



Rötning av industrihampa för fiberproduktion

- en utvärdering av kvalitet och miljöpåverkan

Fakulteten för Landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Henrik Ahlsten

2010

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för Landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap, LTJ

Författare:

Henrik Ahlsten

Titel:

Rötning av industrihampa för fiberproduktion - en utvärdering av kvalité och miljöpåverkan

Retting of industrial hemp for the production of fibre - an evaluation of quality and environmental impact.

Program/utbildning:

Lantmästarprogrammet

Lantm starexamen

Huvudområde:

Lantbruksvetenskap

Nyckelord (6-10 st):

Rötning av industrihampa, fiberfril ggning, rötningsmetoder, hampfiber, rötning, fältrötning, vattenrötning, enzymatisk rötning, miljöpåverkan, kvalité,

Handledare:

Bengt Svennerstedt

Examinator:

Marie Bengtsson

Kurskod:

EX0351

Kurstitel:

Examensarbete f r lantm starprogrammet inom lantbruksvetenskap

Omfattning (hp):

10

Nivå och fördjupning:

AB

Utgivningsort:

Alnarp

Månad,  r:

Augusti, 2010

Serie:

Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten

Omslagsfoto:

Henrik Ahlsten

FÖRORD

Lantmästarprogrammet är en två-årig universitetsutbildning vilken omfattar 120 högskolepoäng (hp). En av de obligatoriska delarna i denna är att genomföra ett eget arbete som ska presenteras med en skriftlig rapport och ett seminarium. Detta arbete kan t.ex. ha formen av ett mindre försök som utvärderas eller en sammanställning av litteratur vilken analyseras. Studien har genomförts på uppdrag av Gotland Naturfiber AB. När jag hörde från Gotlands Naturfiber att rötningen var någonting som de behövde få mer information om så nappade jag på idén att göra en litteraturstudie över hur röttningsprocessen går till, eftersom jag är intresserad av Industrihampa och dess odling och ville lära mig mer om grödan.

Ett varmt tack riktas till Olof Thomsson och Mikael Liljegren på Gotlands Naturfiber som har kommit med idéer och förslag på exjobbets utformning, till Docent Bengt Svennerstedt, område Jordbruk, SLU, Alnarp, som har varit min handledare samt till Docent Marie Bengtsson, område Växtskyddsbiologi, SLU, Alnarp, som har varit examinator.

Alnarp i augusti 2010

Henrik Ahlsten

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING.....	3
SUMMARY.....	4
1. INLEDNING.....	5
1.1 BAKGRUND.....	5
1.2 SYFTE OCH MÅL.....	5
1.3 AVGRÄNSNING.....	6
2. HAMPAN OCH DESS FIBER.....	7
2.1 HAMPA.....	7
2.2 FIBRERS UPPBYGGNAD.....	8
2.2.1 <i>Fibers kemiska beståndsdelar</i>	11
3. RÖTNING AV HAMPA.....	12
3.1 VARFÖR BEHÖVER MAN RÖTA HAMPA?.....	12
3.2 RÖTNINGSFÖRLOPPET.....	13
3.2.1 <i>Pektinets nedbrytning</i>	15
3.3 RÖTNINGSMETODER.....	16
3.3.1 <i>Liggande fältrötning, (Dew retting)</i>	16
3.3.2 <i>Stående fältrötning (Stand retting)</i>	18
3.3.3 <i>Frystorkning (Frost retting)</i>	19
3.3.4 <i>Vattenrötning</i>	20
3.3.5 <i>Enzymrötning</i>	22
3.3.6 <i>Bag retting</i>	23
3.3.7 <i>Kemisk friläggning av hampfiber</i>	23
3.4 METODER ATT AVGÖRA NÄR HAMPAN ÄR FÄRDIGRÖTAD.....	24
4. MATERIAL OCH METOD.....	25
5. RESULTAT.....	25
6. DISKUSSION.....	26
7. SLUTSATS.....	28
8. REFERENSER.....	29

SAMMANFATTNING

Industrihampa innehåller bastfiber som går att använda för att tillverka kompositer, isoleringsmaterial och textilier. Fibrerna sitter hopklistrade med varandra och omkringliggande vävnad av det pektin som finns i växten. Genom rötning kan mikroorganismer lösa upp detta pektin och därmed frilägga fibrerna från den intilliggande vävnaden och från varandra. Därmed underlättas den efterkommande beredningen av hampan.

Det finns ett flertal olika metoder för att röta hampa vissa bygger på att grödan får ligga kvar på fältet och andra på att de sänks ned i vattenbad eller behandlas med kemiska preparat. I mitt examensarbete redogör jag för dessa metoder samt jämför de olika metoderna utifrån vilken påverkan rötningen har på kvalité och miljö. Rötning av fibrerna på fält har visat sig ha lägre påverkan på miljön men är en osäker metod som resulterar i en underrötad eller överrötad fiber.

Industrihampa för fiberproduktion har stor potential att ersätta många av de syntetiska fibrer som finns på marknaden idag. Men det finns många tekniska problem med odling, skörd och beredning som måste lösas innan dess. Jag hoppas att detta kan vara till nytta för de företag som vill starta fiberberedning i Sverige i framtiden.

SUMMARY

In recent years the Interest in the hemp plant *Cannabis sativa L.* for fibre production has been rekindled. Industrial hemp produces bast fibres toward the periphery of the stem. Hemp fibres can be used for the production of composites, insulation materials and textiles. The individual elementary fibres are glued together with each other and the surrounding tissue by the pectin in the primary cell wall and the middle lamella. Microbiological digestion of the pectin frees the fibres from the adjacent tissue and from each other. This retting process facilitates the subsequent decortications of hemp fibres during the following steps of fibre processing.

There are several different methods for hemp retting. In dew retting the crop is left on the field and domestic fungi dissolve the pectin. During warm water retting hemp stalks are immersed in hot water in which bacteria take care of digestion. Hemp may also be treated with chemicals or enzymes in various processes. In my thesis I describe these different retting methods and compare the various methods based on the impact on quality and the environment. The literature describe anaerobic retting of hemp during dew retting as having less impact on the environment but is an unreliable method that may result in under retted and over retted fibre. Warm water retting, enzyme retting and chemical digestion are methods that can be controlled more easily than field retting. It can therefore be adapted to produce fibers with predetermined quality standards. However these methods have a greater impact on the environment primarily through higher energy use.

Industrial hemp for fibres has potential to replace many of the synthetic fibres on the market. But there are many technical problems with cultivation, harvesting and processing that must be resolved before this can be achieved. I hope that my work can be useful for companies who intend to start a future Swedish hemp fibre production.

1. INLEDNING

1.1 BAKGRUND

Industrihampa har de senaste åren fått en renässans i och med att det återigen blivit lagligt att odla industrihampa i Sverige. Efterfrågan har ökat på naturfibrer, vilka kan användas för att tillverka bl.a. isoleringsmaterial, kompositter och textilier. Även användningen av hampans biprodukter såsom frö för produktion av olja och hampfrökaka och skävor, som används till strömedel eller för skivproduktion har ökat.

Ersättandet av bomullsfibrer med hampfibrer skulle idag få betydande vinster i form av energibesparingar. Energiförbrukning för att ta fram ett ton hampfibrer är bara en tredjedel av vad som krävs för produktionen av ett ton bomullsfibrer (Bócsa och Karus, 1998). I brist på bättre skörde- och beredningsteknik riskerar dock hampan att gå miste om dessa möjligheter, speciellt som råvaruleverantör till textilindustrin (Bócsa och Karus, 1998). Röttningsprocessen är den stora begränsningen i produktionskedjan för att få fram högkvalitativa fibrer (Pallesen, 1996).

Anledningen till att man rötter är för att man vill frilägga fibrerna från den intelligande vävnaden och från varandra (Bócsa och Karus., 1998). Detta görs genom att mikroorganismer bryter ned det pektin som finns mellan cellerna och kittar ihop dem med varandra och övrig vävnad (Fröier och Zienkiewicz., 1979).

1.2 SYFTE OCH MÅL

På Gotland finns ett företag vid namn "Gotlands Naturfiber AB". På dess uppdrag har denna litteraturstudie genomförts. Litteraturstudien syftar till att dokumentera och analysera röttningsmetoder för industrihampa.

Studien skall leda till en sammanställning av vilka metoder för rötning av industrihampa som finns idag och som kan ligga till grund för en bedömning av vilka röttningsmetoder, som är lämpliga i en framtida svensk fiberproduktion av industrihampa.

Följande frågeställningar har varit vägledande för arbetet:

Vilka röttningsmetoder existerar idag?

Vilka fördelar/nackdelar har respektive metod från ett miljö och kvalitetsperspektiv ?

1.3 AVGRÄNSNING

Studien kommer inte ta upp någonting rörande odlingen av industrihampa, endast nämna lite hur hampan skall skördas beroende på de olika rötningsmetoderna. Hur torkning av den skördade eller rötade hampan går till kommer bara att nämnas om det är relevant för själva rötningsprocessen. Hur fiberberedning går till kommer inte att behandlas men en beskrivning hur materialet bör vara för att uppnå bästa resultat kommer att visas. Studien kommer inte att beröra marknaden för fibrerna eller de ekonomiska aspekter, som finns vid olika rötningsmetoder.

2. HAMPAN OCH DESS FIBER

2.1 HAMPAN

Hampa *Cannabis sativa L* hör till nässelsläktet och familjen *Cannabaceae*. Inom denna grupp finns även humle och brännässla (Osvald, 1959). Alla dessa växter innehåller fibrer och har tidigare använts som spånadsväxter för att utvinna fibrer (Fröer, 1960).

Industrihampa har olika växtsätt beroende på vilket användningsområde den har. Droghampa och vissa fröhampsorter har ett mycket glest växtsätt och blir inte så hög som fiberhampa, som är avsedd för fiberproduktion. Dessa skall växa tätt utan att förgrena sig för att de skall bli långa och smala och ge en fiber av bra kvalitet (Bernesson, 2006).

Hampa har odlats i Sverige sedan medeltiden och har genom historien använts till föda, kläder, papper, reptillverkning, byggnadsmaterial, medicin och som religiös drog (Hampanätet, 2010). Mellan åren 1945 och 1952 fanns det en odling i Sverige som omfattade ca 2000ha, ungefär hälften på Gotland och hälften på fastlandet. Hampan bereddes i två beredningsverk, ett i Katrineholm och ett i Visby.

1952 lades beredningsverket i Katrineholm ned eftersom staten ville minska stödet för spånadsväxtodling (Osvald 1959). Efter det återstod bara odlingen på Gotland och 1965 upphörde även den odlingen när Visbyverket lades ned (Svennerstedt & Svensson., 2004). Efter det förbjöds all odling av hampa för att staten ville utesluta odling av *Cannabis Indica* som är den hampsort som används för att framställa droger (Hampanätet, 2010).

År 2003 blev odlingen av industrihampa återigen laglig i Sverige (Hampanätet, 2010). De sorter av industrihampa som odlas i EU måste innehålla mindre än 0,2 viktprocent av det narkotiska ämnet tetrahydrocannabinol (THC). *Cannabis indica* som används vid framställning av droger har en THC-halt på mellan 8 till 20 viktprocent (Svennerstedt & Svensson., 2004).

Från skördad industrihampa kan man utvinna flera olika råvaror, frö, fibrer och ved. Fröna sitter i en fröställning i toppen av grödan och innehåller vanligen 30-32% olja samt 20-24% protein (Fröier, 1960). Frön kan användas för att tillverka ett flertal produkter, allt från olja till hampmjöl (Manitoba harvest, 2010). 55% av hamphalmen blir till en biprodukten som kallas ved eller skävor. Veden utgörs av stjälkens innersta del och används generellt till strö för hästar, kycklingar och andra husdjur men även till spånskivor eller annat byggnadsmaterial (EIHA, 2010). Veden kan även vara en god råvara för bioenergi, tex pelletsförbränning.

Hampfibrer i Europa har traditionellt använts inom pappersindustri för att producera specialpapper som t.ex cigarettpapper. Denna del har mellan 70-80% av marknaden för hampfibrer inom Europa. Produktionen av kompositer som används inom t.ex. bilindustrin och isoleringsmaterial för byggnadsindustrin är nischmarknader men produktionen och efterfrågan har ökat de senaste åren. Textilier, rep, garn, och tyg är ingen viktig marknad för hampfiber som produceras inom EU eftersom det endast utgör 1% av produktionen (Karus och Vogt, 2004).

Ca. 10 företag är verksamma inom förädlingsindustrin för hampa i västra Europa. Hampa odlas på 15 000h inom EU och det är främst fältrötning som praktiseras (European industrial hemp association, 2010). Det finns ytterligare 5-10 företag i Östeuropa som tillämpar traditionella förädlingsmetoder med vattenrötning och produktion av långfibrer till textilindustrin (Karus och Vogt, 2004).

Lin och hampfibrer liknar varandra på många vis, därför kan kvalitetsparametrar som används för att bedöma lin även användas på hampa (Thomsen et al., 2005) Fibrernas styrka, längd, diameter, kemiska sammansättning och homogenitet är viktiga parametrar om fibrerna skall användas för textil eller komposittillverkning. Däremot spelar dessa kvalitetsmått mindre roll om fibern skall användas till framställning av pappersmassa (Wretfors, 2005).

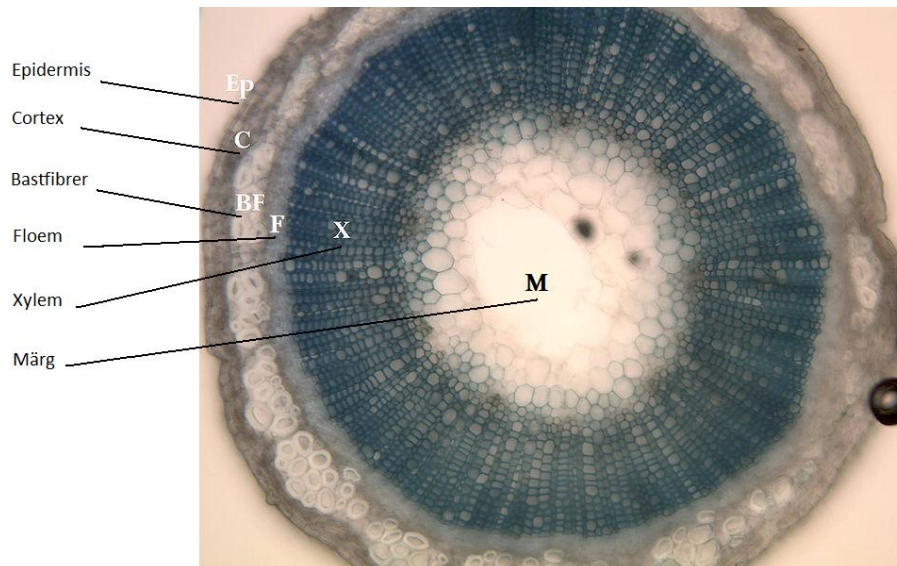
Syntetiska fibrer bedöms på liknande sätt men håller en jämnare kvalitet. Variationkoefficienten för fibrernas homogenitet är ofta högre hos naturfibrer än hos syntetiska fibrer och generellt så kostar det mer i form av energi och fiberförluster desto högre homogenitet som skall tas fram (Kessler et al., 1999). För garn mäts finheten/finleken på garnet med Nm vilket är garnets spunna längd per g garn (Nebel, 1995).

2.2 FIBRERS UPPBYGGNAD

Fibrerna från spånadsväxter är växtens stödjevävnader. De återfinns innanför epidermis, mellan cortex och kambium, se figur 1. De består av celler med mycket tjocka cellväggar. Den sekundära cellväggen är även kraftigt lignifierad. Dessa celler har ofta dött och bara lämnat kvar sina cellväggar och kallas för sklerenkym (Fågelfors, 2001).

Epidermis är växtens överhud, den är encellig och har en beläggning av vax som skyddar mot avdunstning (Fröier och Zienkiewicz, 1979). Innanför detta skal finns cortex, som innehåller några få lager parenkymceller. Dessa utgör större delen av växtens blad och innehåller kloroplaster i vilka fotosyntesen sker (Fågelfors, 2001). Kambium utgörs av växtens floem som sitter i anslutning till bastfibrerna. Floemet utgörs av levande celler som formar kanaler där växtnäring transporteras runt inom växten. Xylemet som i figur 1 betecknas som X består av döda celler med kraftigt lignifierade cellväggar (Fågelfors, 2001). Dessa celler transporterar vatten ut till bladen och tillsammans med fibrerna skapar de stabilitet i stjälken. Det är denna del som efter

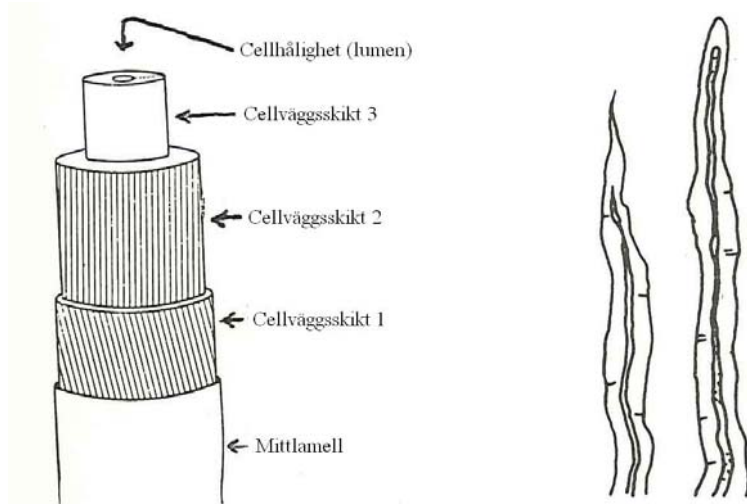
beredning kallas för ved eller skävor. Hampstjälken är ihålig i mitten och detta utrymme heter märg. (Fröier och Zienkiewicz, 1979).



Figur 1. Genomskärning från stjälek av lin. Ep = epidermis, växtens skyddande vaxskal. C = cortex som innehåller parenkymceller där fotosyntesen sker. BF = fibrer, som fungerar som stödjevävnad. F = floem & cambium, där växten näringstransport sker. X = xylemet, där transport av vatten från rötterna upp i plantan sker detta är hampans ved och är en viktig biprodukt. M = märg, som är en ihålighet inuti stammen. Illustration från (Wikipedia, 2010)

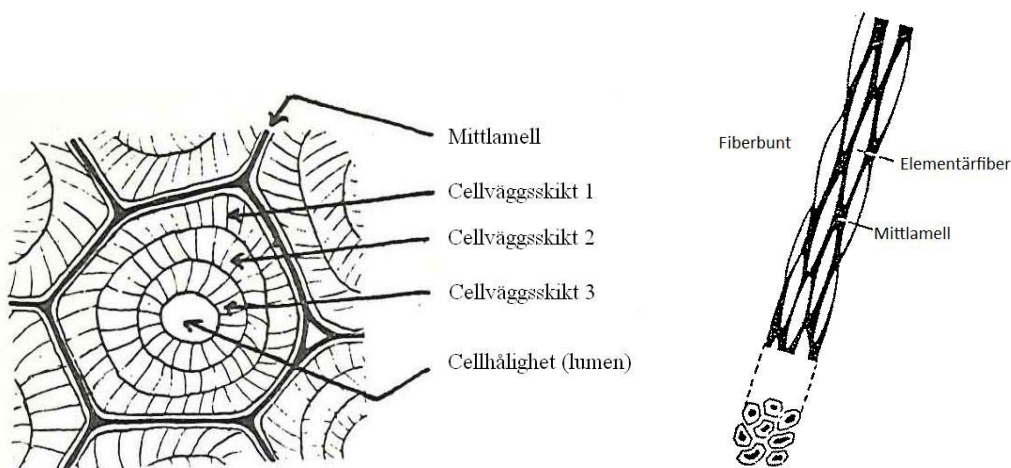
Lin som också är en spånadsväxt och liknar hampa på många sätt, se figur 1. som illustrerar en genomskärning av en linstjälk. I motsats till hampa har linfoibrer vassare spetsar och lägre innehåll av lignin. En enskild fiber hos både lin och hampa kallas för elementärfiber, dessa är ca 3-4 cm långa och har mycket tjocka cellväggar som till största delen består av cellulosa. Fiberns mitt, Lumen är ihålig och innehåller rester av plasman (Fröier, 1960).

Det är elementärfibrernas tjocka cellväggar, som ger styrka åt fibrerna (Fröier och Zienkiewicz, 1979). Desto tjockare den primära cellväggen är hos celler, desto bättre styrka har cellväggen (Regionald, 1991). Cellväggarna hos elementärfibrer är uppbyggda av fibriller. Elementärfibers påminner om en metallkabel eftersom fibriller i cellväggarna ligger ordnade i en spiralstruktur som går runt fibern. Det finns flera cellväggar och fibrillernas spiralstruktur har olika riktning i de olika lagren vilket ger fibern dess höga draghållfasthet, se figur 2 (Fröier och Zienkiewicz, 1979).



Figur 2. Till vänster visas hur elementärfibers olika cellväggsskikt är uppbyggda av fibriller som ligger ordnade åt olika håll i de olika cellväggsskikten. Illustration från (Fröier, 1960). Till vänster visas en genomskärning av två enskilda elementärfibrer från sidan. Den vänstra visar linfiber med dess vassa spets och till höger den något större hampfibern med dess trubbiga spets. I mitten syns cellhåligheten lumen. Illustration från (Fröier och Zienkiewicz, 1979).

Elementärfibrerna är sammankittade med varandra av det pektin som finns i mittlamellen, vilket är utrymmet mellan cellerna, se figur 3 (Regionald, 1991) & (Fröier och Zienkiewicz, 1979). Pektinet i mittlamellen fungerar som ett lim och kittar ihop elementärfibrerna till långa fiberbuntar, se figur 3. Fiberbuntar kallas även tågor och blånor, Långtågor kan bli upp till 3 m långa beroende på plantans höjd (Fröier, 1960).

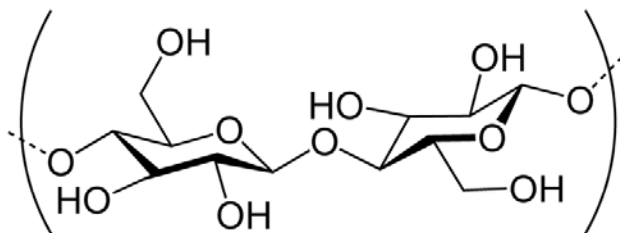


Figur 3. Till vänster visas en genomskärning av elementärfibrer som visar de olika cellväggsskikten. Lagg märke till mittlamellen, som är fylld med pektin som kittar ihop fibrerna. Illustration från (Fröier, 1960). Till höger visas en fiberbunt bestående av elementärfiber sammankittade med varandra av det pektin som finns i mittlamellen. Illustration från (Nilsson, 2003).

2.2.1 Fiberns kemiska beståndsdelar

Fibrer byggs upp av cellulosa, hemicellulosa, lignin och pektin. Andelen av dessa ämnen varierar beroende på skördetidpunkt, sort, jordtyp, väderförhållande och gödning samt hur pass rötade de är, se tabell 1 (Thomsen et al., 2005).

Cellulosa tillhör ämnesgruppen kolhydrat och är en polysackarid med hög molekylmassa. Cellulosan återfinns i växters cellväggar och är en mycket vanlig komponent i naturen. Cellulosakedjor är uppbyggda av glukosenheter, se figur 4. Flera dussintals cellulosakedjor som löper parallellt med varandra formar det som kallas mikrofibriller som i sin tur är inbäddade i hemicellulosa och lignin (Zhang, 2006). Cellulosan ger styrka åt cellväggarna och är viktig för fibrers hållfasthet (Nykter et al. 2007)



Figur 4 . Cellulosa molekylen består av glykosenheter sammankopplade i långa kedjor. Illustration från (Wikipedia, 2010)

Hemicellulosa utgörs av högmolekylära, grenade polymera kolhydrater, som återfinns i växters cellväggar tillsammans med cellulosa och lignin. Precis som cellulosa är hemicellulosa uppbyggd av glykosenheter men hemicellulosa innehåller även xylos, mannos, galaktos, arabinos och uronsyror (Nationalencyklopedin, 2010). Hemicellulosa har betydligt kortare kedjor än cellulosa, men är grenad och bildar ett nät som sitter utanpå mikrofibrillerna och hjälper till att binda ihop dem med andra mikrofibriller och med pektin (Zhang, 2006).

Lignin är en tvärbunden hydrofobisk polymer av vissa fenoler som förekommer i alla högre växtslag och återfinns i cellväggarna där cellulosa ligger helt eller delvis inbäddad i lignin (lignifierade) (Nationalencyklopedin, 2010). Lignin förstärker fibrernas cellväggar, minskar vattengenomträngningen samt skyddar fibern från kemisk, fysisk och mikrobiell nedbrytning (Nykter et al., 2007)

Pektin är också en polysackarid med en mycket komplicerad och varierande struktur (Zhang 2006). Pektinkedjorna är uppbyggda av galakturonsyror med 1,4-glukosbindningar (Andersson, 1993). Pektin återfinns i den primära cellväggen och i

höga koncentrationer i mittlamellen vilket är utrymmet mellan cellerna. Koncentrationen av pektin avtar djupare in i den primära cellväggen (Regionald, 1991). Pektinet bildar en geléartad struktur och fungerar som ett bindemedel vilket binder ihop celler med andra celler samt ger styrka åt cellväggarna (Regionald, 1991) och (Smeder, 1993). Pektin bryts ned snabbare än andra komponenter i cellväggarna (Regionald, 1991).

Tabell 1. Andelen cellulosa, hemicellulosa, lignin och pektin i olika hampdelar (Thomsen et al., 2005).

	Cellulosa	Hemicellulosa	Ligning	Pektin
Stjälk	70%	22%	6%	-
Fibrer	55-72%	7-19%	2-5%	4-8%
Skävor	34-44%	31-37%	19-28%	4%

3. RÖTNING AV HAMPA

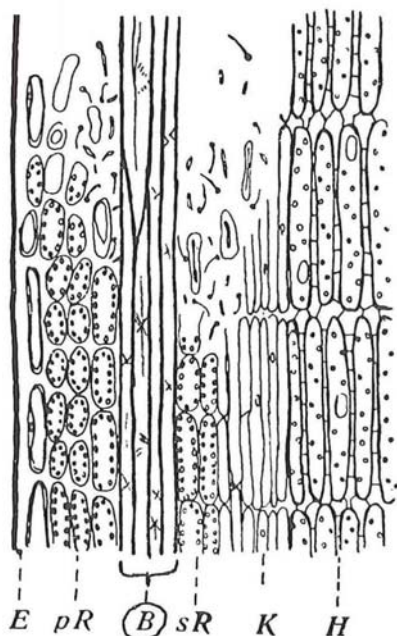
3.1 VARFÖR BEHÖVER MAN RÖTA HAMPA?

Anledningen till att man rötter är för att man vill frilägga fibrerna från den intilliggande vävnaden genom att lösa upp pektin. Bócsa och Karus (1998) hävdar att rötning av fiberhampa är nödvändigt för att undvika signifikanta förluster av fibrer under beredningen. Behovet av att röta hampa och hur pass välrötad hampan bör vara bestäms av hampans användningsområde och vilken teknik som används för efterkommande beredning. Rötningen påverkar fiberns färg men även den energi som krävs för att separera fiberbuntarna och fibrernas styrka (Pallesen, 1996).

Hampa behöver emellertid inte alltid rötas. Under rätt förhållanden kan kompositertillverkas från orötad hampa. Ett brittiskt försök (Hepworth et al., 2000) har visat att tillverkning av kompositertillverkning med orötade fibrer kan bli lika styva och starka som de som är tillverkade av rötade fibrer. Orötade fibrer sitter hopklustrade så hårt att de skapar fiberbuntar vilka fungerar som byggstenar i kompositen. Studien har dock visat att nedbrytningen av gränssnittet mellan epidermis och fiberbuntarna kan påverka kompositernas hållfasthet efter en tids nedbrytning. Detta beror på att nedbrytningen fortsätter även efter det att fibrerna bäddats in i kompositmaterialet. Därför är det viktigt att så mycket som möjligt av epidermis tas bort vid beredningen. Där har beredningsmetod och skördetidpunkt en avgörande roll. Orötade fibrer har även en ljusare färg samt en lägre halt av mikroorganismer vilket kan anses som en fördel vid försäljningen (Hobson et al., 2000).

3.2 RÖTNINGSFÖRLOPPET

Under rötningen löses det pektin som håller ihop cellerna upp. Röttningsförloppet kan delas in i tre faser (Nilsson, 2003). I den första fasan koloniserar halmen av mikroorganismer som svampar och bakterier se figur 5. Dessa finns naturligt i alla växter och i jord men kan även hittas i väggarna på en röttank eller tillsättas. När rätt klimatförhållanden uppstår förökar sig bakterier och svampar snabbt och tar sig in genom klyvöppningarna och genom sprickor i stälken och löser upp vattenlösliga ämnen. Detta betyder att där stälken är sönderriven eller krossad tar sig mikroorganismerna fram snabbare vilket leder till att rötningen går fortare. Detta medför dock en risk för ojämn rötning (Fröier och Zienkiewicz, 1979) och (Smeder, 1993).



Figur 5. Överst i illustrationen syns mikroorganismer som små kommatecken som brutit ned cellerna runt bastfibrerna som betecknas med "B". Lägga märke till att veden "H" och bastfiberlagret "B" inte påverkas under röttningsprocessen. Illustration från (Fröier och Zienkiewicz, 1979).

Den andra fasan är den viktigaste för rötningen av hampfibrer. Då har mikroorganismerna börjat producera enzymer från gruppen pektinaser som först bryter ned det lättlösliga pektin som håller ihop bastfibrerna med stälkens cortex och xylem (Fröier och Zienkiewicz, 1979). Detta pektin kallas pektin A och sitter mellan fiberbuntarna i yttre mittlamellen och binder ihop de olika fiberbuntarna med varandra och med resten av växtens vävnad. Det är främst detta pektin A som bryts ned vid rötningen.

Pektin B finns i den inre mittlamellen och binder ihop elementärfibrerna. Detta pektin motstår det första skedet i rötningen eftersom mittlamellen även innehåller lignin som är hydrofobiskt. Det behövs ytterligare rötning för att dessa skall lösas upp (Smeder, 1993).

Den tredje fasen i rötningen är när det oönskade enzymet cellulas börjar bryta ned cellulosa. Detta försvagar fibern och är därför inte önskvärt (Nilsson, 2003).

Det är främst saprofytiska svampar, som är aktiva vid aeroba processer som t.ex landrötning. Vid anaeroba processer som t.ex vattenrötningen är det bakterier, som är verksamma, t.ex *Clostridium felsineum* från gruppen *Bacillus amylobacter* (Fröier och Zienkiewicz, 1979) och (Smeder, 1993). Vid landrötning är saprofytiska svampar som är verksamma. De viktigaste bakterierna är *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea*, *Cladsporium herbarum*, *Fusarium colmorum*, *Mucor sp*, *Pencillium spp* och *Phoma spp* (Nilsson 2003).

Alla typer av mikroorganismer eller deras sporer finns närvarande överallt i naturen (Smeder, 1993). Vilken mikroorganismkultur som utvecklas och hur snabbt det går är beroende av ett antal faktorer. För det första beror utvecklingen på vilket substrat som finns tillgängligt, dvs. hampstjälkarna och deras innehåll, som kan variera beroende på sort och odlingsförhållande. Miljöförhållandena som temperatur, pH, ljusförhållanden och tillgången till vatten och syre spelar också en avgörande roll. Dessutom är samspelet med andra organismer viktigt. Mikroorganismer kan konkurrera ut varandra. De kan döda varandra genom antibiotikaproduktion eller samexistera (Nilsson, 2003).

Enzymerna xylanas, cellulas och pektinas utsöndras av mikroorganismerna. Dessa fungerar som biologiska katalysatorer och utför kemiska reaktioner. Under rötningen vill man åstadkomma en nedbrytning av främst pektin och till viss del även hemicellulosa så länge cellväggarna hos fibrerna inte påverkas (Nilsson, 2003) Xylanas bryter ned hemicellulosa och cellulas bryter ned cellulosa, vilket är en oönskad effekt eftersom cellulosans nedbrytning medför en försvagning av fibern (Smeder, 1993).

Pektin, sockerarter, protein, fetter, garvännen och mineralämnen utnyttjas av mikroorganismerna. Tannin (garvännen) utnyttjas bara vid aerob fältrötning. Pektin och vattenlösliga mineralämnen löses ut i vattnet eller avgår i form av gas. Därmed ökar den procentuella andelen av cellulosa och hamphalmen tappar i vikt (Fröier och Zienkiewicz, 1979).

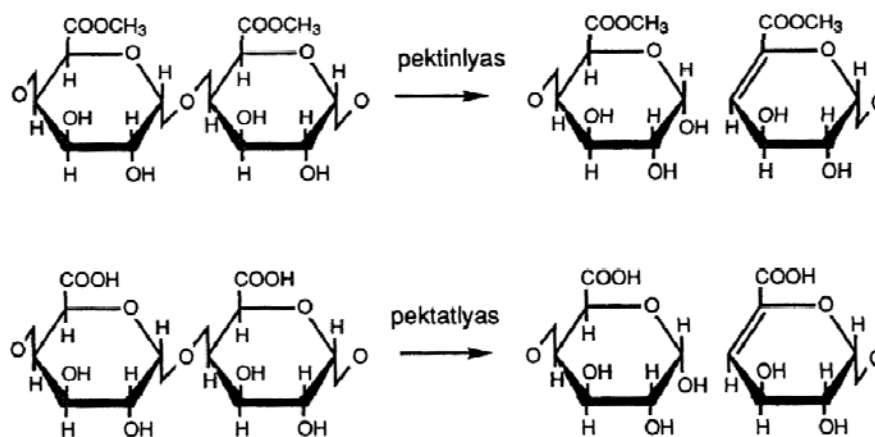
Lignin är hämmande för nedbrytningen. Beroende på skördemetod så kan roten ibland plockas med ned i ett röttningsbad. Denna innehåller en större andel lignin och koloniserar inte av mikroorganismer. Dessutom är det svårare för dem att tränga in i stjälken om roten är kvar än om stjälken vore klippt (Smeder, 1993). Veden påverkas inte alls av rötningen pga. xylemets höga ligninhalt (Smeder, 1993). De nedbrytningsprodukter som bildas när pektinet bryts ner är ättiksyra, metanol, galaktos, arabinos och galakturonsyra. Vid ytterligare nedbrytning av dessa ämnen bildas metan, koldioxid och vatten (Smeder, 1993).

3.2.1 Pektinets nedbrytning

Pektinaser kallas den grupp enzymer som bryter ned pektin. De bryter främst ned pektin i mittlamellen och i de primära cellväggarna. Dessutom hjälper de svamparna och/eller bakterierna att ta sig längre in i vävnaden (Fröier och Zienkiewicz, 1979).

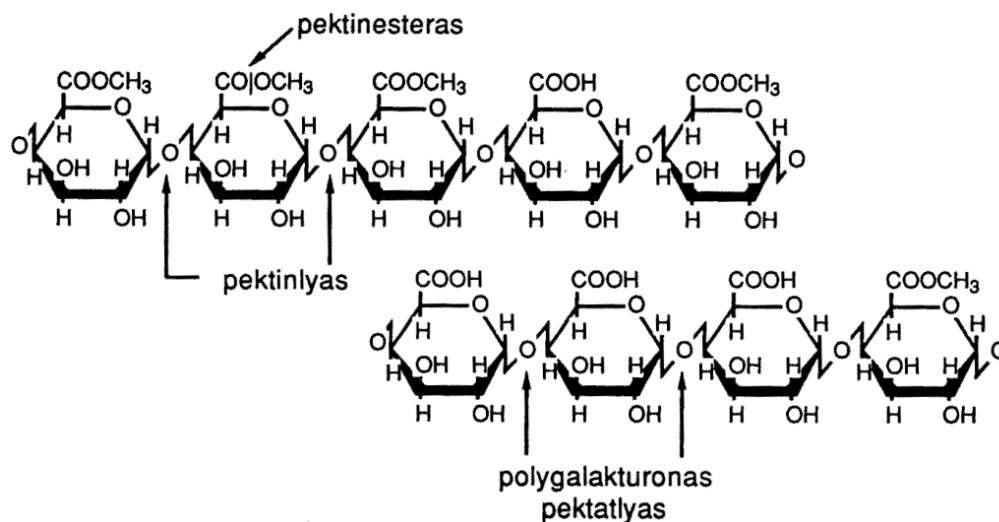
Pektin har en mycket komplex struktur och det finns många olika sorter av pektolytiska enzymer inom gruppen pektinas, som är specialiserade på att bryta ned olika delar av pektinkedjan. Pektinas delas in i *exo-* eller *endoenzymer* beroende på var i kedjan de delar på de kemiska bindningarna (Zhang, 2006). Det är galakturonsyror som bygger upp pektinkedjorna. Dessa sitter ihop via 1,4-glykosidbindningar och kan brytas genom hydrolysis, via eliminationsreaktion eller att enzymen demetylerar metylerade karboxylgrupper i pektinet.

Polygalakturonas är ett endoenzym som bryter bindningarna i slutet på pektinkedjan genom hydrolysis, se figur 7. Enzymet tillför en vattenmolekyl till bindningen mellan galakturonsyrorna så att den bryts. Därigenom skapas tri- och di-galakturonsyra. Pektinlyas är ett exoenzym som verkar på mitten av pektinkedjan, där den bryter bindningarna genom att utföra en eliminationsreaktion. Enzymet skapar då en dubbelbindning mellan kolatomerna inom galakturonsyran, så att bindningen till en annan galakturonsyra upphör se figur 6 (Zhang, 2006) och (Andersson, 1993).



Figur 6. Pektinlyas och pektatlyas som delar pektinkedjorna genom elimination. Illustration från (Andersson, 1993).

Nedbrytningen av pektin kan även ske genom att pektinaser vid namn pektinesteras demetylerar metylerade karboxylgrupper i pektinet. Det innebär att enzymet utför en hydrolysis av den metylerade karboxylsyragruppen COOCH_3 som frigör metanol och skapar en COOH grupp. Detta gör att pektinet nu blir lågmetylerat och ett annat enzym vid namn pektatlyas kan nu bryta bindningarna genom elimination på samma sätt som pektinlyas (Smeder, 1993) och (Andersson, 1993).



Figur 7. De olika enzymerna ur gruppen pektinaser angriper pektinkedjan på olika sätt, underst visar en lågmetyleerad pektinkedja och överst en högmetylerad. Illustration från (Andersson, 1993).

3.3 RÖTNINGSMETODER

3.3.1 Liggande fältrötning, (Dew retting)

All hampa som skördas för fiberändamål i västra Europa rötas med fältrötningssmetoden (Karus och Vogt, 2004). När grödan nått rätt fibermognad så skördas den med slätterbalk och delas i 50-60cm långa bitar av skördemaskinen och bredsprids på fältet där den får ligga och torka och röta under två till tre veckor, se figur 8 (Bócsa och Karus, 1998). Enligt Bruce och medarbetare (2000) tar denna torkning och rötning av stjälkar 3-6 veckor.

Ts-halten vid skörd av fiberhampa är mellan 20-25 % (Bruce et al. 2005). Svennerstedt (2007) visade att ts-halten låg på ca 35% vid skörd. Hampan måste först torka på slag till dess att den når 75-80% ts, innan rötningssmetoden startar (Bruce et al., 2005). Vid fältrötning av hampa är det främst olika typer av nedbrytningssvampar, som angriper halmen och utsöndrar det enzym som bryter ned pektinet runt fiberbuntarna (Fröier och Zienkiewicz, 1979). Dessa mikroorganismer är starkt beroende av nederbörd, värme, luft- och markfuktighet (Smeder, 1993). Dagg har stor betydelse som vattenkälla för de mikroorganismer, som är involverade i rötningssmetoden. Dagg är vatten som kondenserat på gräs och andra objekt nära marken. I litteraturen finns beskrivet modeller för att förutspå hur mycket dagg, som kommer att formas beroende på temperatur och luftfuktighet (Nilsson, 2003).

Läggs hampan i strängar bör den vändas regelbundet för att en jämn rötning av materialet skall ske (Booth et al., 2003). Bruce och medarbetare (2005) visade att strängens utformning har stor betydelse för upptorkningen av halmen. Om strängen inte är lucker nog hindras genomströmningen av luft. Om luften dessutom har hög luftfuktighet och därmed låg kapacitet att ta emot fukt, så kommer grödan inte att ha samma potential att torka lika fort, vilket är viktigt för lagringen. Studien indikerade även att material, som låg bredspritt kanske inte blev utsatta för tillräckligt med fukt som behövs för röttningsprocessen (Bruce et al., 2005). I samma försök torkade rötad hampa minst fyra gånger snabbare än orötad. Detta berodde på att regnvatten, som sugits upp i stjälken ligger närmare ytan, har lägre bindande energi i de återfuktade delarna och vaxskiktet på stjälkens utsida var upplöst (Bruce et al., 2005).

Vid fältrötning tvättas nedbrutna substanser ut ur plantan med regnvattnets hjälp. Marken tar sedan hand om dessa ämnen och omvandlar dem till näringsämnen (Bócsa och Karus, 1998) & (Smeder, 1993). En annan positiv aspekt vid fältrötning är att metoden förhindrar jorderosion under röttningsperioden. Skörderester och den kvarvarande stubben utgör ett erosionskydd, se figur 10. Vid skörd i september under våta förhållanden orsakar markpackning dock skador på jorden (Bócsa och Karus, 1998). Skörd och rötning leder även till försening av fältets förberedelser inför nästa gröda (Zhang et al., 2008).



Figur 8. Visar hampa som ligger bredspritt för att fältröta. Hampan har legat på slag i tre veckor och fått regn på sig. Saprophytiska svampar angriper hampan och gör den mörkfärgad. Foto: Dan Malmros.

Det är viktigt att avbryta rötningen i tid annars kommer en nedbrytning av fiberns pektin B att ske. Detta kallas överrötning och orsakar en svagare långfiber, ökat spill samt

större andel kortfiber under den efterkommande beredningen (Fröier och Zienkiewicz, 1979).

Underrötad fiber är också ett problem. Vid för tidigt avbruten rötning eller vid för torrt klimat blir beredningen av fibrerna svårare (Bócsa och Karus, 1998). Även en bra fältrötad hampa är ofta för ojämnt rötad för att producera fiberbuntar av jämn fin kvalitet (Bócsa och Karus, 1998). Det förekommer även risk för att hamphalmen kontamineras med jord (Zhang et al., 2008). Svampen *Alternaria* kan även missfärga fibrerna så att de blir mörka (Smeder, 1993). Rötning av lin med hjälp av konstbevattning och klimatkammare har testats, vilket gav möjlighet att reglera fukthalten och gav bättre möjligheter att styra rötningen (Smeder, 1993).

Möjligheten för mikroorganismer att tränga in i stjälken ökar om delar av den är krossad eller om ändarna är öppna. Detta påskyndar rötningen men kan även leda till ojämn rötning. Skördemaskinens bearbetning av stjälken spelar därför en viktig roll (Smeder, 1993). För att undersöka detta genomfördes försök i Storbritannien av Bruce och medarbetare (2005). Studien visade att hamplantor som fått löv och fröhuvud avlägsnade från stjälken i samband med slätter torkade signifikant snabbare, då de utsattes för en bättre luftcirkulation på fält. Halmen torkade ned till 75-80 % ts snabbare, vilket medförde att rötningen kunde starta tidigare, vilket i sin tur förkortade tiden som grödan behövde ligga på slag för att både torka och röta. Dessutom konstaterades att blad och frön som ligger inblandade i materialet minskar genomströmningen av luft genom strängen. De innehåller även mycket fukt och det finns risk för att dessa delar fortfarande är fuktiga vid pressningen av den rötade hampan. Detta kan leda till förluster av fiberkvalité under lagringen pga. mikrotillväxt. Innan hamphalmen pressas bör ts-halten ligga på 80-85 % (Bócsa och Karus, 1998) för att svamparnas aktivitet skall upphöra (Bruce et al., 2005).

I ett danskt försök (Pallesen, 1996) genomfördes ammoniakbehandling och gastät lagring av lin som riskerade att överrötas. Denna process stoppade rötningen med gott resultat.

Det finns även andra sätt att påskynda röttningsprocessen. Studien har visat att genom att öka mängden av mikroorganismer som gynnar nedbrytningen av pektin kan man få en snabbare rötning och samtidigt begränsa tillväxten av oönskade mikroorganismer som bryter ned cellulosa. Försök har gjorts med att ympa dessa på fältrötat lin men effekterna har bara delvis varit framgångsrika. Metoderna är även mycket väderberoende (Smeder, 1993).

Spridning av EDTA, urea och sakros har ökat koloniseringsgraden hos bakteriestammar i försök. NPK-gödselmedel kan påskynda rötningen med två veckor i lin (Smeder, 1993).

3.3.2 Stående fältrötning (Stand retting)

Enligt (Amaducci, 2005) används i Italien en teknik för odling av fiberhampa som i litteraturen heter ``baby hemp``. Denna metod utvecklades för att ge möjlighet att använda maskiner avsedda för linfiberproduktion.

``Baby hemp`` är hampa som sås med ett mycket högt antal frön per ha, 100-120 frön/ha (Liberalato, 2002). Detta resulterar i 400-500 plantor/m² (Amaducci, 2005). När hampan når en höjd av 120-140 cm (Hayo et al., 2007) avdödas den med 4 kg

glyphosat/ha och 4 kg ammoniumsulfat/ha. Grödan lämnas sedan stående på rot i fält under 30-50 dagar för att rötas, varefter den skördas och läggs på slag för att torka med skördemaskin avsedd för lin. Halmen vänds en gång innan den pressas till rundbalar (Hayo et al., 2007).

Skörden startar i slutet av juni och fortsätter till mitten på september (Amaducci, 2005). Fördelarna med ``baby hemp``- metoden är enligt (Liberalato, 2002) att grödans höjd kan anpassas för att passa maskiner som används vid skörd av lin till fiberändamål. Eftersom hampan har en relativt snabb tillväxt kan man vid vissa breddgrader ta två skördar per fält och år. Grödan är även yngre, vilket medför att lignin inte hunnit bildats i lika stor omfattning som vid normal skördemognad. Detta leder till att rötningsprocessen blir enklare.

Nackdelarna med denna metod är att kostnaden för etablering av grödan blir dyrare i förhållande till den fiberskörd som kan tas ut, vilket är 30-50 % av en normal fiberskörd (Liberalato, 2002). Användningen av bekämpningsmedel är hög i förhållande till andra rötningsmetoder. 0,9kg aktiv substans/100 kg garn (Hayo et al., 2007).

Enligt (Amaducci, 2005) så sker det under italienska förhållanden en godtagbar rötning vid regniga somrar. Dock förekommer det inte lika bra rötning under en sommar med lite nederbörd. På lin har försök utförts, där grödan först avdödades med glyphosat och sedan fick rötas stående. Där fann man att lin som rötades på detta sätt tar 1-2 veckor längre att röta än lin som rötas liggande, vilken rötades på 4-5 veckor (Mercer et al., 1989) och (Sharma, 1986).

3.3.3 Frystorkning (Frost retting)

Vid vårskörd av hampa låter man hampan stå kvar över vintern och därmed sker en naturlig rötning av fibrerna. I nordliga breddgrader kan det vara svårt att få hamphalmen tillräckligt torr på hösten för att den skall vara lagringsduglig. När skörd sker i mars till maj är ts-halten så hög som 90% och hampan behöver ingen torkning inomhus (Pasila, 2004).

Till skillnad från fältrötning på hösten har även frosten stor betydelse för friläggningen av fibrerna vid froströtning. Genom att vatten expanderar vid frysning friläggs fibrerna från stammen. Det är cellerna i kambium mellan bastfibrerna och veden, som fryser. Små håligheter bildas, där isen expanderat vilka suger åt sig vatten från xylemet som i sin tur fryser igen. Osmosen i rötterna och kapillärstigningskraften gör sedan, att vatten stiger upp från marken genom xylemet och fyller på ismanteln i kambium. Detta medför att de bindningar, som håller fast fiberbuntarna med veden bryts och fiberbuntarna frigörs. Pga. den långa rötningen och den upprepade frysningen av hampan bryts mer pektin i mittlamellen ned än vid fältrötning på hösten. Detta ger färre fiberbuntar (högre andel kortfiber) och de får lägre draghållfasthet (Pasila, 2004).

Eftersom rötningen har gått så långt krävs det mindre energi för att separera fiberbuntarna i ett beredningsverk jämfört med orötad eller höströtad hampa. Den största nackdelen med vårskördad hampa är det spill som förekommer under skörd. Beroende på skördesystem kan spillet vara så högt som 40 % jämfört med höstskörd. Spillet består dock till största delen av ved (Pasila, 2000). Detta gör dock att en större

andel fibrer utvinns från froströtad halm än fältrötad pga. av att den innehåller en lägre andel skävor (Pasila, 2004) och (Pasila, 2000).

Hampan används i första hand som råvara till förbränning pga. den förhållandevis låga askhalten. Fibern håller sämre hållfasthet än höstskördad men kan ändå användas som lösullsisolering eller till kompositer och liknande produkter (Pasila, 2000) & (Norberg, 2009). Isoleringmaterial från överrötade fibrer har mycket hög uppsugningsförmåga och är relativt resistent mot mögel pga. mycket av näringsämnena försvunnit under rötningen. Däremot innehåller fibrerna från froströtad hampa mer bakterier och jästsvampar, vilket kan vara ett problem om fibrerna skall användas till byggnadsmaterial pga. den försämrade luftkvaliteten detta kan leda till (Kymäläinen et al., 2005) och (Nykter et al., 2007).

3.3.4 Vattenrötning

Vattenrötning för produktion av långfiber från lin och hampa har historiskt skett genom kallvattenrötning, där rötningen skett i vattendrag, sjöar och dammar. Lin och hampa kunde t.ex läggas i träbehållare och sänkas ned i sjöar eller vattendrag (Smeder, 1993). Stora mängder av fermenterad rötvätska släpptes ut i vattendrag och sjöar. Dessa blev syrefria vilket orsakade fiskdöd. Syrefritt vatten orsakas av att bakterierna i rötvätskan förbrukar syre när de bryter ned biologiskt material (Smeder 1993.). Pga. dessa miljöproblem har rötning i vattendrag förbjudits i stora delar av världen (Akin et al., 2001). Även den höga användningen av energi för att torka den rötade hampan bidrog till att kallvattenrötning inte används längre. Metoden bidrog dock till en bra kvalitet på fibrerna (Akin et al., 2001).

Varmvattenrötning kan ske både anaerobt och aerobt (Smeder, 1993). Vid anaerob varmvattenrötning placeras grön hamphalm i varmvattenbad, där främst bakterier utsöndrar enzym, som bryter ned det pektin, som finns i materialet. Metoden tillämpas fortfarande på hampa i Östeuropa men inte i de gamla EU länderna (Karus och Vogt, 2004). Fibrer från varmvattenrötad hampa används ofta till textilier (Bócsa och Karus, 1998). Kvaliteten varierar beroende på rötningstid och efterkommande beredning.

Till denna metod används orötad hampa eller lin. Varje parti som anländer till ett röteri analyseras. Stjälkens längd, förgrening, tjocklek, färg, om roten är med eller ej samt hur länge materialet lagrats har betydelse. Rötningssprocessen anpassas sedan efter den diameter på fiberbuntarna, som man vill producera och till den efterkommande beredningen (Smeder, 1993).

Vid vattenrötning vill man undvika att bladen sitter kvar på stjälken. Avbladning med kemiska bekämpningsmedel som Purivel, Basta, och Round-up tillämpas därför i bl.a. Ungern med hjälp av flygplansbesprutning eller med fläktsprutor avsedda för fruktodlingar. Anledningen till detta är att bladens vikt uppgår till 9-14 % av den totala vikten av de torkade hampstjälkarna. Dessa tar upp 20 % mer plats under transport och ger lägre effektivitet under rötningen samt orsakar missfärgning av fibrerna från klorofyllet i bladen (Bócsa och Karus, 1998). Även bildandet av den giftiga gasen svavelväte undviks (Fröer, 1960). När fiberberedning tillämpades i Sverige under första halvan av 1900-talet tröskades fröna av från halmen vid beredningsverket och på så sätt avlägsnades även delar av de blad, som fortfarande fanns kvar på stjälken (Fröier, 1960).

Vattenkvalitet har stor inverkan på rötprocessen. De ämnen som finns i vattnet påverkar rötningen i hög grad. Vilken kvalitet vattnet skall ha har diskuterats mycket. Oftast eftersträvas ett friskt vatten utan för mycket biologiska föroreningar och med ett neutralt pH (Smeder, 1993). Många i branschen hävdar att humuspartiklar i vattnet hindrar rötningen medan andra hävdar att det är positivt för röttningsprocessen (Smeder, 1993). Vissa hävdar att man bör undvika vatten med högt järn och salthalt, men enligt (Zhang et al., 2008) fungerar havsvatten bra i vattenröttningsprocessen och kan därför vara ett alternativ i områden med brist på sötvatten. Järn i vattnet anses däremot försämra fiberns färg (Smeder, 1993).

Vid varmvattenrötning kontrollerar man faktorer som pH, tillförsel av varm/kallvatten, temperatur och rötningstid. Alla dessa faktorer anpassas efter det parti som skall rötas (Fröier och Zienkiewicz, 1979). Vattentemperaturen kan variera och det är svårt att säga vilken temperatur, som är optimal. Däremot är 45°C för högt för tillväxten av bakterier som producerar pektolytiska enzym (Magnusson, 2005).

pH är viktigt att styra för att mikroorganismernas enzymer skall få så hög tillväxt som möjligt. Kemiska tillsatser som bikarbonat eller kalk kan användas för att justera pH (Smeder, 1993). Magnusson, (2005) visade i ett försök att blötläggning och byte av vatten före påbörjad rötning är avgörande för rötningshastigheten och för att pH skall kunna stabiliseras på en optimal nivå.

Det finns ett flertal olika utformningar på en röttningsanläggning, kontinuerlig och satsrötning. I Sverige användes tidigare en metod som heter kanalrötning, där hampan läggs i lådor, som sänktes ned i 100 m långa kanaler. I kanalens ena ände tillfördes vatten med en temperatur av 30-34°C och lådorna med hampa fick vandra mot strömmen i fyra dagar. På så sätt utsattes de hela tiden för vatten med hög bakteriehalt, eftersom det redan passerat genom flera röttningskistor och i slutet var vattnet nästan rent, vilket resulterade i att man undvek överrötning. Efter rötningen spolades hampan ren med friskt vatten och torkades, innan den gick vidare till beredningen (Osvald, 1959).

En modernare metod för varmvattenrötning är att röta hampan i tankar. Då används isolerade röttankar av betong i varierande storlek. Tankarna är antagligen matade med traktor från en dörr på sidan eller så läggs kärvar av lin eller hampa för hand i lådor eller containrar, som sänks ned i röttanken (Smeder, 1993).

När rötningen är klar innehåller rötvätskan ämnen, som lakats ut ur hamphalmen. Här hittas näringsämnen som Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , P och N samt olika anaerobiska bakterier. Dessa bakterier skapar en hel del flyktiga illaluktande organiska syror, som i sin tur sänker pH i vattnet till mellan 4,5-6 (Castaldini et al., 2001) och (Smeder 1993). Det stora problemet med vattnet är att bakterierna förbrukar syre när de bryter ned biologiskt material. Detta kan leda till att vattendrag och sjöar blir syrefria och orsakar fiskdöd om vattnet släpps ut i naturen (Smeder, 1993). Rötvattnet har liknande sammansättning som avloppsvatten och kan tas omhand i ett vanligt reningsverk. I försök har rötvattnet använts för framställning av biogas för att på så sätt renas med gott resultat. Även försök med värmeväxlare på den utgående rötvätskan har undersökts (Smeder, 1993). Castaldini och medarbetare (2001) spred rötvattnet som lagrats i sex

månader på åkermark i olika kvantiteter och fann inga negativa effekter på grödan eller markens mikroflora. Smeder (1993) hävdar dock att rötvätskan är direkt olämplig att sprida på åkermark, eftersom det låga pH skulle slå ut plantorna.

3.3.5 Enzymrötning

Redan i började på 1980-talet startade man att utveckla varmvattenrötningen genom att tillsätta enzymer (Zang, 2006). Till skillnad från de andra metoderna, så förlitar man sig inte på de mikroorganismer, som finns i stammen utan tillsätter enzymer, vilket förkortar rötningstiden till så lite som 24 timmar. Detta leder till minskad kapitalkostnad, vattenförbrukning och lägre miljöbelastning jämfört med varmvattenrötning (Smeder, 1993). Denna metod går bra att anpassa för att ta fram olika kvalitetstyper av fibrer beroende på hur metoden tillämpas. Kvaliteten på fibrer från denna metod är generellt hög och metoden ger ofta ett bra långfiberutbyte och fibrerna får en fin lyster (Smeder, 1993).

För lin finns ett antal olika kommersiella enzymblandningar på marknaden, vilka fungerar med olika effektivitet. Ett exempel på dessa är Flaxyme från Nova nordisk (Smeder, 1993) och (Zang, 2006). Det krävs dock en stor mängd av dessa mycket kostsamma enzymer, som gör metoden oekonomisk (Zang, 2006). Zang (2006) provade därför att förbehandla lin med en svag syralösning. Detta tvättade ut kalciumjoner, som binder ihop pektinet i ett nätverk, vilket resulterade i en enklare nedbrytning av pektinet och enzymåtgången blev betydligt mindre. Precis som vid varmvattenrötning påverkar temperatur, pH och mängden vätska/kg rötningen. pH kan i ett enzymbad regleras genom tillsättning av olika baser eller syror (Smeder, 1993).

Det går även att genomföra enzymrötning av separerad hampfiber. Då används fiberbuntar, som har separerats från veden i ett beredningsverk. Enligt Smeder (1993) finns det olika tekniska lösningar för att skapa kontinuerlig rötning av materialet genom att låta materialet cirkulera som en fibermatta genom vattenbad. Hur själva processen genomförs beror på vilken teknisk utrustning som används. Det finns ett antal olika patent med olika tillvägagångssätt, t.ex. (Jaskowski, 1986).

Efter den enzymatiska rötningen kan en mild bearbetning av fiberbuntarna ske för att öppna dem och frilägga fibrerna (Smeder, 1993). Före denna behandling kan man även göra vissa efterbehandlingar, som syftar till att ge fibern de egenskaper man vill ha. t.ex förbättra styrkeegenskaperna genom tillsats av en katjonisk detergent (Smeder, 1993).

Gruppo Fibranova från Toscana i Italien har i projektet TOSCANAPA utvecklat och patenterat en metod för framställning av långfibrer till textilindustrin (Gruppo fibranova S.R.L., 2006) och (Turunen et al., 2007). Metoden kan utföras på ``baby hemp`` men är speciellt framtagen för hampa av fullängd, som vid skörd delas i en meter långa bitar och sedan bereds torr men orötad för att separera ved från fibrer. Efter beredning lastas de separerade fiberbuntarna i tankar fyllda med varmvatten ympat med bakterier. Det behövs 20 gånger så mycket vatten som fibrer i rötbadet och värmepellets används för att värma vattnet till 34°C. Därefter pågår rötningen under 72 timmar. Efter rötningen tvättas nedbrutna pektinrester som fortfarande håller ihop fiberbuntarna bort med trycksatt vatten. Fibrerna torkas med en varmluftstork innan fibrerna mjukas upp genom

att bearbetas med räfflade rullar som också plockar bort den kvarvarande ved som finns kvar bland fibrerna (Amaducci, 2005).

3.3.6 Bag retting

Clark (2004) innehar ett patent på en rötningsmetod för framställning av bastfibrer från hampa och andra bastfiberväxter. Med denna teknik skördas hampa utan att fältrötas och genomgår ett beredningsverk där fiberbuntarna separeras mekaniskt från veden. Därefter impregneras, sprayas eller doppas fiberbuntarna i en lösning som innehåller enzymer eller en kemisk substans som genom hydrolys kan bryta ned pektin. Denna behandling aktiverar eller tar över den naturliga rötningsprocessen från mikroorganismerna.

Materialet placeras sedan i en gastät behållare, som kan vara tillverkad av olika material, där en anaerob nedbrytning av pektin sker. Eventuellt tillsätts kvävgas för att stabilisera de anaeroba förhållandena. Rötningsförloppet sker under en kontrollerad temperatur från 25°C till 55°C beroende på vilken enzym som används vid rötningen. Det kan även ske under okontrollerade temperaturer, t.ex kan behållarna eller påsarna lämnas på ett fält under röttningsperioden där solen får stå för värmetillförseln. Materialet tas ut ur behållarna, när det anses tillräckligt rötat beroende på vad fibrerna skall användas till.

För att avlägsna de rester av pektin och andra nedbrutna rester i materialet efter det att fibrerna tagits ut ur behållaren sköljs det 2-4 gånger med vatten. Därefter pressas eller behandlas de av rullar för att fibrerna skall separera från fiberbuntarna och fibrernas finlek förbättras. Fibrerna går sedan vidare till häckling och spinning. Fibrerna som produceras från denna metod har en finhet på 15 till 30 mikron enligt patentinnehavaren (Clark, 2004), vilket betyder att de kan användas inom textilindustrin.

3.3.7 Kemisk friläggning av hampfiber

Det finns ett flertal metoder för kemisk friläggning av lin- och hampfiber. Ibland kallas det för kemisk rötning. Det är inte en korrekt definition av förloppet eftersom inga mikroorganismer är inblandade i processen (Smeder, 1993). Däremot är det en kemisk nedbrytning av pektinet där olika kemiska preparat genom hydrolys bryter ned pektinet.

Försök har genomförts på ett antal metoder för kemisk friläggning av långfibrer från linhalm. Smeder (1993) för en diskussion om att halm är ett bulkigt material att behandla kemiskt och att det inte ger speciellt stort utbyte i förhållande till den energi och vattenmängd, som behövs. Det går åt lika mycket vatten som i vattenrötning och ofta mer energi. En sådan metod är inget realistiskt alternativ i framtiden.

Däremot kan kemisk friläggning av elementärfiber från fiberbuntar vara ett alternativ. Kemisk friläggning av fiber från beredda fiberbuntar syftar främst till att frilägga mindre fiberbuntar eller elementärfiber för användning inom textilindustrin. Genom friläggning av elementärfibrer skapas en ny marknad för hamptextilier, där fibrer från hampa blandade med bomullsfibrer kan spinnas i befintliga bomullsspinnerier och på så sätt skapa ett tyg som liknar bomull, detta kallas för kottonisering (Kessler et al., 1999). Till detta ändamål finns passiva processer där vatten, ånga och värme frilägger fibrerna och

aktiva där kemikalier har en direkt påverkan på nedbrytningen av främst pektin och cellulosa (Smeder, 1993).

Värmebehandling med vatten gör att sura grupper från pektinet avspjälkas och sänker pH. Pektin och hemicellulosa kan sen hydrolyseras (Smeder, 1993).

Det har även experimenterats med ett antal olika processer för kokning i alkali. Vanligen har natriumhydroxid och natriumkarbonat använts i lösningen, och det kräver någon sorts efterkommande sköljning. Metoden kan även ske under tryck (Smeder, 1993).

På tidigt 1930 tal patenterades en metod för ångexplosion (steam explosion, STEX), som kunde ta fram fibrer från olika jordbruksråvaror. Råmaterialet, som används till denna process är fiberbuntar utan föroreningar av skävor. De bedöms utifrån mognad och hur pass rötade fibrerna är. Processen justeras därefter utifrån användningsområdet för den färdiga produkten (Bócsa och Karus, 1998). Denna process fungerar bra till örötad och till delvis rötade fibrer och kan enligt (Garcia-Jaldon et al., 1998) vara ett alternativ till fältrötning.

Enligt (Kessler et al. 1998) så delas fiberbuntarna i två till fyra cm långa bitar, innan de impregneras med NaOH i en koncentration av 0,1-0,5 %. De placeras sedan i en reaktor, som trycksätts till mellan 0-175 psi och utsätts för mättad ånga under 1-30 min.

Temperaturen i reaktorn är 20-120°C. Fibrerna separeras, när trycket snabbt återställs till det normala genom att en ventil öppnas och fibrerna skjuts in i en cyklon. Nedbrutet pektin, hemicellulosa och lignin sköljs sedan bort med en basisk lösning.

Fibrer från hampa framtagna genom STEX har definitivt ett högre pris än mekaniskt framtagna fibrer. De kan användas till textilier, isoleringsmattor eller kompositier (Bócsa och Karus, 1998). (Garcia-Jaldon et al., 1998) hävdar att steam explosion en snabb och kontrollerbar process med låga kostnader och lätt att justera efter vilka råvaror man har och vilken produkt man vill framställa.

3.4 METODER ATT AVGÖRA NÄR HAMPAN ÄR FÄRDIGRÖTAD

Att förutse när rötningen av halmen är klar kan vara svårt eftersom rötningshastigheten varierar beroende på hampsort, odlingsbetingelser, skördemetod, jordart, vilka svampar som dominerar och väderförhållanden. Detta medför att det idag inte finns någon generellt accepterad definition för ``röttningsgrad`` (Nilsson, 2003).

Det finns ett antal tekniker och mätinstrument för att mäta hur långt rötningen har kommit (Seaby och Mercer, 1984) och (Booth et al., 2003). Vanligtvis bedöms stjälkarna vara tillräckligt rötade, när fibrerna lätt lossnar från stjälken, när den böjs (Bócsa och Karus, 1998).

Nilsson (2003) beskriver att antal tekniker, bla. den teknik som (Pallesen, 1996) använde genom att bedöma stjälkarna visuellt och jämföra färgen med en tiogradig färgskala. En liknande klassificering av olika röttningsgrader har gjorts av Rainer Novotny, som driver ett beredningsverk i östra Tyskland. Bedömningen bygger på ett antal färgskillnader på de beredda fiberbuntarna. Rötclasserna är betalningsgrundande

för lantbrukaren men kan bedömas först efter beredning och kan inte anpassas till att gälla halmen (Hanffaser uckermark, 2010).

Litteraturen beskriver dessutom ett antal olika metoder där stammens stadga och fibrernas vidhäftning till veden kan mätas. Stammen kan t.ex. pressas mellan två sågtandade skivor ett antal gånger tills fibrerna lossnar, desto färre gånger som behövs desto mer är halmen rötad. Seaby och Mercer (1984) beskriver the ``scutchability index'', där stammar slås mekaniskt tills fibrerna separerar från veden och varandra. Det antal gånger, som behövs delas med stammarnas vikt, innan den slagits sönder. I Frieds' s test mäts rötningsgraden genom att stjälkar stoppas i provrör, kokande vatten tillsätts och rören skakas. Efter det är det möjligt att mäta hur mycket fibrer som lossnar från stjälken. Seaby och Mercer (1984) har utvecklat ett handverktyg som mäter den kraft det tar att pressa och skala linstjälkar. Hur pass nedbruten pektinet är kan även visuellt studeras med mikroskop.

Vidare finns det metoder där man mäter de olika kemiska beståndsdelarna i stammen. Halten av lipider och kväve kan mätas. Viktminskningen till följd av att hemicellulosa och pektin avlägsnats kan uppskattas. Koncentrationen av galakturonsyror eller innehållet av pektin kan avgöras genom att extrahera det ur stammen och mäta halterna. Magnusson (2005) använde en sådan metod, där titrering gav färgomslag som sedan visade halten galakturonsyror. Det går även att mäta halten galakturonsyror direkt från stammen med infrarött ljus (Nilsson, 2003). Nilsson (2003) diskuterar även att man skulle kunna utveckla simulationer av rötningsprocessen för fältrötad lin utifrån väderdata och vattenhalten i halmen.

4. MATERIAL OCH METOD

Examensarbetet har genomförts som en litteraturstudie. Litteratursökningen har skett på Sveriges lanbruksuniversitets bibliotek och online på Google Scholar, och Web of Knowledge.

5. RESULTAT

Hampans bastfiber är sammankittade med varandra via det pektin som finns i mittlamellen (Regionald, 1991) och (Fröier och Zienkiewicz, 1979). För att förenkla separeringen av fibrerna måste pektinet brytas ned. Detta sker genom att mikroorganismer utsöndrar enzym som bryter ned pektinet (Fröier och Zienkiewicz, 1979). Det finns ett antal olika rötningsmetoder att genomföra detta på. De kan delas in i grupperna fältbaserade rötningsmetoder, vattenbaserade rötningsmetoder och kemiska rötningsmetoder.

Bland de fältbaserade rötningsmetoderna ingår liggande fältrötning, stående fältrötning och frystorkning. Den vanligaste för fiberproduktion i Europa är liggande fältrötning (Karus och Vogt, 2004). Där lämnas de avhuggna stjälkarna på åkern i två till tre veckor och en naturlig nedbrytningsprocess, där främst saprofytiska svampar sköter nedbrytningen (Bócsa och Karus, 1998) och (Smeder 1993). Vid stående fältrötning avdödas hampan med glyphosat och får sedan stå kvar på fältet tills rötningen är klar. Den kan sedan skördas med maskiner anpassade för lin (Amaducci, 2005). Vid frystorkning lämnas hampan oskördad på fält över vintern. En sönderfrysning av cellerna frilägger fibrerna. Hampan skördas sedan på våren (Pasila, 2004).

I gruppen vattenbaserade rötningsmetoder ingår kallvattenrötning, varmvattenrötning och enzymrötning. Kallvattenrötning praktiseras inte längre men förr i tiden lades hampan i sjöar eller vattendrag tills de var färdigrötade. Vid varmvattenrötning placeras halmen i vattenbad. Det är främst bakterier sköter nedbrytningen av pektinet i mittlamellen (Smeder, 1993). Enzymrötning är en vidareutveckling av varmvattenrötningen, där enzymer tillsätts till vattenbadet. Denna metod går snabbare än vattenrötning och kan tillämpas både på halm och på fiberbuntar (Zang et al., 2008) och (Turunen et al., 2007).

Den tredje gruppen kallas kemiska rötningsmetoder och där ingår bag retting, kokning i alkali och ångexplosion. Kemisk rötning av hamphalm är ovanligt men kemisk rötning och cottonisering av hamptåga kan ske på olika sätt, kokning i alkali löser upp pektin. Vid ångexplosion sker separationen genom en snabb tryckförändring (Smeder, 1993) och (Kessler et al. 1998). Vid bag retting används helt eller delvis rötade fiberbuntar som impregneras med en enzymatisk eller kemisk substans, innan de placeras i en gastät behållare där nedbrytning av pektin sker (Clark, 2004).

Det finns ett antal olika metoder för att avgöra när rötningen är klar. Vissa bygger på subjektiva bedömningar via färg eller hur mycket fibrer som lossnar efter en viss bearbetning. Andra metoder bygger på att ämnen i stammen mäts efter en kemisk extraktion (Nilsson, 2003).

6. DISKUSSION

Det är svårt att säga vilken kvalitet på fibrerna som går att producera med de olika rötningsmetoderna. Detta beror på att fiberns slutgiltiga kvalitet och renhet är beroende av teknologin i beredningsverket (Bócsa och Karus, 1998). Men generellt går det att säga att all hampa som rötas på fält ger en rötning som inte håller lika hög kvalitet. Fältrötad hampa är ofta ojämnt rötad och det finns risk för kontamination av jord och att hampan skall bli underrötad eller överrötad. Hampa som skördas på våren innehåller dessutom högre andel bakterier och jästsvampar. Dessutom förekommer risk att halmen inte håller 80-85% ts vid pressning och därför inte är lagringsduglig. Detta leder till skador på fibern. Därför är de försök med ammoniakbehandling av linhalm, som

Pallesen (1996) genomförde mycket intressant och skulle kunna vara en lämplig metod att använda under dåliga torkningsförhållanden.

De vattenbaserade rötningsmetoderna har betydligt högre kapitalkostnader men rötningen genomförs med bättre kontroll, eftersom den kan anpassas efter vilket stadium hampan är i och till vilken typ av fiber man vill producera. Kemiska rötningsmetoder som kokning i alkali och STEX är också mycket kapitalkrävande och lämpar sig mer för elementarfriläggning än att använda på halm. Bag retting är lik enzymrötningen i det avseendet att enzymer eller kemisk substans tillsätts för att sköta rötningen. Detta kan vara ett intressant alternativ till enzymrötning då det inte kräver något vattenbad och därför inte är lika kapitalkrävande. Det borde också finnas även möjlighet att utveckla bag rettingen. Halm skulle t.ex. kunna bredas ut i ett slutet utrymme, som man blåser igenom med fuktig luft innehållande kemiska ämnen som bryter ned pektin. Bag retting hade därför varit intressant för fortsatt forskning.

Från miljösynpunkt är det skillnad mellan de olika rötningsmetoderna, de vattenbaserade rötningsmetoderna och kemiska rötningsmetoder är enligt Turunen och medarbetare (2007) energikrävande och mycket vatten konsumeras vid rötningen. Energianvändningen för att värma rötvätskan skulle dock kunna minskas genom att förnyelsebar energi från t.ex. flis eller biogas används istället för gas eller olja, vilka ger betydligt lägre utsläpp av CO₂-eq. Intressant att notera är dock att det är en energikonsumtion som inte finns vid fältrötning. Det produceras dessutom stora mängder rötvätska, som skulle få stor påverkan på miljön om det släpps ut i vattendrag. Detta skulle dock inte vara tillåtet idag och därför bör det tas omhand i ett reningsverk eller spridas på åkermark, vilket också kräver energi.

De olika fältröttningsmetoderna har den fördelen att nedbrutna substanser tvättas ur halmen och återgår till marken. Dessutom förhindras jorderosion under rötningsperioden (Bócsa och Karus, 1998). Stående fältrötning har dock en hög användning av bekämpningsmedel i förhållande till andra landröttningsmetoder, 0,9kg aktiv substans/100kg garn (Hayo et al., 2007). Vid varmvattenrötning i bl.a. Ungern används Purivel, Basta, och Round-up för avbladning av hampa. Detta sker med hjälp av flygplansbesprutning, vilket medför en risk att bekämpningsmedel hamnar i vattendrag eller närliggande fält och kan därmed vara giftiga för vattenlevande organismer (Bócsa och Karus, 1998).

Frystorkning med vårskörd skulle kunna vara ett alternativ i våra nordliga breddgrader men jag ser problem med att lyckas skörda hampa på våren på organogena jordar som torkar upp sent. Dessutom förekommer stora förluster av skävor och frö vilka är en ekonomisk viktig biprodukt vid fiberproduktion.

Fältröttningsmetoderna av hampa är fördelaktiga ur miljösynpunkt om kraven på fibrernas renhet och kvalité inte är för högt. Dessutom är fältrötning mindre kapitalkrävande än vattenbaserade metoder. Det skulle dock gå att förbättra fältröttningsmetoderna genom forskning och utveckling av ny teknik för skörd. Det finns redan idag flera intressanta sätt att effektivisera fältrötningen, t.ex. genom att plocka bort blad och fröhuvud från fältet vid skörd, eller spridning av NPK för att öka aktiviteten av mikroorganismer. Dessutom bör någon av metoderna för att avgöra hur långt rötningen kommit användas. Det finns mycket lite information av hur fältrötningen påverkas under svenska höstförhållanden. Det bör därför bedrivas mer forskning för att

studera fältrötningen under våra förhållanden och hur faktorer som väder, olika hampsorter och odlingsbetingelser påverkar rötningen. Resultat från framtida forskning tillsammans med regelbundna mätningar av hur pass långt rötningen kommit skulle kunna användas för att utveckla datorprogram, som kan bestämma ``röttningsprognoser``.

7. SLUTSATS

Studien visar att liggande fältrötning eller frystorkning/vårskörd av hampa är fördelaktigt ur miljösynpunkt om kraven på fibrernas renhet och kvalité inte är för högt. Fältröttningsmetoden är mycket väderberoende och det är lätt att fältrötad hampa blir över- eller underrötad. Dessutom finns risk för att fibern förorenas.

Varmvattenrötning, enzymrötning och kemisk rötning är metoder som går att styra lättare än fältrötning. Det går därför att anpassa rötningen bättre till den efterkommande beredningen för att producera fibrer med förutbestämda kvalitetsmått. Dessa metoder har däremot större påverkan på miljön, främst genom dess höga energianvändning.

8. REFERENSER

Andersen, P,E. (1993) Livsmedelsteknologi 2. Lund: Studentlitteratur

Akin, D,E. & Foulk, J,A. & Dodd, R,B. & Mcalister III, D,D. (2001) Enzyme-retting of flax and characterization of processed fibers. *Journal of Biotechnology*, Volume 89, pg 193–203.

Amaducci, S. (2005) Hemp produktion in Italy, *Journal of Industrial Hemp*, Volume 10 (1), pg 109-115. Haworth Press Inc. USA.

Bernesson, S. (2006) Hampa till bränsle, fiber och olja, en liten handbok. Köping: SERO, Sveriges energiföreningars riksorganisation. ISBN 91-631-9915-7

Bócsa,I. & Kaurus, M. (1998) The cultivation of hemp - botany, varieties, Cultivation and harvesting. Hemptech, Sebastopol, California, USA.

Booth, I. & Goodman, A,M. & Grishanov, S,A. & Harwood, R,J. (2003) A macanical investigation of the retting process in dew retted hemp (*Cannabis Sativa*). *Ann. appl. Biol.*, Volume 145, pg 51-58.

Bruce, D, M. & Hobson, R, N. & Hamer, P, J, C. & White, R, P. (2005) Drying of hemp for long fibre production. *Biosystems Engineering*, Volume 91 (1), pg 45–59.

Bruce, D, M. & Hobson, R, N. & White, R, P. & Hobson, J. (2000) Stripping of leaves and flower heads to improve the harvesting of fibre hemp. *J. agric. engng res*, Volume 78 (1), pg 43-50.

Clark, A,F,K. & Dennis, H,G,S. & Wang, X. &Hurren, C,J. (2001) Degumming of bast fibres. PCT/AU02/00931. 10 Juli 2002.

European Industrial Hemp Association. Hemsida. [online](2010-08-13) Tillgänglig: <http://www.eiha.org/> [2010-08-13]

Fröier, K. (1960) Lin och hampa. Stockholm: LTs förlag

Fröier, K. & Zienkiewicz, H. (1979) Linboken hemodling och hemberedning. Stockholm: LTs förlag

Fågelfors,H. (2001) Växtproduktion i jordbruket. Borås: Natur och kultur/LTs förlag,

Garcia-Jaldon, C. & Dupeyre, D. & Vigon, M, R. (1998) Fibres from semi-retted hemp bundles by steam exlotion treatment. *Biomass and Bioenergy*, Volume 14, pg 251-260.

GRUPPO FIBRANOVA S.R.L. Process and system for retting plant fibre for textile use. WO/2006/100560. 2006-09-28.

Hanffaser uckermark. Hemsida. [online] (2010-08-13) Tillgänglig:
<http://www.hanffaser.de/uckermark/> [2010-08-13]

Hampanätet, Hampans historia. [online] (2010-03-13) Tillgänglig:
<http://www.hampa.net/page5/page5.html> [2010-03-13]

Hayo, M.G. & van der Werf. & Lea Turunen. (2007) The environmental impacts of the production of hemp and flax textile yarn. *Industrial Crops and Products*, Volume 27, pg 1–10.

Hepworth, D.G. & Hobson, R.N. & Bruce, D.M. & Farrent, J.W. (2000) The use of unretted hemp fibre in composite manufacture. *Composites, Part A* Volume 31, pg 1279–1283.

Hobson, R.N. & Hepworth, D.G. Bruce, D.M. (2000) Quality of fibre separated from unretted hemp stems by decortication. *J. agric. Engng Res*, Volume 78 (2), pg 153-158.

Jaskowski, M, C. Method for degumming and bleaching decorticated plant bast fiber. US 4,617,383. 1986-10-14.

Karus, M. & Vogt, D. (2004) European hemp industry: Cultivation, processing and product lines. *Euphytica*, Volume 140, pg 7-12.

Kessler, R,W. & Becker, U. & Kohler, R. & Goth, B. (1998) Steam Explosion of Flax – A superior technique for upgrading fibre value. *Biomass and Bioenergy*, Volume 14, pg 237-249.

Kessler, R ,W. & Kohler, R. Tubach, M. (1999). Strategy for a sustainable future of fibre crops. Reutlingen: University of applied science.

Kymäläinen, H. & Nykter, M. & Hautala, M. & Sjöberg, A. (2005) Hygienic quality of stem fractions of mechanically processed fibre hemp and linseed. *Agriculture and food science*, Volume 14, pg 143-153.

Liberalato, D. (2002) Prospect of hemp utilisation in the European textile industry, [online] (2010-03-14) Tillgänglig:
<http://ienica.csl.gov.uk/italyseminar/fibres/liberalato.pdf> [100314]

Magnusson, K. (2005) **INDUSTRIHAMPA – EN STUDIE AV DESS RÖTNINGSFÖRLOPP**. Malmö högskola, Malmö.

Manitoba havest. Hemsida. [online](2010-08-13) Tillgänglig:
<http://www.manitobaharvest.com/> [20100813]

Mercer, P, C. & Crothers b, S, H. & Fraser, T, W. & Harvey, B, M, R. (1989) Pre-harvest retting of flax with glyphosate - Effects of moisture and microbial colonisation on retting. *International Biodeterioration*, Volume 26, pg 289-301.

Nationalencyklopedin. Hemsida. [online](2010-08-13) Tillgänglig: <http://www.ne.se> [2010-08-13]

Nebel, K, M. (1995) New processing strategies for hemp. *Journal of the International Hemp Association*, Volume 2 (1), pg 1, 6-9.

Nilsson, D. (2003) Harvesting and handling of flax for the production of short fibres under Swedish conditions. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för lantbruksteknik/ Institutionen för biometri och teknik. SLU-LT-R-255-SE

Norberg, P. (2009) Lösullsisolering med hampa. *Bygg & teknik* Volume 5, pg 28-32.

Nykter, M. & Kymäläinen, H. & Thomsen, A, B. & Lilholt, H. & Koponen, H. & Sjöberg, A. & Thygesen, A. (2007) Effects of thermal and enzymatic treatments and harvesting time on the microbial quality and chemical composition of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *Biomass and bioenergy*, Volume 32, pg 392 – 399.

Osvald, H. (1959) Åkerns nyttoväxter. Stockholm: AB Svensk litteratur, Esselte AB

Pallesen, E,B. (1996) The quality of combine-harvested fibre flax for industrial purposes depends on the degree of retting. *Industrial Crops and Products*, Volume 5, pg 65-78.

Pasila, A. (2004) The dry line method in bast fibre production. Diss. Helsinki. University of Helsinki.

Pasila, A. (2000) The effect of frost on fibre plants and their processing. *Molecular crystals and liquid crystals science and thechnology*, Volume 353, pg 11-22.

Regionald, H, W, (Ed.) (1991) The chemistry and technology of pectin. San diego, Carlefonia: Academic press, inc. ISBN 0-12-733870-5.

Seaby, D,A. & Mercer, P,C. (1984) Development of a hand tool to test the degree of retting of flax straw. *Annals of applied biology*, Volume 104 (3), pg 567–573.

Sharma, H, S, S. (1986) An alternative method of flax retting during dry weather. *Annals of applied biology*, Volume 109, pg 605-611.

Smeder, Bo,1993, Processer för friläggning av linfiber, Arbetsrapport 93:1, Högskolan i Karlstad.

Svennerstedt, B. & Svensson, G. (2006). Hemp (*Cannabis Sativa* L.) Trials in Southern Sweden 1999-2001. *Journal of Industrial Hemp*, Volume 11 (1), pg 17-25. Haworth Press Inc. USA.

Svennerstedt, B. & Svensson, G. (2004) Industrihampa, odling, skörd, beredning och marknad, Fakta Jordbruk, Nr 7, 2004. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet. ISSN 1403-1744

Turunen, L. & Hayo, M, G. & Van der Werf. (2007) The production chain of hemp and flax textile yarn and its environmental impacts. *Journal of Industrial Hemp* 12(2), 43-66. Haworth Press Inc. USA.

Thomsen, A. & Rasmussen, S. & Bohn, V. Vad Nielsen, K. Thygesen, A. (2005) Hemp raw materials: The effect of cultivar, growth conditions and pretreatment on the chemical composition of the fibres. Roskilde: Risø National Laboratory.

Wretfors, C. (2005) Cultivation, processing and quality analysis of fibres from flax and industrial hemp - an overview with emphasis on fibre quality. Rapport 139. Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp.

Zhang,L,L. & Zhu, R,Y. & Chen, J,Y. & Chen, J,M. & Feng, X,X. (2008) Seawater-retting treatment of hemp and characterization of bacterial strains involved in the retting process. *Process Biochemistry*, Volume 43, pg 1195–1201

Zhang, J. (2006) Biochemical study and technical application of fungal pectinase. Uppsala: Uppsala Universitet

