak	29	28	25	23
Vast hout aan bast in uitvoerbak	10	11	9	11
Verlies ³⁰⁾	12	9	6	5

³⁰⁾ Berekend op basis van stationaire scheidingsproeven (zie 4.2.1.2).



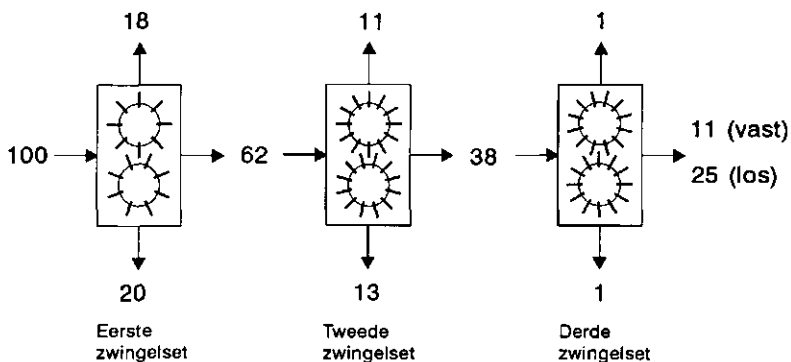
Figuur 20 Hoeveelheid hout (% van de totale houtmassa), opgevangen op diverse plaatsen op de scheidingsmachine bij een verschillend aantal aangesloten afzuigmonden (0, 1, 2 of 3).

Figure 20 Quantity of core (% of the total core mass), appearing at several locations of the decorticator with a different number of suction mouths (0, 1, 2 or 3).

maar kwam er onder de zwingels meer terecht. Dit is ook overeenkomstig het beeld dat te zien was bij het afsluiten van de afzuigmonden. Uit deze gegevens mag aangenomen worden dat, met een luchtsnelheid van 9,6 m/s in de afzuigmonden, een zeer ruime afzuigcapaciteit aanwezig was en dat alle deeltjes die vrij naar boven werden weggeslingerd, ook werden afgezogen. Dit betekent dat een gemiddeld overzicht te maken is van de scheidingseffectiviteit van het zwingelproces.

Houtafscheiding per zwingelset

Uit de proef met het afsluiten van de zuigmonden is afgeleid dat de verhouding van de hoeveelheden naar boven afgevoerd hout bij de eerste, de tweede en de derde zwingelset 18:11:1 was. Aangenomen wordt dat deze verhouding hetzelfde is voor het



Figuur 21 Schematische voorstelling van de houtafscheiding door de drie zwingelsets. De cijfers vermelden de hoeveelheden hout in gewichtsprocenten.

Figure 21 Schematic view of the decortication process in the three beater sets. The figures are the quantities of wood as dry matter percentages.

gedeelte dat naar onderen werd afgevoerd. De hoeveelheid hout onder de machine was gemiddeld 13% groter dan de hoeveelheid hout boven de machine. Gemiddeld kwam 36% van het totaal aanwezige hout in de bast terecht. Deze gegevens laten het houtafscheidingsplaatje zien dat schematisch is afgebeeld in figuur 21.

De hoeveelheid hout die bij de eerste zwingelset aankwam, is op 100% gesteld. Hiervan werd in totaal 38% verwijderd en ging 62% door naar de tweede zwingelset. Hiervan sloeg de tweede zwingelset 24% weg en kwam 38% ten slotte aan bij de derde zwingelset. De effectiviteit van een zwingelset kan uitgedrukt worden als de verhouding van de hoeveelheid hout die naar boven en naar onder werd weggeslingerd ten opzichte van de hoeveelheid die werd aangevoerd. Bij de eerste en de tweede zwingelset was de effectiviteit respectievelijk 38 en 39%. Van de derde echter was de effectiviteit slechts 5%. Dit betekent dat het niet zinvol zou zijn om meer zwingelsets te monteren. Hiermee zou de afscheiding nauwelijks verbeterd kunnen worden. Tweederde van de hoeveelheid hout die in de bastaafvoer werd teruggevonden, was echter wel losgemaakt van de bast en zou - op een andere manier dan zwingelen - van de bast gescheiden kunnen worden. Oriënterend is hiervoor een trillende zeefband gebruikt. In enkele stationaire proeven zijn stengels door de scheidingsmachine gevoerd (zonder houtafzuiging) en is de vezel-massa die achter uit de uitvoerrollen kwam, opgevangen op een trillende zeefband. De lengte van de band was 2,6 m, de bandsnelheid was 1 m/s en de ruimte tussen de spijlen was 1,5 cm. Globaal werkte deze methode zeer goed en er kon bereikt worden dat 14% extra hout kon worden verwijderd. Op deze manier zou het mogelijk moeten zijn bijna alle hout, dat losgeslagen wordt bij het zwingelen, te scheiden van de bast. Er zal echter altijd een hoeveelheid hout niet worden losgemaakt (10 tot 15% van de totale hoeveelheid hout) en dit betekent dat een kg ds bast altijd met minimaal 0,18 kg ds hout verontreinigd zal zijn.

4.2.2.3 Capaciteit en kosten

De gemiddelde storingsvrije doorvoer, die met de machine in 1992 kon worden behaald, was ongeveer 1,7 kg ds/s. Bij een hogere invoer blokkeerde de machine bij de zwingelrollen, omdat er dan te veel materiaal tegelijkertijd doorheen moest. De capaciteit van het prototype was hierdoor laag. Bij de maximaal gehaalde doorvoer kon een capaciteit worden bereikt van 19 ton vers produkt per uur. De theoretische veldcapaciteit bij een opbrengst van 33 ton vers produkt is 0,57 ha/uur. Als ook rekening wordt gehouden met aan- en aflooptijden, keren op wendakkers en stilstand door storing zou naar schatting 0,3 ha/uur verwerkt kunnen worden. In vergelijking met andere oogstbewerkingen in de akkerbouw is dit een zeer lage capaciteit. Om deze te verhogen, zou het werktuig breder moeten worden of de doorvoersnelheid zou moeten worden vergroot door hogere toerentallen van de braak- en zwingelrollen. Het vergroten van de diameters, waarmee de doorvoersnelheid ook zou vergroten, is niet zinvol omdat de sets te ver uit elkaar zouden komen te staan, waardoor de doorvoer niet soepel genoeg zou verlopen. Bovendien zou de werking van de zwingels op de uiteinden van de stengels afnemen, omdat ze eerder worden losgelaten door de vasthoudrollen. Het breder maken van de machine in combinatie met het vergroten van de doorvoersnelheid kan leiden tot een verhoging van de capaciteit van maximaal twee à drie keer. Dit zou overeenkomen met een capaciteit van 0,6 tot 0,8 ha/uur.

Voor de storingsvrije capaciteit van 1,7 kg ds/s was een scheidingsvermogen nodig van 20 kW. Dit is exclusief het nulvermogen dat nodig was om alle rollen aan te drijven. Dit alles betekent dat voor het scheiden netto 11,8 kW nodig was per kg ds/s. In een andere proef was het benodigd vermogen 12,0 kW per kg ds/s. Bij een theoretische veldcapaciteit van 1,2 ha/uur zou dit betekenen dat het netto benodigd vermogen voor het scheiden gemiddeld 40 kW was. Om een vergelijking te maken met andere oogstmachines zou het beste een maaidorser genomen kunnen worden, waarbij het dorsen vervangen is door het braken en het zwingelen. In een maaidorser gaat ongeveer 30% van het beschikbare vermogen naar het dorsen (Huisman, 1983). Grofweg kan voor de scheidingsmachine uitgegaan worden van een totaal benodigd vermogen van 120 kW. Het hout moet dan via zeven afgescheiden worden van de bast. Het afzuigen van het hout zou 20 kW meer vermogen vragen.

Om de kostprijs van de machine in te schatten, wordt uitgegaan van de volgende gegevens:

- aanschafprijs: f 450.000,-;
- levensduur: 8 jaar;
- restwaarde: nihil;
- rentevoet: 10% per jaar.

De totale kosten voor een scheidingsmachine zijn begroot op f 174.750,- per jaar (tabel 33). De effectieve oogstperiode zal ongeveer 225 uur zijn (ruim 3 werkbare weken van 10 uur per dag). De machinekosten zijn dan, inclusief arbeidskosten van f 75,- per uur, f 850,- per uur. Bij een capaciteit van 0,75 ha/uur wordt de kostprijs van de scheidingsbewerking f 1133,- per ha (exclusief transport). Bij een opbrengst van 10 ton ds stengel per ha betekent dit ruim f 110,- per ton ds stengel.

Tabel 33 Begroting van de jaarkosten voor een machine die hennepstengels scheidt in het veld.

Table 33 Estimation of the yearly costs of a decorticating hemp harvester.

Afschrijving	$f\ 450\ 000,-/8 =$	$f\ 56\ 250,-$
Rente	$0,10 * f\ 450\ 000,-/2 =$	$f\ 22\ 500,-$
Stalling	$0,01 * f\ 450\ 000,- =$	$f\ 4\ 500,-$
Belasting en verzekering	$0,02 * f\ 450\ 000,- =$	$f\ 9\ 000,-$
Onderhoud	$1,20 * f\ 450\ 000,-/8 =$	$f\ 67\ 500,-$
Brandstof en smeermiddelen		$f\ 15\ 000,-$
Totaal per jaar:		$f\ 174\ 750,-$

4.2.3 Conclusions

Technisch was het mogelijk om op het veld het hout voor ongeveer 90% los te maken van de bast. Hiervoor is het principe van het braken en het zwingelen gebruikt, dat ook wordt toegepast in de vlasverwerking. Echter de hoeveelheid hout die niet wordt losgemaakt geeft een grote verontreiniging van de bast (ongeveer 0,18 kg ds hout per kg ds schone bast). Bovendien is het niet geheel gelukt alle losgeslagen hout uit de bast te

verwijderen. Bij een kg ds bast kwam zo in totaal ongeveer 0,70 kg ds hout terecht. De hoeveelheid vast hout is zeer moeilijk te verkleinen, omdat het laatste gedeelte van elke stengel niet gezwingeld kan worden. Het losse hout in de bast zou eruit gehaald kunnen worden met behulp van een zeefband. Het afzuigen van het naar boven wegpattend hout is niet zinvol gebleken, omdat de totale hoeveelheid hout in de bast hiermee niet werd verkleind. Ook het toevoegen van een derde zwingelset bleek niet efficiënt. De effectiviteit van de eerste twee zwingelsets was resp. 38 en 39%, maar de derde haalde slechts 5% van het hout dat werd aangevoerd uit de bast.

De capaciteit van de machine was klein. Bij de gebruikte rijsnelheden wordt ingeschat dat effectief ongeveer 0,3 ha per uur gehaald kon worden. Indien deze bewerking verder ontwikkeld wordt, zou 0,7 ha per uur mogelijk zijn. De kosten voor het scheiden op het veld worden begroot op ruim f 110,- per ton ds stengel.

4.3 Het scheiden in bast en hout van gehakselde hennep

4.3.1 Materialen en methoden

Bij de scheiding van gehakselde hennepstengels werd gebruikgemaakt van het verschil in afmeting en soortelijk gewicht van bast en hout. De lengte van de bast was aanmerkelijk langer dan die van het hout. Uit een soortelijkgewichtsbepaling van verse bast (28,4% ds) en vers hout (35,9% ds) bleek de dichtheid resp. 1190 en 660 kg/m³ te zijn. De dichtheid van bast is dus hoger dan die van water en van hout is hij juist lager. Bovendien versterkt de chemische samenstelling van beide vezelcomponenten het zinkend vermogen van bast en het drijvend vermogen van het hout. De cellulose en hemicellulose in de bast maken de bast hydrofyl en de lignine maakt het hout hydrofoob. Onderzocht moest worden of het zinkend vermogen van de bast, mede gelet op de klittige structuur, voldoende is om een scheiding aan te kunnen brengen tussen bast en hout. Bovendien zou een kleine hoeveelheid hout, als deze vastzit aan de bast, de bast drijvende kunnen houden. Een drijf/zink-scheiding (flotatiescheiding) zou eenvoudig in een pulplijn kunnen worden opgenomen, omdat meestal toch al enkele 'natte' voorbewerkingen plaatsvinden (bijv. het wassen van het gekuilde materiaal). Eventueel kan een mechanische scheiding (zeefschudden) hieraan voorafgaan.

In het onderzoek werd een zeefschudder gebruikt en een flotatiescheider. Het zeefschudden kwam neer op een gelijktijdige zeef- en een schudbewerking. Kort materiaal viel door de zeef. Dit was de 'doorval'. Lang materiaal ging over de zeef heen. Dit was de 'overloop'. In oriënterende proeven was vastgesteld dat een zeefruimte van 26 cm x 30 cm x 15 cm (lxbxh), met een maaswijdte van 2 cm x 4 cm en een (horizontale) schudfrequentie van 180 tpm het beste scheidingsresultaat van hout en bast gaf. De slaglengte van de zeef bedroeg 19 cm in de richting van de kleinste maat van de zeefopening.

De flotatiescheider bestond uit een goot waardoor water stroomde (lxbxh = 430 cm x 31 cm x 30 cm; figuur 22). Het water stond 21 cm hoog. De stroomsnelheid was 5 cm/s. Via een recirculerend systeem werd een constante hoeveelheid water aangevoerd. Een hoeveelheid hennepmateriaal, variërend van 150 tot 300 gram, werd vlak vóór de wateraanvoerbuïs in de goot gebracht. Voor een goede scheiding moest het materiaal regel-

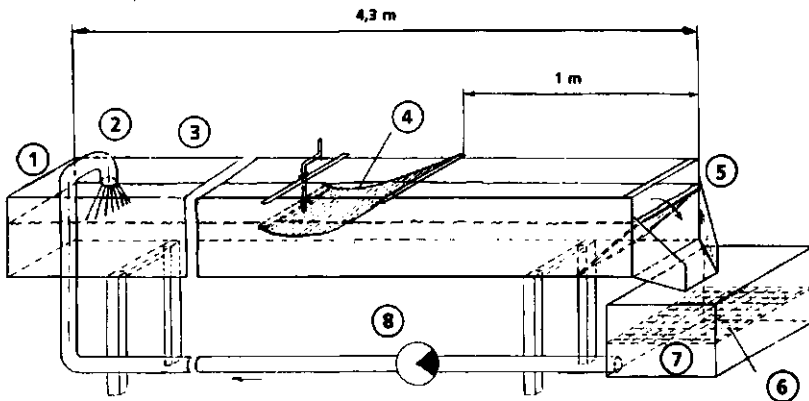
matig worden verdeeld. Onder en in de directe omgeving van deze waterstraal ontstond een turbulente stroming waarin het materiaal enige tijd verkeerde. De in de bastkluwen aanwezige losse houtdeeltjes werden hierdoor uitgespoeld. Het hout ging drijven zodra het vanuit de turbulente stroming in de laminaire stroming kwam. Handmatig moest het bastmateriaal soms in de laminaire stroom worden gevoerd. De drijvende massa werd gevangen in een hol gebogen houtzeef, die zich 0,5 tot 1 cm onder de waterspiegel bevond. De zeefopeningen hadden een diameter van 3 mm. De zinkende massa werd verderop uit het water gezeefd. Ook het uitstromende water werd gezeefd om de bast (met eventuele houtdeeltjes) op te vangen. De diameter van deze zeefopeningen was 0,75 mm.

Als extra behandelingsobject werd ook de combinatie van zeefschudden en flotatie onderzocht. Hierbij werd de hennep eerst geschudzeefd, waarna de doorval en overloop afzonderlijk werden behandeld in de flotatiescheider. Zo kon worden getoetst of een zeefschudbewerking een gunstig resultaat had op het scheidingsresultaat en of het hout nog meer kon worden losgemaakt van de bast door de extra mechanische bewerking.

Het gehakselde hennepmateriaal kwam uit twee kuilen met als conserveringsadditief melkzuurbacteriën en zout. Het materiaal was zes maanden ingekuild geweest. Bij de oogst was het hennepgewas eerst getopt voordat het werd gemaaihakseld en ingekuild. De hoeveelheid blad in het kuilmateriaal was daardoor klein (bladfractie < 5%).

Legenda

- 1 Invoer hennepmonster
- 2 Waterstraal (turbulente stroming)
- 3 Scheidingstraject (laminaire stroming)
- 4 Houtzeef
- 5 Overloop van water en bast
- 6 Bastzeef
- 7 Waterbak
- 8 Pomp



Figuur 22 Schets van de flotatieproefopstelling om van gehakselde hennep, bast en hout te scheiden.

Figure 22 Schematic view of the experimental flotation design to separate bast and core after chopping.

Na een scheidingsbehandeling werden de gescheiden fracties in het laboratorium opgesplitst in de componenten schoon hout, schone bast en 'gemengd' dat bestond uit niet losgemaakt stengelmateriaal (bast en hout vast aan elkaar). De drie verschillende hoeveelheden werden vervolgens in de droogstoof, gedurende 48 uur, bij 105 °C gedroogd. Na weging van de componenten kon de effectiviteit van de scheidingsmethode worden berekend.

4.3.2 Resultaten en discussie

Karakterisering gehakselde hennepstengels

In de praktijk wordt bij het hakselen van de hennepstengel de bast, in tegenstelling tot de houtpijp, niet bij elke slag van de messen doorgesneden. Omdat de bast te taai is om met de gangbare maaihakselaars te worden doorgesneden, wordt deze parallel aan de vezelstructuur uit elkaar gescheurd. Tegelijkertijd wordt het grootste gedeelte van de bast losgetrokken van het hout. Van gehakseld, vers materiaal (theoretische haksellengte van 8 mm) is bepaald hoeveel schone bast erin zat, hoeveel schoon hout en hoeveel niet losgemaakt stengelmateriaal ('gemengd'). Het bleek dat 72 g/kg niet opgesplitst kon worden in schoon hout en schone bast (tabel 34). Bij een scheiding zal dit altijd een verontreiniging geven van de gescheiden fracties. De hoeveelheid schone bast was overigens groter dan verwacht kon worden op basis van het bastaandeel in de stengel (350 g/kg). Na het hakselen was het materiaal enigszins ontmengd en omdat de gehakselde bastlinten als een kluwen aan elkaar vasthingen, is hiervan te veel in de monsters terechtgekomen.

Bij het zeefschudden ontstonden twee gescheiden fracties: een 'overloop' en een 'doorval'. De overloop bestond voor het grootste deel uit bast met een beetje hout en de doorval voor het grootste deel uit hout met een beetje bast. Bij de flotatie ontstond een drijvende fractie hout met een beetje bast en een zinkende fractie bast met een beetje hout. Vrijgekomen drijvende, losse houtdeeltjes vermengden zich af en toe weer met de bast. Dit werd erger naarmate de monsterhoeveelheid groter was.

Omdat het aandeel 'gemengd' ook bestond uit bast en hout, werd dit opgesplitst en toegewezen aan de hoeveelheden schone bast en schoon hout. Omdat de samenstelling

Tabel 34 Samenstelling van gehakselde hennep (de theoretische haksellengte was 8 mm), uitgesplitst naar schone bast, schoon hout en niet losgemaakte stengeldelen in g/kg droge stof (gemiddelde en standaardafwijking van tien monsters).

Table 34 Composition of chopped hemp (the chop length was 8 mm), divided in clean bast, clean core and unfractionated stem pieces (bast stuck to core), given in g/kg dry matter (mean and standard deviation of ten samples).

Stengelcomponent	Gemiddeld (g/kg)	Standaardafwijking (g/kg)
Schone, losgemaakte bast	378	46
Schoon, losgemaakt hout	550	47
Gemengd, niet losgemaakte stengeldelen	72	39

van 'gemengd' zeer heterogeen was, werd dit opgesplitst volgens een verdeelsleutel die naar onze mening het best overeenkwam met de werkelijke situatie. Voor het zeefschudden is aangenomen dat de verhouding bast en hout van de gemengde stengeldeel-tjes ongeveer overeenkwam met de bast/hout verhouding in de stengel. Bij flotatie hebben we onderscheid gemaakt tussen de gemengde deeltjes die zonken en die, die bleven drijven. De dichtheid van vers hout en bast (resp. 660 en 1190 kg/m³) is zo groot dat een gemengd vezeldeel-tje met zowel bast als hout, in theorie pas in water zinkt als minstens de helft van de massa uit bast bestaat. Daarom is aangenomen dat het bestaan-deel van de gezonken deeltjes gemiddeld driekwart was en van de drijvende deeltjes één kwart. Samenvattend zijn voor het bestaandeel van het 'gemengde' materiaal de volgende aannames gemaakt:

- zeefschudden: 0,33 ($\approx$ bestaandeel in de stengel);
- flotatie en combinatie: 0,75 (voor 'gemengd' dat zonk) en 0,25 (voor 'gemengd' dat bleef drijven).

Beoordelingscriteria voor de scheiding: selectiviteit en zuiverheid

Op basis van de gecorrigeerde hoeveelheden bast en hout in elke gescheiden fractie, is de selectiviteit en de zuiverheid berekend. De selectiviteit geeft aan hoe bast en hout verdeeld waren over de genoemde zeef- of flotatiefracties. Het geeft de doelmatigheid van de scheidingsbewerking weer. De zuiverheid geeft aan hoe een gescheiden fractie was opgebouwd uit bast en hout.

De hoeveelheid 'gemengd' bedroeg bij de proeven met het additief melkzuurbacteriën tussen de 7 en 18% van het gehele monster. Bij de zoutmonsters was het gemiddelde veel hoger en varieerde tussen 12 en 45%. De spreiding was dus ook groter. Dit betekent dat ofwel het bewaarmilieu invloed had op de mate waarin het hout nog aan de bast vastzat, ofwel dat er toevallig een ongunstig monster was genomen uit de kuil. Door de grote verschillen wordt het laatste minder waarschijnlijk geacht. Het meest negatief bij de zoutmonsters was dat het 'gemengde' materiaal vooral in de zinkende fractie terecht kwam en zo de bast sterk verontreinigde.

Zeefschudden

Uit tabel 35 blijkt dat het zeefschudden weinig selectief was voor de bast bij beide inkuil-varianten. De bast werd bijna gelijk verdeeld over de doorval en de overloop. De zuiverheid van zowel bast en hout was hierdoor klein. In de overloop zat gemiddeld maar 0,78 kg ds bast per kg ds hennep en in de doorval maar 0,72 kg ds hout per kg ds hennep. Zeefschudden was dus niet efficiënt voor het scheiden van gehakselde hennep in bast en hout.

Flotatie en combinatie

Tussen de resultaten van de flotatie- en combinatiebehandeling zat geen duidelijk verschil. Dit betekent dat schudden ook als voorbereiding weinig zinvol was. In de beoordeling van de flotatiescheiding wordt daarom steeds de combinatiebehandeling betrokken. Voor het materiaal uit de melkzuurbacteriekuil blijkt dat de flotatiescheiding zeer selectief ($>0,92$ kg/kg) was voor zowel bast als hout. Voor het materiaal uit de zoute kuil was de selectiviteit van de flotatie voor bast ook zeer goed ($>0,94$ kg/kg), maar voor hout minder goed (0,76 tot 0,88 kg/kg). Daarom had alleen het materiaal uit de melk-zuurbacteriekuil een goede zuiverheid voor zowel bast als hout (0,97 kg ds per kg ds

Tabel 35 Scheidingsresultaten van hennemonsters uit kuilen met als additief melkzuurbacteriën of zout (n_m =aantal monsters uit melkzuurbacteriekuil; n_z =aantal monsters uit zoute kuil).

Table 35 Results of the separation of hemp samples from a silage with lactic acid bacteria or sodium chloride (n_m =number of samples from the silage with lactic acid bacteria; n_z =number of samples from the silage with sodium chloride)

Behandeling	Fractie	Selectiviteit (grammen hout of bast in de gescheiden fractie per kg hout of bast van het totale monster)				Zuiverheid (grammen hout of bast per kg hennep in een gescheiden fractie)			
		Melkzuurbact.		Zout		Melkzuurbact.		Zout	
		Hout	Bast	Hout	Bast	Hout	Bast	Hout	Bast
Zeefschudden ($n_m=8$, $n_z=6$)	Overloop	51	336	112	469	203	797	231	769
	Doorval	949	664	888	531	744	256	687	313
Flotatie ($n_m=5$, $n_z=3$)	Drijvend	990	78	767	17	967	33	987	13
	Zinkend	10	922	233	983	25	975	270	730
Combinatie ($n_m=5$, $n_z=4$)	Drijvend	985	43	877	57	975	25	973	27
	Zinkend	15	957	123	943	27	973	121	879

hennep in een gescheiden fractie). De zuiverheid van bast en hout bij het materiaal uit de zoute kuil was gemiddeld respectievelijk 0,80 en 0,98 kg ds per kg ds hennep. Door de minder goede selectiviteit voor hout, was de zuiverheid van de bast duidelijk minder. Zoals ook al eerder is aangegeven, was dit het gevolg van de relatief grote hoeveelheid 'gemengd' materiaal die met de bast zink. Flotatieproeven met grotere monsters (600 en 1000 g) lieten zien dat capaciteitsverhoging, met behoud van een goede selectiviteit en zuiverheid, mogelijk was. Alleen de selectiviteit voor het hout bij de zoutmonsters was, evenals bij de proeven met de kleinere monsters, slecht.

Relatie tussen het hakselen en het flotatiescheiden

Het is zinvol na te gaan of mechanische bewerkingen of een extra scheidingsactie het aandeel 'gemengd' nog kan verlagen. Uit een additioneel proefje (tabel 36) bleek dat de haksellengte en het vochtgehalte van invloed waren op de samenstelling van het in te kuilen produkt. Vers materiaal, gehakseld op een korte (4 mm) en lange (10 mm) lengte, en lang gehakseld, gedroogd materiaal werd onderzocht op de verdeling van de

Tabel 36 Invloed van ingestelde haksellengte en drogestofgehalte op de samenstelling van gehakselde hennep.

Table 36 Relation between chopping set length and dry matter content of the hemp stems on the composition of the chopped material.

Haksellengte (mm)	Drogestofgehalte (%)	Hout (g/kg)	Bast (g/kg)	Gemengd (g/kg)
4 mm	31,9	623	348	29
10 mm	31,9	547	379	74
10 mm	70,0	218	266	516

hoeveelheden hout, bast en 'gemengd'. Een langere haksellengte en vooral een droger produkt verhoogde de hoeveelheid 'gemengd'. Om gehakseld materiaal zo schoon mogelijk te kunnen scheiden, moet het verse gewas op een zo kort mogelijke lengte worden gehakseld. Ook Quick e.a. (1980) waren tot deze conclusie gekomen bij het hakselen van kenaf.

De lengteverdeling van de gehakselde bast is behalve van de ingestelde haksellengte ook sterk afhankelijk van de scherpte van de messen, de afstelling van het tegenmes en van het drogestofgehalte van de hennepstengels. Voor de meeste practijkmachines is de kortst mogelijke, theoretische haksellengte ongeveer 5 mm. Door de genoemde invloedsfactoren is gebleken dat de bast zich niet laat knippen op de ingestelde maat. Bij het gebruik van maaihakselaars voor de oogst van maïs en gras is in het geval van hennep de hakselbewerking een soort scheurende stripbewerking. De bast wordt in stukjes, langer dan de ingestelde haksellengte, van de houtpijp gestript. Behalve de vraag hoe het hakselproces kan worden gestuurd met het oog op een goede scheiding van bast en hout, moet ook rekening worden gehouden met de elementaire bastvezellengte. Deze is 20 mm en het is de vraag in hoeverre de kwaliteit van de vezelmasa daalt, als op een theoretische lengte van ongeveer 5 mm wordt gehakseld.

Bij de flotatieproeven zijn van het materiaal uit de zoute kuil enkele gezonken fracties nogmaals in het water gelegd. In deze monsters zat relatief veel hout en bij de tweede flotatie is nagegaan of er nog los hout in zat, dat bij de eerste behandeling niet uit de bast was losgekomen. Er kwam nog wel enig hout vrij, maar het probleem was, dat het drijvend vermogen van het hout zodanig was afgenomen, dat het bij de tweede flotatie zonk. Vermoedelijk had het hout zich in de periode tussen de twee flotaties volgezogen met water. Het hout kon overigens in het flotatiebad minimaal 50 minuten blijven drijven. De indruk bestond dat de afname van het drijvend vermogen afhankelijk was van de inkuilvariant.

Kosten van flotatiescheiding

Op basis van de waarnemingen met de proefopstelling is een globale schatting gemaakt van de kosten van een scheidingsinstallatie (tabel 37). Bij de berekeningen is uitgegaan van de volgende gegevens:

- hennepareaal: 10.000 ha;
- opbrengst: 30 ton vers/ha (na toppen);
- aantal werkdagen fabriek: 300;
- aantal uren per dag: 24;
- buffervoorraad fabriek: 4000 ton (voorraad voor vier dagen);
- dichtheid buffervoorraad: 400 kg/m³;
- scheidingstijd: 30 s;
- scheidingsoppervlak: 0,5 m² per kg vers materiaal;
- stroomsnelheid water: 10 cm/s.

Volgens de berekening in tabel 37 kunnen de kosten voor flotatiescheiding worden begroot op f 5,- per ton ds. Dit bedrag is inclusief opslag en handling vóór de verwerking. Ook het noodzakelijke wassen van het materiaal is hier in principe reeds verrekend. Er zijn nog geen kosten voor een waterzuiveringsinstallatie meegenomen.

Tabel 37 Begroting van de kosten voor de scheiding van gehakselde hennep met flotatie.**Table 37** Estimation of the costs for the separation of chopped hemp by flotation.

Kosten opslagruimte 3000 m³ en installatiegebouw 1200 m² (x f 1000,-)		
- Betonplaten à fl 50,-/m ² + grondwerk	150	
- Stortbak	10	
- Watergoten op betonplaten en folie	100	
- Gebouw voor scheidingsinstallatie (30 m x 40 m)	400	
- Subtotaal bouwkundige voorzieningen	660	
- Jaarkosten:	Afschrijving 5 %	33
	Rente + onderhoud 10%	67
Kosten scheidingsinstallatie (x f 1000,-)		
- Buizen	30	
- Pompen	70	
- Bufferbak en mechanische verdeler	100	
- Houtscheppmachines	800	
- Bastzeefmachines	100	
- Shovel	<u>100</u>	
- Subtotaal machines	1200	
- Jaarkosten:	Afschrijving 10%	120
	Rente + onderhoud 15%	180
	Energie	<u>20</u>
Totale jaarkosten		420
- Begrote kosten per ton ds (bij 100.000 ton ds per jaar)	f 4,20	
- Onvoorziene kosten	<u>f 0,80</u>	
- Totaal per ton ds	f 5,00	

4.3.3 Conclusions

Flotatie blijkt op proefschaal een goede scheidingsmethode van hout en bast te zijn. De selectiviteit van flotatiescheiding voor bast was gemiddeld 0,94 en 0,96 kg/kg voor resp. materiaal uit een met melkzuurbacteriën geënte kuil en uit een kuil waaraan zout was toegevoegd. De zuiverheid van de bast was resp. 0,97 en 0,80 kg ds per kg ds hennep in de gezonken fractie. Een voorscheiding met een zeefschudbewerking verhoogde de selectiviteit van de flotatie niet.

De hoeveelheid 'gemengd' in het gehakselde materiaal was door middel van zeef-schudden niet te verkleinen. Dit was wel mogelijk door het materiaal kort te hakselen. Voor een succesvolle scheiding is het noodzakelijk dat de hoeveelheid 'gemengd' in het gehakselde produkt zo klein mogelijk is. Bij het maaihakselen zal dit naar verwachting variëren tussen 5 en 15%.

Een snelle afvoer van de drijvende losse houtdeeltjes is noodzakelijk om hernieuwde vermenging met bast te voorkomen. De verblijfsduur van het stengelmateriaal in water is

niet beperkend omdat het hout minimaal 50 minuten in het water blijft drijven voordat het, als gevolg van wateropname, zinkt. Het inkuiladditief zout beïnvloedt zeer waarschijnlijk de hennep zodanig dat het hout het drijvend vermogen enigszins verliest. Hierdoor daalde bij flotatiescheiding de zuiverheid van de bast. De kosten voor het scheiden van bast en hout door middel van flotatie worden geschat op f 5,- per ton droge stof.

5 Evaluatie van de keten voor de teelt, oogst en handling van vezelhennep

5.1 Overzicht van de verschillende bewerkingen

In het onderzoek zijn diverse mechanisatie-aspecten meegenomen bij het zaaien, de verzorging, de oogst, het veldtransport, de opslag en het wegtransport naar de pulpfabriek. Het zwaartepunt lag bij de oogst en de opslag.

zaaien en verzorging

In een veldproef is onderzocht of de zaaitechniek invloed uitoefende op de gewasregmaat. Naast een normale graanzaaimachine (met een nokkenradverdeelmecanisme) is een precisiezaaimachine gebruikt. De variatie in plantlengte was echter bij precisiezaai even hoog als bij normale zaai. Ook kon de mate van zelfdunning (het afsterven van kleine planten) niet worden verkleind door middel van precisiezaai. Teeltonderzoek van CABO-DLO (sinds 1/1/94 AB-DLO) heeft uitgewezen dat onder Nederlandse omstandigheden een plantdichtheid van 90 planten/m² een goede keuze lijkt. Zelfdunning zou dan beperkt kunnen blijven en er is voldoende groeipotentie om onkruid te onderdrukken. Het zaaien kan vanuit kosten oogpunt het beste uitgevoerd worden met een standaard(graan)zaaimachine.

Onkruidbestrijding is normaliter niet nodig omdat de hennep al snel een dicht gewas vormt en onkruid onderdrukt. Schimmelbestrijding is bij de huidige rassen zeer gewenst. De schimmelaantasting is vooral onderin het gewas aanwezig en omdat het gewas zeer hoog is, is het zeer moeilijk om de fungiciden onderin toe te dienen.

oogst

In het eerste onderzoekjaar (1990) zijn verschillende oogstketens onderzocht op hun geschiktheid voor een vezelhennepoogst. Hierbij werd uitgegaan van bestaande technieken en werktuigen die reeds in de praktijk worden gebruikt. Er moet dan gedacht worden aan maaiers, maaierkneuzers, persen en hakselaars. De teeltkundige randvoorwaarde om een laat gewas te telen met een hoge potentiële vezelopbrengst, had tot gevolg dat september de oogstperiode zou worden. Echter onder Nederlandse omstandigheden is er geen garantie dat de hennep (na het maaien) in deze maand voldoende droog wordt op het veld. Kunstmatig drogen is een te dure optie. Uitgaande van de droogkosten van vers gras, kost het drogen van hennep minimaal f 3000,- per ha, terwijl de vezelopbrengst, bij de huidige prijzen van de papierpulpgrondstof, op slechts f 1800,- per ha wordt ingeschat (excl. subsidies). Inkuilen is dan als opslagmethode de meest aantrekkelijke optie. De hennep kan geperst of gehakseld worden ingekuild.

De kosten om de hennep in pakken te persen zullen minimaal f 1200,- per ha zijn. De dichtheid van verse hennep in pakken varieerde van 230 tot 330 kg/m³. Het aantal pakken varieert bij 35 ton/ha van 106 tot 150 pakken per ha. De richtlijn voor de prijs per pak is f 15,- tot f 19,- (Roeterdink en Brantjes, 1992), hoewel in de praktijk ook lagere prijzen worden doorberekend (tot minimaal f 9,- per pak). Voor de kosten van het hakselen van hennep wordt uitgegaan van de kosten voor het hakselen van snijmaïs,

(excl. veldtransport) ruim f 600,- per ha (Roeterdink en Brantjes, 1992). De capaciteit in hennep zal waarschijnlijk lager zijn dan in snijmaïs. Hakselen is goedkoper dan persen. De dichtheid van de geperste hennep was maximaal 128 kg ds/m³ en lager dan de dichtheid van gehakselde hennep in rijkuilen. Bovendien zijn de zijanten van de pakken niet vlak, waardoor veel lucht blijft ingesloten. Ook is de kans op beschadiging van het afdekplastic groot. In een keten met het inkuilen als conserveringsmethode, kan het beste worden gekozen voor het maaihakselen (dit is maaien en hakselen in één werkgang).

Voordat het gewas gehakseld wordt, is het wenselijk het blad, de bloeiwijzen en het zaad (samen bladmateriaal genoemd) te verwijderen op het veld. Op het moment van oogsten is ongeveer 0,20 kg ds bladmateriaal per kg ds plantmateriaal aanwezig. Omdat het bladmateriaal niet interessant is als papiergrondstof en extra verontreiniging geeft bij de verwerking, is het wenselijk dit achter te laten op het veld. Bovendien worden zo nutriënten teruggebracht in de bodem. Het bladmateriaal is op het oogsttijdstip vooral bovenin het gewas aanwezig en in proeven met een roterende borstel is aangetoond dat driekwart van dit bladmateriaal te verwijderen is. Na dit zogenaamde toppen is nog ongeveer 0,05 kg ds bladmateriaal per kg ds plantmateriaal aanwezig. Het is duidelijk geworden dat, behalve de hoogte waarop het ontbladeringswerktuig werkt, ook factoren als plantdichtheid en ras van invloed zijn op het resultaat.

Hakselen is een zeer gebruikelijke techniek bij de oogst van ruwvoerders. Het voordeel is dat er een produkt ontstaat dat zich gemakkelijk laat behandelen (zoals verdichten en mengen), omdat het enigszins stromend is. Door de taaie bastvezel is het hakselen van hennepstengels niet altijd zonder problemen verlopen. Allereerst is een speciale maaibek nodig, die rijenonafhankelijk is. Ten tweede is gebleken dat hakselaars met een hakselrad een grote kans hebben op storingen. Stukken bastvezel kunnen zich namelijk gemakkelijk wikkelen om de ronddraaiende as. Bij hakselaars met een hakselkooi zijn bij het hakselgedeelte nooit problemen opgetreden. Het kanaal waarin het gehakselde produkt wordt afgevoerd, verdient echter ook aandacht. Hierin mogen geen dode hoeken zitten waar materiaal kan ophopen. Uiteindelijk kan dit tot verstoppingen leiden. Ook het gebruik van een vijzel (eventueel voor intern transport vanaf de hakselkooi naar een werpblazer) geeft problemen.

Om de risico's van verstoppingen zo klein mogelijk te maken, moet gewerkt worden met scherpe messen en een kleine haksellengte (ongeveer 6 mm). De elementaire bastvezellengte is langer (gemiddeld 20 mm), maar het blijkt dat de bastvezels zich toch niet allemaal laten doorsnijden op de ingestelde (theoretische) haksellengte. Vooral bij het toedienen van natronloog vóór de hakselkooi, waardoor de stengels als het ware verzeppen, laat de bast zich moeilijk hakselen. In het gehakselde produkt komen dan veel lange bastlinten voor, die voor problemen kunnen zorgen bij de afvoer. Onderzoek zal uit moeten wijzen of er een relatie is tussen haksellengte en papiersterkte.

Het scheiden van de stengel in bast en hout op het veld is om economische redenen niet haalbaar. Technisch is het mogelijk. Om de capaciteit te vergroten, is een verdere ontwikkeling van de scheidingstechniek op het veld noodzakelijk. Omdat niet alle hout losge maakt kan worden van de bast, moet er rekening mee gehouden worden dat ongeveer 0,1 tot 0,2 kg ds hout per kg ds bast vast blijft zitten. Het losgeslagen hout kan het beste afgescheiden worden met een trillende zeefketting.

veldtransport en opslag

Het gehakselde produkt wordt vanaf de hakselaar in een naastrijdende wagen geblazen. Per hakselaar zijn enkele transportcombinaties nodig om de totale hakselcapaciteit te kunnen benutten. Om logistieke redenen (spreiding van transportcapaciteit) is het aantrekkelijk om de hennepkuil bij de boer op het bedrijf aan te leggen. De kuil moet goed worden aangereden om zoveel mogelijk zuurstof te verdrijven. Na het afdekken met plastic en grond begint het anaërobe kuilproces. Het inkuilen als opslagmethode is gekozen om economische redenen. Tijdens het kuilproces moet de kwaliteit en de sterkte van de bastvezel zoveel mogelijk gehandhaafd blijven. Zonder additieven is dit niet of bijna nooit mogelijk. Het toevoegen van de middelen kan het beste op de hakselaar vóór de hakselkooi gebeuren, zodat het middel goed gemengd wordt met de hennep.

wegtransport

Bij het transport zal het maximale laadvermogen van 23 ton de beperkende factor zijn. Per rit zal ongeveer 6,9 ton ds vervoerd kunnen worden (bij een ds-percentages van 30%). Bij een hennepareaal van 10 000 ha à 10 ton ds/ha betekent dit voor 250 werkdagen 58 ritten per dag. Bij vier ritten per dag zijn dan 15 vrachtwagens nodig die, bij gemiddeld 100 km per rit, ieder 100 000 km per jaar zullen rijden. Indien een vrachtwagen een bruto-omzet moet halen van f 250 000,- per jaar, hetgeen in de praktijk een gangbaar uitgangspunt is, betekent dit dat de transportkosten f 250,- per rit zijn, ofwel f 36,- per ton ds.

5.2 Produktiekosten van vezelhennep

Het is moeilijk om een algemeen beeld te geven over de te verwachten mechanisatiekosten bij een hennep-teelt. De reden hiervoor is, dat er veel mechanisatievormen zijn. Dit gaat van zelfknutselende boeren die tweedehands machines kopen en aanpassen aan hun eigen behoeften en werkwijzen, tot volledige uitvoering in loonwerk. In tabel 38

Tabel 38 Directe mechanisatiekosten (in guldens per ha) bij de hennep-teelt bij drie niveaus van 'eigen mechanisatie' (A: veel eigen mechanisatie; B: coöperatief gebruik van machines en C: alle mechanisatie in loonwerk).

Table 38 Direct mechanization costs (in Dutch guilders per ha) for hemp cultivation at three levels of machinery ownership (A: a lot of own machinery; B: cooperative use of machinery and C: completely dependent on contractors).

	A	B	C
Ploegen en zaaiklaar maken	0	150	225
Zaaien met graanzaaimachine	0	45	80
Toppen	75	75	75
Maaihakselen	400	400	620
Veldtransport	0	100	200
Aanrijden en afwerken kuil	0	50	150
Overslag op vrachtwagen	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>
Totaal	555	900	1430

zijn de mechanisatiekosten weergegeven bij drie categorieën boeren: A laat alleen de oogst door de loonwerker uitvoeren, B doet de teelt en de oogst samen met andere boeren en C besteedt alle werkzaamheden uit aan een loonwerker. De gegevens zijn ontleend aan Roeterdink en Brantjes (1992) en Bloem en Kolkman (1992).

Het is duidelijk dat de directe kosten enorm kunnen variëren (van 555 tot 1430 gulden per ha). Overigens verschillen de prijzen voor loonwerk ook enorm. In kolom C zijn de normen weergegeven voor loonwerkprijzen in de Veenkolonieën. Veel loonwerkers werken echter onder de normprijzen. Samenvattend worden de mechanisatiekosten ingeschat op 800 tot 1000 gulden per ha. Hierbij is geen reservering doorberekend voor het gebruik van eigen middelen.

Om de totale teeltkosten op bedrijfsniveau uit te kunnen rekenen, moeten ook de kosten voor zaaizaad, kunstmest, inkuilmiddelen en afdekplastic worden bepaald (tabel 39).

Tabel 39 Directe kosten voor middelen die nodig zijn voor het telen en conserveren van vezel-hennep.

Table 39 Direct cultivation and preservation costs of fibre hemp.

Kostenpost		Hoeveelheid (eenheid/ha)	Kosten (gulden/eenheid)	(gulden/ha)
Zaaizaad		20 kg	f 8,00/kg	f 160,-
Kunstmest	N	125 kg	f 1,07/kg	f 134,-
	P	46 kg	f 0,86/kg	f 40,-
	K	172,5 kg	f 0,56/kg	f 97,-
Verzekering en rente				f 44,-
Inkuilmiddelen	of mierzuur	35*2,5=70 l ³¹⁾	f 4,60/l	f 322,-
	of melasse	35*0,02/0,45=1,6 ton ³²⁾	f 150,00/ton ³³⁾	f 240,-
	met melkzuurbacteriën	0,8 verpakking	f 229,00 per verpakking	f 183,- ³⁴⁾
	of natronloog	35*0,02=0,7 ton ³⁵⁾	f 60,00/ton ³⁶⁾	f 420,-
Kuילplastic		200 m ² ³⁷⁾	f 0,65/m ²	f 130,-
Rente opslag				f 86,-

³¹⁾ Voor graskuilen wordt 2,5 l per ton gedoseerd (Barenbrug Holland bv, Oosterhout).

³²⁾ Melasse bevat 45% suikers, waarvan 2% toegediend moet worden op vergewichtsbasis.

³³⁾ Coöperatie Rijnvallei, Wageningen.

³⁴⁾ Dosering is op basis van adviezen voor graskuilen, Pioneer Hi-bred Nederland bv, Etten-Leur. Waarschijnlijk is de toevoeging van melkzuurbacteriën (als aanvulling op een melassedosering) niet nodig.

³⁵⁾ Dosering is 2% op vergewichtsbasis.

³⁶⁾ Solvay, Amsterdam.

³⁷⁾ Dichtheid in de kuיל: 160 kg ds/m³. Gemiddelde hoeveelheid per strekkende meter kuיל: 1230 kg ds. Lengte van afdekzeil is 11/1,23 = 8,9 m. Voor het vastleggen is gemiddeld 10% extra nodig. De totale lengte is dan 10 m en dit komt overeen met 200 m² bij twee afdekklagen plastic (naar Bloem en Kolkman, 1992).

Als uitgangspunt bij de berekeningen is 35 ton vers produkt genomen met 10 ton ds stengel. Gegevens over zaaizaad, kunstmest en verzekering zijn overgenomen van Van Berlo e.a. (1993). De kosten voor de inkuilmiddelen zijn onduidelijk, omdat niet exact bekend is wat de beste methode is. Wel is duidelijk dat er middelen nodig zijn om het conserveringsproces te sturen. Voorlopig moet uitgegaan worden van f 300,- tot f 400,- per hectare als kosten van de inkuilmiddelen. De totale directe teelt- en opslagkosten zijn f 1000,- à f 1100,- per ha en de totale kosten voor de boer (mechanisatie+teelt+opslag) ongeveer f 2000,- per ha, ofwel f 200,- per ton ds. Samen met het transport naar de fabriek, zijn de kosten om een ton ds hennepvezels in een verwerkingsfabriek te krijgen, begroot op f 240,-.

5.3 Aanbevelingen

De keten voor de oogst en opslag van vezelhennep, in de vorm van maaihakselen en inkuilen, is technisch haalbaar. Om deze methode te kunnen introduceren in de praktijk, is het nodig dat maaihakselaars met rijenonafhankelijke maaibekken worden gebruikt en ook een (licht uitgevoerde) klepelmaaier of een borstel om het gewas te ontbladeren. Naar dit laatste zal nog enig onderzoek nodig zijn.

Duurtesten met hakselaars zullen uit moeten wijzen of er grote verschillen bestaan tussen de uitvoeringsvormen. Nader onderzoek is nodig naar de optimale haksellengte, mede met het oog op de scheiding van bast en hout door flotatie en de papierkwaliteit. Melasse, een zuur of natronloog zijn bij het inkuilen de meest relevante additieven. Een goede menging is belangrijk voor een homogeen kuilproces. Het toedienen van melasse of natronloog vóór de hakselkooi is niet optimaal, omdat er een grote kans is op vervuiling van de machine (bij melasse) en additiefverliezen en een slechtere hakselwerking (bij natronloog). Het is misschien ook mogelijk om deze middelen na de hakselkooi toe te dienen, zodat bij een eventueel aanwezige blazer, het additief door de (turbulente) luchtstromen voldoende wordt gemengd met de gehakselde hennep.

De conservering vraagt de meeste aandacht, omdat deze de kwaliteit van de hennepvezels bepaalt. Hier is fundamenteel onderzoek naar nodig. Op laboratoriumschaal moet gezocht worden naar een ideaal milieu voor de natte, anaërobe conservering van de bast en dit moet vertaald worden naar een praktijkmethode. Ook het scheiden van bast en hout door flotatie moet verder worden uitgewerkt in een proefinstallatie op semi-praktijkschaal. Onderzoek is nodig naar de invloeden van haksellengte, waterstromen, aanvoer van de bast- en houtmix, de verblijfsduur in het water en de afvoer van de gescheiden produkten.

Een marge tussen kosten en opbrengsten is nauwelijks aanwezig. Wellicht is het daarom nodig van een ander concept uit te gaan. Het onderzoek werd nu geleid door de maximalisatie van de fysieke opbrengst en dit betekende dat laat geoogst moest worden. Het is denkbaar vroeger te oogsten, bij een lagere opbrengst, waarbij de hennep kan drogen in het veld. Het voordeel is dat de kwaliteit van de bast bij goed drogend weer, beter wordt gewaarborgd. De drogestofopbrengst is dan ongeveer 3 ton/ha lager (van der Werf, 1994) en scheiding na hakselen van droge stengels, kan niet optimaal worden

uitgevoerd met flotatie. Een alternatieve scheidingstechniek kan dan het vermalen zijn met een hamermolen. Op basis van modellering van weergegevens en droogcurves zijn de kansen in te schatten, waarbij het drogen in het veld van gemaaide of gemaaidneusde hennep succesvol is.

Summary

In 1990 an interdisciplinary project was started to study the feasibility of fibre hemp (*Cannabis Sativa*) for paper pulp production. The Institute of Agricultural and Environmental Engineering (IMAG-DLO) and Wageningen Agricultural University (Department of Agricultural Engineering and Physics) performed the research about the mechanization of the cultivation and harvest of a fibre hemp crop and about the conservation of the harvested fibres. This research involved the aspects of drilling and weed control, harvest and storage upto transportation to the pulp plant and mechanical preprocessing operations of paper pulping.

Hemp seed is sown best with a grain drilling machine at a row distance of 12 cm. Plant density after germination should be about 90 plants/m². Hemp grows quickly, soon covers the ground and chokes out the weeds. So weed control is not necessary. Under humid growing conditions fungi, such as *Botrytis cinerea*, can cause much damage to the crop. However, because of the height of the crop, it is not possible to control fungi by chemical curative spraying. Preventive spraying is both economically and environmentally not attractive. Breeding a fungus-resistant variety would be the best solution.

Different machines which are used for other crops, were investigated to harvest hemp. These were mowers, mower conditioners, balers and choppers. In the total research programme the objective was to cultivate a crop with a maximum fibre yield. This means that harvest has to wait until September. To supply a pulp plant a whole year with fibres, it is necessary to store the hemp. The Dutch climate in September does not make it possible to let the crop dry in the field after mowing. Artificial drying will cost over 3000 Dfl per hectare, and because the financial yield can be estimated at 1800 Dfl per hectare (subsidies excluded), this is not feasible economically at the present level of paper pulp prices. As dry storage does not seem to have opportunities, tests were done to store and preserve the fibres anaerobically wet by means of ensiling. Then the hemp should be baled or chopped, but because baling is too expensive and does not compact the hemp well enough for a good ensiling process, chopping and ensiling the hemp do have the best feasible prospects.

At harvest date 1 kg of rough plant dry matter (dm) contains about 0.20 kg of dm of leaves, flowers and seed (foliage). Because there is no cellulose in the foliage, it is useless as a source for paper pulp. So it can better be removed in the field to reduce transport costs and to diminish pollution in processing. By stripping off the foliage in the field also some nutrients are brought back into the soil. By the end of the growing season, most of the foliage is situated at the upper part of the stem. A defoliating process was simulated with the results of crop mass measurements at different heights. For an efficient defoliation it seemed to be interesting to postpone the harvest from August 21 to September 7 because a stripping machine could work higher to get the same defoliation result but with lower losses of stem material (fibres). After defoliation, 1 kg of rough plant material contains approx. 0.05 kg of foliage dm. Fibre losses are about 0.02 kg/kg. A good indication of the height above which a crop should be defoliated is 2.6 m. This depends greatly on harvest date, variety and plant density.

In tests using a rotating brush, the content of foliage averaged 0.04 kg of dm per kg rough plant dm. The loss of stem material was about 0,05 kg/kg at a defoliation height of 2.3 m. Simulating the defoliation we considered a better stripping efficiency than the one that could be realized in the field tests. It became clear that besides the defoliation height, the result is influenced by variety and plant density. Both a flail mower and a rotating brush can be used. With the brush the fibre losses will probably be lower because the leaves are stripped off, while a flail mower beats the stems. Finding the optimum design of the brush still needs research.

Chopping is a well-known technique in harvesting green fodders such as grass and maize. The product can be handled easily (to be mixed or compressed) because it is sort of streaming. The tough bast of the hemp stem sometimes caused troubles with harvesting using a field chopper. First of all the header must be row-independent (with rotors) to avoid wrapping of stems around chains. Flywheel-type choppers, with the rotating axle parallel to the input, are more sensitive to technical troubles due to wrapping than drum-type choppers. Badly chopped bast fibres can easily get to the axle, wrap around it and destroy the bearings. To avoid blockages the crop chute must be smooth and without any augers or blind areas. The knives shall be sharp and the chopping length shall be small (6 mm). The length of the elementary bast fibres is longer though (with an average of 20 mm), but it seemed that the bast fibres are not cut at the adjusted chopping length. In field tests the length of the chopped bast varied from 1 cm to more than 20 cm. The field capacity of a forage harvester in hemp is expected to be somewhat less than in maize (because of more technical troubles) and is estimated at 0.9 ha per hour.

To secure a year-round supply as a raw material for pulp, prolonged storage of the harvested fibres is required. This can be done by ensiling. This technique is commonly used to conserve green fodders. Under anaerobic conditions lactic acid bacteria consume free sugars and produce lactic acid until the acidity is that low (pH 4.2) that even these bacteria cannot survive. Then the silage is in a stable condition in which the quality of the fodder does not change. Because there are not enough sugars in hemp, fermentation seldom succeeded spontaneously. Therefore it is necessary to use additives for a successful ensiling process. In silage the (hemi-)cellulose is not allowed to be affected and the strength of the bast has to be preserved as best as possible. Results of fibre strength measurements indicate that the best environment is acidic (pH<4) or alkaline (pH>12). But even under these circumstances the strength decreased by 18% after an ensiling period of 3 months (compared with dry-stored fibres). The development of fibre strength during the ensiling period is not quite clear. There are indications that the strength is slowly decreasing in a stable acidic or alkaline environment. It is not known how much that decrease is and whether it can be stopped.

No cellulose or hemicellulose was lost in the ensiling process. Addition of caustic soda splitted off some acetyl groups from hemicellulose. Washing alkaline-ensiled hemp, more material rinsed out. It is not known whether these are degradation products of (hemi)cellulose. Some lignin may have been degraded in alkaline silage as well. With ensiling, the paper tensile strength decreased but it was less than the decrease in fibre strength itself. Also the brightness became lower, especially by alkaline ensiling. Storage by ensiling entails that some loss of quality has to be accepted.

Bast and core can be separated best after ensiling, just before processing (integrated in the washing operation). The prospects of the decortication in the field are not good because the separation results were not satisfactory and this operation would be very expensive (approx. 110 Dfl per ton dm). When the hemp is harvested with a field chopper, the bast is loosened from the core because of a tearing action. This makes it possible to separate bast and core by flotation after the hemp has been taken out of silage and transported to the pulp plant. In water the bast sinks and the core floats. The costs of this operation would be substantially lower (approx. 5 Dfl per ton dm) and the separation results would be better, too.

In the examined system to cultivate, harvest and store fibre hemp, storage by means of ensiling is the most uncleared factor for the supply of a good and equal quality of fibres throughout the year. More research into the ensiling processes which affect the fibres is necessary before the system can be introduced. An option may be, to cultivate an early ripening variety. Then the crop can be mowed at the end of July to be dried in the field. However, at that harvest date the yield is approx. 3 tons of dm lower per hectare. Dry storage is the best guarantee for the highest quality of fibre.

Literatuur

- ASTM, 1967. Standard method of test for breaking strength and elongation of cotton fibers (flat bundle method), ASTM designation: D 1445-67. In: Book of ASTM standards part 25; textile materials - fibers and zippers, Philadelphia, 662 pp.
- Bagby M.O., T.F. Clark and R.L. Cunningham, 1973. Uniform quality pulps from wet-processed stored green kenaf. In: Non-wood fiber pulping; progress report no. 4, Technical Association of the pulp and paper industry (TAPPI), Atlanta, CA report no. 52, p. 61-67
- Berger B., 1969. The world's major fibre crops: their cultivation and manuring, Centre d'étude de l'azote, Zürich, 294 pp.
- Berlo J.M. van, 1993. Papier uit hennep van Nederlandse grond; Eindrapportage van vier jaar henneponderzoek: Business Concept en onderbouwing, ATO-DLO, Wageningen, 222 pp.
- Berlo J.M. van, M. van Onna, P.C. Struik, H.M.G. van der Werf, W. Huisman en E.A.A. de Maeyer, 1993. Uitgangspunten bij de saldoberekening van hennep teelt en de vergelijking met concurrerende gewassen; nr. 1, interne uitgave DLO, Wageningen, 9 pp.
- Bloem L. en G. Kolkman, 1992. Kwantitatieve informatie veehouderij; 1992-1993, IKC Veehouderij, Ede, 256 pp.
- Bonarius E.A.P., 1991. Effecten van basische toevoegingen aan ingekuilde hennep op de kwaliteit van papier, doctoraalverslag, vakgroep Landbouwplantenteelt en graslandkunde, LUW, Wageningen, 46 pp.
- Bosia A. en D. Nisi, 1977. Utilizzazione integrale della canapa con i processi alcali-ossigeno e chemi-meccanico. Proceedings 17e EUCEPA congres, Wenen, 10 oktober 1977, p. 7-15
- Christian M., 1818. Handleiding voor landlieden over de wijze om vlas en hennep zonder roting te bereiden. Brussel, 58 pp.
- Clark T.F., R.L. Cunningham, L.A. Lindenfelser, I.A. Wolff and D.G. Cummins, 1970. A search for New Fiber Crops; Kenaf storage. In: Non-wood fiber pulping; progress report no. 1, Technical Association of the pulp and paper industry (TAPPI), Atlanta, CA report no. 34 (revised and reprinted 1975), p. 65-76
- Dewar W.A., P. McDonald and R. Whittenbury, 1963. The hydrolysis of grass hemicelluloses during ensilage, Journal of the science of food and agriculture, 14, p. 411-417
- FNPC, 1985. Le chanvre monoïque; la récolte, Fédération Nationale des Producteurs de Chanvre, Le Mans, 11 pp.

- Goethals P. en J. van Middelkoop, 1988. Praktijkonderzoek naar oogstmechanisatiemogelijkheden voor vezelhennep, doctoraalverslag, vakgroep landbouwtechniek, LUW, Wageningen, 123 pp.
- Gosselink R.J.A., 1991a. Viscositeitsbepaling van (hennep)pulp in cueen met behulp van de capillaire viscosimeter, rapport 197, ATO-DLO, Wageningen, 17 pp.
- Gosselink R.J.A., 1991b. Bepaling van de gemiddelde polymerisatiegraad van cellulose in hennepulp met behulp van de intrinsieke viscositeit, rapport 198, ATO-DLO, Wageningen, 22 pp.
- Groot B. de, J.E.G van Dam, R.P. van der Zwan and K. van 't Riet, 1994. Simplified kinetic modelling of alkaline delignification of hemp woody core, *Holzforschung*, 48 (3), p. 207-214
- Harsveld van der Veen J.E., 1991. Biochemisch en morfologisch onderzoek aan hennep gericht op milieuvriendelijke delignificatie. In: M.P. Reinders (red.), Halfjaarlijks verslag henneponderzoek no. 3, DLO/LUW, Wageningen, p. 61-65
- Heidemij Adviesbureau BV, 1989. Aktieprogramma Hennep, Fase I, eindrapport, rapport-nummer 687/44930A/R002, 37 pp.
- Hessler L.E., 1945. Chemical and strength differences in dew-retted hemp-fibre, *Journal of the American Society of Agronomy*, 37(2), p. 146-155
- Huisman W., 1983. Optimum cereal combine harvester operation by means of automatic machine and threshing speed control, Dissertatie LH-962, Landbouwhogeschool Wageningen, 293 pp.
- James K.R. en J. McCamley, 1981. Separation of core and bark from forage harvested kenaf. In: *Proceedings Kenaf Conference*, May 28-29, 1981. Brisbane, Queensland, p. 69-72
- Janssen A.K., 1992. Beoordeling van gekuilde hennep, rapport nr. 251, ATO-DLO, Wageningen, 12 pp.
- Kasper G.J., 1993. Technische factoren bij het droogproces van gemaaid gras. Een literatuuronderzoek, rapport 93-12, IMAG-DLO, Wageningen, 33 pp.
- Kirby R.H., 1963. *Vegetable Fibres*, Leonard Hill Ltd., London, 464 pp.
- Kolk J.C. van der, 1991. Onderzoekresultaten ATO hennepkuil 1989, rapport nr. 199, ATO-DLO, Wageningen, 10 pp.
- Krijnen H.J. en J.W. Nellestijn, 1992. Klimatologische gegevens van Nederlandse stations: normalen en extreme waarden van de 15 hoofdstations voor het tijdvak 1961 - 1990, KNMI, De Bilt, 159 pp.

- Lips S.J., 1990. Het thermo-mechanisch en chemo-thermo-mechanisch verwerken van hennep tot papierpulp. In: M.P. Reinders (red.), Halfjaarlijks verslag henneponderzoek no. 2, DLO/LUW, Wageningen, p. 65-67
- Lips S.J., R. Op den Kamp en T. Oudewortel, 1993. De beoordeling van hennep uit semi-praktijkkuiten als grondstof voor papier, rapport nr 349, ATO-DLO, Wageningen, 15 pp.
- Makanjuola G.A., 1973. The design and development of a small scale machine for decortiating kenaf and similar fibre plants, *Nigerian agricultural journal*, 10, 1, p. 106-113
- Mazed M.A. and K.C. Roy, 1982. Design, construction and performance of a jute decortiating machine, *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 13, 3, p. 53-55
- McDonald P., 1976. Trends in silage making. In: F.A. Skinner and J.G. Carr (eds.), *Microbiology in agriculture, fisheries and food*, Academic Press, London, p. 109-121
- McDonald P. and R. Whittenbury, 1973. The ensilage process. In: G.W. Butler and R.W. Bailey (eds.), *The chemistry and biochemistry of herbage*. Academic Press, New York, volume 3, p. 33-60
- McDonald P., N. Henderson and S. Heron, 1991. *The biochemistry of silage*, 2nd ed., Chalcombe Publications, Marlow, 340 pp.
- Meijer E.P.M. de, 1992. Collectie-opbouw, -instandhouding en -evaluatie. In: M.P. Reinders (red.), Halfjaarlijks verslag henneponderzoek nr. 5, DLO/LUW, Wageningen, p. 21-24
- Middelhoven W.J., I.M. de Jong and M. de Winter, 1990. Yeasts and fungi occurring in ensiled whole-crop maize and other ensiled vegetable crops, *Antonie van Leeuwenhoek*, 57, p. 153-158
- Middelhoven W.J., 1991. Inkuilen en laten verzuren van gehakselde vezelhennep, intern proefverslag, laboratorium voor Microbiologie, LUW, Wageningen, 4 pp.
- Middelkoop J.C. van, 1990. Ervaringen met en onderzoek naar het inkuilen van hennep. doctoraalverslag, vakgroep Landbouwplantenteelt en graslandkunde, LUW, Wageningen, 47 pp.
- Pari, 1992. Biomass Crops harvesting: sweet sorghum and kenaf combines. In: *International conference on agricultural engineering*, Uppsala, Sweden, June 1-4., p. 39-40
- PCT, 1988. Apparatus for grading fibrous material. Patent. International Patent Classification: B07B 1/24; Internatinal Publication Number: WO 88/03444; International Publication Date: 19 May 1988

- Portiek J.H., 1975. Werkbare uren voor de graanoogst, publikatie 34, IMAG, Wageningen, 32 pp.
- Quick G.R., I.M. Wood and W.H. Rawlins, 1980. Application of a forage harvester for harvesting kenaf for paper pulp production, *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*, 46, p. 170-174
- Robinson B.B., 1946. Dew retting of hemp uncertain west of longitude 950, *Journal of the American Society of Agronomy*, 38(12), p. 1106-1109
- Roeterdink, H.W. en M.J. Brantjes (red.), 1992. Kwantitatieve informatie voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond; *Bedrijfssynthese 1992-1993*. IKC-agv en PAGV, Lelystad, 212 pp.
- Seale D.R., 1986. Bacterial inoculants as silage additives. In: M. Bateson, C.L. Benham and F.A. Skinner (eds.), *Micro-organisms in agriculture*, Oxford, Blackwell, 147 pp.
- Timell T.E., 1967. Recent progress in the chemistry of wood celluloses. *Wood Science and Technology*, 1, p. 45-70
- USDA, 1988. New harvester a big step toward commercial kenaf production, USDA photo feature nr. 322, Cooperative State Research Service, United States Department of Agriculture, Washington D.C., november 1988, 4 pp.
- Verdonschot T., 1986. Vezelhennep: oogst, opslag en papierkwaliteit, doctoraalverslag, vakgroep Landbouwplantenteelt en graslandkunde, LUW, Wageningen, 41 pp.
- Voskens R., 1993. Blowing in de wind: het scheiden van bast- en houtvezel van hennep in het veld; oogstseizoen 1992, doctoraalverslag, vakgroep Agrotechniek en -fysica, LUW, Wageningen, 88 pp.
- Wallis A.F.A. and R.H. Wearne, 1985. Fractionation of the polymeric components of hardwoods by autohydrolysis-explosion-extraction, *Appita*, 38(6), p. 432-437
- Werf H.M.G. van der, 1991a. Vezelvorming en -productie bij hennep. In: W.J.M. Meijer en N. Vertregt (red.), *Gewasdiversificatie en agrificatie*, Agrobiologische themas's nr. 4, CABO-DLO, Wageningen, p. 12-23
- Werf H.M.G. van der, 1991b. Agronomy and crop physiology of fibre hemp; a literature review, Center for Agrobiological Research (CABO-DLO), report 142, Wageningen, 16 pp.
- Werf H.M.G. van der, 1992. Fibre Hemp in France, Internal report of a visit to the Fédération Nationale des Producteurs de Chanvre at Le Mans, 30 and 31 July 1992, CABO-DLO, Wageningen, 7 pp.

- Werf H.M.G. van der, 1993^a. De opbrengst en kwaliteit van vezelhennep cultivars in Nederland, In: M.J.J.M. van Kemenade (red.), Papier uit hennep van Nederlandse grond; eindrapportage van vier jaar henneponderzoek, deel: wetenschappelijke projectverslagen, DLO/LUW, Wageningen
- Werf H.M.G. van der, 1993^b. De teeltwijze van vezelhennep voor de produktie van papier in Nederland. In: M.J.J.M. van Kemenade (red.), Papier uit hennep van Nederlandse grond; eindrapportage van vier jaar henneponderzoek, deel: wetenschappelijke projectverslagen, DLO/LUW, Wageningen
- Werf H.M.G. van der, 1993^c. Fibre hemp in Ukraine. Report of a visit to the Institute of Bast Crops of the Ukrainian Academy of Agrarian Sciences at Glukhov, 14 to 22 August, CABO-DLO, Wageningen, 8 pp.
- Werf H.M.G. van der, 1994. Crop physiology of fibre hemp (*Cannabis Sativa* L.), Dissertatie, LUW Wageningen Agricultural University, 152 pp.
- Wieringa G.W. en S. de Haan, 1961. Inkuilen, IBVL, Wageningen, 49 pp.
- Wilkes, L.H., P. Hobgood and E.L. Whitely, 1969. Evaluating systems of harvesting and handling kenaf as a source of paper pulp, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 12, p. 34-38
- Wolters R., 1992. Het scheiden van hennep in bast- en houtvezel in het veld, doctoraal-verslag, vakgroep Agrotechniek en -fysica, LUW, Wageningen, 80 pp.
- Wood I.M., D.J. Quick, R.A. Stiff and N.H. Adams, 1978. Harvesting kenaf with sugarcane harvesters, World Crops, 30, p. 200-205
- Woolford M.K., 1972. Some aspects of the microbiology and biochemistry of silage making, Herbage abstracts, 42, p. 105-111
- Zomers F.H.A., B. de Groot, J.E. Harsveld van der Veen, S.J. Lips, F.P. de Vries en G.J. van Roekel, 1991. Hennepvezels. In: G. Popkema (ed.), Agrificatie-onderzoek in Nederland; nieuw perspectief voor de akkerbouwer: producent voor andere markten. Misset BV, Doetinchem, p. 18-26
- Zolt S., 1989. Rostkender Betakaritas (De oogst van vezelhennep), MÉMMI, Gödöllő, Hongarije, Technológiai teszt 168/1989, 21 pp.

Verklarende woordenlijst en afkortingen

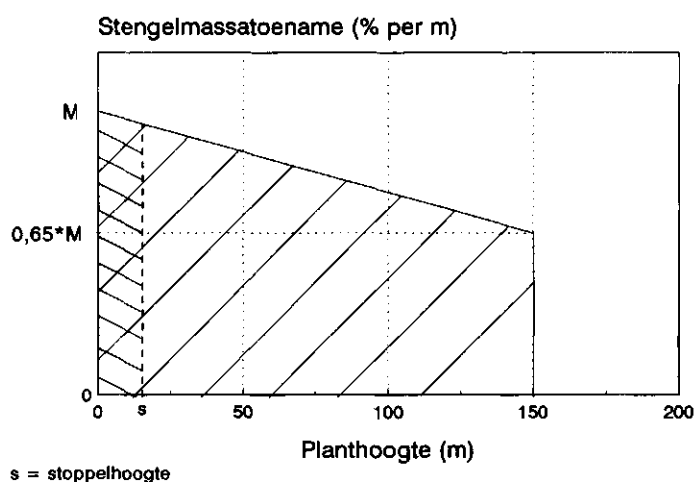
APMP	Alkaline Peroxide Mechanical Pulping
bladfractie	drogestofmassa bladeren, bloeiwijzen en zaad, gedeeld door de totale bovengrondse drogestofmassa
drogestofgehalte	massa droge stof gedeeld door de totale massa (droge stof en vocht) (*100%)
ds	droge stof
EFW	Extract Free Wood
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
ksv	kleinste significante verschil
maaischeiden	in één werkgang, maaien van hennepstengels en deze vervolgens scheiden in bast en hout
toplengte	bovenste gedeelte van een hennepplant waar blad aanwezig is
tophoogte	hoogte boven maaiveld, waarboven een machine bladmateriaal verwijdert
toppen	bewerking om op het veld bladeren, bloeiwijzen en zaad te verwijderen
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry
tpm	toeren per minuut

BIJLAGE A

Bepaling van de stoppelverliezen op basis van stengelopbrengst en stengeldiktes

Van 180 planten is de stengeldiameter gemeten aan de voet en op 1,5 m hoogte. De diameter aan de voet was gemiddeld 11,2 mm en op 1,5 m hoogte 9,0 mm. De verhouding tussen de stengeldoorsnede aan de voet en die op 1,5 m hoogte was $9,0^2/11,2^2 = 0,65$. Aangenomen wordt dat de stengelmasa evenredig is met de stengeldoorsnede.

Gemiddeld was 72% van de totale stengelmasa beneden 1,5 m gewashoogte te vinden. In figuur A1 is dit alles grafisch weergegeven. Op de x-as is de planthoogte uitgezet en op de y-as de procentuele toename van het stengelmateriaal. Het geheel gearceerde oppervlak is de stengelmasa in procenten beneden 1,5 m (72%).



Figuur A1 Stengelmassatoename (% van de totale stengelmasa) als functie van de planthoogte (< 1,5 m).

Figure A1 Increase of stem mass (% of the total stem mass) as a function of the plant height (< 1.5 m).

Met de genoemde gegevens is het snijpunt met de y-as (M) uit te rekenen:

$$1,5 * 0,65 * M + 0,5 * 1,5 * (M - 0,65 * M) = 72 \Rightarrow M = 58,2$$

De lijn van de stengelmassatoename y (in % per m), afhankelijk van de planthoogte x (tot 1,5 m), is dan:

$$y = -13,6 * x + 58,2$$

Het stoppelverlies is het verlies aan stengelmateriaal (in % van de totale stengelopbrengst) en is in figuur A1 weergegeven door het dubbel gearceerde oppervlak. Dit kan berekend worden door de lijn van de stengelmassatoename te integreren naar de stoppelhoogte, uitgedrukt in m:

$$\text{stoppelverlies} = -6,8 * \text{stoppelhoogte}^2 + 58 * \text{stoppelhoogte}$$

In bovenstaande formule is de kwadratische term overigens verwaarloosbaar. Stoppelhoogtes zijn normaal gesproken immers kleiner dan 0,2 m.

BIJLAGE B

Turbo Pascal programma voor het berekenen van het stengelverlies en de bladverwijdering bij een simulatie van het ontbladeren van een gewas vezelhennepe

Program curves;

```
(***** *)
(*) *)
(*) DOEL : Uitrekenen van het stengelverlies en de bladverwijdering (*)
(*) bij een gesimuleerde topbewerking (op verschillende (*)
(*) hoogtes) in een hennepgewas. (*)
(*) OUTPUT : Per zaaivariant en meettijdstip is er 1 uitvoerfile. (*)
(*) Fuhot1.crf; (Futura, hoge zaaidichtheid, 21 aug. 1992) (*)
(*) Fuhot2.crf; (Futura, hoge zaaidichtheid, 7 sept. 1992) (*)
(*) Fuhot3.crf; (Futura, hoge zaaidichtheid, 2 okt. 1992) (*)
(*) Fulat1.crf; (Futura, lage zaaidichtheid, 21 aug. 1992) (*)
(*) Fulat2.crf; (Futura, lage zaaidichtheid, 7 sept. 1992) (*)
(*) Fulat3.crf; (Futura, lage zaaidichtheid, 2 okt. 1992) (*)
(*) Hyhot1.crf; (Hybrid TC, hoge zaaidichtheid, 21 aug. 1992) (*)
(*) Hyhot2.crf; (Hybrid TC, hoge zaaidichtheid, 7 sept. 1992) (*)
(*) Hyhot3.crf; (Hybrid TC, hoge zaaidichtheid, 2 okt. 1992) (*)
(*) Hylat1.crf; (Hybrid TC, lage zaaidichtheid, 21 aug. 1992) (*)
(*) Hylat2.crf; (Hybrid TC, lage zaaidichtheid, 7 sept. 1992) (*)
(*) Hylat3.crf; (Hybrid TC, lage zaaidichtheid, 2 okt. 1992) (*)
(*) *)
(*) DATUM : juli 1993 E.A.A. de Maeyer (*)
(*) *)
(***** *)
```

Type

S10=String[10];

Var

```
Bestand : Text;
Naamfile : Array[1..12] of S10; (* Namen van de 12 uitvoerfiles *)
I, J, L, Z : Integer; (* Looptellers *)

Cst, Rcst, Cbl, Rcb1 : Array[1..12,1..5] of real;
(* Matrix met constanten en richtingscoëfficiënten *)
(* van de blad- en stengelopbrengsten (in ton ds/ha) *)
(* als functie van de gewashoogte *)

Totstengel, (* Totale stengelopbrengst per variant *)
Totblad (* Totale bladopbrengst per variant *)
: Array[1..12] of real;

Stverwperc, (* Percentage stengelverwijdering door toppen (van 0-100%) *)
Ontbleff, (* Ontbladeringsefficiëntie (van 95-100%) *)
Tophoogte,
Stverlies, (* Stengelverlies (% van de totale stengelhoeveelheid) *)
Verwblad, (* Verwijderd blad (% van de totale hoeveelheid blad) *)
Blad, (* Hoeveelheid blad die niet verwijderd wordt bij het toppen *)
Stengel, (* Hoeveelheid stengel die blijft staan na het toppen *)
Bladfractie (* De hoeveelheid blad t.o.v. de totale massa na het toppen *)
: Real;Begin (* Curves *)
```

```

(* Initialisatie van NAAMFILE, XMAXST, XMAXBL, TOTSTENGEL, TOTBLAD en de      *)
(* lijnparameters CST, RCST, CBL en RCBL                                     *)

(*****)

Naamfile[1]:='fuhot1.crf';
Totstengel[1]:=12.89;
Totblad[1]:=2.46;

Rcst[1,1]:=6.99; Cst[1,1]:=0;      (* Lijnstuk tussen 0 m en 1,5 m gewashoogte *)
Rcst[1,2]:=2.30; Cst[1,2]:=7.04;  (* Lijnstuk tussen 1,5 m en 2,2 m gewashoogte *)
Rcst[1,3]:=1.47; Cst[1,3]:=8.87;  (* Lijnstuk tussen 2,2 m en 2,5 m gewashoogte *)
Rcst[1,4]:=0.83; Cst[1,4]:=10.46; (* Lijnstuk tussen 2,5 m en 2,8 m gewashoogte *)
Rcst[1,5]:=0.27; Cst[1,5]:=12.04; (* Lijn vanaf 2,8 m gewashoogte *)

Rcbl[1,1]:=0.71; Cbl[1,1]:=-0.85; (* Lijnstuk tussen 1,2 m en 2,2 m gewashoogte *)
Rcbl[1,2]:=1.63; Cbl[1,2]:=-2.88; (* Lijnstuk tussen 2,2 m en 2,5 m gewashoogte *)
Rcbl[1,3]:=2.07; Cbl[1,3]:=-3.97; (* Lijnstuk tussen 2,5 m en 2,8 m gewashoogte *)
Rcbl[1,4]:=1.80; Cbl[1,4]:=-3.22; (* Lijn vanaf 2,8 m gewashoogte *)

(*****)

Naamfile[2]:='fuhot2.crf';
Totstengel[2]:=11.72;
Totblad[2]:=2.35;

Rcst[2,1]:=5.88; Cst[2,1]:=0;
Rcst[2,2]:=2.60; Cst[2,2]:=4.92;
Rcst[2,3]:=1.80; Cst[2,3]:=6.68;
Rcst[2,4]:=1.07; Cst[2,4]:=8.51;
Rcst[2,5]:=0.57; Cst[2,5]:=9.91;

Rcbl[2,1]:=0.27; Cbl[2,1]:=-0.32;
Rcbl[2,2]:=0.47; Cbl[2,2]:=-0.76;
Rcbl[2,3]:=1.37; Cbl[2,3]:=-3.01;
Rcbl[2,4]:=2.80; Cbl[2,4]:=-7.02;

(*****)

Naamfile[3]:='fuhot3.crf';
Totstengel[3]:=13.61;
Totblad[3]:=1.93;

Rcst[3,1]:=6.63; Cst[3,1]:=0;
Rcst[3,2]:=3.14; Cst[3,2]:=5.24;
Rcst[3,3]:=2.27; Cst[3,3]:=7.16;
Rcst[3,4]:=1.43; Cst[3,4]:=9.25;
Rcst[3,5]:=0.87; Cst[3,5]:=10.83;

Rcbl[3,1]:=0.20; Cbl[3,1]:=-0.24;
Rcbl[3,2]:=0.30; Cbl[3,2]:=-0.46;
Rcbl[3,3]:=0.63; Cbl[3,3]:=-1.29;
Rcbl[3,4]:=1.87; Cbl[3,4]:=-4.75;

```

(*****)

Naamfile[4]='fulat1.crf';
Totstengel[4]=11.63;
Totblad[4]=2.73;

Rcst[4,1]=5.85; Cst[4,1]=0;
Rcst[4,2]=2.37; Cst[4,2]=5.22;
Rcst[4,3]=1.63; Cst[4,3]=6.85;
Rcst[4,4]=1.23; Cst[4,4]=7.85;
Rcst[4,5]=0.93; Cst[4,5]=8.69;

Rcbl[4,1]=0.35; Cbl[4,1]=-0.42;
Rcbl[4,2]=1.43; Cbl[4,2]=-2.80;
Rcbl[4,3]=2.03; Cbl[4,3]=-4.30;
Rcbl[4,4]=2.43; Cbl[4,4]=-5.42;

(*****)

Naamfile[5]='fulat2.crf';
Totstengel[5]=13.00;
Totblad[5]=3.2;

Rcst[5,1]=6.14; Cst[5,1]=0;
Rcst[5,2]=2.89; Cst[5,2]=4.88;
Rcst[5,3]=2.40; Cst[5,3]=5.95;
Rcst[5,4]=1.77; Cst[5,4]=7.53;
Rcst[5,5]=1.17; Cst[5,5]=9.21;

Rcbl[5,1]=0.18; Cbl[5,1]=-0.22;
Rcbl[5,2]=0.30; Cbl[5,2]=-0.48;
Rcbl[5,3]=1.07; Cbl[5,3]=-2.40;
Rcbl[5,4]=2.60; Cbl[5,4]=-6.69;

(*****)

Naamfile[6]='fulat3.crf';
Totstengel[6]=11.22;
Totblad[6]=1.62;

Rcst[6,1]=5.53; Cst[6,1]=0;
Rcst[6,2]=2.60; Cst[6,2]=4.40;
Rcst[6,3]=1.77; Cst[6,3]=6.23;
Rcst[6,4]=1.17; Cst[6,4]=7.73;
Rcst[6,5]=0.57; Cst[6,5]=9.41;

Rcbl[6,1]=0.23; Cbl[6,1]=-0.28;
Rcbl[6,2]=0.30; Cbl[6,2]=-0.43;
Rcbl[6,3]=1.07; Cbl[6,3]=-2.35;
Rcbl[6,4]=1.77; Cbl[6,4]=-4.31;

(*****)

Naamfile[7]:='hyhot1.crf';
Totstengel[7]:=11.54;
Totblad[7]:=2.37;

Rcst[7,1]:=5.60; Cst[7,1]:=0;
Rcst[7,2]:=2.69; Cst[7,2]:=4.37;
Rcst[7,3]:=1.77; Cst[7,3]:=6.39;
Rcst[7,4]:=1.43; Cst[7,4]:=7.23;
Rcst[7,5]:=0.80; Cst[7,5]:=9.00;

Rcbl[7,1]:=0.35; Cbl[7,1]:=-0.42;
Rcbl[7,2]:=1.20; Cbl[7,2]:=-2.29;
Rcbl[7,3]:=1.93; Cbl[7,3]:=-4.12;
Rcbl[7,4]:=1.90; Cbl[7,4]:=-4.03;

(*****)

Naamfile[8]:='hyhot2.crf';
Totstengel[8]:=12.04;
Totblad[8]:=1.58;

Rcst[8,1]:=5.70; Cst[8,1]:=0;
Rcst[8,2]:=2.99; Cst[8,2]:=4.07;
Rcst[8,3]:=1.93; Cst[8,3]:=6.39;
Rcst[8,4]:=1.37; Cst[8,4]:=7.80;
Rcst[8,5]:=0.87; Cst[8,5]:=9.20;

Rcbl[8,1]:=0.18; Cbl[8,1]:=-0.22;
Rcbl[8,2]:=0.37; Cbl[8,2]:=-0.63;
Rcbl[8,3]:=0.63; Cbl[8,3]:=-1.29;
Rcbl[8,4]:=1.23; Cbl[8,4]:=-2.97;

(*****)

Naamfile[9]:='hyhot3.crf';
Totstengel[9]:=7.82;
Totblad[9]:=1.2;

Rcst[9,1]:=3.82; Cst[9,1]:=0;
Rcst[9,2]:=1.89; Cst[9,2]:=2.90;
Rcst[9,3]:=1.20; Cst[9,3]:=4.41;
Rcst[9,4]:=0.83; Cst[9,4]:=5.33;
Rcst[9,5]:=0.43; Cst[9,5]:=6.45;

Rcbl[9,1]:=0.21; Cbl[9,1]:=-0.25;
Rcbl[9,2]:=0.27; Cbl[9,2]:=-0.38;
Rcbl[9,3]:=0.33; Cbl[9,3]:=-0.54;
Rcbl[9,4]:=1.30; Cbl[9,4]:=-3.25;

(*****)

Naamfile[10]:='hylat1.crf';

Totstengel[10]:=10.56;

Totblad[10]:=2.51;

Rcst[10,1]:=4.73; Cst[10,1]:=0;

Rcst[10,2]:=2.49; Cst[10,2]:=3.37;

Rcst[10,3]:=1.97; Cst[10,3]:=4.51;

Rcst[10,4]:=1.57; Cst[10,4]:=5.51;

Rcst[10,5]:=1.23; Cst[10,5]:=6.45;

Rcbl[10,1]:=0.15; Cbl[10,1]:=-0.18;

Rcbl[10,2]:=0.77; Cbl[10,2]:=-1.54;

Rcbl[10,3]:=1.37; Cbl[10,3]:=-3.04;

Rcbl[10,4]:=1.77; Cbl[10,4]:=-4.16;

(*****)

Naamfile[11]:='hylat2.crf';

Totstengel[11]:=11.08;

Totblad[11]:=1.81;

Rcst[11,1]:=4.80; Cst[11,1]:=0;

Rcst[11,2]:=2.70; Cst[11,2]:=3.15;

Rcst[11,3]:=2.13; Cst[11,3]:=4.40;

Rcst[11,4]:=1.80; Cst[11,4]:=5.23;

Rcst[11,5]:=1.40; Cst[11,5]:=6.35;

Rcbl[11,1]:=0.05; Cbl[11,1]:=-0.06;

Rcbl[11,2]:=0.17; Cbl[11,2]:=-0.32;

Rcbl[11,3]:=0.37; Cbl[11,3]:=-0.82;

Rcbl[11,4]:=0.73; Cbl[11,4]:=-1.84;

(*****)

Naamfile[12]:='hylat3.crf';

Totstengel[12]:=8.55;

Totblad[12]:=1.75;

Rcst[12,1]:=3.80; Cst[12,1]:=0;

Rcst[12,2]:=2.07; Cst[12,2]:=2.59;

Rcst[12,3]:=1.60; Cst[12,3]:=3.63;

Rcst[12,4]:=1.30; Cst[12,4]:=4.38;

Rcst[12,5]:=0.93; Cst[12,5]:=5.41;

Rcbl[12,1]:=0.08; Cbl[12,1]:=-0.10;

Rcbl[12,2]:=0.27; Cbl[12,2]:=-0.51;

Rcbl[12,3]:=0.43; Cbl[12,3]:=-0.92;

Rcbl[12,4]:=0.80; Cbl[12,4]:=-1.95;

(*****)

```

(* Uitrekenen van de gewenste hoeveelheden en percentages per variant *)

For Z:=1 to 12 do
Begin
    (* Toewijzen van NAAMFILE aan BESTAND + afdrukken kopje *)
    Assign(Bestand, Naamfile[Z]);
    Rewrite(bestand);
    Writeln(Bestand, 'Stverwperc Verlies Tophoogte Stengelmat I Bladmat',
            ' J Bladfrac Verwijderdblاد');
    Writeln(Bestand, ' [%] [%] [m] [t/ha] [t/ha] ',
            ' [%] [%]');
    Writeln(Bestand);

    (* STVERWPERC is achtereenvolgens 25, 50, 75 en 100% *)
    For L:=1 to 4 do
    Begin
        (* Initialisatie van STVERWPERC, ONTBLEFF en TOPHOOGTE *)
        Stverwperc:=0.25*L;
        Ontbleff:=0.95+(0.05*0.25*L);
        Tophoogte:=1.48;
        Writeln(Bestand);
        Repeat
            Tophoogte:=Tophoogte+0.02;
            If Tophoogte>2.8 then I:=5 else
            If Tophoogte>2.5 then I:=4 else
                If Tophoogte>2.2 then I:=3 else
                    If Tophoogte>1.5 then I:=2 else I:=1;

            (* Berekenen van STVERLIES *)
            Stverlies:=Stverwperc*
                (Totstengel[Z]-Rcst[Z,I]*Tophoogte-Cst[Z,I])/Totstengel[Z];

            (* Berekenen van VERWBLAD *)
            J:=I-1; If J=0 then J:=1;
            Stengel:=(1-Stverlies)*totstengel[Z];
            Blad:=Totblad[Z]-(ontbleff*(Totblad[Z]-(Rcbl[Z,J]*Tophoogte+Cbl[Z,J])));
            Verwblad:=(Totblad[Z]-Blad)/Totblad[Z];

            (* Berekenen van BLADFRACTIE *)
            Bladfractie:=Blad/(Stengel+blad);

            (* Uitvoer naar BESTAND *)
            Writeln(Bestand, Stverwperc:4:2, (Stverlies*100):12:2,
                    (100*Tophoogte):10:0, Stengel:12:2, I:7,
                    Blad:9:2, J:6, (Bladfractie*100):10:2,
                    (Verwblad*100):13:2);

            Write('.');
            Until Blad>Totblad[Z];
        End; (* L 1 to 4 *)

        (* Sluiten van BESTAND *)
        Close(Bestand);

    End; (* Z 1 to 12 *)
End. (* Programma Curves *)

```

BIJLAGE C

Resultaten van de bladverwijderingssimulatie bij 'Futura hoog'

Teeltvariant: 'Futura hoog'

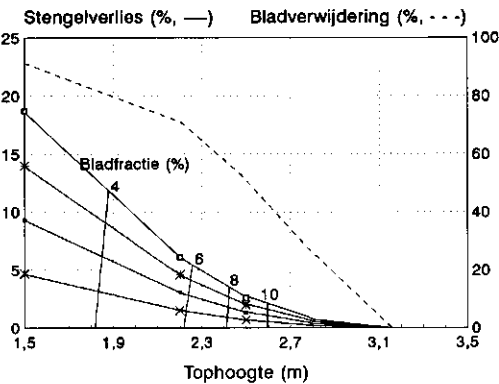
X-as: Tophoogte

Linker y-as: Stengelverlies (% van de totale stengelmasa) bij 4 stengelverwijderingspercentages (van onder naar boven: 25, 50, 75 en 100%)

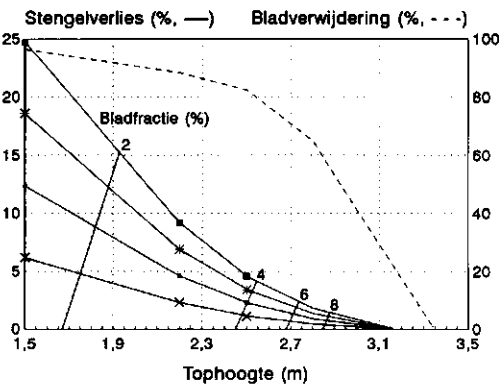
Rechter y-as: Maximale bladverwijdering (% van de totale bladmasa)

In curve: Bladfractie (% van de totale bovengrondse massa na toppen)

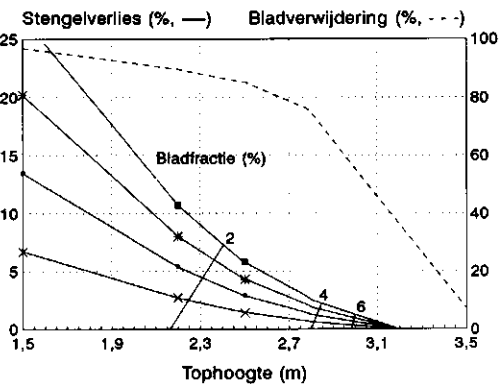
Voorbeeld: Datum 21 augustus 1992; tophoogte 2,3 m ==> maximaal stengelverlies (als de toppen worden afgemaaid) is 5% en er wordt dan 65% van het totale blad verwijderd. De bladfractie is ongeveer 6,5%.



21 augustus 1992



7 september 1992



2 oktober 1992



BIJLAGE D

Resultaten van de bladverwijderingssimulatie bij 'Futura laag'

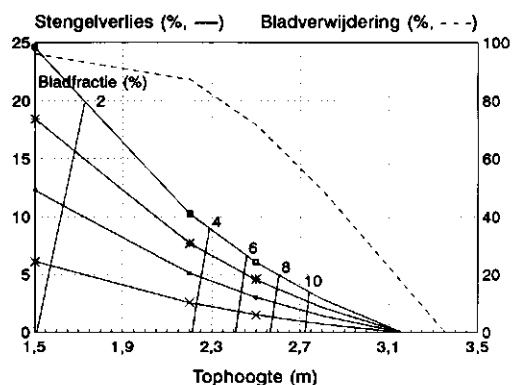
Teeltvariant: 'Futura laag'

X-as: Tophoogte

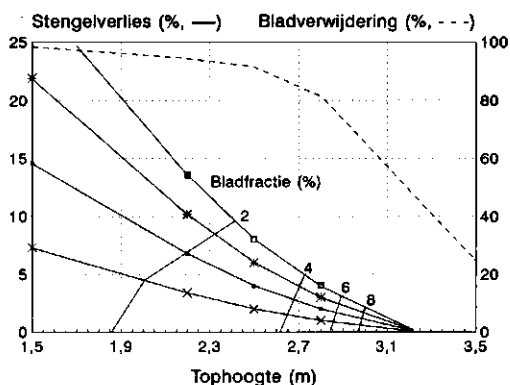
Linker y-as: Stengelverlies (% van de totale stengelmasa) bij 4 stengelverwijderingspercentages (van onder naar boven: 25, 50, 75 en 100%)

Rechter y-as: Maximale bladverwijdering (% van de totale bladmasa)

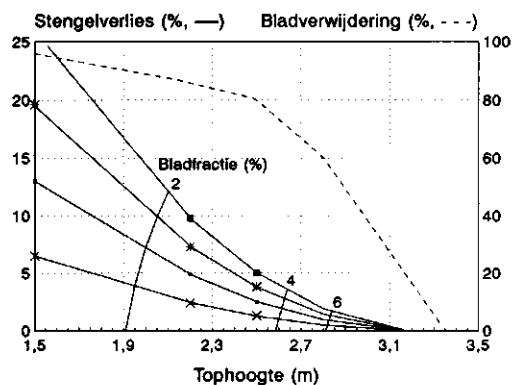
In curve: Bladfractie (% van de totale bovengrondse massa na toppen)



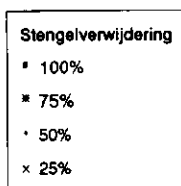
21 augustus 1992



7 september 1992



2 oktober 1992



BIJLAGE E

Resultaten van de bladverwijderingssimulatie bij 'Hybrid hoog'

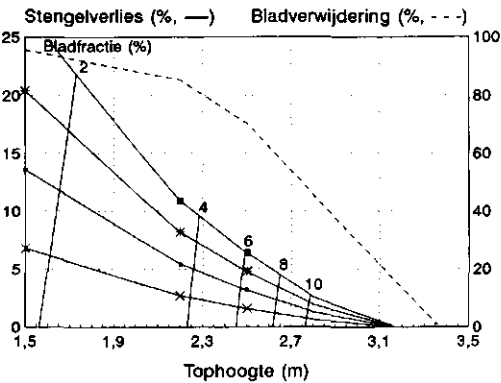
Teeltvariant: 'Hybrid hoog'

X-as: Tophoogte

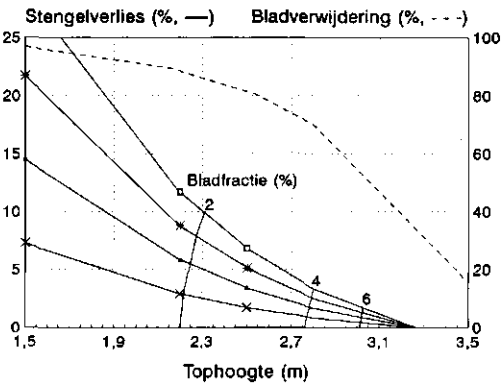
Linker y-as: Stengelverlies (% van de totale stengelmasa) bij 4 stengelverwijderingspercentages (van onder naar boven: 25, 50, 75 en 100%)

Rechter y-as: Maximale bladverwijdering (% van de totale bladmasa)

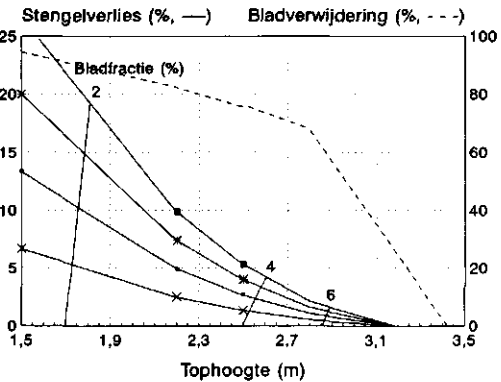
In curve: Bladfractie (% van de totale bovengrondse massa na toppen)



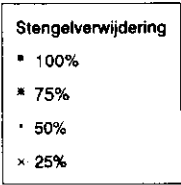
21 augustus 1992



7 september 1992



2 oktober 1992



BIJLAGE F

Resultaten van de bladverwijderingssimulatie bij 'Hybrid laag'

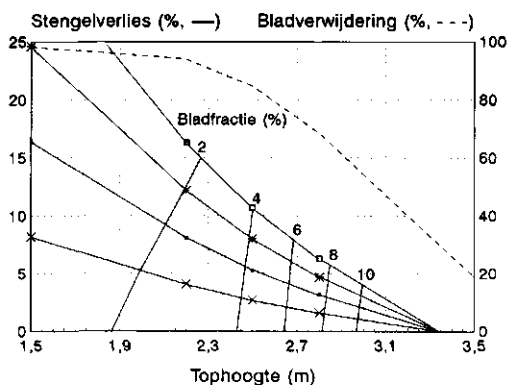
Teeltvariant: 'Hybrid laag'

X-as: Tophoogte

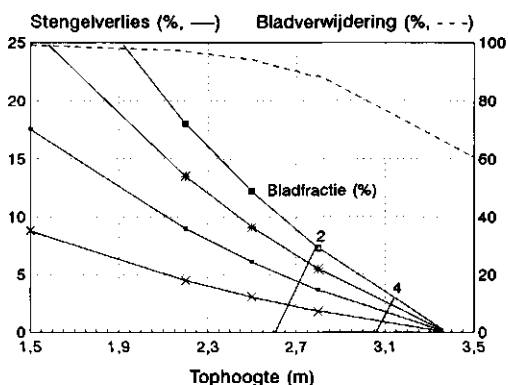
Linker y-as: Stengelverlies (% van de totale stengelmasse) bij 4 stengelverwijderingspercentages (van onder naar boven: 25, 50, 75 en 100%)

Rechter y-as: Maximale bladverwijdering (% van de totale bladmasse)

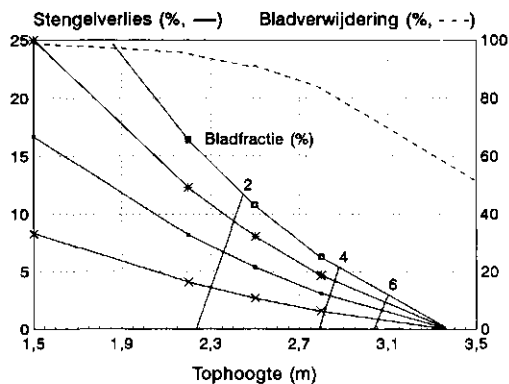
In curve: Bladfractie (% van de totale bovengrondse massa na toppen)



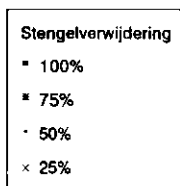
21 augustus 1992



7 september 1992



2 oktober 1992



BIJLAGE G

Analyse van organische zuren en ethanol in een waterextract van ingekulde hennep

R.J.A. Gosselink

Centraal laboratorium voor vezelonderzoek, ATO-DLO, januari 1993

1. Monstervoorbehandeling

Maak een waterextract (pH-extract) volgens voorschrift. Het monster homogeniseren en centrifugeren in 50 ml centrifugebuis gedurende 15 minuten op 2500 rpm.

Weeg nauwkeurig phenoxyazijnzuur af in een maatkolf; concentratie circa 3,5 g/l. Los deze hoeveelheid op in 1 M H_2SO_4 m.b.v. een ultrasoonbad. Dit is de Interne Standaard oplossing (IS-opl).

Pipetteer 1 ml van de bovenstaande monstervloeistof in een 10 ml PPN-centrifugebuis. Voeg hieraan 1 ml IS-oplossing toe en meng. Centrifugeer de verkregen oplossing gedurende 15 minuten op 4200 rpm.

Filtreer de oplossing door een 0,2 μm PTFE-filter in een monstervaatje van 1,5 of 2 ml.

2. Bereiden standaarden

Componenten: – Melkzuur, mierzuur, azijnzuur, propionzuur, iso-boterzuur, boterzuur en methylboterzuur;
– ethanol.

Maak een standaardreeks van alle zuren samen (zonder ethanol) en een van alleen ethanol in demiwater. Concentratiegebied: 0,01 - 4 ml/l.

Verdun iedere standaardoplossing 1:1 met de IS-oplossing in een 10 ml PPN-centrifugebuis. Meng goed en filtreer de oplossing door een 0,2 μm PTFE-filter in een monster-
vaatje.

3. Chromatografische omstandigheden

Kolom:	Shodex KC-811 (kationenwisselaar)
Voorkolom:	Fast Fruit Juice
HPLC-systeem:	Pharmacia - LKB
HPLC-software:	HPLCmanager + Nelson
Eluens:	1,00 ml/l H_3PO_4
Flow:	1,00 ml/min
Kolomtemperatuur:	60 °C
Injectievolume:	10 μl
Detectoren:	* UV 210 nm (Pharmacia) * RI (Waters); gevoeligheid 256
Runtijd:	30 minuten

4. Componenten

Component	Zuiverheid (%)	Dichtheid (g/ml)	Retentietijd UV (min)	Retentietijd RI (min)
Melkzuur	90	1,21	8,47	8,70
Mierezuur	99	1,22	9,04	9,27
Azijnzuur	100	1,05	9,74	9,97
Propionzuur	99	0,993	11,24	11,47
Iso-boterzuur	99+	0,95	12,66	12,88
Boterzuur	99+	0,964	13,54	13,77
Ethanol	100	0,79		14,30
2-methylboter zuur	98+	0,936	15,69	15,90
Phenoxyazijnzuur (IS)	99+		23,85	24,08

5. Berekeningen

Berekening concentratie componenten m.b.v. de Interne Standaard Methode.

BIJLAGE H

Opwerkingsmethode voor gecombineerde AIL-/ASL- en suikergehaltebepaling

R.J.A. Gosselink, J.C. van der Kolk en W. Teunissen

Centraal laboratorium voor vezelonderzoek, ATO-DLO, januari 1993

Opmerking: Bij monsters met een lager ligninegehalte dan ca. 5% worden 50 ml PPN-buizen gebruikt en worden de inweeghoeveelheden en toegevoegde volumina 5x vergroot.

- 1 12 ml (50 ml) PPN-buisjes (merk GREINER) drogen (droogtijd min. 2 dagen).
- 2 PPN-buisjes wegen zonder dop (tevens blanco-buizen meewegen ivm. tarraverschil voor en na hydrolyse).
- 3 75 mg (375 mg) monster inwegen (!!!: ook buizen met gevriesdroogde standaard-sachariden meenemen).
- 4 0,75 ml (3,75 ml) 72% zwavelzuur toevoegen (koelen in ijsbad).
- 5 Roeren met dichtgesmolten glazen pipetten.
- 6 1 uur prehydrolyseren op 30 °C (elk kwartier roeren).
- 7 7,25 ml (36,25 ml) demiwater toevoegen en na roeren de pipetten schoon verwijderen.
- 8 1 ml (5 ml) interne standaard toevoegen (5,25 mg mannitol, 7,5 mg fucose en 15 mg inositol opgelost per ml).
- 9 Hydrolyseren op 100 °C gedurende 3 uur in waterbad (elk half uur schudden).
- 10 Afkoelen in ijsbad gedurende ca. 15 minuten.
- 11 15 minuten centrifugeren op 4000 toeren per minuut (grote buizen 2500 tpm).
- 12 Hydrolysaat overbrengen:
 - suikerbepaling HPLC: 0,5 ml in 10 ml disposable reageerbuizen voor Ba(OH)₂-neutralisatie.
 - suikerbepaling GLC: 1,0 ml in glazen cultuurbuizen voor reductie en acetylering.
 - ASL+opslag: 2 ml in 2,2, ml reactievaatje (epje).
- 13 Zoveel mogelijk hydrolysaat wegzuigen (< 1 ml over).
- 14 Ca. 5x 10 ml kokend demiwater toevoegen, schudden, centrifugeren en afzuigen (<1 ml over).
(ca. 5x 40 ml koud demiwater toevoegen, schudden, centrifugeren en afzuigen (<1 ml over).
- 15 pH controleren met pH-papier (wassen tot zuurvrij).
- 16 Nacht drogen op 105 °C.
- 17 Afkoelen in exsiccator en wegen.
- 18 ASL bij 205 nm, 230 nm en 280 nm meten t.o.v. 1 M zwavelzuur. Al dan niet verdunnen met 1 M zwavelzuur tot de absorptie tussen de 0,1 en 0,8 is (vaak 10 à 20 keer verdunnen). Referentie 1 M zwavelzuur.

Voor monosacharidemetingen op HPLC worden de hydrolysaten geneutraliseerd en gefilterd.

- 19 Aan 0,5 ml hydrolysaat worden 2 druppels broomfenolblauw toegevoegd.
- 20 Titreer met $\text{Ba}(\text{OH})_2$ -oplossing tot de gele kleur verandert naar lichtblauw (eerst 4,5 ml toevoegen met pipet, daarna al schuddend (met Vibrofix) druppelsgewijs door- gaan tot kleuromslag).
- 21 Centrifugeer de oplossing gedurende 15 min bij 2000 tpm.
- 22 Filtreer het supernatant over 0,2 μm membraanfilter (voorgespoeld met milliQ-water ivm. storende piek die een gelijke retentietijd heeft als glucose).
- 23 Pipetteer ca. 0,5 ml monster in autosampler-vial.

Voor monosacharidemetingen op GLC worden de monsters eerst gereduceerd en geacetylerd.

Reductie:

- 24 Maak een half uur van te voren een 3M NH_3 -oplossing die 150 mg natriumboorhydride per ml bevat. Bewaar natriumboorhydride in de exsiccator. Deze oplossing is te bereiden door 0,224 ml 25% NH_3 -oplossing met demiwater aan te vullen tot 1 ml en hierin de natriumboorhydride op te lossen.
- 25 Aan 1 ml hydrolysaat in een reageerbuis wordt 0,2 tot 0,4 ml 25% NH_3 -oplossing toegevoegd en gemengd.
- 26 Controleer de pH van de oplossing door een klein druppeltje op pH-papier te brengen. Voeg extra 25% NH_3 -oplossing toe als de oplossing nog zuur is. De uiteinde-lijke oplossing moet basisch reageren.
- 27 Voeg 0,1 ml 3M NH_3 -oplossing met 150 mg natriumboorhydride per ml toe en meng.
- 28 Laat 1 uur staan in droogstoof bij 30°C.
- 29 Koelen in een ijsbad.
- 30 Voeg 0,05 ml tot 0,1 ml geconcentreerd azijnzuur toe en meng herhaaldelijk krachtig.
- 31 Indien bij het mengen de oplossing blijft schuimen, voeg nog eens 0,05 ml tot 0,1 ml geconcentreerd azijnzuur toe, totdat de oplossing niet meer schuimt. Herhaal dit indien nodig.

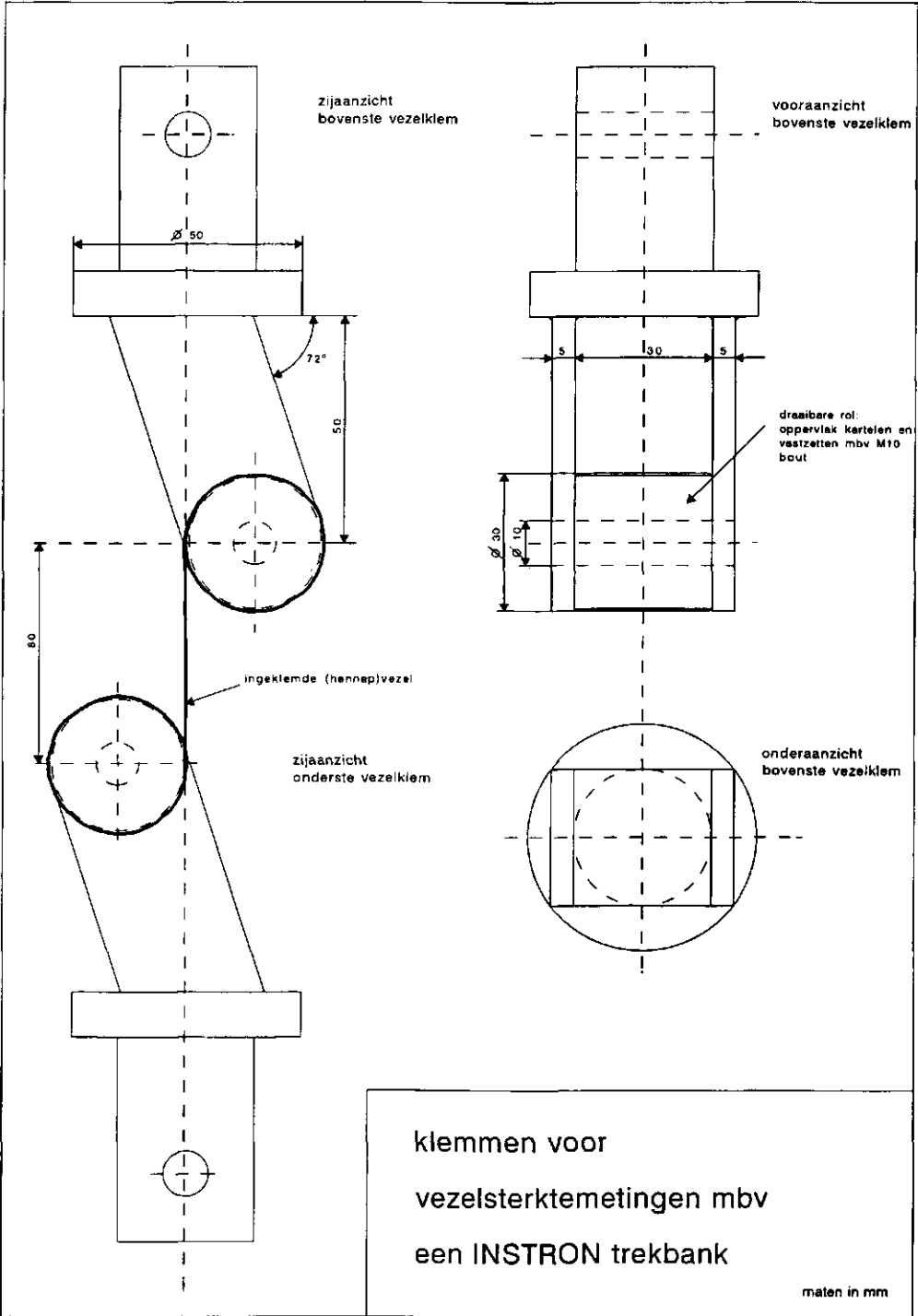
Acetylering:

- 32 Breng 0,3 ml in een cultuurbuis.
- 33 Koelen in een ijsbad.
- 34 Voeg 0,45 ml 1-methylimidazole toe.
- 35 Voeg 3,0 ml azijnzuuranhydride toe en meng.
- 36 Laat 30 minuten staan in een droogstoof bij 30 °C.
- 37 Koelen in een ijsbad.
- 38 Voeg 5 ml demiwater en 4 ml dichloormethaan toe en sluit de cultuurbuis af (met dop).
- 39 Schud de buis goed met de hand.
- 40 Laat de buis vervolgens staan totdat er een duidelijke fasescheiding is opgetreden.
- 41 Verwijder de bovenste laag (water) door afzuiging met een pasteurpipet die gekop- peld is aan een waterstraalpomp.

- 42 Voeg 3 ml demiwater toe en meng, verwijder de bovenste laag na fasescheiding. Doe dit driemaal.
- 43 Voeg 3 ml demiwater toe en meng.
- 44 Centrifuger de buizen. (Centrifugesnelheid laten oplopen tot 1500 tpm en dan de buizen zonder remmen tot stilstand laten komen.)
- 45 Verwijder de gehele bovenste laag (water).
- 46 Verdamp de dichloormethaan in een warmwaterbad met de oplosmiddelverdamer tot droog.
- 47 Voeg 1 ml aceton toe, mengen, verdamp de aceton bij kamertemperatuur met de oplosmiddelverdamer tot droog. Doe dit tweemaal.
- 48 Verkregeen monsters droog bewaren bij kamertemperatuur.
- 49 Voor injectie: oplossen in 0,4 ml aceton.
- 50 Injectievolume: 1 μ l oplossing.

BIJLAGE I

Klemmen voor het bepalen van de vezelsterkte (met rek)



BIJLAGE J

Afleiding van het gecorrigeerde bastaandeel in de stengel

In de formule voor het bastaandeel in de stengel ('bas') worden hieronder de factoren ingevuld, waarvoor gecorrigeerd moet worden. Dit zijn de drogestofgehaltes van bast en hout ('d_b' en 'd_h') en het houtverlies (met de verliesfactor 'vf').

$$bas = \frac{b_d}{h_d + b_d} \quad \text{met: } b_d = b_n * d_b, \quad h_d = h_n * d_h \quad \text{en} \quad h_n = inv - b_n - uit + h_{v,n} - b_n \quad ==> \quad (1)$$

$$b_n * d_b = bas * ((uit + h_{v,n} - b_n) * d_h + b_n * d_b) \quad \text{met: } h_{v,n} = vf * \frac{h_d}{d_h} \quad \text{en} \quad (1) \quad h_d = \frac{b_n * d_b * (1 - bas)}{bas} \quad ==> \quad (2)$$

$$b_n * d_b = d_h * (uit + bas + \frac{vf * b_n * d_b * (1 - bas)}{d_h} - b_n + bas) + b_n * d_b + bas \quad ==> \quad (3)$$

$$b_n * (d_b + bas * (d_h - d_b) - vf * d_b * (1 - bas)) = bas * d_b + uit \quad ==> \quad (4)$$

$$b_n = \frac{bas * d_h}{d_b + bas * (d_h - d_b) - vf * d_b * (1 - bas)} + uit \quad (5)$$

Met: b_n = totale hoeveelheid verse bast (kg),

b_d = totale hoeveelheid bast (kg ds),

bas = bastaandeel in de stengel (kg bast per kg stengel op ds basis),

d_b = drogestofgehalte van de bast (kg ds per kg vers),

d_h = drogestofgehalte van het hout (kg ds per kg vers),

h_n = totale hoeveelheid vers hout (kg),

h_d = totale hoeveelheid hout (kg ds),

h_{v,n} = hoeveelheid vers hout die wegspatte en niet werd meegewogen (kg),

inv = hoeveelheid stengels die werd ingevoerd (kg),

uit = hoeveelheid materiaal die werd opgevangen (M1+M2+M3 in figuur 18; kg) en

vf = verliesfractie van het hout (kg per kg ingevoerd hout).

Het gecorrigeerde bastaandeel in de stengel, ofwel de lineaire factor tussen de hoeveelheid verse bast en de opgevangen hoeveelheid bast en hout in een scheidingsproef, is dus:

$$bas' = \frac{bas * d_h}{d_b + bas * (d_h - d_b) - vf * d_b * (1 - bas)}$$

Rapportenoverzicht 1994

- 94-1 Bleijenberg, R. en J.P.M. Ploegaert, 1994 – Handleiding voor de IMAG-DLO meetmethode ter bepaling van ammoniakemissies uit mechanisch geventileerde stallen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 77 pp. f 40,00
- 94-2 Hendriks, J.G.L. en J.F.M. Huijsmans 1994 – Trekkkrachtbehoefte van sleepvoeten- en zodebemestertechnieken op grasland.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 44 pp. f 35,00
- 94-3 Elderen, E. van en G.H. Kroeze, 1994 – Operational decision making for arable and grassland farms.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 74 pp f 35,00
- 94-4 Huis in 't Veld, J.W.H., Kroodsma, W. en W.J. de Boer 1994 – Vermindering ammoniakemissie uit een ligboxenstal door spoelen van een hellende betonvloer.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp f 30,00
- 94-5 Arts, W.B.M., Verwijs, B.R. en J. van Maanen, 1994 – De invloed van berijding op de fysische bodemconditie van zandgrond en de gevolgen daarvan voor de grasproductie.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 69 pp. f 35,00
- 94-6 Boer, W.J. de, Keen, A. en G.J. Monteny, 1994 – Het effect van spoelen op de ammoniakemissie uit melkveestallen. Het schatten van behandelingseffecten en nauwkeurigheden door tijdreeksanalyse.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 32 pp. f 30
- 94-7 Huis in 't Veld, J.W.H., Boer, W.J. de en W. Kroodsma, 1994 – Ammoniakemissiereductie door spoelen van een hellende, gecoate betonvloer in een rundveestal.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 25 pp. f 30,00
- 94-8 Breemhaar, H.G. en A. Bouman, 1994 – Mechanische oogst en schoning van nieuwe oliehoudende gewassen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 34 pp. f 30,00
- 94-9 Breuer, J.J.G. en N.J. van de Braak, 1994 – Een statisch en dynamisch simulatiemodel voor klimaatprocessen en energiestromen in kassen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 60 pp. f 40,00
- 94-10 Breuer, J.J.G. en N.J. van de Braak, 1994 – Effect van grondbuiskoeling en indirecte verdampingskoeling op de ventilatie in kassen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 29 pp. f 30,00
- 94-11 Lokhorst, C., Smits, A.C., Niekerk, Th. van en A.M. van de Weerdhof, 1994 – Programma van eisen voor de inrichting van volièrestallen voor leghennen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 51 pp. f 30,00
- 94-12 Straelen, B.C.P.M. van, 1994 – Remsystemen voor landbouwwagens.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 65 pp. f 30,00
- 94-13 Swierstra, D., Huis in 't Veld, J.W.H., Kroodsma, W. en M.C.J. Smits, 1994 – Ammoniakemissie en stroefheid van roostervloeren en dichte vloeren in ligboxenstallen voor rundvee.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp. f 30,00
- 94-15 Boer, W.J. de en N.W.M. Ogink, 1994. – Het effect van ventilatie en temperatuur op de ammoniakemissie uit een rundveestal : het schatten van behandelings-

- effecten en nauwkeurigheden door tijdreeksanalyse.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 30,00
- 94-16 Ketelaar-de Lauwere, C.C. en E. Benders, 1994. – De invloed van het additioneel verstrekken van krachtvoer in de selectiebox en het melken op de bezoeken van koeien aan het automatisch melksysteem.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp. f 30,00
- 94-17 Top, M. van den, Akkermans, R. en H.H.E. Oude Vrielink, 1994. – Ergonomische knelpunten van volière- en legbatterijhuisvestingssystemen voor leghennen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 42 pp. f 40,00
- 94-18 Burgers, B.C.H., Dieën, J.H. van en H.M. Toussaint, 1994 – Arbeidsongeschiktheid in de agrarische sector in Nederland.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 72 pp. f 45,00
- 94-19 Porskamp, H.A.J., Michielsen, J.M.G.P. en J.F.M. Huijsmans, 1994 – Emissie-beperkende spuittechnieken voor de fruitteelt (1992) : onderzoek depositie en emissie van gewasbeschermingsmiddelen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp. f 40,00
- 94-20 Braak, N.J. van de en P. Knies, 1994 – Onderzoek naar de invloed van schermtoepassing op energieverbruik en relatieve vochtigheid in kassen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 42 pp. f 35,00
- 94-21 Uenk, G.H., Monteny, G.J., Demmers, T.G.M. en M.G. Hissink, 1994. – Praktijk-onderzoek naar het drogen van leghennenmest in een droogtunnel en het effect op de ammoniak-, geur- en stofemissie.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 30,00
- 94-22 Bruins, M.A., Kroodsmma, W. en R. Scholtens, 1994 – Ammoniak- en geuremissie uit een gesloten opslag voor voorgedroogde leghennenmest: een oriënterend onderzoek.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 30,00
- 94-23 Porskamp, H.A.J., Michielsen, J.M.G.P. en J.F.M. Huijsmans, 1994 – Emissie-beperkende spuittechnieken voor de fruitteelt (1993) : onderzoek emissie van gewasbeschermingsmiddelen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 40,00
- 94-24 Zwart, H.F. de en J.P.G. Huijs, 1994 – Optimale bufferafmeting bij assimilatiebelichting met WKK in eilandbedrijf.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 46 pp. f 40,00
- 94-25 Frénay, J.W., Straman, J.P. and C.R. Braam, 1994 – Circular prefabricated concrete tanks.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 60 pp. f 45,00
- 94-26 Smits, A.C., Plomp, M. en S.A. Goedegebuure, 1995 – Vergelijking van gedrag, produktie en gezondheid van vleesstieren gehouden op betonnen en op met rubber beklede roostervloeren
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 45 pp. f 35,00
- 94-27 Maeyer, E.A.A. de en W. Huisman, 1995 – Oogst- en conserveringstechniek van vezelhenne.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 134 pp. f 45,00
- 94-29 Porskamp, H.A.J., Michielsen, J.M.P.G en J.F.M. Huijsmans, 1994 – De invloed van een windhaag op emissies bij fruitteeltsputten.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 27 pp. f 30,00

- 94-30 Ouwerkerk, E.N.J. van en P. Knies, 1995 – Energieverbruik en mogelijkheden van energiebesparing op verwarming en ventilatie in de intensieve veehouderij. Wageningen, IMAG-DLO rapport, 77 pp. f 40,00
- 94-32 Ouwerkerk, E.N.J. van en A.J.A. Aarnink, 1995 – Gasproductie in vleesvarkensstallen. Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp. f 30,00
- 94-34 Elzing, A., Commissaris, A.C.H.M., Oosthoek, J. en C.M. Groenestein, 1995 – De urease-activiteit en de ammoniakemissie in varkensstallen met een mestschuifstelsel onder de roostervloer. Wageningen, IMAG-DLO rapport, 46 pp. f 30,00
- 94-36 J.P.G. Huijs, J.P.G. en P. Knies, 1995 – Warmtekrachtkoppeling geëxploiteerd door glastuinders; energetische en economische effecten. Wageningen, IMAG-DLO rapport, 46 pp. f 40,00

De rapporten kunt u schriftelijk bestellen door overmaking van het genoemde bedrag op Postbanknummer 3514771 ten name van IMAG-DLO te Wageningen, onder vermelding van het rapportnummer.

Reports must be ordered by transferring the appropriate amount (in Dutch Guilders) to the IMAG-DLO account, no. 3514771, at the Postbank, Wageningen, quoting the relevant report number(s)