

The background of the entire page is a photograph of a hemp field. The plants are green with serrated leaves and are growing tall against a clear blue sky. The top half of the image is partially covered by a dark blue semi-transparent banner where the title and author information are located.

PRODUKTION AF BIOPOLYMERER – DANSKE AFGRØDER DER KAN VÆRE RELEVANTE

JOHANNES RAVN JØRGENSEN, BIRTE BOELT OG ERIK FLØJGAARD KRISTENSEN

DCA RAPPORT NR. 168 · MAJ 2020 · MYNDIGHEDSRÅDGIVNING



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG

PRODUKTION AF BIOPOLYMERER – DANSKE AFGRØDER DER KAN VÆRE RELEVANTE

DCA RAPPORT NR. 168 · MAJ 2020 · MYNDIGHEDSRÅDGIVNING



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG

Lektor Johannes Ravn Jørgensen¹⁾, seniorforsker Birte Boelt¹ og akademisk medarbejder Erik Fløjgaard Kristensen²⁾

Aarhus Universitet

Institut for Agroøkologi¹⁾
Forsøgsvej 1
4200 Slagelse

Institut for Ingeniørvidenskab²⁾
Blichers Allé 20
8830 Tjele

PRODUKTION AF BIOPOLYMERER – DANSKE AFGRØDER DER KAN VÆRE RELEVANTE

Serietitel og nummere:	DCA rapport nr. 168
Rapport-type:	Myndighedsrådgivning
Udgivelsesår:	Marts 2020, 1. udgave, 1. oplag
Forfatter(e):	Lektor Johannes Ravn Jørgensen og seniorforsker Birte Boelt fra Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet og akademisk medarbejder Erik Fløjgaard Kristensen fra Institut for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet
Rekvirent:	Miljø- og Fødevareministeriet
Finasiering:	Rapporten er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndigheds betjening af Miljø- og Fødevareministeriet med underliggende styrelser 2019-2022"
Fagfællebedømmelse:	Seniorforsker Uffe Jørgensen, Aarhus Universitet
Ekstern kommentering:	Nej
Eksterne bidrag:	Nej
Udgiver:	DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Blichers Allé 20, postboks 50, 8830 Tjele. Tlf. 8715 1248, e-mail: dca@au.dk, hjemmeside: dca.au.dk
Bedes citeret:	Jørgensen, R.J., Boelt, B, Kristensen F.E. 2020. Produktion af biopolymere - danske afgrøder der kan være relevante. Aarhus Universitet, DCA - Nationalt Center for Føde- varer og Jordbrug, 41 s. - DCA rapport nr. 168 https://dca.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport168.pdf
Layout:	Jette Ilkjær, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet
Fotos omslag:	Colourbox
Tryk:	Digisource.dk
ISBN:	Trykt version 978-87-93787-55-1. Elektronisk version 978-87-93787-56-8
ISSN:	2245-1684
Sideantal:	41
Internetversion:	https://dca.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport168.pdf
Emneord:	Spindhør, hamp, plantefibre, dyrkning, høst DCA rapporter er frit tilgængelige i pdf-format på dca.au.dk

Forord

Miljø- og Fødevareministeriet har ønsket en rapport fra Aarhus Universitet med en beskrivelse af, hvilke specifikke afgrøder og dyrkningssystemer (f.eks. hør (spindhør), hamp), der kan produceres på danske landbrugsarealer, og som er velegnede til anvendelse som biopolymer inden for produktområder som f.eks. byggeri, tekstil og emballage. I rapporten bedes Aarhus Universitet beskrive de miljø- og klimamæssige perspektiver, der relaterer sig til dyrkning af de specifikke afgrøder, herunder de sædskifter der indgår i driftsøkonomien, markedssituationen og eventuelle øvrige relevante forhold. Sidst men ikke mindst bedes Aarhus Universitet beskrive den logistik- og forarbejdningssektor, som de valgte afgrøder afsættes til. I det omfang at kendskabet til produktion og forarbejdning er af historisk karakter, bedes dette beskrevet i forhold til, hvordan sektoren så ud og eventuelt med henvisning til en nuværende produktion.

I den følgende besvarelse er der redegjort for produktion af hør og hamp, herunder udbytter, miljømæssige forhold og særlige udfordringer omkring høst.

Ministeriet har i en samtidig bestilling til Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi (IFRO), Københavns Universitet ønsket et overblik over danske og udenlandske råvarer til biopolymerer. I den sammenhæng laver IFRO beregninger af driftsøkonomien og undersøger markedssituationen, hvorfor disse elementer ikke indgår i nærværende besvarelse.

Rapporten er udarbejdet på bestilling fra Fødevarestyrelsen som en del af "Rammeaftale indgået mellem Miljø- og Fødevareministeriet og Aarhus Universitet om forskningsbaseret myndighedsbetjening af Miljø- og Fødevareministeriet med underliggende styrelser 2019-2022" under ID 6.04 i "Ydelsesaftale Planteproduktion 2019-2022".

Niels Halberg

Direktør, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Indhold

Forord	4
Indledning.....	8
Produktion af hør og hamp i Europa	9
Tidligere danske undersøgelser af spindhør.....	14
Tidligere danske undersøgelser af hamp.....	16
Dyrkning af spindhør og fiberhamp i Danmark.....	17
Dyrkning af spindhør	17
Dyrkning af hamp	17
Miljø.....	19
Høst af hør.....	21
Høst til fiberproduktion (spindhør)	22
Høst af frø (oliehør)	25
Høst af hamp.....	27
Høst til fiberproduktion	28
Traditionel skårlægning	28
Skårlægning og klipning af hamp.....	29
Stængelhøster	31
Høst af frø	33
Høst af både frø og stængel.....	35
Totalhøst af våd biomasse	35
Dual crop harvesting/double cut system.....	35
Dun Agro-system med ribbebord.....	36
Presning af skårlagt hamp	38
Referencer	39

Indledning

Interessen for biopolymerer, der kan anvendes i byggeri, tekstil og emballage, er steget i de senere år. Mange landbrugsafgrøder indeholder agrofibre, men kun få landbrugsplanter indeholder lange agrofibre (biopolymerer) i mængder, der gør en produktion interessant. Fokus i nærværende rapport er biopolymererne hør og hamp, der begge har lange fibre af stor brudstyrke i stænglerne. Hør dyrkning, der er enårig og velkendt under danske forhold, kan nemt indpasses i danske sædskifter og hurtigt tilpasses markedet (Pallesen, 2017). Dyrkning af hamp til fiberproduktion er kendt i Europa, og hamp har tidligere været dyrket i Danmark. Hamp er ligesom hør enårig, hvilket gør, at den ligeledes nemt kan dyrkes og indpasses i danske sædskifter (Pallesen, 2018). Teknisk er der udfordringer i forbindelse med høsten, idet både hamp og hør kræver specielle maskintekniske løsninger, hvis den højest mulige fiberkvalitet skal bevares. For både hør og hamp gælder det, at der findes adskillige tilgængelige sorter til fiberproduktion på EU's sortsliste (Europa-Kommissionen, 2019).



Figur 1. Hørmark. Foto: Colourbox

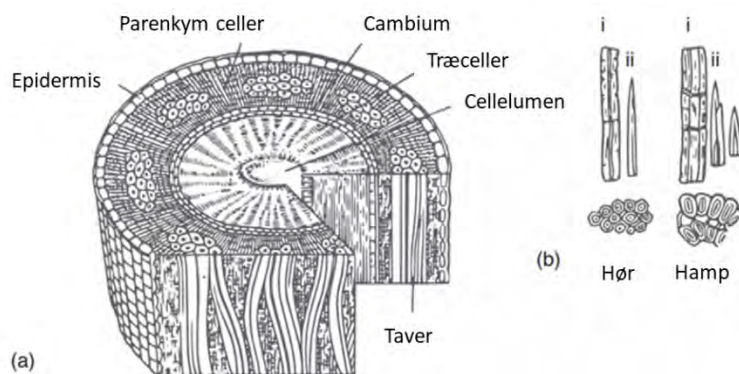


Figur 2. Hampmark. Foto: Colourbox

Produktion af hør og hamp i Europa

Fiberproduktion baseret på hør (*Linum usitatissimum* L.) og hamp (*Cannabis sativa* L.) til anvendelse i tekstiler, reb og sejl har foregået gennem mange århundreder i såvel Europa som resten af verden. I de senere år er fiberprodukter indgået i diverse industrielt fremstillede kompositter (Sarasini og Fiore, 2018).

Hør er en 50-120 cm høj enårig plante med pælerod. Forskellen mellem sorter af oliehoe og spindhoe er primært, at oliesorter har et større frøudbytte, mens spindhoe har lange stængler. Hamp er en hurtigvoksende enårig afgrøde, bredbladet og med pælerod, typisk 2-3 meter høj og med en stængel på 5-25 mm. Hamp er normalt tvebo med han- og hunplanter på hver sin plante. Der findes dog sorter med både hun- og hanplanter (enbo). Hanplanterne er betydeligt mindre samt tidligere modne end hunplanterne og sætter ikke frø. De fleste dyrkede sorter er tvebo og består af 85-90 % hunplanter. Der findes en række hybride sorter af fransk oprindelse med overvejende hunplanter.



Figur 3. (a) Skematisk tværsnit af en hørstængel; (b) tværsnit af taver af hør og hamp, samt (i) midtersektion af fiber og (ii) ende af fiber. Efter Schönefeld (1955)

Fibrene i hør og hamp findes i taver i stænglerne. Stænglerne består af et lag overhud af primærbark yderst (figur 3), derefter kommer tavelaget, vækstlag (cambium), vedlaget og marven. Vedlag og marv kaldes samlet for skæven. Karakteristisk for hør- og hampefibre er, at de sammenlignet med de fleste andre naturlige fibre på nær bomuld er lange (tabel 1). Typisk er længden mere end 30 mm i både hør og hamp, hvorimod den almindeligvis er under 3 mm i hvedehalm og træ. Indholdet af cellulose i fibrene af hør og hamp er på ca. 70-80 % og indholdet af hemicellulose er på ca. 15-20 % (Bledzki et al., 1996; Fuqua et al., 2012).

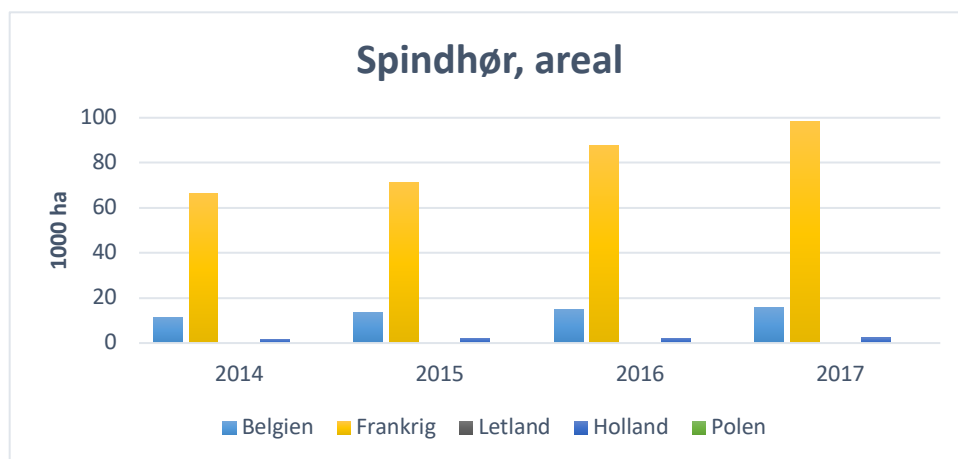
Taverne består af lange fibrøse bundter med 10-40 enkeltfibre. Disse ligger overfladisk i stænglen og udgør ca. 20 % af stænglen. Traditionelt er udvindingen af stængeltaverne sket ved, at skæven (det plantevæv der ikke er taver) bringes i hel eller delvis forrådnelse ved en rødningsproces. Ved en efterfølgende tørring af plantematerialet bliver skæven skør og kan frigøres fra taverne i en proces kaldet skætning. Rødning kan foretages på flere måder: markrødning, vandrødning i bassiner, enzymatisk rødning og kemisk rødning. Markrødning er under danske forhold den normale procedure (se afsnittet om høst af hør og hamp).

Tabel 1. Dimensioner og karakteristika for fibertyper af hør, hamp, bomuld, nåletræ og hvedehalm samt indhold af cellulose, hemicellulose og lignin for vårbygghalm, rapshalm og roepulp

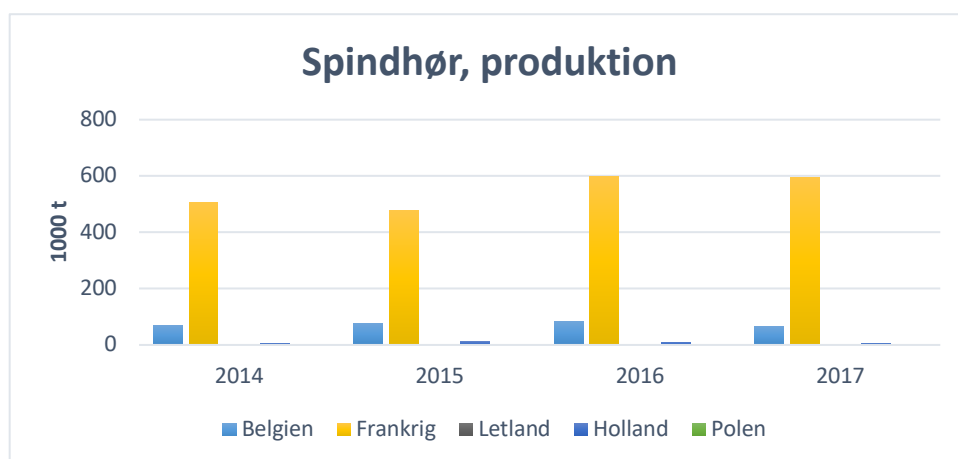
	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignin (%)	Længde (mm)	Densitet (g/cm ³)	Kilde
Hør (taver)	71-81	18,6-20,6	2,2-3	5-60	1,51-1,54	Bledzki et al., 1996; Fuqua et al., 2012
Hamp (taver)	70,2-74,4	17,9-22,4	3,7-5,7	5-55	1,48	Bledzki et al., 1996; Fuqua et al., 2012
Bomuld	82,7-92	5,7-6	0	10-60	1,5-1,6	Fuqua et al., 2012; Malkapuram et al., 2009
Nåletræ	42-44	22-27	28-31	3,5-5	0,3-0,59	Fuqua et al., 2012
Hvedehalm	28,8-48,8	35,4-39,1	17,1-18,6	1-3,4	1,49	Fuqua et al., 2012; Kaushik et al., 2010
Vårbygghalm	45	22	16	-	-	Sander, 1997
Rapshalm	45	19	18	-	-	Sander, 1997
Roepulp	22-24	26-32	1-2	-	-	Michel et al., 1988

Produktionen af hør er svagt stigende i Europa; således blev der i 2017 i EU-28 dyrket 117.680 ha med spindhør mod 68.760 ha i 2010 (Eurostat, 2019). Heraf har Frankrig det absolut største areal og den absolut største produktion (fig. 2 og 3). Globalt set er Frankrig ligeledes den største producent af spindhør. Arealet med hamp i Europa er stigende. Der blev i EU-28 i 2010 dyrket 9.360 ha, hvilket i 2017 var steget til 36.850 ha (Eurostat, 2019).

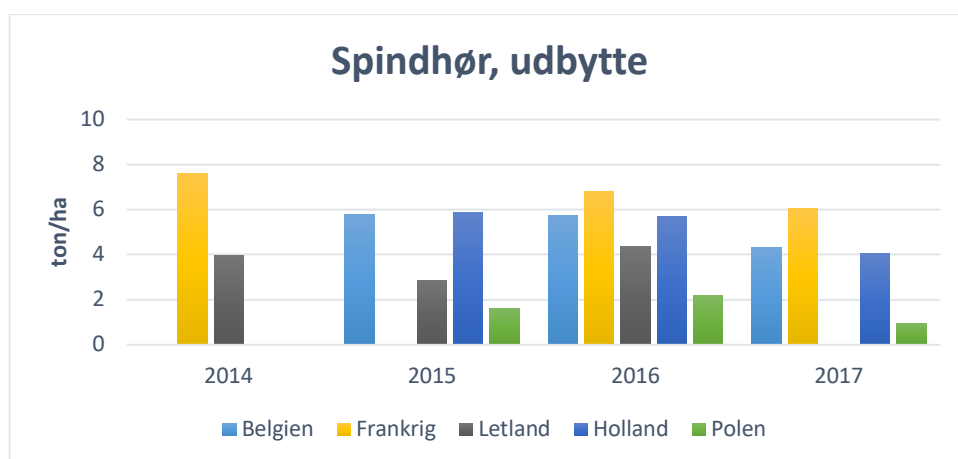
I Nord- og Vesteuropa har Frankrig efterfulgt af Holland været den største producent af fiberhamp i perioden 2014-17 (fig. 5 og 6). Globalt set er Kina og Nordkorea de største producenter af fiberhamp (FAOSTAT, 2019).



Figur 4. Spindhørareal 2014-17 i nord- og centraleuropæiske lande, 1000 ha (Eurostat, 2019)

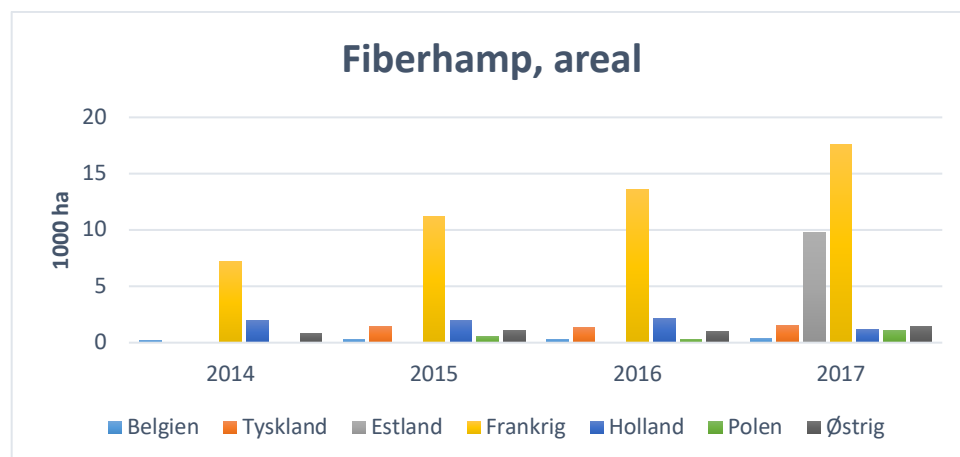


Figur 5. Spindhørproduktion 2014-17 i nord- og centraleuropæiske lande, 1000 t (Eurostat, 2019)

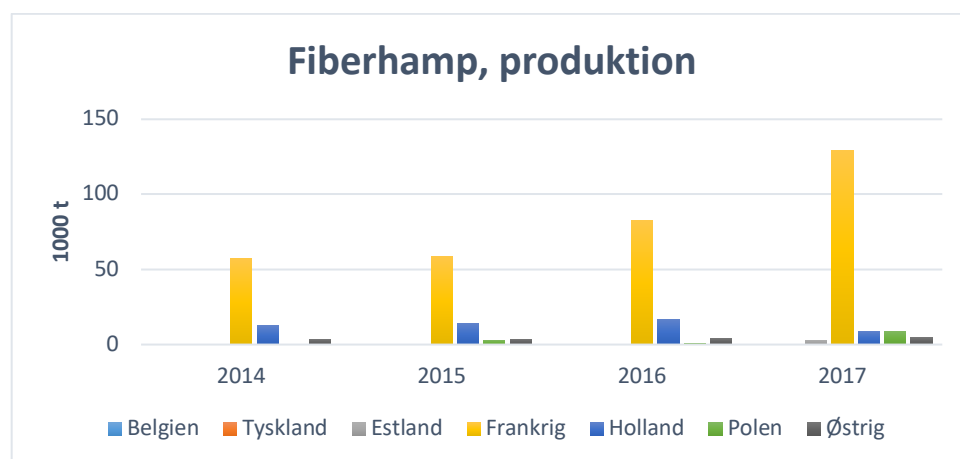


Figur 6. Spindhørudbytte 2014-17 i nord- og centraleuropæiske lande, 1000 t/ha (Eurostat, 2019)

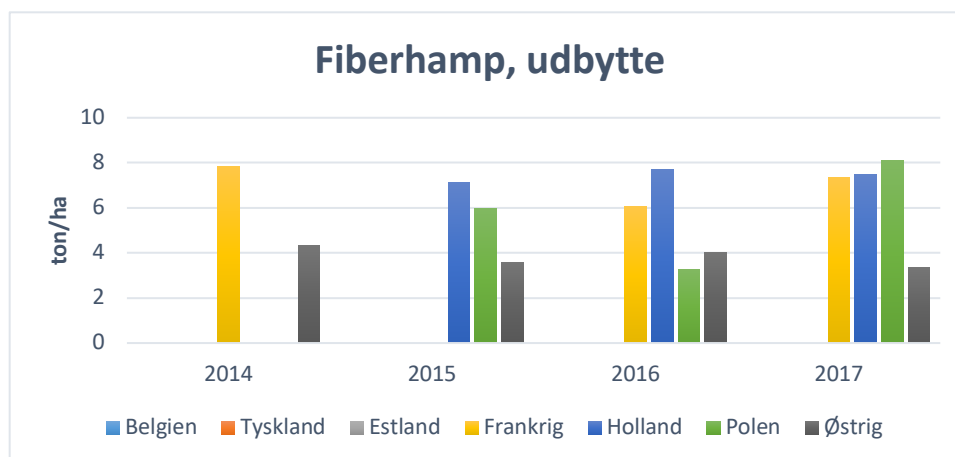
De officielle udbytter af spindhør (stængel) varierer meget mellem de europæiske lande (figur 6). Udbytte-niveauet lå i 2017 på 6,08 t/ha i Frankrig, mens udbytte-niveauet i Holland lå på 4,10 t/ha og på 4,35 t/ha i Belgien (Eurostat, 2019).



Figur 7. Fiberhampareal 2014-17 i nord- og centraleuropæiske lande, 1000 ha (Eurostat, 2019)



Figur 8. Fiberhampproduktion 2014-17 i nord- og centraleuropæiske lande, 1000 t (Eurostat, 2019)



Figur 9. Fiberhampudbytte 2014-17 i nord- og centraleuropæiske lande, 1000 t/ha (Eurostat, 2019)

De officielle udbytter af fiberhamp er i 2017 angivet til at være 8,10 t/ha i Polen, 7,50 t/ha i Frankrig og 7,35 t/ha i Holland (figur 9), mens der er registreret betydeligt lavere udbytter i Østrig (3,39 t/ha) (Eurostat, 2019). Udbyttepotentialet er således stort i hamp. Dette er også vist i en treårig undersøgelse af fiberhamps udbyttepotentiale i hhv. Italien, Holland og Storbritannien, hvor det opnåelige tørstofudbytte blev angivet til 15-22,5 t/ha (7,5-12 t cellulose/ha) i Italien, 17,5-19,5 t/ha (9-10 t cellulose/ha) i Holland og 9-10 t/ha (5-6 t cellulose/ha) i Storbritannien (Struik et al., 2000).

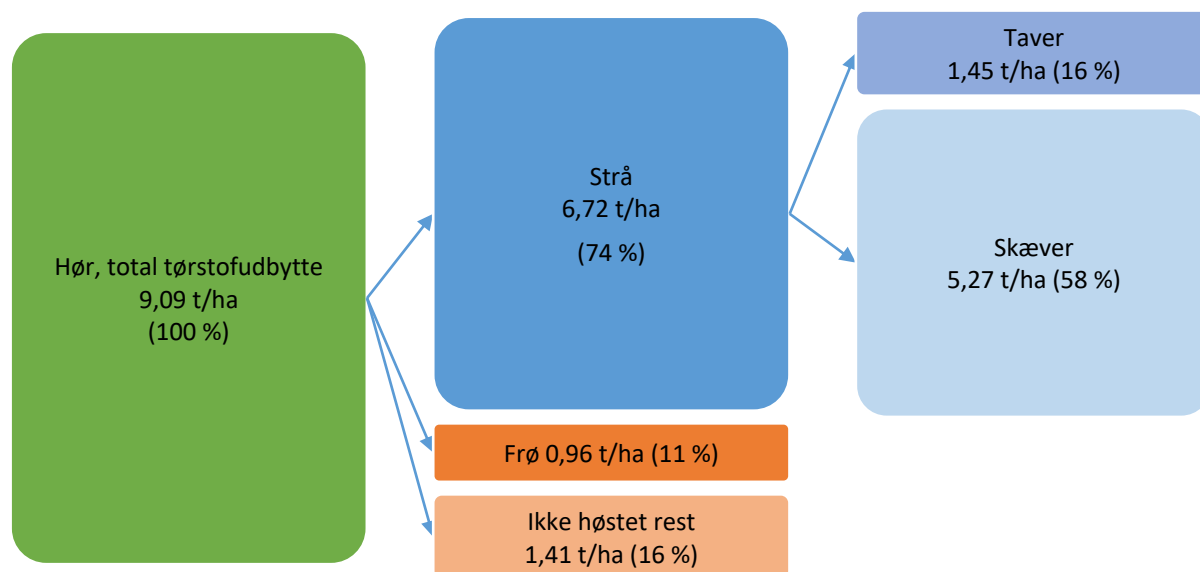
Tidligere danske undersøgelser af spindhør

Optegnelser viser, at der var en væsentlig produktion af spindhør omkring anden verdenskrig med et areal på ca. 8.500 ha i 1945, hvorefter produktionen aftog samtidig med indtoget af syntetiske fibre og bomuld. Forsøgsarbejdet på den tid havde fokus på såtid, høst og efterbehandling, og de opnåede udbytter var 4,0-5,0 t/ha strå og 0,7-0,9 t/ha frø (Bagge, 1949). Efterfølgende er der udført dyrkningsforsøg, hvor faktorer som rækkeafstand og udsædsmængde er undersøgt i relation til jordtype. På god lermuldet jord var optimal rækkeafstand 8 cm, og det tilstræbte plantetal var på 2.400 planter/m² (Larsen og Bagge, 1957). De anvendte gødningsmængder var 20-40 kg N/ha. Hør har svag konkurrenceevne over for ukrudt, og der blev gennemført kemisk ukrudtsbekæmpelse med de på den tid tilgængelige herbicider. Der var ikke væsentlige angreb af sygdomme og skadedyr i de rapporterede forsøg.

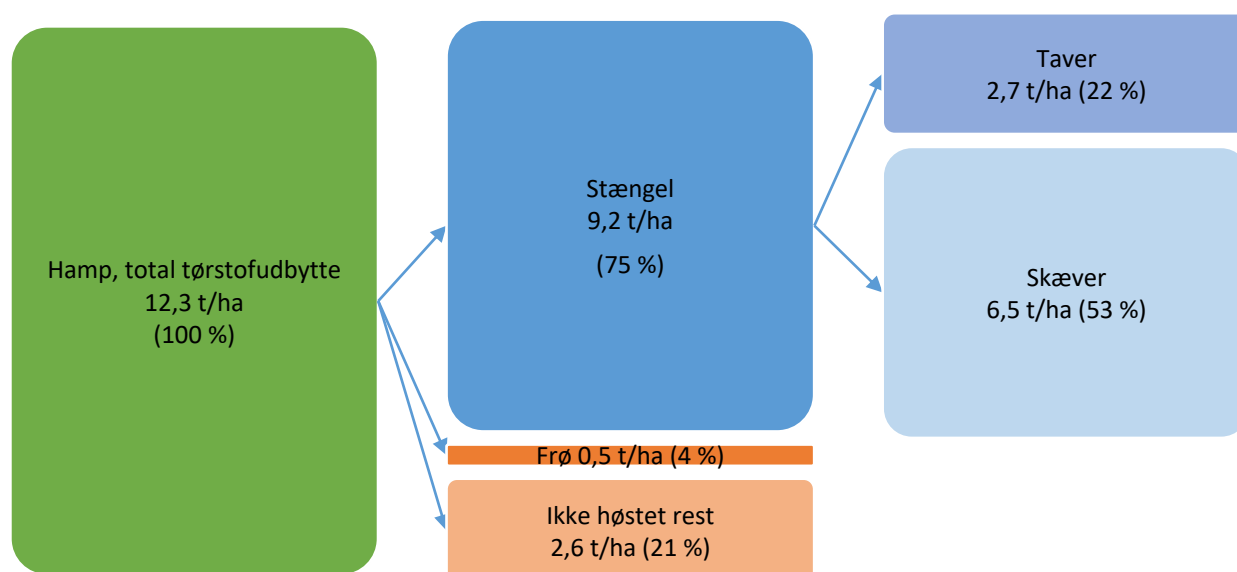
Sorternes udbytte blev forbedret over årene, og i "Forsøg med sorter af spindhør 1962-68" rapporteres udbytter på 6,3-7,17 t/ha strå og 0,64-1,13 t/ha frø (Nordestgaard, 1976). Figur 10 sammenfatter det gennemsnitlige udbytte og fraktioner af hør i forsøgsserien.

I en nyere publikation omkring udvikling af spindhørsorter i Litauen (Jankauskienė og Gruzdevienė, 2015) angives forædlingsmål som værende høje og stabile udbytter, god stråstyrke/ringe tilbøjelighed til lejesæd og lav modtagelighed for svampesygdomme. De opnåede udbytter ligger i intervallet 6,0-6,67 t/ha strå for sorter afprøvet i 2007-08, og er således ikke højere end de udbytter, som blev opnået under danske forhold i perioden 1962-68. Hørudbyttet påvirkes meget negativt af tørke om foråret.

Det er interessant, at hør er blevet/bliver dyrket i meget diverse landbrugsområder (Canada, Rusland, Kazakstan, Indien, Kina, USA, Argentina, Egypten og en række lande i Europa). Hørs genom er publiceret i 2012 (Wang et al., 2012), hvilket kan forventes at øge udviklingen af nye hørsorter (Zuk et al., 2015).



Figur 10. Gennemsnitligt udbytte og fraktioner af tre hørsorter afprøvet i Danmark 1962-68 (Nordestgaard, 1976)



Figur 11. Gennemsnitligt udbytte og fraktioner af fire hampesorter afprøvet i Danmark 1998-2000 (Deleuran og Flengmark, 2005)

Tidligere danske undersøgelser af hamp

Der findes optegnelser af det dyrkede areal med hamp for perioden 1940-49 i Bagge og Larsen (1951). I 1940 var arealet 35 ha, mens produktionen kom op på 2.180 ha i 1943 under anden verdenskrig. Som for hørs vedkommende faldt produktionen, da de syntetiske fibre og bomuld blev tilgængelige.

I et forsøg med forskellige stammer af hamp i perioden 1941-44 var gennemsnitsudbyttet på 4,2-6,5 t/ha (Bagge og Larsen, 1951). Der blev gennemført såtidforsøg med fire såtider i perioden 29/4 – 5/6. Forsøgene blev gennemført på forskellige lokaliteter. På god, mild jord opnåedes bedst resultat ved første såtidspunkt, mens der på mosejord blev høstet størst udbytte ved såtid to eller tre. Høsttidspunktet var påvirket af såtidspunktet og lå i intervallet 9/9 – 29/9. De anvendte sorter i disse forsøg har altså fortsat væksten til ud på efteråret. Der var også undersøgelser af såmængde/tilstræbt plantebestand på 60, 90 og 120 planter pr. m² og forsøg med forskellige rækkeafstande (12, 24 og 36 cm). På den gode jord er opnået bedst udbytte ved den laveste rækkeafstand og højeste udsædsmængde.

Forædlingsarbejdet har frembragt højtydende sorter, og udbytteforsøg fra perioden 1951-56 og 1957-61 viste udbytter på henholdsvis 7,5-8,4 og 9,7-10,4 t/ha (Larsen 1961, 1963). Denne udvikling ser ud til at være fortsat. Forsøg med fire sorter af hamp i perioden 1998-2000 gav gennemsnitsudbytter på 12,3 t/ha tørstof og heraf 0,5 t frø/ha (Deleuran og Flengmark, 2005). Stængeludbyttet var i gennemsnit 9,2 t/ha og fiberudbyttet 2,7 t/ha, hvilket svarer til en fiberandel på 29 %. Der blev testet fire udsædsmængder (8, 16, 32 og 64 kg/ha) og to rækkeafstande (24 og 48 cm). De bedste resultater blev opnået ved 32 kg udsæd/ha og 24 cm rækkeafstand. Generelt anføres, at svampe- og skadedyrsangreb har været uden betydning i forsøgene. Figur 11 sammenfatter det gennemsnitlige udbytte og fraktioner af hamp i forsøgsserien.

De ovennævnte forsøg i perioden 1998-2000 er gennemført på god lerjord, og de opnåede udbytter er bemærkelsesværdigt høje til sammenligning med udbytterne fra nord- og centraleuropæiske lande (figur 9). Generelt kan der dog være stor divergens mellem udbytter i forsøg og nationale gennemsnitsudbytter. I Frankrig, hvor der aktuelt dyrkes både hamp og hør, er de opnåede udbytter ca. 25 % højere i hamp end i hør (pers. komm. Louis-Marie Colcombet).

Dyrkning af spindhør og fiberhamp i Danmark

Viden om dansk hør dyrkning og hampedyrkning til fiberproduktion er forholdsvis veludviklet. Således stiller SEGES dyrkningsvejledninger for begge afgrøder til rådighed for potentielle producenter (SEGES, 2019). Da der endvidere er tale om enårige afgrøder, kan dyrkningsarealet hurtigt tilpasses til efterspørgslen.

Dyrkning af spindhør

Hør trives på lerblandede sandjorder, sandblandede lerjorder og ikke for svære lerjorde (SEGES, 2019). Humusrige lave jorder er uegnede, da hør har en tilbøjelighed til ikke at afslutte væksten her. På meget svær lerjord kan en uensartet fremspiring volde problemer, hvilket giver problemer med en ensartet høstkvalitet. Hør stiller krav om et fint, men ikke for dybt bearbejdet såbed og sås medio april. Hør er en relativ åben afgrøde, hvorfor ukrudt kan blive problematisk, og herbicidbekæmpelse kan være nødvendig. En række svampesygdomme som hørstængelplet, hørvisnesyge, hørrust, gråskimmel, knoldbægersvamp og meldug kan angribe hør. Ligeledes kan skadedyr som trips, jordlopper, skyggeviklere og tæger forekomme i et omfang, der betinger en behandling med et insekticid.

Kvælstofnormen er ens for olieør og spindhør og er ifølge "Vejledning om gødsknings- og harmoniregler, Planperioden 1. august 2018 til 31. juli 2019" (Landbrugsstyrelsen, 2018) for hør på hhv. 101 kg N/ha på uvandet grovsand (JB 1 + 3) og 76 kg N/ha på sandblandet lerjord (JB 5-6). Hør er en god sædskifteafgrøde i kornrige sædskifter, og forfrugtsværdien for den efterfølgende afgrøde er sat til 23 kg N/ha, hvilket er på niveau med vår- og vinterraps.

Dyrkning af hamp

Hamp trives på lerblandede sandjorder og sandblandede lerjorder (SEGES, 2019). Hamp tåler ikke frost og kan derfor normalt først sås fra medio april. Såning af hamp fordrer en løs og ikke sammenkørt jord. Når jordtemperaturen er nået op på 10 grader C, spirer hamp frem i løbet af 8-12 dage. Den hurtige fremspiring gør, at hamp er en stærk konkurrent over for fremspirende ukrudt og normalt selv kan vokse over ukrudtet, hvorfor dette normalt ikke behøver at bekæmpes. Det skal bemærkes, at der ikke findes godkendte midler til kemisk behandling af ukrudt i hamp i Danmark. Mekanisk ukrudtsbekæmpelse ved radrensning vil således være eneste mulighed om nødvendigt. Hamp angribes kun i ringe grad af sygdomme eller skadedyr. Drueskimmel, rodiltsvamp og kimskimmel kan ses som rodbrandlignende angreb på kimplantestadiet.

Udbredte angreb af gråskimmel kan forekomme i fugtige år med sen afmodning. Skadedyrsangreb af knoporme og smelderlarver kan forekomme, men anses ikke for at være af stor betydning.

Der findes 66 sorter af hamp på EU's sortsliste over godkendte sorter. Listen indeholder både sorter til fiber- og frøproduktion og kommer primært fra forædlingsprogrammer i Frankrig, Italien, Ungarn, Polen og Rumænien. For at komme på EU's sortsliste skal sorterne være af typer med et lavt indhold af tetrahydrocannabinol (THC). Moderne sorter af fiberhamp er høje og har en vækstform uden sideskud og et relativt lavt frøudbytte (De Meijer, 1995). Via forædling er indholdet af fibre steget fra 12-15 % op til 25-33 % (De Meijer, 1995; Hennink, 1994).

Kvælstofnormen for hamp er med en udbyttенorm på 121 hkg/ha ifølge "Vejledning om gødsknings- og harmoniregler, Planperioden 1. august 2018 til 31. juli 2019" (Landbrugsstyrelsen, 2018) hhv. 155 kg N/ha på uvandet grovsand (JB 1 + 3) og 130 kg N/ha på sandblandet lerjord (JB 5-6). Dette svarer stort set til normen for vårbyg. Hamp er som hør en god sædskifteafgrøde i kornrige sædskifter, og forfrugtsværdien for den efterfølgende afgrøde er sat til 23 kg N/ha, hvilket er på niveau med vår- og vinterraps.

Finnan og Styles (2013) har i et irsk studie sammenlignet hamp dyrket til energiformål med to flerårige bioenergi afgrøder, *Miscanthus* og pil, og to traditionelle enårige bioenergi afgrøder, sukkerroer og raps, og fundet, at drivhusgasbalancen (GHG) for hamp ligger midt mellem de fler- og enårige afgrøder. Dornburg (2005) har beregnet GHG-emissionen ved dyrkning af fiberhamp pr. ha og år til hhv. 1,69 og 1,56 Mg CO_{2eq} under hollandske og polske forhold. Til sammenligning angives GHG-emissionen for vinterhvede til hhv. 3,10 og 1,67 Mg CO_{2eq} under hollandske og polske forhold.

Det danske landbrugsland er domineret af nogle få store afgrøder som hvede, byg og raps. En øget dyrkning af spindhør såvel som spindhamp vil øge diversiteten. De positive effekter ved en større diversitet i sædskiftet er veldokumenterede (Bullock, 1992; Karlen et al., 1994), selv om processerne ikke forstås fuldt ud (Zegada-Lizarazu og Monti, 2011). Det drejer sig f.eks. om øgning af jordens fertilitet og højere udbytter, reduceret input af gødning og pesticider i sædskiftet samt en øget diversitet i det dyrkede land.

Både hamp og hør udviste i et studie fra Det Europæiske Miljøagentur, hvor de miljømæssige effekter af dyrkning af diverse afgrøder blev sammenlignet, gode miljømæssige egenskaber i forhold til andre afgrøder (Petersen et al., 2007). I studiet blev afgrøderne evalueret med værdierne A til C, hvor A indikerer den bedste og C den værste performance af de undersøgte parametre. I sammenligning med de mest udbredte landbrugsafgrøder er hamp estimeret på samme niveau som kløvergræsmarker (tabel 2). Tabel 2 er dog ikke på alle punkter i overensstemmelse med danske resultater. F.eks. vurderes dyrkning af fabriks-sukkerroer i Danmark at have lige så god effekt mod nitratudvaskning som udlæg af efterafgrøder i korn (Eriksen et al., 2014).

Tabel 2. Miljømæssig effekt af hamp, hør og diverse landbrugsafgrøder; A: Lille påvirkning af miljøet, B: Medium påvirkning, C: Stor påvirkning af miljøet. Kilde: Danmarks Statistik, 2019; Eurostat, 2019 og udvalgte data fra Petersen et al. 2007

	Udbytte (tørstof)	Udvaskning af gødning	Pesticider	Erosion	Jordstruktur	Agro- biodiversitet
Spindhør	4,55 ^{a)}	B	B	B	A	A/B
Fiberhamp	5,88 ^{b)}	A	A	A	A	A/B
Kløvergræsmarker	12,21 ^{c)}	A	A	A	A	A
Vårbyg	Kerne: 4,87 ^{c)} Halm: 2,68 ^{c)}	B	B	B	A	B
Hvede	Kerne: 6,69 ^{c)} Halm: 3,68 ^{c)}	B	B/C	B	B	C
Raps	Frø: 3,60 ^{c)} Halm: 3,02 ^{c)}	B/C	C	A	A	B
Sukkerroer	Roe: 16,81 ^{c)}	C	C	C	C	B
Kartofler til melproduktion	Knolde: 12,15 ^{c)}	B/C	C	C	C	B/C

a): Eurostat, 2019. gns. 2014-17 for Belgien, Frankrig, Letland, Holland og Polen.

b): Eurostat, 2019. gns. 2014-17 for Belgien, Tyskland, Estland, Frankrig, Holland, Polen og Østrig.

c): Danmarks Statistik, tabel HST77 og HALM1, gns. 2014-17 for hele Danmark. Standard vandindhold i hvede og byg 15 %, raps 9 %, flerårigt græs, roer og kartofler 75 %.

Høst af hør

Høsteteknologien tilpasses hovedformålet med dyrkningen af hørplanten, selvom der ofte ses udnyttelse af både stængel og frø. Specielt ved høst af spindhør til tekstilproduktion stilles der særlige krav til høsteteknikken. Høsten udføres normalt i august-september, hvor planterne når den ideelle modningsgrad. Ved høst af oliehør bedømmes modenhed efter frøstandenes farve. Her skal høstes, når 90 procent af skulperne er brune. Stænglerne kan godt stadig være grønne, efter at frøene er klar til at høste (Kandel et al., 2015).

For hør, som dyrkes med henblik på fiberproduktion, tales der om tre grader i modningen – grøn, gul og brun. Den gule har vist sig at være den bedst egnede, da fibrene her er lange og smidige og derfor ideelle til den videre behandling (Pari et al., 2014). Hør, der høstes for tidligt – grønt, indeholder meget fine, men svage fibre. I sent høstet hør – brunt, er stænglerne stærke, men sprøde, og her vil der komme mange uønskede korte fibre.



Figur 12. Høst af hør. Foto: Colourbox

Høst til fiberproduktion (spindhør)

Den sædvanlige metode til høst af fiberhør er ved brug af en hørrusker. Maskinen trækker planterne op af jorden og lægger dem parallelt med rod og topende på tværs af fremkørselsretningen i et skår på marken (Pallesen, 2017). Her kan afgrøden så vejre og tørre, samtidig med at den kombinerede virkning af bakterier og svampe samt sol, luft og dug sætter gang i rødningsprocessen. Når planterne trækkes op, undgås tab af fibrene tæt på roden, da der ikke efterlades en stub i marken.

De meget specialiserede hørmaskiner, som anvendes ved ruskningen, fremstilles hovedsagelig af vesteuropæiske selskaber, herunder Dehondt (Notre-Dame-de-Gravenchon, Frankrig), Union (Beveren Leie, Belgien) og Depoortere (Beveren-Leie, Belgien). Maskiner til høst/ruskning af fiberhør er vist i figur 13.



Figur 13. Maskiner til ruskning (høst) af fiberhør. Planten trækkes om med rod og aflægges i et velordnet skår på jorden. Foto: Swicofil/Swissflax

Når planterne er trukket op og ligger på skår i marken, sker der en vejring, tørring og rødning, som ofte tager fra 2 uger op til 2 måneder afhængigt af vejrforholdene og afhængigt af om rødning skal ske i marken. Under rødningen skal halmen vendes for at sikre en ensartet tørring og rødning. Til det formål anvendes specielle skårvendemaskiner, som produceres af eksempelvis de tidligere nævnte firmaer Dehondt og Union, se figur 14.



Figur 14. Selvkørende specialmaskine til vending af rusket hørskår. Foto: Reff. Luigi Pari et al., 2014

Skårene kan også vendes med standardsiderive eller tilsvarende, men kvaliteten vil herefter ikke være til tekstilindustrien, men kun til andre fiberformål, eksempelvis kompositter, fiberplader, papirindustri og isoleringsmateriale.

Når den ønskede tørring og eventuelle markrødning er opnået, er hørplanterne klar til bjærgning. Til denne proces anvendes selvkørende eller bugserede hørrundballepressere. Det er i princippet rundballepressere, som er specielt designet til at danne regelmæssige hørlag i de oprullede baller. Lagenes regelmæssighed sikrer en nemmere behandling i den efterfølgende industri. Hørpresserne fremstilles af flere virksomheder, og som ved de øvrige hørmaskiner er Dehondt, Union samt Vlamalin (Tielt, Belgien) dominerende på markedet (Pari et al., 2014).

Ballerne opbevares tørt indtil den videre forarbejdning. Her fjernes frøet fra stænglerne. Til at adskille frø fra hørstængler er der traditionelt anvendt en form for ribning med en grov kam, men separation eller tærskning, så der kommer en fraktion til fibre og en til frø (eksempelvis til linolie), kan industrielt ske på flere måder.

For at forenkle høstteknologien til produktion af hørfibre, som ikke nødvendigvis skal anvendes i tekstilindustrien, men til kompositter, isolering, papirindustri m.m., er der gennemført forsøg med traditionelle landbrugsmaskiner i form af en mejetærsker – eventuelt lidt modificeret – samt standardhalmpræsser (Mańkowski et al., 2017; Pallesen, 2017). Metoden vil give en reduktion i udbyttet af fibre, alt afhængig af stubhøjde. Med den normale plantehøjde (over 700 mm) og en stubhøjde under 80 mm udgør tabet mindre end 10 %. Hørhøst ved denne metode reducerer de samlede lønomkostninger med 30 % og lønomkostningerne ved høst med mere end 42 % (Mańkowski et al., 2017). Overordnet set fungerer denne høstmetode tilfredsstillende. Metoden med standardmaskiner forenkler hele produktionsteknologien væsentligt.



Figur 15. Hørmark. Foto: Colourbox

Høst af frø (oliehør)

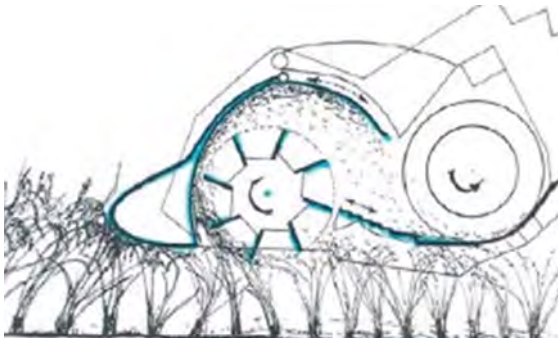
Høst af oliehør kan foretages ved direkte mejetærskerhøst, men der kan være udfordringer i forbindelse med den hårde fiberholdige stængel, som kan være grøn og umoden ved optimalt tidspunkt for frøhøst. Det er nødvendigt, at skærebordet er optimeret og med skarpt klippeudstyr. Eventuelt kan der anvendes en knivbjælke med specielle knive og fingre. For at undgå driftstop er det afgørende med jævnt indtag af afgrøden. Umodne hørrå har stor tilbøjelighed til at ophobes under kniven samt vikle sig omkring de bevægelige aksler m.m. i selve tærskværket.

For at lette mejetærskerprocessen og sikre mere ensartet modne frø kan oliehørren skårlægges. Ofte vil der også være en bedre mulighed for at bjærge frø med et lavt vandindhold, når afgrøden skårlægges. Lagerstabile hørrå kræver et vandindhold på under 10 %. Det kan være vanskeligt at opnå så lavt et vandindhold ved optimalt tidspunkt for direkte mejetærskerhøst.

Skårlægningen foretages ved samme modningsgrad som ved ruskning, dvs. ved gulmodning. Traditionelt vil der altid forekomme et vist frøspild ved skårlægning. Forsøg med skårlægning af oliehør har dog vist, at skårlægning kan være en acceptabel metode både ud fra bedømmelse af frøkvalitet samt med hensyn til frøspild. Forsøg fra USA viser kun en ikke-signifikant frøudbyttereduktion ved sammenligning af direkte høst og skårlægning med efterfølgende mejetærskning af skårlagt afgrøde (Berti et al., 2018).

Restproduktet fra høst af oliehør er halm bestående af stængler og blade, som efterlades på marken efter mejetærskeren. Skår af hørhalm kan bearbejdes og presses som almindelig kornhalm ved hjælp af almindelige landbrugsmaskiner. Til vending af hørhalm kan således anvendes siderive eller rotorrive. Hørhalmen kan ballepresses med rundballepressere eller storballepressere, hvorefter halmen – fiberfraktionen – kan håndteres, transporteres og lagres som halm fra kornafgrøder. Som tidligere nævnt er hørfibre bjærget på denne måde ikke af en kvalitet, som er egnet til tekstilproduktion.

En alternativ metode til direkte mejetærskerhøst er høst med ribbebord (Pallesen, 2017), se figur 16. Med ribbebordet plukkes frø, blade m.m. af stænglerne. Stænglerne efterlades på marken, hvor de kan modne, tørre og rødne, mens det primært er frø og blade, som transporteres ind gennem selve mejetærskeren.



Figur 16. Høst af hørfrø med ribbebord monteret på mejetærsker. Foto: Bodil Pallesen, AgroTech

Da det meste af hørstråene ikke skal gennem mejetærskeren, kan høstkapaciteten øges væsentligt. Specielt i tilfælde af umodne og grønne strå forløber høsten væsentlig lettere (The Flax Council of Canada, 2019). Efterfølgende kan hørstråene skårlægges med standardskårlægger enten med skiveskær eller knivbjælke. Den skårlagte hørhalm kan sammenrives, vendes og ballepresses med traditionelle landbrugsmaskiner, som anvendes ved håndtering af kornhalm.

Høst af hamp

Høstteknologien skal tilpasses anvendelsen af hampeafgrøden. Her er der stor forskel på, om det er plantestænglerne, der skal anvendes som fiberafgrøde, eller det er hampefrøene, der skal bjærges og anvendes til udvinding af olie. Eventuelt kan der være situationer, hvor man vil udnytte både fibre og frø.

Generelt er høst af hamp til fibre mindre besværlig end høst af hamp, hvor frøene skal udnyttes, eller hvor planten udnyttes til dobbelt formål (både frø og fibre). Høstudstyr og håndteringsredskaber, som almindeligvis anvendes inden for landbruget, kan fungere uden større ændringer, når hamp skal anvendes til fibre. Desuden er der udviklet specialudstyr til høst af hamp til fibre, som i højere grad opfylder de specifikke krav ved høst af hamp.

Dyrkes hamp til fibre, høstes afgrøden omkring tidspunktet for afsluttet blomstring, da der her opnås den bedste kvalitet af fibre.

Ved høst af hamp hvor fokus er på udnyttelse af frøene, høstes hamp senere. Her høstes først, når frøene er modne og der kan opnås den bedste olie kvalitet. Her kan der anvendes mejetærskerteknologi. I en række europæiske lande – Frankrig, Holland og Ungarn – er der eksempler på, at hamp udnyttes til dobbelt formål, altså både fibre og frø. Her høstes, når frøene er nær modenhed. Høsten sker med kombineret udstyr, som er modificeret til at høste eller klippe frødelen højt fra jorden og derefter skære eller skårlægge stænglerne. Fibrene fra hamp til dobbelt formål er normalt af lavere kvalitet og bruges ofte i produkter med forholdsvis lav værdi, som eksempelvis papirmasse.

I det følgende beskrives de eksisterende mekaniske høstsystemer til hamp, og der gives en beskrivelse af de traditionelt anvendte maskiner samt nogle nye udviklingsprojekter og prototype-maskiner, der de senere år er fremkommet for at optimere høstprocessen og øge værdien af hamp og hampprodukter.



Figur 17. Hampmark. Foto: Colourbox

Høst til fiberproduktion

Høst til fiberproduktion bliver normalt foretaget, når hampplanterne er i fuld blomstring. I dette vækststadium kan der normalt opnås det maksimale udbytte af de primære bastfibre (Amaducci et al., 2008; Mediavilla et al., 2001).

Hamp er forskellig fra de fleste andre enårige afgrøder, der dyrkes under danske forhold, på grund af sin betydelige højde (2-3 m og derover), sine tykke og hårde stængler (Pallesen, 1998 og 2016; Shafer et al., 2006), sit relativt høje udbytte af grøn biomasse (op til 50 ton biomasse pr. ha) (Amaducci et al., 2008; Balodis et al., 2011; Pallesen, 1998) samt sit høje indhold af fibre (Kozłowski et al., 1998; Lohmeyer, 2000).

Ved høst af fiberhamp skal stænglerne bevares i hele stængler eller i lange stængelstykker, som efterfølgende bjærges til den videre forarbejdning. Efter høst eller skårlægning bliver stænglerne anbragt parallelt med hinanden i skår på jorden eller i det mindste i afgrænsede skår, som er egnede til maskinel opsamling med ballepresser (Canadian Hemp Trade Alliance, 2019).

Høstes hamp på denne måde, kan der opnås et materiale bestående af lange fibre, der kan anvendes i industrien, herunder til kompositter og isoleringsmaterialer. Skal fibre anvendes til tekstiler, er de mekaniske høstsystemer imidlertid ikke altid tilpasset den efterfølgende behandlingsteknologi i industrien. Ved anvendelse af hamp til tekstiler er de industrielle skætningslinjer ofte en begrænsning, hvilket skyldes, at det anvendte udstyr oprindeligt er udviklet til hør og kræver, at stængelstykkerne ikke er længere end 1 m (Sponner et al., 2005; Pari et al., 2014).

Traditionel skårlægning

Skårlægning af hamp kan udføres ved hjælp af enten en skiveskårlægger med eller uden crimper-valser eller en skårlægger med knivbjælke. Selvkørende skårlæggere af typen, som anvendes ved skårlægning af raps, har vist sig mindre egnede. En fordel ved at bruge skiveskårlæggere er, at der kan køres med høj hastighed og dermed stor kapacitet, mens der med knivbjælkeudstyr må anvendes lav fremkørselshastighed. Skal hampplantens fibre anvendes til tekstiler, er en simpel skårlægger med knivbjælke dog den mest velegnede til høsten, da stænglerne er intakte og ligger pænt og jævnt direkte på jorden, således at der er mulighed for jævn tørring og ensartet rødning, figur 18.



Figur 18. Skårlægning af hamp med traditionel knivbjælkeskårlægger. De hele ubeskadigede stængler ligger jævnt på marken og der er mulighed for ensartet rødning. Foto: HempFlax Group B.V.

Stubhøjden i hamp sættes traditionelt til mindst 10 cm over jorden for at undgå den hårde træagtige del af stænglerne tæt på jorden. Optimal stubhøjde er naturligvis en balance, idet høj stub resulterer i tab af fiberudbytte.

Generelt er hamp en vanskelig afgrøde på grund af sin størrelse og de stærke fibre. Der kan være behov for ekstra afdækning og beskyttelse af roterende aksler, kæder, hjul m.m., da materiellet er meget tilbøjelig til at vikle sig omkring de bevægelige dele.

Skårlægning og klipning af hamp

Ved denne form for høst får planten en relativ hård behandling, og stænglerne efterlades i afklippede stykker på jorden, hvor de danner et ensartet skår bestående af de let bearbejdede stængler og blade. Til skårlægningen anvendes en række maskiner og udstyr, som oprindeligt er udviklet til høst og skårlægning af andre typer landbrugsafgrøder. Udstyret kan i større eller mindre grad være modificeret for bedre at kunne håndtere hampen. Metoden er ikke optimal set ud fra fiberkvalitet, og faktisk er de fibre, der bjærges ved denne metode, vanskelige at anvende i tekstilindustrien (Pari et al., 2014). Omvendt er det traditionelt anvendte skårlæggerudstyr udmærket, såfremt hele hampbiomassen skal anvendes til energiformål, eller såfremt fibre skal anvendes i papirindustrien, til kompositmaterialer eller isoleringsmateriale.

Det mest almindelige udstyr i Europa, der arbejder efter dette princip, er en såkaldt HempCutter. Høsteren består af et modificeret og udbygget Kemper rækkeafhængigt majsskærebord, som monteres på en selvkørende finsnitter, se figur 19. Maskinen er videreudviklet af det tyske firma Wittrock.



Figur 19. "HempCutter". Modificeret Kemper rækkeafhængigt skærebord monteret på selvkørende snitter.
Foto: HempFlax Group B.V.

Det modificerede skærebordshoved er tilpasset og påbygget en knivskæretromle. Under maskinens fremdrift fødes plantens stængler i længderetningen ind i skæretromlen, hvor de klippes i stykker på ca. 600-700 mm, hvorefter de efterlades direkte på jorden under tromlen. Materialet passerer således ikke gennem selve snitteren. Den selvkørende finsnitter anvendes derfor kun til at bære udstyret og levere kraft til drift af skærebordet med knivtromlen.

"Bluecher 02/03" er en lidt tilsvarende maskine, som blev udviklet i slutningen af 1990'erne, se figur 20.



Figur 20. Bluecher 02 monteret på selvkørende New Holland 1905. Foto: Ref. Luigi Pari et al., 2014

Selve høst og skårlægningsprincippet er til dels det samme som ved HempCutteren. Konceptet for Bluecher-høstsystemet er baseret på ønsket om at bevare hampens oprindelige form og egenskaber, indtil stænglerne klippes eller skæres i stykker på 600-700 mm. I første omgang samler og holder de 2 store tromler hampstænglerne i lodret position. Ved tromlernes rotation mod hinanden samles stænglerne, og efterhånden som de presses sammen og ind mellem tromlerne, gennemskares de af skiver, som er placeret i faste positioner på tromlerne. De snittede stængelstykker holdes opretstående i deres naturlige position og falder efter at have passeret mellem tromlerne ned på jorden, hvor de efterlades i et smalt skår. Målet med maskinen er at kunne høste hamp i en kvalitet, som burde kunne anvendes i tekstilindustrien.

Fordele ved dette system er stor kapacitet, og – specielt for HempCut – er der tale om et kendt og velafprøvet system. Ulemperne er, at der er behov for en dyr selvkørende finsnitter eller tilsvarende til at køre med udstyret. Desuden bjærges hampefrø ikke.

Stængelhøster

Et andet system til høstning af hamp, hvor stænglerne klippes i lange stykker, er det såkaldte Tebeco-system, som oprindeligt er udviklet i Tjekkiet. Høstmaskinen består af en bugseret rammekonstruktion med 3 knivbjælker placeret i forskellige højder over jorden. Maskinen trækkes af en traktor, og knivbjælker og andre funktioner på maskinen drives via traktorens hydraulikudtag. Knivbjælkerne er som nævnt placeret i forskellige højder fra jorden – dette med henblik på at opnå stængler der opfylder kravene til forarbejdningsanlæggene. Et eksempel på en maskine efter skærebjælkesystemet er Clipper 4.3 MMH, som er vist i figur 21.



Figur 21. Tebeco Clipper 4.3 MMH høster med 3 knivbjælker. Foto: Ref. Luigi Pari et al., 2014

De 3 knivbjælker på denne maskine er 4 m lange, og målet er at skære stænglerne ned i længder af ca. 1 m. Maskinen er udstyret med et klippesystem baseret på hurtiggående knive, som skærpes kontinuerligt under arbejdet. Det afklippede/høstede materiale bliver fordelt over hele markoverfladen og således ikke lagt i et skår. Af hensyn til tørring og rødning kan dette være en fordel.

Fordelen ved systemet er, at det er en forholdsvis enkel og billig maskine, som kan anvendes sammen med en mindre standard-traktor. En ulempe ved dette system er, at hvis stænglerne ikke står lodret eller de påvirkes af

vind eller andre forhold, vil klippelængden stige, hvilket kan være et problem ved den efterfølgende forarbejdning. Opbygningen med det lagdelte klippesystem kræver en høj fremkørselshastighed – 12 til 18 km pr. time – for at undgå dobbeltklip af de øverste stængelstykker. Høj fremkørselshastighed er endvidere nødvendig for at sikre en jævn og ensartet aflægning af materialet på jorden. Som ved HempCutter- og Bluecher-høsterne bjærges hampefrøene ikke.

Høst af frø

Til høst af de olieholdige hampefrø kan anvendes mejetærsker, figur 22. Mindre modifikationer og tilpasninger kan være nødvendige (Olsen et al., 2011). Ofte sættes en meget høj stub, dels for at undgå de stive og fiberholdige stængler i tærskesystemet, dels for at minimere spild af frø ved skærebordet.

Høsten foretages normalt direkte i stående afgrøde. Fugtige hampefrø på skår i marken er tilbøjelige til at spire, og skårlægning anvendes derfor kun i særlige situationer. Under tørre forhold og ved kort afgrøde kan skårlægning forud for mejetærskning være fordelagtig.

I forhold til mejetærskerhøst af andre korn- og frøarter er der ofte betydelige mængder plantemateriale i den høstede vare. Under danske forhold er der behov for tørring, for at frøene kan lagres, og der kræves en effektiv rensning af den høstede vare, hvis ikke tørringsprocessen skal blive unødigt besværlig og langsom. Ved sen høst af fuldmodne og meget tørre frø er frøene meget tilbøjelige til at revne under høst- og håndteringsoperationerne, hvilket kan forringe olie kvaliteten i væsentlig grad på grund af oxidering af olien.



Figur 22. Høst af hampefrø med mejetærsker. Foto: Lars Egelund Olsen, SEGES

For at forhindre hampstængeldelene i at vikle sig omkring og indpakke aksler, kæder, lejer m.m. i mejetærskeren kan der være behov for mindre modifikationer i form af afdækninger. Dette både for at undgå ophobning af fibre og deraf følgende driftstop, men også for at minimere risiko for brandfarer. På grundlag af danske forsøg udført af SEGES anbefales det, at pigge på indføringstromlen afmonteres, og at der monteres afdækningsplader, som reducerer bredden af indføringsslug for at sikre minimal kontakt med indføringskæder, tærskencylinderaksel og lejer (Olsen et al., 2011).

Skal stængelfractionen bjærges, kan materialet efterfølgende og efter tørring på marken, ballepresses med standardrundballepressere eller storballepressere. De lange stubbe kan slås med traditionel skårlægger. Typen med knivbjælke og uden crimper-udstyr er bedst egnet.

Høst af både frø og stængel

Totalhøst af våd biomasse

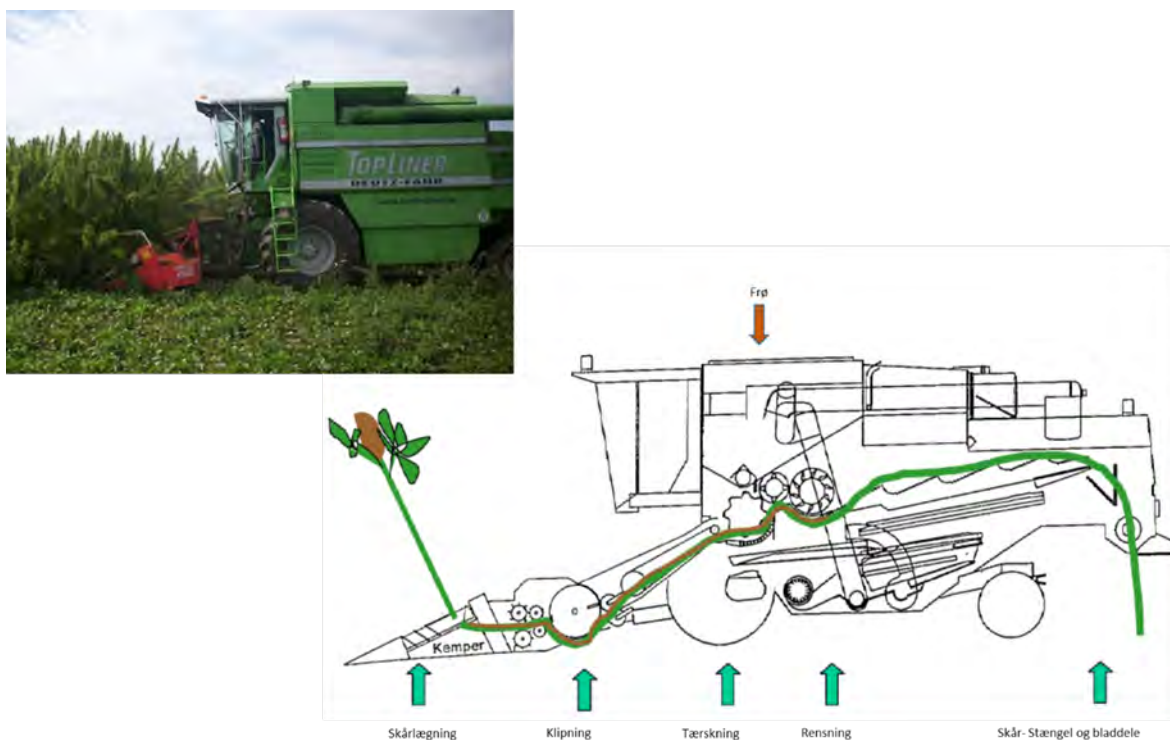
Stilles der ikke særlige krav til varen, men skal al biomassen udelukkende anvendes til energiformål i eksempelvis biogasanlæg, kan der anvendes traditionelt maskinudstyr, som anvendes ved eksempelvis høst og håndtering af majs til foder. Selvkørende finsnitter med rækkeafhængigt majsskærebord kan høste og snitte hamplanterne. Den bjærgede biomasse kan derefter lagres lufttæt og ensileres. Materialet er ikke egnet til hverken fiberformål eller udvinding af hampeolien i frøene.

Dual crop harvesting/double cut system

Der findes en række maskintekniske løsninger til samtidig høst af frø- og stængelfraktion. Et velafprøvet system, som kom frem omkring år 2000, er "Hemp Total Harvester" (Hanfvollernter-Gotz/BAFA system). Teknisk er der tale om en kombination af en standardmejetærsker monteret med det specielle HempCut-skærebord, se figur 23.

I skærebordet klippes stænglerne i stykker på ca. 600 mm, hvorefter alt plantematerialet transporteres gennem maskinens tærskesystem og sektion for frøudskillelse og rensning.

Fordele ved systemet er, at der høstes både frø og fiberfraktion i en arbejdsgang. Et problem kan være, at optimal høsttidspunkt for frø er senere end optimal fiberkvalitet i stængler. En anden indlysende ulempe ved systemet er, at al den høstede biomasse skal gennem mejetærskerens tærskesystem og rensesektion, hvilket i høj grad reducerer maskinens kapacitet. Endvidere har test vist, at Kemper-skærebordet giver anledning til et stort frøspild i forbindelse med indtag af hamplanterne (Gusovius et al., 2017).



Figur 23. Totalhøst af hamp. Principskitsen til venstre viser materialeflowet gennem maskinen. HempFlax Group B.V.

For at undgå problemet med den store stængel- og biomasse mængde gennem mejetærskeren er der i 2014 præsenteret et nyt system kaldet "Double-Cut-Combine". Her er mejetærskeren modificeret således, at den har et specielt højt placeret standardmejetærskerskærebord, som afklipper toppen af planterne. De afklippede plantetoppe bestående af frø og blade m.m. falder fra skærebordet ned i maskinens indføring og videre gennem maskinens tærsk- og rensesektionen. Under dette højt placerede standardskærebord er der så monteret et HempCut-skærebord, som høster og neddeler den resterende del af planten. HempCut-enheden efterlader de neddelte stængelstykker direkte i et skår på jorden. Denne fraktion passerer således ikke gennem selve mejetærskeren.

Dun Agro-system med ribbebord

En anden kombineret høstmaskine er udviklet af en hollandsk pioner inden for dyrkning og anvendelse af hamp, Albert Dun. Maskinen har været demonstreret i Danmark og vist sig at være i stand til at høste og fraktionere materialet. Maskinen, som er en sammenbygning af en række kendte maskiner og maskindele, er vist i figur 24.



Figur 24. Hollandske Dun Agros hampehøster. Maskinen er bygget sammen af en selvkørende roeoptager, et majsskærebord, et ribbebord og en finsnitter. Foto Jens B. Kjeldsen, Aarhus Universitet

Basismaskinen er en selvkørende roeoptager, hvor optagerenheden er udskiftet med et Claas række-uafhængigt majsskærebord og snitteaggregat. Snitterenheden klipper hampstænglerne i stykker af en længde på ca. 400 mm. Efter snitterenheden falder de neddelte stængelstykker ud af maskinen og efterlades i et skår på jorden. I en teleskoplæsserarm over majsskærebordet er der monteret en finsnitterenhed med et ribbebord. Bordet afribber blade og frø, som via snitteren blæses over i transportkassen på maskinen. Ribbebord og snitter drives via hydraulik.

I 2015 blev der vist en ny udgave af høstprincippet, hvor Dun Agro i samarbejde med Claas har optimeret systemet. Basismaskinen er her en selvkørende Claas-snitter. Under høst transporteres frø og bladfraktionen fra ribbebordet direkte via et transportbånd til en opsamlertank og bearbejdes således ikke af en finsnitterenhed. Princippet med skårlægning og neddeling af den ribbede stængelfraktion er bibeholdt.

Den afribbede fraktion er ikke en færdigvare, men en blanding af frø, blade og også en del stængelstykker. Skal frøene anvendes til olie, resterer en større opgave med oprensning. Fraktionen kunne eventuelt anvendes til fremstilling af proteinfoder (HempFlax, 2013). De skårlagte stængelstykker er i væsentlig grad uden blade og top-skud, hvilket er en fordel af hensyn til tørring og rødning i marken.

Presning af skårlagt hamp

Af hensyn til opsamling og ballepresning af skårlagt hamp er det en fordel, når der er sket en vis bearbejdning eller snitning af stænglerne. Det vil minimere problemer med svøbning og generelt forbedre muligheden for god ballekvalitet. Hvis der ønskes rødning i marken, kan der ofte være behov for en længere tid mellem høst og ballepresning. Under gode vejrforhold tørrer skårlagt hamp som andre stråafgrøder, og det er normalt muligt at nå et vandindhold på 15 %, hvilket er nødvendigt for at sikre lagerstabile baller.

Skårlagt hamp kan sammenrives med standardrotorriver. Denne rivetype kan også anvendes til vending af hampeskår, hvilket kan være nødvendigt for at opnå tilstrækkelig tørring.

Skårlagt tør hamp kan ballepresses med såvel rundballepressere som storballepressere til rektangulære baller. Der kan, specielt ved storballepressere for rektangulære baller, være behov for modifikationer i form af afdækninger og ekstra skærme for at undgå, at stænglerne vikler sig omkring aksler, kæder, lejer og andre bevægelige dele.



Figur 25. Presning af hamp med storballepresser. Foto: Reff. Luigi Pari et al., 2014

Rundballeprincippet, som er det mest enkle og med færrest bevægelige dele, kan derfor være at foretrække til selve presningen, men omvendt er store rektangulære baller lettere at håndtere, transportere og lagre (figur 25).

Referencer

- Amaducci, S., Zatta, A., Pelatti, F., & Venturi, G. (2008). Influence of agronomic factors on yield and quality of hemp (*Cannabis sativa* L.) fiber and implication for an innovative production system. *Field Crops Res.*, 107, 161-169.
- Bagge, H. (1949). Kulturforsøg med spindhør 1939-46. Beretning nr. 420 fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.
- Bagge, H. & Larsen, A. (1957). Forsøg med rækkeafstand og såmængde i spindhør. Beretning 540. Statens Forsøgsvirksomhed i plantekultur.
- Balodis, O., Bartuševics, J., & Gaile, Z. (2011). Biomass yield of different plants for biogas production. In *Proceedings of the 8th international scientific and practical Conference, Vol. 1*, 238-245.
- Berti, M. T., Johnson, B. L., Gesch, R. W., & Forcella, F. (2018). Cuphea seed yield response to harvest methods applied on different date. *Agronomy Journal*, 100(4), 1138-1144.
- Bledzki, A. K., Reihmane, S., & Gassan, J. (1996). Properties and modification methods for vegetable fibers for natural fiber composites. *Journal of applied polymer science*, 59(8), 1329-1336.
- Bullock, D. G. (1992). Crop rotation. *Critical reviews in plant sciences*, 11(4), 309-326.
- Canadian Hemp Trade Alliance. (2019). Fiber Production, Fibre Harvesting Equipment. <http://www.hemptrade.ca/eguide/fibre-production/fibre-harvesting-equipment>
- Danmarks Statistik. (2019). www.statistikbanken.dk/HST77 og www.statistikbanken.dk/HALM1
- Deleuran, L., & Flengmark, P. (2005). Yield potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars in Denmark. *Journal of Industrial Hemp*, 10, 19-31.
- Dornburg, V., Termeer, G., & Faaij, A. P. (2005). Economic and greenhouse gas emission analysis of bioenergy production using multi-product crops—case studies for the Netherlands and Poland. *Biomass and Bioenergy*, 28(5), 454-474.
- De Meijer, E. P. M. (1995). Fibre hemp cultivars: a survey of origin, ancestry, availability and brief agronomic characteristics. *Journal of the International Hemp Association*, 2(2), 66-73.
- Eriksen, J., Jensen, P. N., Jacobsen, B. H., Thomsen, I. K., Schelde, K., Blicher-Mathiesen, G., ... & Hoffman, C. C. (2014). Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 325 p.
- Europa-Kommissionen. (2019). Fælles sortsliste over landbrugsplantearter — 37. samlede udgave.
- Eurostat. (2019). Crop production in EU standard humidity. https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/apro_cpsh1
- FAOSTAT. (2019). <http://www.fao.org/faostat>
- Finnan, J., & Styles, D. (2013). Hemp: a more sustainable annual energy crop for climate and energy policy. *Energy Policy*, 58, 152-162.
- Fuqua, M. A., Huo, S., & Ulven, C. A. (2012). Natural fiber reinforced composites. *Polymer Reviews*, 52(3), 259-320.
- Gusovius, H. J., & Luhr, C. (2017). MultiHemp. Consolidated report on harvesting and processing technologies for hemp, recognizing new and established developments. ATB, Leibniz Institute of Agricultural Engineering and Bio-economy.
- Harvesting, Retting, and Fiber Separation - Global Hemp. (www.globalhemp.com/wp-content/uploads/2000/01/ages001Ee)
- Hennink, S. (1994). Optimisation of breeding for agronomic traits in fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) by study of parent-offspring relationships. *Euphytica*, 78(1-2), 69-76.

- Jankauskienė, Z., & Gruzdevienė, E. (2015). Screening of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars for biomass yielding capacities in Lithuania. *Journal of natural fibers*, 12(4), 368-377.
- Kandel, H., & Graves, I. (2015). Flax Production in North Dakota. North Dakota State University, Publication. <https://www.ag.ndsu.edu/publications/crops/flax-production-in-north-dakota>
- Karlen, D. L., Varvel, G. E., Bullock, D. G., & Cruse, R. M. (1994). Crop rotations for the 21st century. *Advances in agronomy*, 53, 1-45.
- Kaushik, A., Singh, M., & Verma, G. (2010). Green nanocomposites based on thermoplastic starch and steam exploded cellulose nanofibrils from wheat straw. *Carbohydrate Polymers*, 82(2), 337-345.
- Kozłowski, R., Kaniewski, R., & Mankowski, J. (1998). The methods of mechanical harvesting of hemp and hemp fibers production. In: Conference: Commercial and Industrial Hemp Symposium, Vancouver, Canada, Conference Proceedings.
- Landbrugsstyrelsen. (2018). Vejledning om gødsknings- og harmoniregler, Planperioden 1. august 2018 til 31. juli 2019. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Vejledning_om_goedsknings-og_harmoniregler_2018_2019_1version.pdf
- Larsen, A., & Bagge, H. (1957). Forsøg med rækkeafstand og såmængde i spindhør. *Tidsskrift for Planteavl*, 67, 241-276.
- Larsen, A. (1961). Stammeforsøg med spindhamp 1951-56. Beretning nr. 612 fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.
- Larsen, A. (1963). Stammeforsøg med spindhamp 1957-61. Beretning nr. 669 fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.
- Lohmeyer, D. (2000). Erntetechniken für Hanf in Westeuropa. Bioresource Hemp, Wolfsburg, Germany.
- Louis-Marie Colcombet, L. M. (2019). Personlig kommunikation.
- Malkapuram, R., Kumar, V., & Negi, Y. S. (2009). Recent development in natural fiber reinforced polypropylene composites. *Journal of reinforced plastics and composites*, 28(10), 1169-1189.
- Mańkowski, J., Maksymiuk, W., Szychalski, G., Kołodziej, J., Kubacki, A., Kupka, D., & Pudelko, K. (2017). Research on New Technology of Fiber Flax Harvesting. *Journal of natural fibers*, 15(1), 53-61.
- Mediavilla, V., Leupin, M., & Keller, A. (2001). Influence of the growth stage of industrial hemp on the yield formation in relation to certain fibre quality traits. *Industrial Crops and Products*, 13, 49-56.
- Michel, F., Thibault, J. F., Barry, J. L., & de Baynast, R. (1988). Preparation and characterisation of dietary fibre from sugar beet pulp. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 42(1), 77-85.
- Nordestgaard, A. (1976). Forsøg med sorter af spindhør 1962-68. Beretning nr. 1325 fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.
- Olsen, L., & Askegaard, M. (2011). Hamp til frø, udbytte og høst. Videncentret for Landbrug, Økologi.
- Pallesen, B. (1998). Dyrkning af hamp. https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Afgroeder/Nicheafgroeder/industrihamp-spindhoer/Sider/Dyrkning_af_hamp.aspx
- Pallesen, B. (2016). Bæredygtige hør- og hampetekstiler. Innovationsnetværk for Miljøteknologi. Slutrapport.
- Pallesen, B. (2017). Dyrkning af Spindhør. <https://www.landbrugsinfo.dk/planteavl/afgroeder/nicheafgroeder/industrihamp-spindhoer/>
- Pari, L., Baraniecki, P., Kaniewski, R., & Scarfone, A. (2014). Harvesting strategies of bast fiber crops in Europe and in China. *Industrial Crops and Products*, 68, 90-96
- Petersen, J. E., Elbersen, B., Wiesenthal, T., Feehan, J., & Eppler, U. (2007). Estimating the environmentally compatible bioenergy potential from agriculture. EEA Technical report No 12/2007, *European Environment Agency. Copenhagen*. 134 pp.

- Sarasini, F., & Fiore, V. (2018). A systematic literature review on less common natural fibres and their biocomposites. *Journal of Cleaner Production*, 195, 240-267.
- Shafer, T., & Henermeier, B. (2006). Effect of sowing date and plant density on the cell morphology of hemp. *Industrial Crops and Products*, 23, 88-98.
- Schönefeld, H. (1955). Bast Fibres, Fachbuchverlag, Leipzig.
- SEGES. (2019). Dyrkningsvejledning industrihamp og spindhør. <https://www.landbrugsinfo.dk/planteavl/afgroeder/nicheafgroeder/industrihamp-spindhør/sider/startside.aspx>
- Sponner, J., Toth, L., Cziger, S., Franck, R. R. (2005). Hemp. In Bast and Other Plant Fibres. Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 176-206.
- Struik, P. C., Amaducci, S., Bullard, M. J., Stutterheim, N. C., Venturi, G., & Cromack, H. T. H. (2000). Agronomy of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) in Europe. *Industrial Crops and Products*, 11(2-3), 107-118.
- The Flax Council of Canada. (2019). <https://flaxcouncil.ca/growing-flax/chapters/harvesting/>
- Wang, Z., Hobson, N., Galindo, L., Zhu, S., & Shi, D. (2012). The genome of flax (*Linum usitatissimum*) assembled de novo from short shotgun sequence reads. *The Plant Journal*, 72, 461-473.
- Zegada-Lizarazu, W., & Monti, A. (2011). Energy crops in rotation. A review. *Biomass and Bioenergy*, 35(1), 12-25.
- Zuk, M., Richter, D., Matula, J., & Szopa, J. (2015). Linseed, the multipurpose plant. *Industrial Crops and Products*, 75, 165-177.

Om DCA

DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug er den faglige indgang til jordbrugs- og fødevareforskningen ved Aarhus Universitet.

Centret omfatter institutter og forskningsmiljøer, der har aktiviteter på jordbrugs- og fødevareområdet. Det er primært Institut for Agroøkologi, Institut for Husdyrvidenskab, Institut for Fødevarer, Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning samt dele af Institut for Ingeniørvidenskab.

Aktiviteterne i DCA understøttes af en centerenhed, der varetager og koordinerer opgaver omkring myndighedsbetjening, erhvervs- og sektorsamarbejde, internationalt samarbejde og kommunikation.

Forskningsresultater fra DCA

Resultater fra forskningen publiceres i internationale, videnskabelige tidsskrifter. Publikationerne kan findes via universitets publikationsdatabase (pure.au.dk).

DCA rapporter

DCA's rapportserie formidler hovedsageligt myndighedsrådgivning fra DCA til Miljø- og Fødevareministeriet. Der kan også udgives rapporter, som formidler viden fra forskningsaktiviteter. Rapporterne kan frit hentes på centrets hjemmeside: dca.au.dk.

Nyhedsbreve

DCA udsender et nyhedsbrev, der løbende orienterer om jordbrugs- og fødevareforskningen og herunder om nye forskningsresultater, rådgivning, uddannelse, arrangementer og andre aktiviteter. Det er gratis at tilmelde sig nyhedsbrevet, og det kan ske på dca.au.dk.

RESUME

Rapporten er udarbejdet på bestilling af Miljø- og Fødevareministeriet og giver en redegørelse for hvilke specifikke afgrøder, der kan produceres på danske landbrugsarealer er velegnede til anvendelse som biopolymer inden for produktområder som f.eks. tekstil, emballage og byggeri. Rapporten indeholder opdateret viden om produktion af hør og hamp i Danmark og Europa, deres dyrkningssystemer samt en kort gennemgang af tekniske karakteristika for fibertyper af hør og hamp i sammenligning med andre plantefibre. Forventet udbytte og de dyrkningsmæssige udfordringer og muligheder for dyrkning af spindhør og hamp gennemgås. Endvidere beskrives miljø- og klimamæssige perspektiver, der relaterer sig til dyrkning af spindhør og hamp.

