



HÖGSKOLAN
I HALMSTAD

Miljöstrateg 180hp

EXAMENSARBETE



Gröna utsikter

En analys av hampas (*Cannabis sativa* L.)
förutsättningar som energigröda i Sverige

Martin Johansson och Philip Martell

Examensarbete i miljövetenskap 15hp

Halmstad 2015-06-24

Sammanfattning

Människan blir idag alltmer exponerad för främmande ämnen. Industrialiseringen har resulterat i en större atmosfärisk deposition av föroreningar. Detta tillsammans med en ökad användning av mineralgödsel har medfört högre halter tungmetaller i jordbruksmark. Kadmium är en tungmetall och kan därmed inte brytas ner i naturen och som redan idag innebär ett återkommande problem. I det nationella miljömålet Giftfri miljö ställs det krav på att halterna toxiska ämnen måste begränsas. För att bemöta detta mål krävs åtgärder som minskar halterna kadmium i jordbruksmark. Hampa har visat på goda fyto Remedieringsegenskaper för framförallt kadmium och lämpar sig dessutom för odling i Sverige samt ger en bra avkastning. Växten har goda förutsättningar som energigröda då den exempelvis kan användas till utvinning av biogas, etanol och fast bränsle. Trots sina goda egenskaper odlades endast hampa på 51 hektar i Sverige 2013. Syftet med rapporten är att undersöka hur hampa kan användas för att betraktas som en hållbar energigröda i Sverige. Hampas energi- och fyto Remedieringsegenskaper jämförs med andra grödor som används för energiproduktion i Sverige. Resultatet är framtaget genom en sammanställning av litteratur och intervju. Hampa har en bra energibalans vid användning som fast bränsle. Energibalansen för användning av hampa vid biogasproduktion är lägre jämfört med fast bränsle men är konkurrenskraftig gentemot andra biogasgrödor. Jämfört med *Salix* så visar hampa på extremt god fyto Remedieringskapacitet men ackumulation sker främst i rötterna vilket försvårar rening via fytoextraktion. En optimal användning av hampa för att få ett slutet kretslopp kan åstadkommas via förbränning av kadmiumförorenad hampa.

Nyckelord: *Cannabis sativa* L., energigröda, bioenergi, fyto Remediering, kadmium

Abstract

Hemp is a versatile plant with many uses that has been around for thousands of years. The plant is highly adaptable and will cultivate in almost any soil. It has excellent remediation properties and has shown to be relatively consistent when it comes to crop yields. The aim of this literature survey is to examine how hemp can be used to be considered a sustainable energy crop in Sweden through database searches and interviews. Hems characteristics as an energy crop and its remediation properties is evaluated and compared with other plants that are used in Sweden. The result shows that hemp is a competitive crop when used for solid fuel and that a closed-loop solution is achievable. Further studies are needed for a closed-loop solution to be possible when using hemp as a biogas crop, mainly for establishing a sustainable waste treatment.

Keywords: Cannabis sativa L., energy crop, bioenergy, phytoremediation, cadmium

Förord

Vi vill tacka Thomas Prade för den genomförda intervjun samt vår handledare Marie Mattsson.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
Abstract	2
Förord	2
Ordlista	4
Inledning	5
Förutsättningar för odling i Sverige	5
Kadmium i jordbruksmark	6
Syfte	7
Metod	7
Resultat	8
Energi: Biogas	8
Energi: Fast bränsle	12
Energi: Etanol	13
Jämförelse av energiförhållanden	13
Optimering	19
Miljö	21
Fytoremediering	22
Diskussion	28
Tolkning av resultat	28
Felkällor	29
Källkritik	29
Hänvisning till relevanta miljömål	30
Hållbarhetsaspekter	30
Etiska aspekter	31
Slutsats	31
Förslag till fortsatt arbete	31
Referenslista	32
Bilagor	35
Statement of Contribution	35

Ordlista

AD – Anaerobic digestion

BEY – Biomass energy yield

BCF – Bioconcentration factor

Cd – Kadmium

CHP – Combined heat and power

CO₂-ekv – Koldioxidekvivalenter

DM – Dry matter

GJ – Gigajoule

ha – hektar

kg – kilogram

l - liter

MC – Moist content

mg – milligram

NPK – kväve- fosfor- kaliumgödsel

TF – Translocation factor

TI – Tolerance index

TS – Total solids

VS – Volatile solids

µg - mikrogram

Inledning

Hampa (*Cannabis sativa L.*) är en ettårig långfibrig växt som har sitt ursprung i Asien, främst i Kina där den började odlas för 4000-6000 år sedan. Växten spreds sedan till Europa där den under 1500-talet etablerades och blev en viktig exportvara. Den industriella hampan skiljer sig mot den "vanliga" hampan i ett viktigt avseende, den innehåller en betydligt mindre mängd av det psykoaktiva ämnet THC (tetrahydrocannabinol). Krav finns idag på att de godkända sorterna av industrihampa skall innehålla mindre än 0,2 % THC. Industrihampans användningsområde är brett, fibrerna kan användas i bygg-, pappers- och textilindustrin och frön i livsmedelsindustrin (Fortenbery och Bennett, 2004). Enligt Prade (2015) kan växten även vara intressant i ett energimässigt syfte. Prade (2015) menar att växtens egenskaper gör den till ett alternativ som kan komplettera eller överträffa de energigrödor som idag används. Utöver dessa användningsområden visar flera rapporter på goda egenskaper att ackumulera tungmetaller vilket möjliggör fyto Remediering (Prade, 2015).

För att odla industriell hampa i Sverige krävs det idag ett godkännande från länsstyrelsen samt en ansökan om gårdsstöd. Den sort hampa som valts för odling skall vara godkänd enligt EU och därmed innehålla mindre än 0,2 % THC. Länsstyrelsen kräver även uppgifter på hur stor mängd utsäde som planeras odlas per hektar på respektive skifte. Utöver detta måste vissa villkor uppfyllas, exempelvis krävs det att hampan sås i renbestånd med ett certifierat utsäde samt att hampan skördas under en bestämd period, tidigast efter avslutad fröbildning eller 10 dagar efter blomningens slut (Jordbruksverket, 2015).

Idag odlas hampa på 60,000- 100,000 hektar runt om i världen. De största mängderna odlas i Kina, Kanada och Frankrike där användningen främst riktas mot fiberproduktion, livsmedelsindustrin för exempelvis tillverkning av hampfröolja eller mot tobaksindustrin för cigarettpapperstillverkning (Prade, 2015). Sedan 2007 har odlingsarealerna för hampa i Sverige minskat från 829 hektar till 51 hektar 2013 (Karlsson, 2013).

Förutsättningar för odling i Sverige

Som växt är hampa väldigt tålig och kan utstå varierande klimat. Växten trivs dock bäst i tempererade områden där den dagliga medeltemperaturen ligger mellan 13-22°C. När växten väl är rotad har den en god förmåga att stå emot torka, men under dess sex första veckor är kravet på nederbörd större, runt 500 mm för att sedan sjunka till omkring 300 mm (Fortenbery och Bennett, 2004).

Under planteringsperioden kräver växten goda markförhållanden. Marken hampan planteras på skall ha en god förmåga att föra vatten till markytan samt vara fri från ogräs och skräp. Hur tätt fröna planteras påverkar i ett senare skede mängden biomassa som fås ut. Vid användning av industrihampa för energiändamål är målet att få en så stor mängd

biomassa som möjligt. Detta erhålls då fröna planteras 2-3 cm djupt, med en täthet på runt 20 kg frön per hektar, vilket ger en slutlig växttäthet på omkring 100 plantor per m². Växten trivs bäst i fertila, väl-dränerade sand- och lerjordar (Prade, 2011a).

En stor fördel med hampa är dess motståndskraft mot skadedjur, växtsjukdomar och ogräs vilket medför ett minimalt behov av biocider och pesticider (Fortenbery och Bennett, 2004). Förmågan att stå emot ogräs och till och med att utkonkurrera dem gör den till ett bra alternativ i växtföljden.

Studier har genomförts i Jokioinen, Finland (60°49'N, 23°28'Ö) där hampa har odlats med framgång. Pahkala et al. (2008) menar att plantan har svårt att stå emot minusgrader och därmed är känslig för frost. Vid fyra minusgrader började vissa av försöksplantor ta skada på blad och blommor. Fortsätter temperaturen att sjunka ner mot sju-nio minusgrader är det få plantor som klarar sig. Hampans förmåga att stå emot frosten beror till stor del på när frosten infinner sig. Frost på sju minusgrader under september månad hade större konsekvenser än frost på nio minusgrader under oktober. (Pahkala, Pahkala och Syrjälä, 2008). Utöver dessa egenskaper menar Linger, Ostwald och Haensler (2005) att hampan har en hög tolerans för tungmetaller, exempelvis kadmium. Hampaväxten klarar av att leva på områden med en kadmiumkoncentration högt över de halter som uppmätts på svensk åkermark utan några större förluster i biomassa (Linger, Ostwald och Haensler 2005). Shi och Cai (2009) förstärker detta och menar samtidigt att hampa är en bra kandidat för fytoremediering på kadmiumförorenade marker i och med sin höga tolerans och djupgående rötter (Shi och Cai, 2009).

Kadmium i jordbruksmark

Kadmium är en mycket giftig tungmetall och den kan därmed inte brytas ner i miljön. Den kan ge bestående hälso- och miljöskador redan vid låg exponering. Kadmiumexponering kan leda till benskörhet och nedsatt njurfunktion. På 1900-talets senare hälft har den kommersiella användningen av kadmium ökat. Lagstiftning som bland annat förhindrar avfall med kadmiuminnehåll och konsumentexponering har avsevärt minskat kadmiumutsläppen inom EU. I Sverige har det funnits lagstiftning sen 1980-talet som begränsar utsläpp av kadmium, bl.a. det Nationella miljömålet Giftfri miljö begränsar människors exponering av kadmium via nyproducerade varor föda och arbete (Kemikalieinspektionen, 2011).

Livsmedel är den största bidragande faktorn till människans exponering för kadmium, främst genom intag av spannmål och rotfrukter. Under det senaste århundradet har kadmiumhalter i jordbruksmark ökat med 30% på grund av atmosfärisk deposition och mineralgödsling (Kemikalieinspektionen, 2011). Kadmiumhalter i jordbruksmark varierar med topografien och de högsta halterna på mer än 0.4 mg kadmium kg⁻¹ torrsvikt erhålls främst i de lerjordsområden runt

om i Skåne. Majoriteten av åkermark innehåller mellan 0.1-0.3 mg kadmium kg^{-1} torrsvikt (Berndes, Fredrikson och Börjesson, 2004).

Syfte

Arbetets syfte är att undersöka hur hampa kan användas för att betraktas som en hållbar energigröda i Sverige. Hampans lämplighet bedöms utifrån dess fysiologiska samt energimässiga aspekter i jämförelse med andra energigrödor som majs, sockerbeta, vete, rörflen och salix. Möjligheten att använda hampa för fytoremediering, främst för kadmium undersöks och jämförs med salix.

Metod

Rapporten består av en djupgående analys och en jämförelse av vetenskapliga artiklar som behandlar hampa och dess egenskaper som energigröda och fytoremedieringsväxt i relation till tidigare nämnda grödor. Underlaget för rapporten baseras på artiklar samt intervjuer med förberedda frågor genomförda på plats och via mejl. Syftet med intervjuerna är att komplettera de artiklar som ligger till grund för studien med mer specifik information från insatta parter. Intervjun med Thomas Prade, teknologie doktor på SLU, fokuserar främst på hampaväxtens fysiska attribut där frågor kring optimal användning av växten ur energisynpunkt, verkliga pesticid-, gödningsmedel- och vattenmängder vid odling samt egna personliga åsikter kring hampans lämplighet ställs. Intervjun spelas in med hjälp av diktafon.

Sökning efter det underlag i form av vetenskapliga artiklar och rapporter som litteraturstudien baseras på har skett via Högskolan i Halmstads sökmotor Summon 2.0 och Google Scholar. De sökkombinationer som använts är bland annat hemp tillsammans med ett eller flera av följande ord: energy crop, biogas, methane yield, solid fuel, ethanol production, phytoremediation, phytoextraction, cadmium, accumulation. Även de grödor som jämförs med hampa, exempelvis majs, sockerbeta och salix används i kombination med dessa ord. Via de artiklar vi har fått fram vid våra sökningar söktes nya källor med hjälp av artiklarnas egna referenslistor. Vid omvandling av enheter har miniräknare använts samt formelblad i Excel.

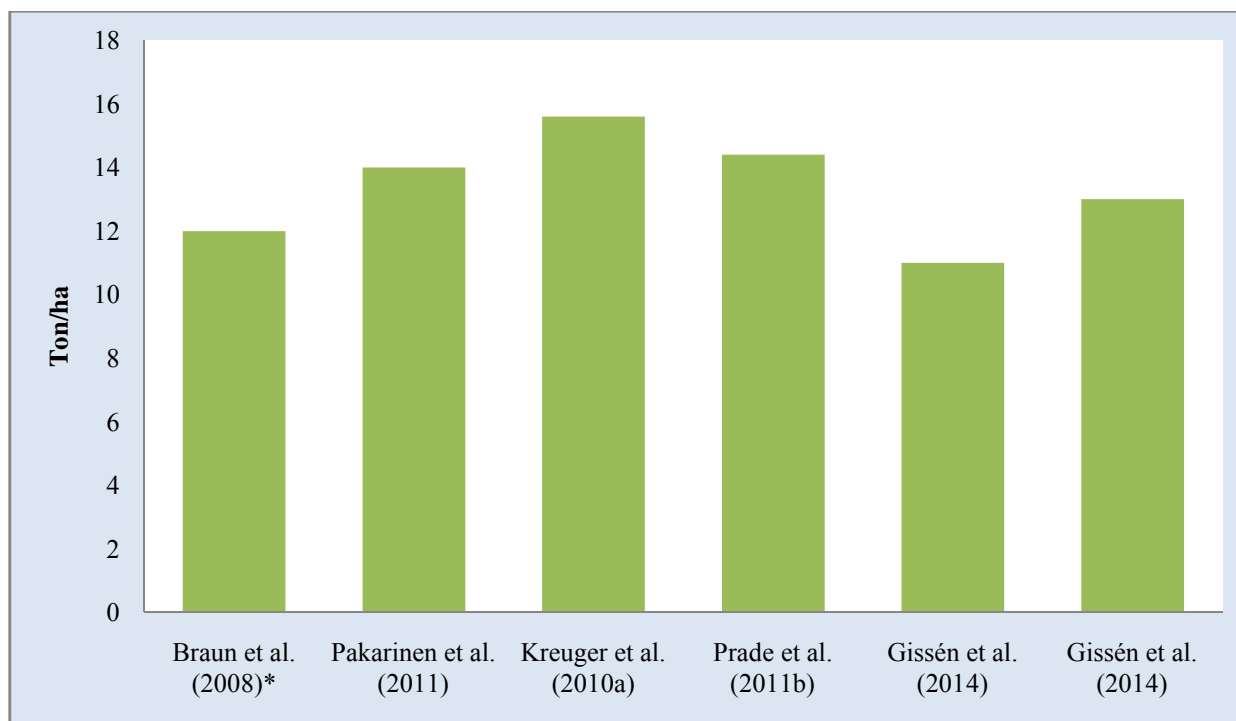
Resultat

Energi: Biogas

Vid odling av hampa för biogasproduktion är mängden metan som fås ut vid rötning direkt beroende av den totala mängden biomassa som växten ger. Hampan erhåller sin högsta biomassa under hösten (september-oktober), det är därmed under dessa månader hampan bör skördas för biogasproduktion. För tidig skörd ger mindre mängd biomassa i och med att växten inte har hunnit växa till sitt max. För sen skörd ger även det en mindre mängd biomassa, detta beroende på att växten då har börjat åldras och därmed förlorar en del av sin biomassa. Fukthalten i växten spelar även här en stor roll och bör ligga på mellan 60-75% när växten skördas (Prade et al, 2011b).

Rapporten Biogas from energy crop digestion av Braun et al. (2008) redovisar en sammanställning av flera resultat gällande metanproduktion för flera olika grödor odlade för biogasproduktion. Den direkta avkastningen biomassa för dessa grödor ligger enligt rapporten på 8-16 ton ha⁻¹ för hampa och 3-16 ton ha⁻¹ för sockerbeta 9-30 ton ha⁻¹ för majs (Braun et al., 2008).

Studier genomförda i Finland och Sverige presenterar resultat som överensstämmer med de resultat Braun et al. (2008) redovisar. Hampa odlad för biogas- och etanolproduktion i Viikki, Finland gav en direkt avkastning biomassa på 14 ton ha⁻¹ (Pakarinen et al. 2011). I Sverige har avkastning på 15,6 ton ha⁻¹ (Kreuger et al. 2010a) 14,4 ton ha⁻¹ (Prade et al, 2011b), 11 ton ha⁻¹ samt 13 ton ha⁻¹ (Gissén et al. 2014) uppmätts (Se fig. 1).

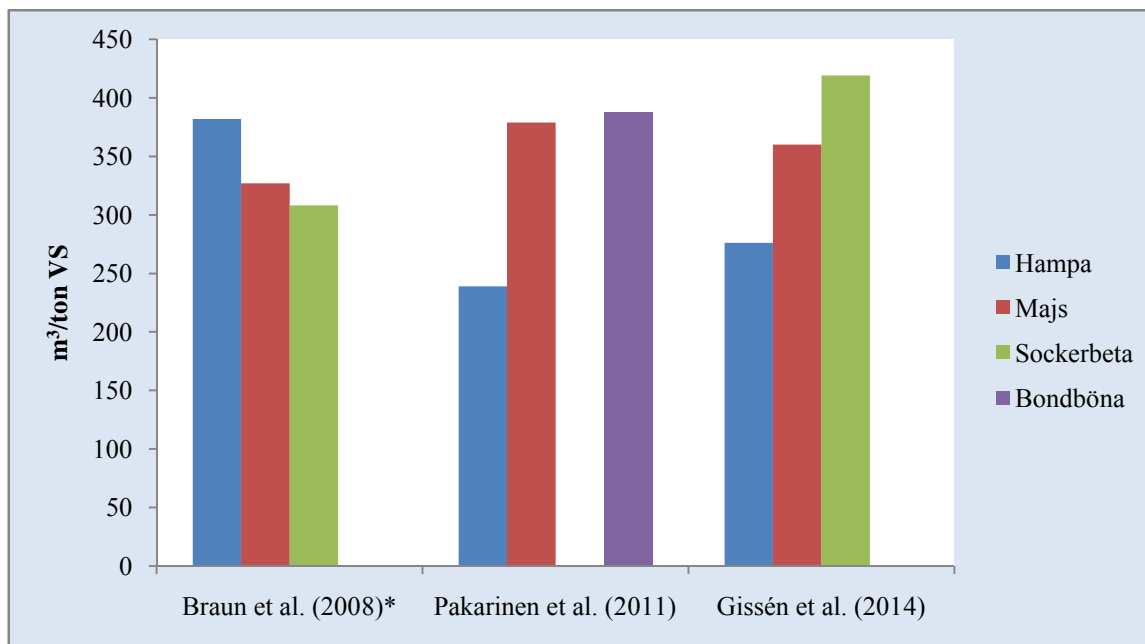


Figur 1 Avkastning i ton/ha för hampa till biogasproduktion. Asterisk innebär uträknat medelvärde för ett flertal odlingsförsök inom Europa.

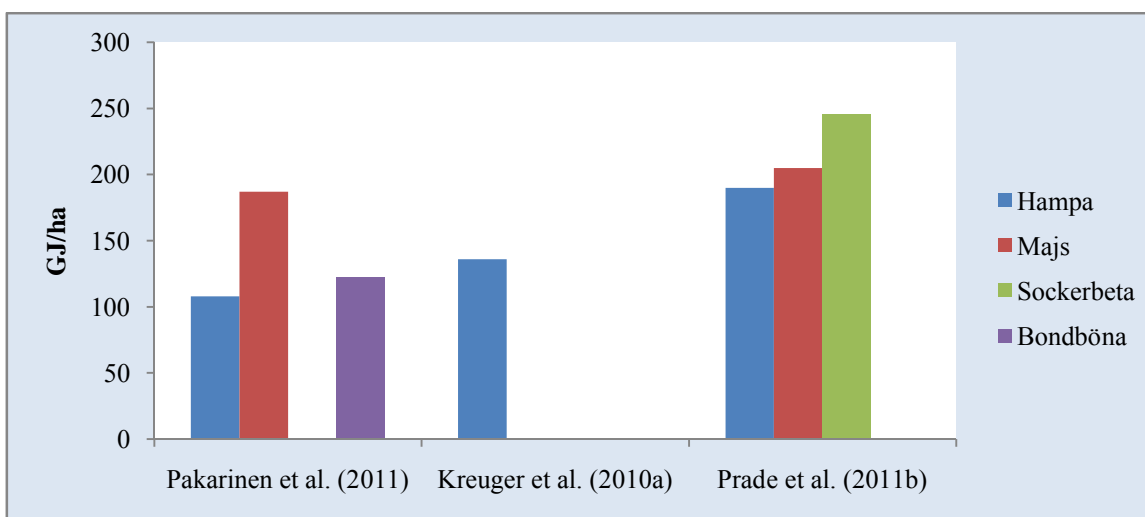
Rapporten av Braun et al. (2008) redovisar även resultat för biogasproduktion som kan produceras från de olika grödorna. Hampa, majs och sockerbeta har enligt studien en metanproduktion på 355-409 m³ metan ton⁻¹ VS, 205-450 m³ metan ton⁻¹ VS samt 236-381 m³ metan ton⁻¹ VS. Denna jämförelse visar att hampa står sig bra gentemot majs och sockerbeta vid biogasproduktion i Europa (Braun et al., 2008).

De studier som genomförts i Finland och Sverige visar att hampans biogasproduktion ligger något under medlet för Europa, 239 m³ ton⁻¹ VS (Pakarinen et al. 2011) samt 276 m³ ton⁻¹ VS (Se fig. 2) (Gissén et al. 2014). Biogasproduktion från hampa ger mindre mängd metan än den mängd som erhålls från majs, sockerbeta och bondböna och därmed även en mindre mängd energi (Se fig. 3). Hampans lägre metanproduktion kan delvis förklaras med växtens höga C:N kvot. För en optimal metanproduktion bör C:N kvot ligga mellan 10:1 och 30:1, hampans kvot ligger något för högt på 37:1 vilket gör att kol inte omvandlas optimalt till metan. Den lägre metanproduktionen kan även bero på tillgängligheten av makromolekylära kolhydrater som exempelvis hampans starka fiberstruktur. Denna struktur är svår att bryta ner vid metanproduktion. Om hampans partikelstorlek istället minskas exempelvis genom att malas till mindre bitar ökar metanproduktionen i och med att bakterier kan arbeta bättre (Pakarinen et al. 2011). Ytterligare möjligheter till att höja

hampans metanproduktion är möjlig genom att förbättra omvandlingen av den höga mängd kolhydrater växten innehåller, exempelvis via förbehandling med ånga (Kreuger et al. 2010a).



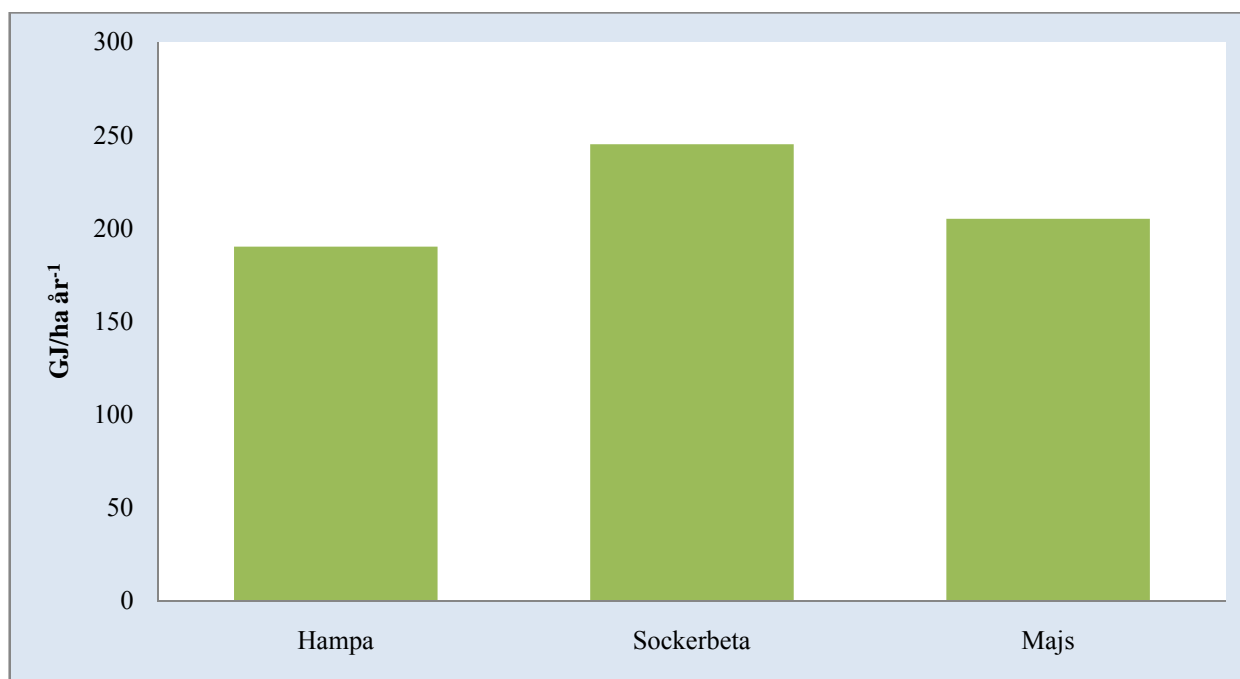
Figur 2 Metanutvinning från olika grödor per ton VS(volatile solids). Asterisk innebär uträknat medelvärde för ett flertal odlingsförsök inom Europa.



Figur 3 Energiutvinning per ha från olika grödor vid biogasproduktion.

Trots hampans låga metanproduktion menar Pakarinen att växten har god potential som energigröda. Undersökningen bekräftar (Fortenbery och Bennett, 2004. Pahkala, Pahkala och Syrjälä, 2008) erfarenheter om hampans motståndskraft mot ogräs och kyla medan majs visade sig vara mer köldkänslig och krävde rensning av ogräs var 2-3 vecka. Hampans låga behov av tillförsel av gödsel bekräftades även i denna studie. Hampa krävde kvävegödsling på 60 kg ha^{-1} för att ge en avkastning på 14 ton ha^{-1} medan majs krävde dubbla mängden kvävegödsling, 120 kg ha^{-1} för att ge en avkastning på 15 ton ha^{-1} (Pakarinen et al. 2011). Mängden kvävegödsling har en begränsad påverkan på hampa som odlas för biogas och skördas under september-oktober. $240 \text{ kg kvävegödsel ha}^{-1}$ har lika stor effekt som $80 \text{ kg kvävegödsel ha}^{-1}$. Däremot kan tidpunkten då hampan planteras samt väderförhållandena ha en större påverkan (Prade et al. 2011b).

Hampans BEY (biomass energy yield), den potentiella maximala energin som fås ut av biomassan, kan räknas ut baserat på antalet hektar växten odlades på. Prade et al. (2011b) redovisar en BEY på 296 GJ ha^{-1} . Hampa hade en liknande BEY/ha som majs och sockerbeta (Se fig. 4). (Prade et al. 2011b).

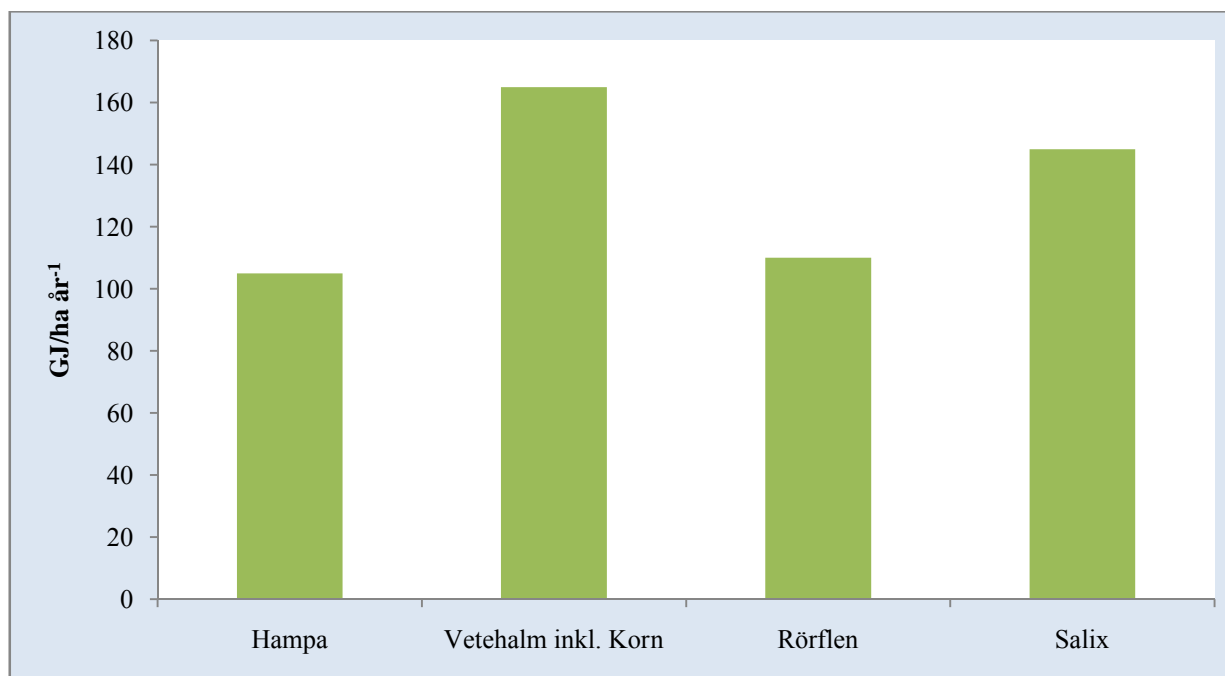


Figur 4 Potentiell energiutvinning (BEY) från olika grödor per ha och år. Hampa minskad med 24% (Prade et al. 2011b).

Energi: Fast bränsle

Då hampa används som ett fast bränsle vid förbränning är det viktigt att växtens MC (moist content; fukthalt) är låg, då detta annars påverkar förbränningen. Fukthalten sjunker ju senare hampan skördas och ger därmed en högre energimängd. Hampan tappar dock mer och mer biomassa ju senare den skördas vilket leder till en lägre avkastning. Den optimala skördeperioden för hampa som ska användas som fast bränsle anses vara under våren (februari-mars) då fukthalten är tillräckligt låg (Prade et al. 2011b).

Då hampa odlas för användning som fast bränsle i Sverige visar studier att en något lägre avkastning är att vänta, 9,9 ton ha⁻¹ (Prade et al. 2011b). Studier i Lettland och Litauen redovisar en högre avkastning, 10,9-17,0 ton ha⁻¹ (Poiša et al. 2010). Ett problem som ibland uppstår när hampa används som fast bränsle vid förbränning är den höga askhalten. Är denna askhalt högre än vad som tillåts (1,5%) kan hampa enbart användas som ett komplement till brikett- och pelletproduktion (Poiša et al. 2010). Prade et al, 2011b redovisade en genomsnittlig askhalt på under 3% där den lägsta halten uppmättes till 1,5-1,7%. Den maximala potentiella energin som kan erhållas från höst- och vårskördad hampa vid användning som fast bränsle kan vara uppemot 186,3 GJ ha⁻¹ respektive 161,4 GJ ha⁻¹ (Kolarikova, Havrland och Ivanova, 2013). Vid lyckade försök i Sverige har dock en energimängd på 105 GJ ha⁻¹ år⁻¹ uppmätts. Energi som erhålls från hampa vid förbränning är lägre än den energi som fås ut vid förbränning av vetehalm inklusive korn (165 GJ ha⁻¹ år⁻¹), rörflen (110 GJ ha⁻¹ år⁻¹) och Salix (145 GJ ha⁻¹ år⁻¹) (Se fig. 5). Trots denna lägre energimängd har hampa 120% högre BEY/ha än vetehalm och en lika hög BEY som rörflen. Hampans BEY i förhållande till helsädsvede och salix är 54% respektive 57% lägre (Prade et al. 2011b).



Figur 5 Energiutvinning per ha och år för olika grödor vid förbränning (Prade et al. 2011b).

Energi: Etanol

Då hampa används för etanolproduktion har försök redovisat en kalkylerad etanolproduktion mellan 209-275 l etanol TS⁻¹ (total solids). Denna etanolproduktion är jämförlig med den från majs (275 l etanol TS⁻¹) och något högre än den mängd etanol som erhålls från bondböna (196 l etanol TS⁻¹). Hampans etanolproduktion är möjlig att höja ytterligare om växten förbehandlas innan själva etanolproduktionen, exempelvis genom att minska växtens partikelstorlek med hjälp av malning (Pakarinen et al. 2011). Försök har gjorts att höja hampans etanolproduktion genom att behandla växten med svavelsyra och därefter ångbehandla den vid 140°C eller 180°C i 20 eller 10 minuter. Det visade sig att etanolproduktionen mer än tredubblades när hampan förbehandlades med en temperatur på 180°C och syrakoncentration på 0,5-1,0 jämfört med obehandlad hampa (Kuglarz et al. 2014).

Jämförelse av energiförhållanden

Prade, Svensson och Mattsson (2012b) redovisar fyra olika energivägar för hampaväxten. De olika energivägarna fast bränsle, biogas eller etanol, kräver varierande investeringar av energi (energitillförsel) för att producera biomassa och framställa energi (energioutput).

Scenario I

Förbränning av vårskördad hampa i balar som ett komplement till halmbränsle i stora kraftvärmeverk för produktion av elektricitet och värme (CHP; combined heat and power).

Scenario II

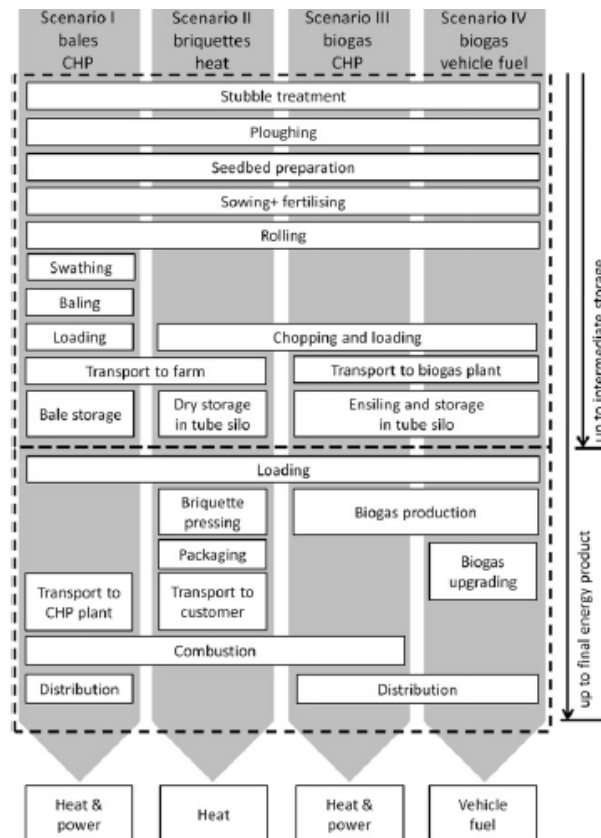
Förbränning av hackad och briketterad hampa för produktion av värme, exempelvis för att värma upp det egna hemmet.

Scenario III

Produktion av CHP där biogas från höstskördad, hackad och ensilerad hampa tillsammans med majs används (20% hampa, 80% majs).

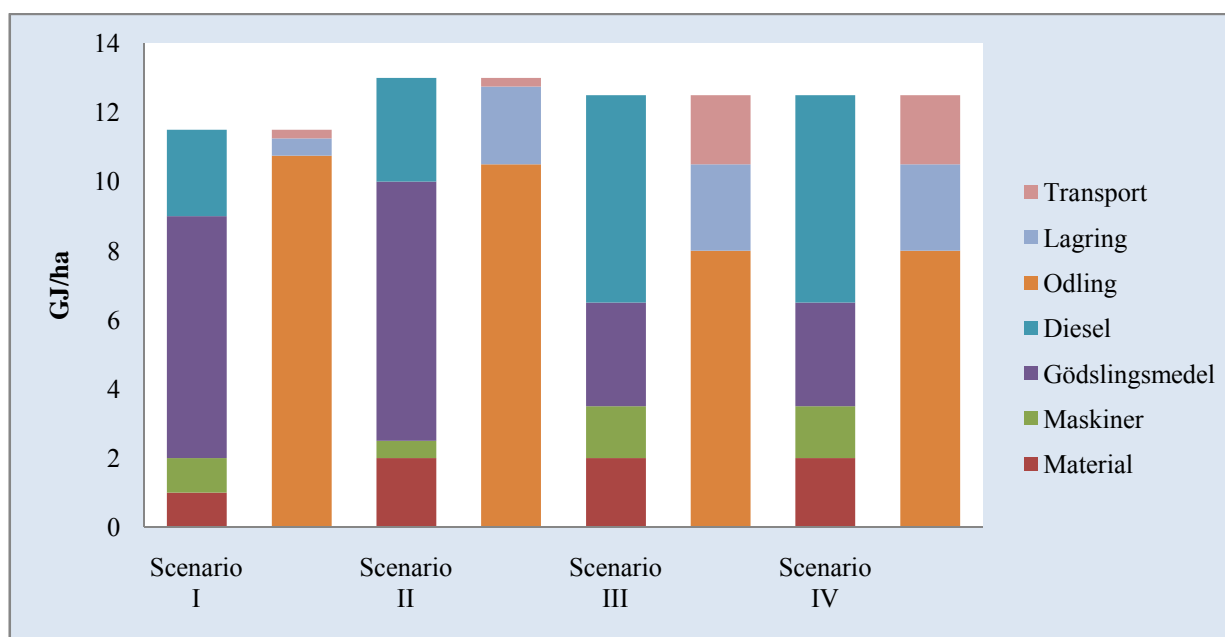
Scenario IV

Produktion av biogas från höstskördad, hackad och ensilerad hampa som sedan uppgraderas till fordonsbränsle (97% metan).



Figur 6 Översikt över de olika scenariernas energiväg (Prade, Svensson och Mattsson, 2012b).

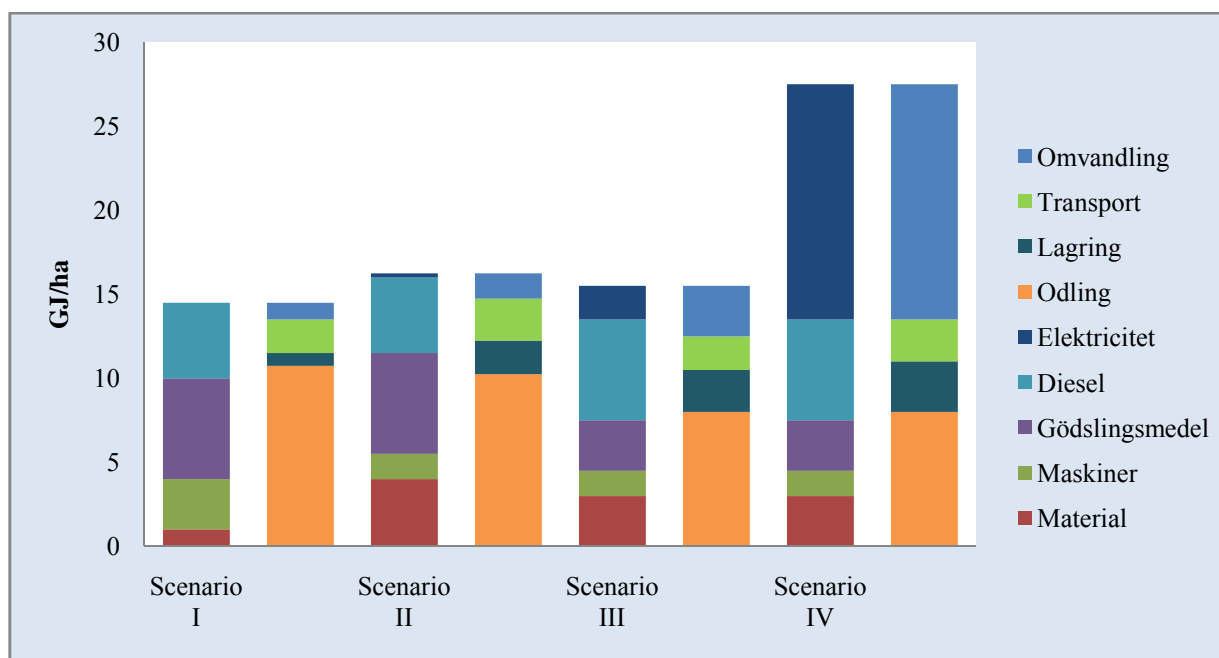
Odling av hampa som skördas på våren och förvaras i balar för att sedan användas som ett komplement till halmbränsle i stora kraftvärmeverk för produktion av elektricitet och värme (CHP; combined heat and power) har en energiförbrukning på 11,7 GJ ha⁻¹ (Scenario I). Odling av vårskördad hampa som hackas och briketteras för att sedan användas vid värmeproduktion, exempelvis i det egna hemmet har en energiförbrukning på 13,0 GJ ha⁻¹ (Scenario II). Scenario I och Scenario II är relativt lika förutom valet av lagring där Scenario II använder ensilering av hampan vilket har en högre energiförbrukning än lagring i balar. Hampa som odlas för biogas som energiväg för användning vid CHP (scenario III) eller vid produktion av fordonsbränsle (scenario IV) har en energiförbrukning på 12,2 GJ ha⁻¹. Odlingen av hampa för scenario III och IV kräver betydligt mindre energi än vid scenario I och II, det som istället kräver mer energi vid användning av hampa för biogasproduktion är själva transporten till biogasanläggningen och förvaringen där (Se fig. 7). Att odlingsfasen hade lägre förbrukning i scenario III och IV kan förklaras med att rötresten användes som gödningsmedel vilket minskade behovet för tillförsel av mineralgödsel (Prade, Svensson och Mattsson, 2012b).



Figur 7 Energitillförsel fram till och med mellanlagring för olika energivägar. Höger kolumn redovisar energitillförsel för olika processsteg. Vänster kolumn redovisar energitillförsel för produktionsmedel (Prade, Svensson och Mattsson, 2012b).

Att omvandla hampans biomassa till energi visade sig kräva varierande mängd energi. Omvandlingen för scenario I och II krävde 0,8 GJ ha⁻¹ och 1,5 GJ ha⁻¹. För scenario III krävdes 2,8 GJ ha⁻¹ för att producera CHP. Omvandlingen av hampa till biogas för fordonsbränsle visade sig ha en betydligt högre energiförbrukning, 14,1 GJ ha⁻¹ (Se fig. 8). Denna

höga energiförbrukning beror delvis på att det krävs en uppgradering av biogasen till 97% metan (Prade, Svensson och Mattsson, 2012b).

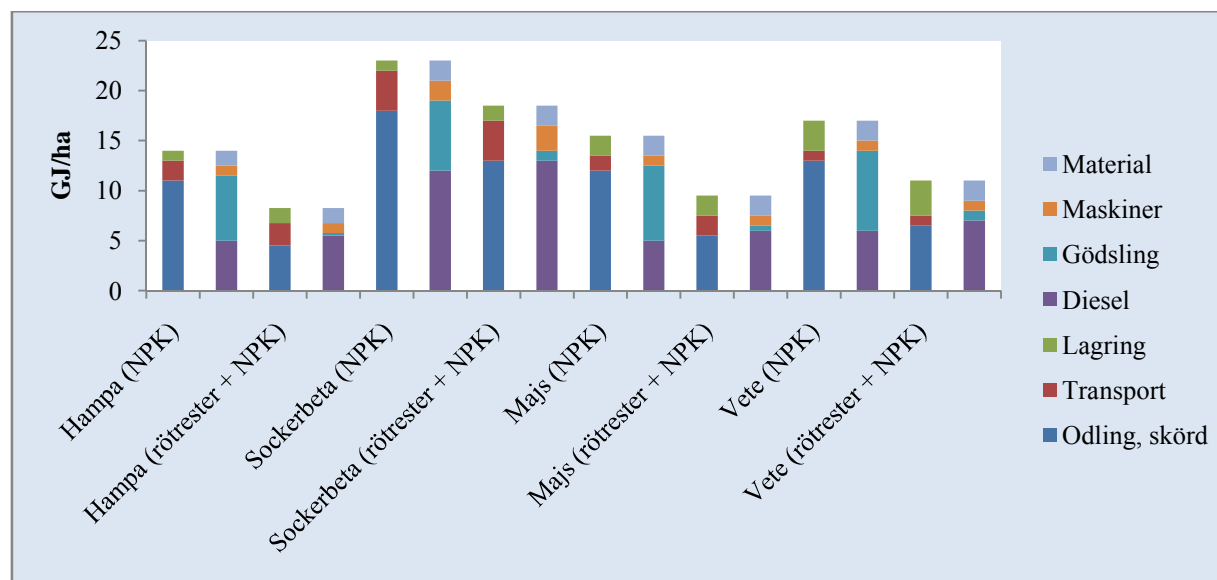


Figur 8 Total energitillförsel för olika energivägar. Höger kolumn redovisar energitillförsel för olika processteg. Vänster kolumn redovisar energitillförsel för produktionsmedel (Prade, Svensson och Mattsson, 2012b).

Utifrån den energi som förbrukas och den mängd energi som erhålls vid slutproduktionen kan en energibalans räknas ut (energi input/energi output). Hampa som används som fast bränsle för förbränning har en betydligt högre energibalans gentemot hampa som används för biogasproduktion; 6,8 (scenario I), 5,1 (scenario II), 2,7 (scenario III) och 2,6 (scenario IV) (Prade, Svensson och Mattsson 2012b). Scenario I och II visade sig vara betydligt mer beroende av den direkta avkastningen biomassa som skördades. Energebalsar uppemot 7,4 och 8,6 har uppmätts för höst- och vårskördad hampa (Kolarikova, Havrland och Ivanova, 2013).

I jämförelse med andra energigrödor kräver hampa en lägre mängd energi till och med mellanlagringen (Se fig. 9). Den största energiförbrukningen för hampa erhålls vid odling/skörd av växten där gödsling och dieselanvändning är de största bidragande orsakerna. Om rötresten istället används tillsammans med NPK (kväve, fosfor, kalium gödsel) sänks energiförbrukningen betydligt. Denna sänkning kan förklaras av just bytet till rötresten som gödsel. Sockerbetor har en energiförbrukning på över 20 GJ ha⁻¹. Även här är det odling/skörd som kräver den största delen energi men även

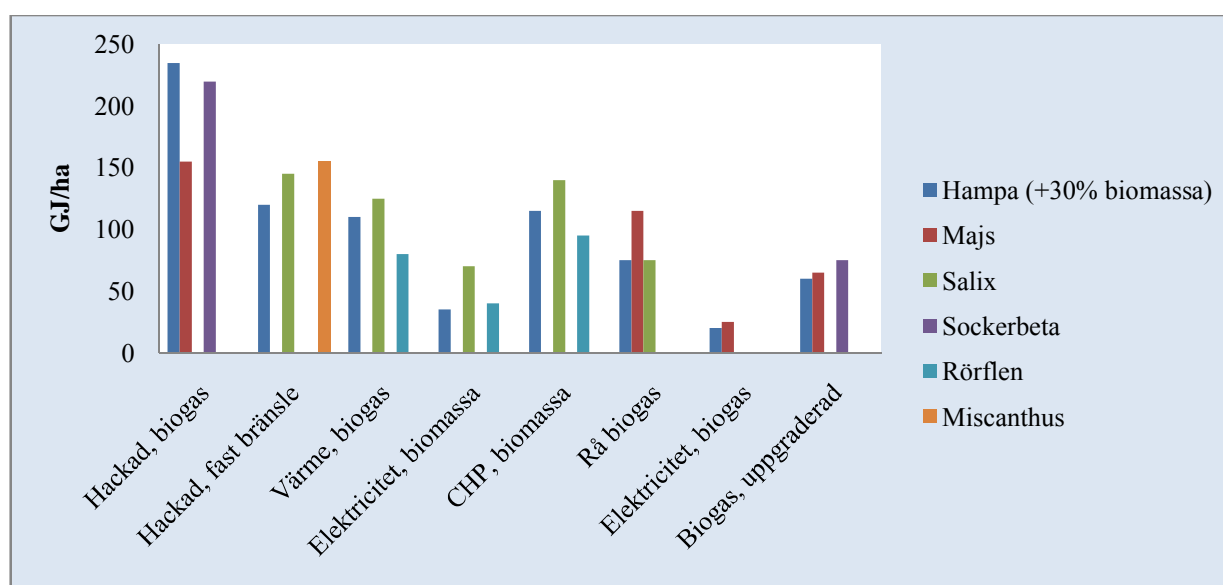
transport bidrar till den högre energiförbrukningen. Majs har även den en högre energiförbrukning än hampa, över 15 GJ ha⁻¹. Hampa är därmed en mer energieffektiv energigröda än sockerbeta och majs till och med mellanlagringen (Gissén et al, 2014).



Figur 9 Energitillförsel fram till och med mellanlagring för olika energigrödor med NPK eller NPK+rötrest (Gissén et al. 2014).

Då hampa är en relativt ny energigröda finns det potential att öka hampans biomassavkastning framöver med 30% baserat på andra studiers resultat vid odling på bra mark. Detta skulle betyda en avkastning på 7.5 ton ha⁻¹ för fast bränsle och 13.3 ton ha⁻¹ för biogas. Anledningen till att avkastningen i denna studie är så låg är att de räknat med förluster vid exempelvis skörd och transport. Fram till och med lagringen står sig hampa som används för biogasproduktion bra gentemot andra grödor. För hampa där biomassan ökar med 30% erhålls en betydligt högre energibalans (19,9) gentemot sockerbeta och majs; 10,7 och 10,9. Hampa har även här den högsta mängden energi/ha. Då hampa istället används som fast bränsle för förbränning uppnås en energibalans (exklusive energiproduktion) på 9,6–10,9 för hampa med 30% biomassökning vilket är betydligt lägre än för salix (23,4) och något mindre än miscanthus (12,8-13,7). Värmeproduktion från hampans biomassa visar sig ha en lägre energibalans än salix och rörflen. Hampans energimängd/ha står sig dock ganska bra för denna energiväg. Att använda hampa för att producera elektricitet från biomassan är betydligt mindre energieffektivt än elektricitetsproduktion från salix. Däremot står sig hampa relativt bra gentemot salix och rörflen för användning av biomassa för CHP (Se fig. 10 för energiutvinning för respektive energiväg och gröda) (Prade, Svensson och Mattsson, 2012b).

Att producera rå biogas från hampa har en energibalans på 5,8 för +30% biomassa. Majs tillsammans med salix har en högre energibalans, 7,2 respektive 7,3 men bara majs har en högre energimängd/ha. Att producera elektricitet från biogas är precis som elektricitet från biomassa ett mindre energieffektivt alternativ. En uppgradering av biogas från hampa (2,9) har en bättre energibalans än uppgradering från majs (2,5) och sockerbeta (2,3). Däremot erhålls en högre energimängd/ha från majs och sockerbeta (Prade, Svensson och Mattsson, 2012b). Hampans energibalans för biogas som sedan uppgraderas till fordonsbränsle står sig även bra mot vete som används för liknande ändamål, 2,9 för hampa och 2,38 för vete (Se fig. 10 för energiutvinning för respektive energiväg och gröda) (Börjesson, 2004).



Figur 10 Energiutvinning vid vanliga energivägar för olika grödor (Prade, Svensson och Mattsson, 2012b).

Andra studier visar att hampa är en växt som kräver mindre tillförsel av energi vid odling för biogasproduktion ($14,6 \text{ GJ ha}^{-1}$) än majs ($15,5 \text{ GJ ha}^{-1}$) och betydligt lägre än de energikrav sockerbeta ($22,5 \text{ GJ ha}^{-1}$) har vid odling för biogasproduktion (Se fig. 11). Hampas låga energimängd/ha påverkar även växtens energibalans för biogasproduktion, 5,14. Denna energibalans är jämförbar med den från vete (5,20) men lägre än majs och sockerbeta, 6,65 respektive 7,11 (Gissén et al. 2014).



Figur 11 Översikt över energitillförsel och energioutput för olika grödor för biogasproduktion (Gissén et al. 2014).

Optimering av odlingsförhållande och skörd

Tillsatts av konstgödsel kan undvikas genom spridning av renat klosettwater. Svensson (2006) har undersökt om växtnäring kan tillföras åkermark genom bevattning med hygieniserat källsorterat klosettwater. Genom användning av dessa avloppsfraktioner kan ett slutet kretslopp skapas.

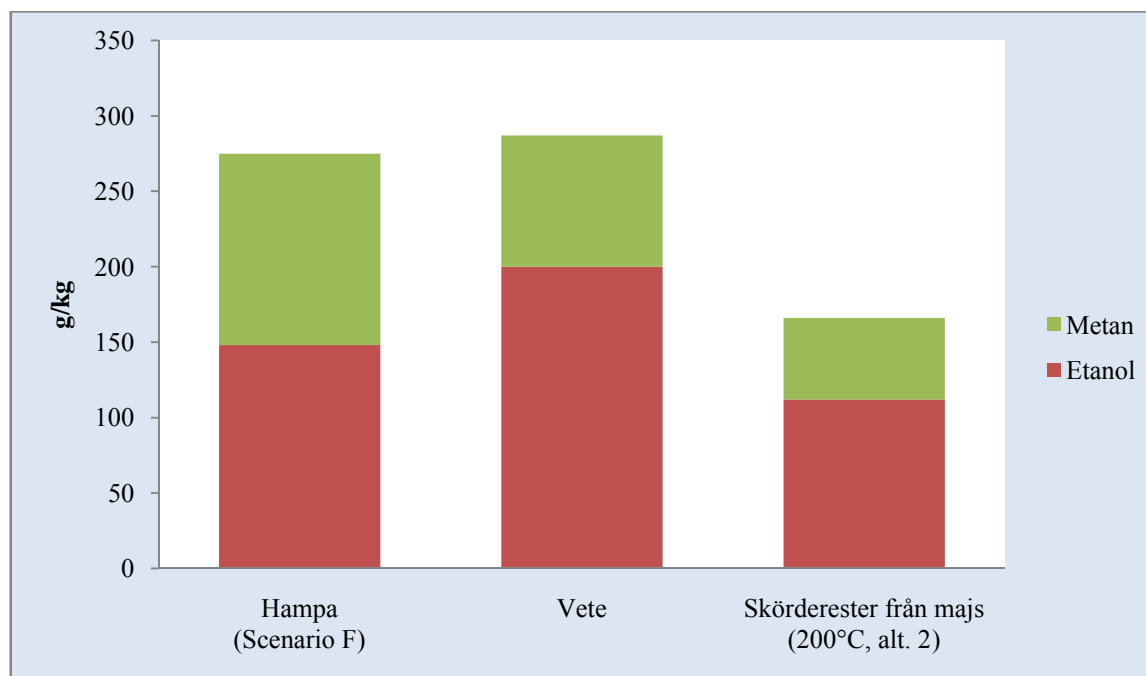
Hampans höga cellulosainnehåll gör den till ett lämpligt substrat för etanolproduktion. Cellulosainnehållet är högre än det av skörderester från majs och vete. Detta möjliggör för en samproduktion av etanol och biogas från hampa då de kan komplettera varandra. Etanol kan spädas med bensin och biogas kan produceras från en rad olika substrat. Metan bildas även av de enzymer och jäst som används vid etanolproduktion för metanbildning (Kreuger et al. 2010b). Skördetiden för hampa till biogasproduktion överlappar med skördetiden för hampa till fiberproduktion och skulle således kunna kombineras för optimering av skörd (Kreuger, 2012).

Resultaten i Kreuger et al. (2010b) visar på en ökad energiutvinning med 100 % vid samproduktion av etanol och metan i jämförelse med ren etanolproduktion eller biogasproduktion av förbehandlad hampa. I de scenarion där samproduktion sker förbehandlades hampan mekaniskt genom att malas ner till >1mm följt av ”steam explosion” där man använder sig av ånga å 200°C i fem minuter för att bryta ner substratet. Vid scenarion F och H, där samproduktion sker, fermenteras

och hydrolyseras sedan substratet. Substratet destilleras sedan för att bli till etanol. Dranken, restprodukten vid etanolframställning, förs vidare för anaerob nedbrytning och metan utvinns. I Scenario F utvinns 148 g kg⁻¹ torrsvikt etanol samt 127 g kg⁻¹ torrsvikt metan. I Scenario H separerar man på vätska och fasta ämnen från förbehandlingssteget för att få 171 g kg⁻¹ torrsvikt etanol samt 128 g kg⁻¹ torrsvikt metan (Se fig. 15). Metanproduktionen av enzymer och jäst ökar energiutvinning med 10 %. Baserat på dessa resultat så skulle hela växten ge en energiutvinning på 171-180 GJ ha⁻¹ med en fördelning på 2800-2900 m³ metan och 2600-3000 L etanol vid en skörd på 16 ton. De rester som man får vid anaerob nedbrytning består av lignin vilket är svårnedbrutet. Lignin i sig har ett högt energivärde (29.5 MJ kg⁻¹) och skulle potentiellt kunna användas till uppvärmning vid AD-processen. På så sätt skulle man helt och hållet utesluta extern tillförsel av energi under samtliga steg (Kreuger et al. 2010b).

En liknande studie har gjorts där samproduktion av etanol och biogas från förbehandlat vete undersöktes. Metoden är samma som den för Scenario F i föregående studie förutom att vete förbehandlas med ånga á 200°C i 10 minuter istället för 5. Det utvinns 200 g kg⁻¹ torrsvikt etanol och 87 g kg⁻¹ torrsvikt metan (Se fig. 15) (Bauer et al. 2009).

Bondesson et al. (2014) har undersökt hur förbehandling med ånga påverkar energiutvinning i form av etanol och biogas från skörderester av majs. Metoden är liknande Bauer et al. (2009) Med en temperatur på 200°C i 10 minuter. Utvinning av etanol var 112 g kg⁻¹ torrsvikt samt metan 54 g kg⁻¹ torrsvikt vilket är lägre än det som redovisas för hampa i Bauer et al. (2009) (Se fig. 15) (Bondesson et al. 2014).

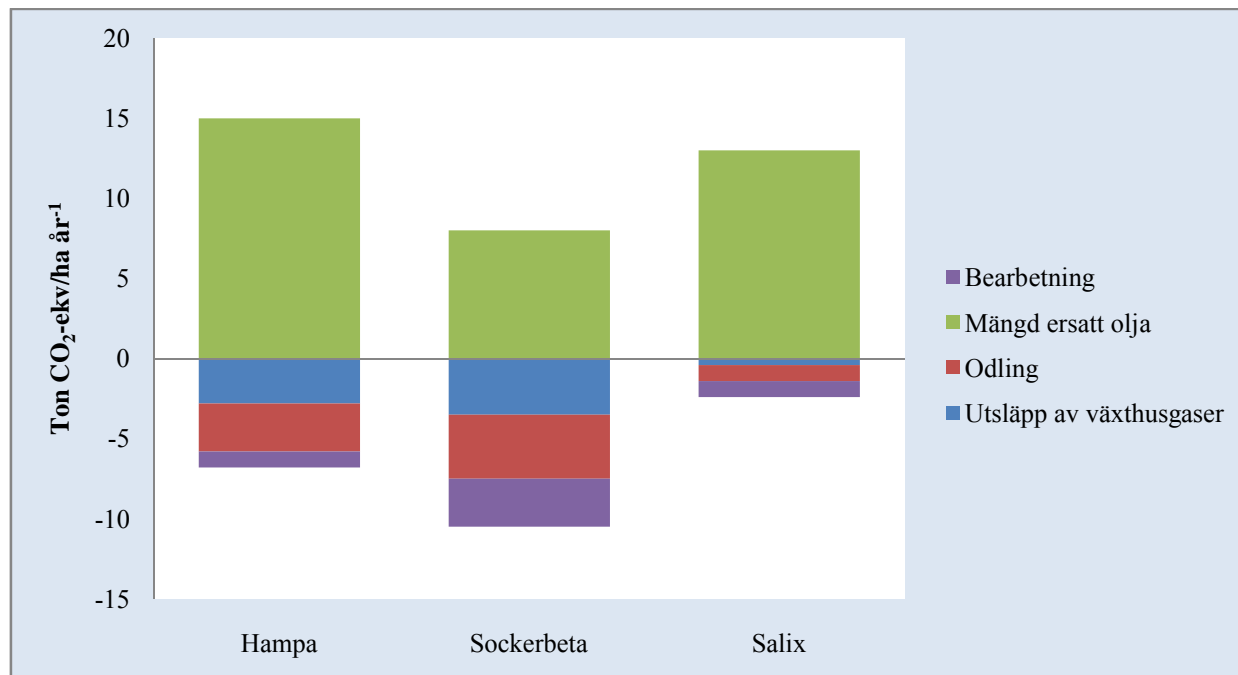


Figur 12. Energiutvinning ifrån samproduktion av etanol och metan redovisat i g/kg. Värden för hampa är från Kreuger et al. (2010b). Värden för vete är från Bauer et al. (2009). Värden för skörderester från majs är från Bondesson et al. (2014).

Miljö

Hampa har en god inverkan på åkermark genom att minska markerosion och markpackning i förhållande till andra grödor. Mängden förorening från pesticider samt näringsämnen till grund- och ytvatten minskar i samband med hampaodling (EEA, 2006). Etablering av hampa som energigröda skulle således bidra till att bemöta ett flertal av de svenska miljömål som Giffri miljö, Ett rikt odlingslandskap, Grundvatten av god kvalitet, Begränsad klimatpåverkan, Skyddande ozonskikt, Bara naturlig försurning, Frisk luft, Hav i balans samt levande kust och skärgård och Levande sjöar och vattendrag (Naturvårdsverket, 2015).

Hampaodling ger upphov till 3 ton CO₂-ekv ha⁻¹ år⁻¹ vilket är mer än Salix (2 ton CO₂-ekv ha⁻¹ år⁻¹) men mindre än sockerbeta (3.5 ton CO₂-ekv ha⁻¹ år⁻¹). Upptag av växthusgaser är 540 % högre i hampan än i sockerbeta. Salix växthusgasupptag är något högre än hampan när den odlas på åkermark men något lägre vid odling på gräsmark (Se fig. 12). Vid skördar på 14 ton, likt de skördar Braun et al. (2008) samt Pakarinen et al. (2011) redovisar, erhålls ett upptag av växthusgaser på 16.1 ton CO₂-ekv ha⁻¹ år⁻¹. En ersättning av 25 % av EU:s sockerbeta använd för produktion av etanol med hampa skulle innebära en minskning av växthusgasutsläpp med 2-5 Mt CO₂-ekv ha⁻¹ år⁻¹ (Finnan och Styles, 2013).



Figur 13. Belastning och minskning av växthusgasutsläpp i ton CO₂-ekvivalenter per hektar och år för hampa, sockerbeta och salix enligt Finnan och Styles (2013).

Fytoremediering

I en studie av Linger, Ostwald och Haensler (2005) visar hampan på hyperackumulatorpotential då den tar upp mer än 100 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt vilket troligtvis är på grund av oskadliggörande av tungmetaller tack vare en ökad produktion av fytokelatin. Enligt Shi och Cai (2009) så bör dock ackumulation ske i de delar av växten som är skördbara för att fitoextraktion skall vara möjligt och effektiviteten beror på, utöver produktion av fytokelatin, mängd biomassa samt translokationsfaktorn (mängd kadmium i skott i förhållande till ursprungligt medium). Shi och Cai (2009) jämför åtta olika energigrödors tolerans och ackumulation av kadmium. Rapsfrö, solros, sojaböna, hampa, lin, ricin, safflor och jordnöt planteras i krukor och fylls med jordmassor innehållande 50, 100 och 200 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt. Kadmiumhalten har framställts genom tillförsel av kalciumklorid. 28 dagar senare skördas grödorna för att mäta skott- och rotlängd. Grödorna mals sedan ner för att mäta kadmiumhalten via en atomabsorptionsspektrofotometer och jämförs sedan med en kontrollväxt av vardera art. Växternas ackumulations- och toleranskapacitet för kadmium bedöms med hjälp av toleransindex (TI), translokationsfaktor (TF) samt biokoncentrationsfaktor (BCF) och räknas ut på följande sätt:

$$TI(\%) = 100 \frac{[\text{tillväxtfaktorer}]_{Cd}}{[\text{tillväxtfaktorer}]_{\text{kontroll}}}$$

$$TF(\%) = [Cd]_{\text{skott}} / [Cd]_{\text{jord}}$$

$$BCF(\%) = [Cd]_{\text{skott eller rot}} / [Cd]_{\text{jord}}$$

Kadmiumhalter i hampan uppmättes till 1550, 2349, 4052 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt i roten och 57,83 och 101 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt i skotten vid kadmiumhalter på 50, 100, respektive 200 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt (se fig. 13). Hampas rot- och skotttillväxt påverkades ej vid värden upp till 100 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt. Vid 200 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt hämmades skotttillväxt hos lin minst (35 %) därefter hampa (43 %). Hampa uppvisar totalt sett ett högt TI jämfört med andra växter. Endast lin visar på en högre TI sett i totalmassa vid 100 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt. Mängd klorofyll i hampa påverkades inte vid kadmiumnivåer på 50 och 100 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt. Endast hampa visar på en högre biomassa vid 100 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt än vid 50 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt vilket tyder på att växten trivs bra i jordar med höga kadmiumhalter.

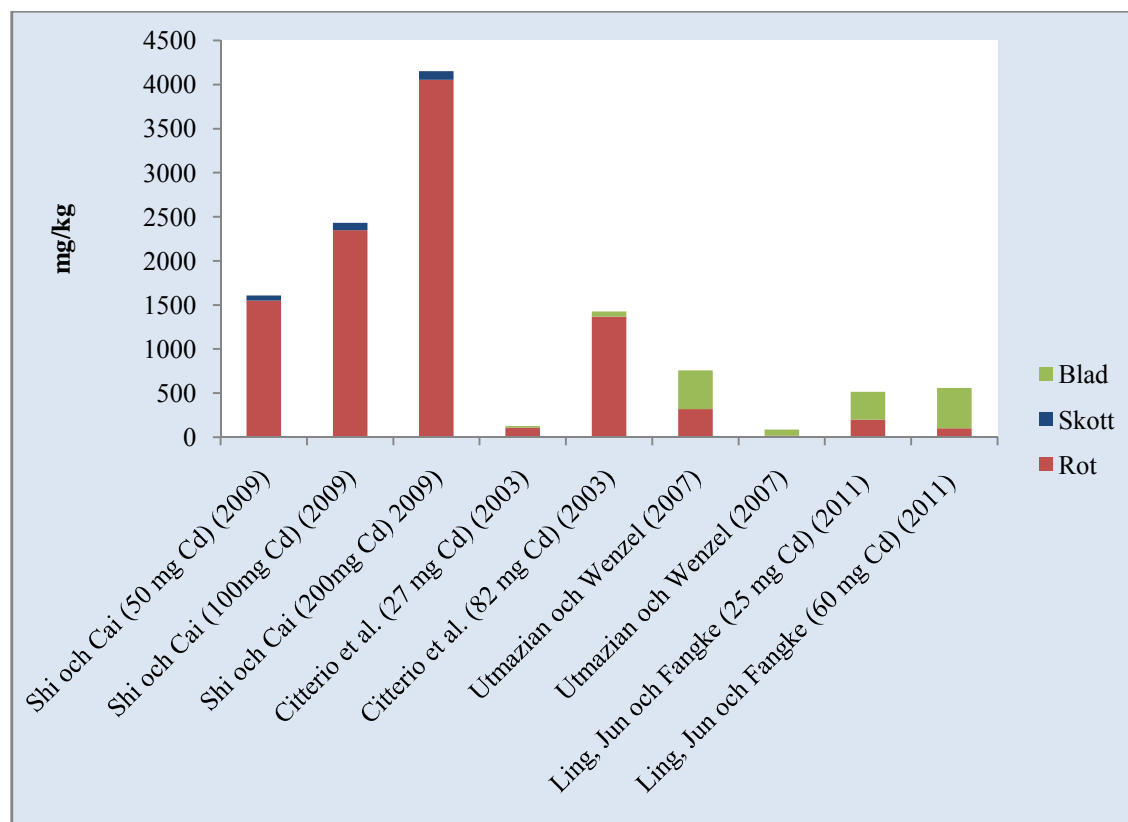
Biokoncentrationsfaktor i rötter var högst för hampa (3099 vid 50 mg Cd kg⁻¹ DM, 2399 vid 100 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt och 2026 vid 200 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt). Ett BCF > 1000 är ett tydligt tecken på att växten lämpar sig för fytoremediering. Hampa hade BCF > 2000 i rötter vid samtliga kadmiumhalter. Hampas BCF i skott var relativt låga och tyder därmed på en låg translokationsfaktor. Växten är därmed mer lämplig vid fytostabilisering av kadmiumhaltig mark än vid fytoextraktion (Shi och Cai, 2009).

I en annan studie av Shi et al. (2011) undersöks kadmiumackumuleringen i 18 hampaväxter som odlas i 45 dagar i jord kontaminerad med 25 mg kg⁻¹ kadmium. Kadmiums biotillgänglighet i försöken bestämdes genom en tillsatts av kalciumklorid. TI för alla utom tre växter har höga (≥ 0.46 i skott, ≥ 0.47 i rot). hälften av växterna visade på kadmiumtolerans > 70 %. Kadmiumkoncentrationen i skotten var mellan 11.4 – 33.3 mg kg⁻¹ med ett medelvärde på 18,1 mg kg⁻¹. Kadmiumkoncentrationen i rötter var mellan 217-481 mg kg⁻¹ och medelvärdet var 321,3 mg kg⁻¹ (Se fig. 13). Med dessa värden fastställs det att det inte vore lönsamt att odla hampa enbart för fytoextraktion utan bör kombineras med exempelvis bioenergiproduktion eller främst användas till fytostabilisering på grund av dess höga kadmiumkoncentration i roten (Shi et al. 2011)

Enligt Linger et al. (2005) så påverkas hampa kraftigt redan vid 50-100 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt i blad och stam medan den klarar halter på mer än 800 mg kg⁻¹ torrsvikt i rötterna. Studien utfördes genom att odla hampa i krukor innehållande jord kontaminerad med 17 (Cd₁) och 71 mg CdSO₄ kg⁻¹ jord (Cd₂). 3-6 växter från varje prov skördades varje vecka i 7 veckor och de sista proverna skördades efter 133 dagar. Skillnad i hampafröns grobarhet syntes tydligt mellan kontrollväxten och de växter som odlades i kadmiumförorenad jord, men däremot syntes ingen skillnad mellan Cd₁ och Cd₂. Vid växtens tillväxtstadium dog alla delar av Cd₂-växterna förutom stammen. Rötternas högsta halt uppmättes efter 24 dagar till 830 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt. Högsta värden för blad och stam var 68 och 87 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt. 832 µg Cd per

växt ackumulerades i snitt i de delar av Cd₁-växten ovan jord. Linger et al. (2005) menar att mängden kadmium som potentiellt går att extrahera via ackumulation till växten ovan jord är, baserat på resultatet och en teoretisk såtäthet på 100 växter/ m², 830 g Cd ha⁻¹ och växtperiod¹ (Se fig. 14) (Linger, Ostwald och Haensler, 2005).

I en studie av Citterio et al. (2003) odlades hampa i krukor med två olika jordar innehållande bland annat 27 eller 82 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt för att undersöka hampas tolerans samt ackumulationsnivåer. Kadmiumsulfat tillfördes dagligen blandat med destillerat vatten. Resultatet i jorden med 27 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt jord visar på en ackumulation på 18.1, 9.4, och 109.2 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt för blad, stam respektive rötter (Se fig. 13). För jorden med 82 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt var värdena 58.8, 73.0 och 1368.2 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt för blad, stam respektive rot (Se fig. 13). Samtliga växter överlevde försöken men utvecklingen och mognaden av växten försenades med en vecka i jorden med högre kadmiumhalt. Utöver produktion av fytokelatiner som förhindrar vidare spridning av tungmetaller i växten så produceras ytterligare ett i växtens rötter. PC3 som det kallas har en längre retentionstid vid HPLC vilket tyder på att detta fytokelatin är mer polärt och kan därmed binda mer tungmetaller än PC2, som utgör resten av växtens fytokelatin. Hampans translokationsfaktor var 10 respektive 20 % vilket författarna tolkar som att växten ej är lämplig för hyperackumulering av metaller. Men de nämner att det finns ett alternativt sätt att skörda hampan vilket innebär att man drar upp växten med rötterna. Med denna skördningsteknik så ökar växtens möjligheter för återställning av mark via fytoextraktion avsevärt. Med denna teknik menar författarna att en avlägsning av kadmium på upp till 7500 g Cd ha⁻¹ år⁻¹ (jord kontaminerad med 82 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt) kan ske (Se fig. 14). I jorden med den lägre koncentrationen beräknades det en ackumulation på 684 g Cd ha⁻¹ år⁻¹ (Se fig. 14) (Citterio et al. 2003).



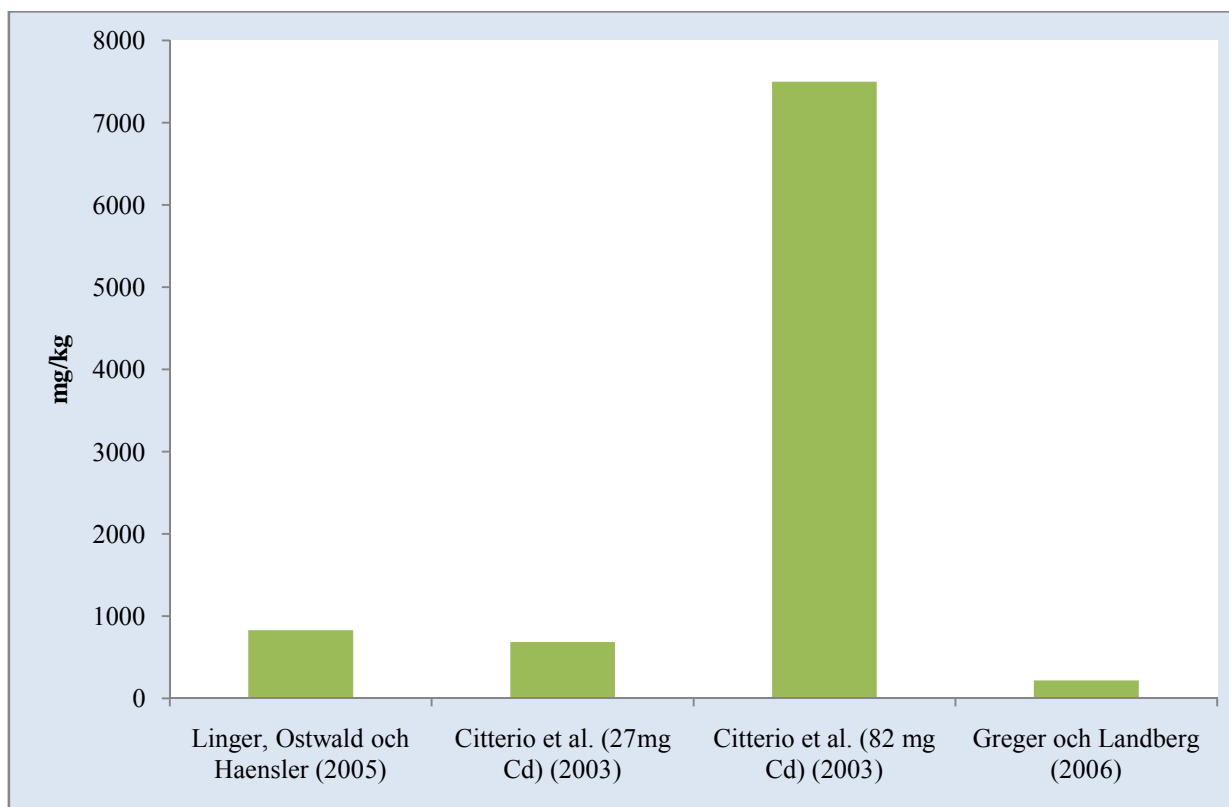
Figur 14. Mängd ackumulerat kadmium per kilo torrsvikt. Hampa undersöks av Shi och Cai (2009) och Citterio et al. (2003). Salix undersöks av Utmazian et al. (2007) och Ling, Jun och Fangke (2011).

Linger et al. (2001) undersöker effekten på hampaväxten vid slamgödsling med hög tungmetallhalt. Studien undersöker kadmiumackumulation i blad, frön, och stam efter 15 veckors odling i jordar med 102 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt. Resultatet visar på en genomsnittlig ackumulation på 1.6 mg kg⁻¹ torrsvikt i stam, 3.5 mg kg⁻¹ torrsvikt i blad och 1.1 mg kg⁻¹ torrsvikt i frön. En sammanlagd extraktion på 126 g Cd ha⁻¹ växtperiod⁻¹ kan vara möjlig i dessa växtdelar. Detta resultat jämförs med bäckskärvsfrö (*T.caerulescens*), en mycket liten växt som ger en 16 gånger högre fytoextraktionspotential än hampa. Dock kan inte den extraherade massan användas till något och den kräver en omfattande kontroll av förhållanden för att maximera avkastningen och är därmed mer kostsam (Linger et al. 2001).

Linger et al. (2001) undersökte upptag av kadmium i hampa odlad på mark kontaminerad med avloppsslam innehållande 102 ppm kadmium. Författaren kom fram till att de extraherade massorna varken kunde användas till livsmedelsproduktion eller textilproduktion. (Linger et al. 2001). Enligt FAO/WHO (2011) så är PTWI, provisional tolerable weekly intake, via mat 7 µg Cd kg⁻¹ torrsvikt vecka⁻¹ (FAO/WHO 2011). Gränsvärdet för kadmium i textilier är 0.1 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt (OKEO-TEX 2015).

Berndes, Fredriksson och Börjesson (2004) undersökte salix potential som fytoextraktionsväxt samt dess kadmiumackumulation. Vid en avkastning på 10 ton torrsvikt $\text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ kan 20 g Cd ha^{-1} utvinnas varje år. Salix kräver dock ett långsiktigt engagemang då Salix livslängd är betydligt längre än hampa. Enligt Berndes, Fredriksson och Börjesson (2004) så är det ungefär den tid det krävs för att rena jordar med väldigt höga koncentrationer kadmium. Dessa jordar kallas klass 5 jordar. Vid förbränning av dessa kadmiumkontaminerade salixodlingar så kan kadmium i askan undvikas genom rökgasrening (90 % rening av kadmium) och därmed kan askan återföras med näringsämnen till marken. Den i filter ansamlade mängden kadmium kan sedan deponeras eller återanvändas. Kadmium deponeras främst idag då återanvändning av kadmium inte är ekonomiskt hållbart (Berndes, Fredriksson och Börjesson 2004). Enligt Poiša och Adamovics (2011) så är aska från förbränning av hampa ett bra gödningsmedel då det innehåller ca 6 % kalium, 5 % fosfor och 24 % kalcium.

Greger och Landberg (2006) undersökte salix genom rotningsförsök av sticklingar i en kalciumnitratlösning med en daglig tillsats av kadmiumklorid på 1,3,7 och 10 μM , totalt motsvarande 2.25, 6.74, 15.74 och 22.50 mg växt $^{-1}$. Rotningsförsöken varade i 20 dagar. Resultatet var varierande med en kadmiumhalt i skott på mellan 0.2 och 8.5 och i rötter mellan 4.1 och 291 mg Cd kg^{-1} torrsvikt. I denna studie var ackumulationen koppar högre än kadmium, vilket skiljer sig från försöken på hampa i studien av Citterio et al. (2003) där ackumulationen var lite lägre än kadmium. När det gäller translokationsfaktor så visar sig salix vara mer effektiv på att ta upp kadmium i skotten med 1-72 % medan hampan i Citterio et al. (2003) har en TF på 10-20 %. Greger och Landberg (2006) tror att en utvinning på 36 och 25 g Cd $\text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ i stam respektive blad är möjligt i jord innehållande 0.6 mg Cd kg^{-1} torrsvikt. Ett försök med kadmiumackumulation i avloppsslamkontaminerad jord innehållande 7.9 mg Cd kg^{-1} torrsvikt har gjorts på salix där resultatet visade på en kadmium halt på 22.2 g Cd kg^{-1} torrsvikt i växt med en årlig utvinning på 217 g Cd $\text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ (Se fig. 14) (Greger och Landberg, 2006).



Figur 15. Årlig mängd ackumulerat kadmium redovisat i mg/kg torrsvikt. Hampa undersöks av Linger et al. (2005) och Citterio et al. (2003). Salix undersöks av Greger och Landberg (2006).

I ett försök av Syc et al. (2012) så undersökte man olika alternativ för att avlägsna salix odlad på naturligt kontaminerad jord med kadmiumhalter på mellan 21-68 mg kg⁻¹. Kadmiumhalter i det råa materialet uppges till 3.3–7.8 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt. Askhalten i salix var runt 2 %. Utmazian och Wenzel (2007) odlade salix i jord innehållande 32.7 respektive 4.34 mg Cd kg⁻¹ jord och växterna skördades sedan efter 19 veckor för att undersöka mängd ackumulerad kadmium i blad och rötter. Värdena varierade mellan 11.5 och 440 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt i blad och 5.9 och 320 mg Cd kg⁻¹ torrsvikt (Se fig. 13). En biokoncentrationsfaktor för kadmium på mellan 2.56–15.9 redovisades. I studien från Ling, Jun och Fangke (2011) undersöktes kadmiumackumulationspotentialen i tre sorters salix. Författaren använde sig av jordar förorenade med olika kadmiumhalter, bland annat 25 och 60 mg Cd kg⁻¹ jord. Efter 6 månaders kultivering skördade man växterna och undersökte mängd i blad, grenar och rötter. I jordar innehållande 25 mg Cd kg⁻¹ jord fann man värden så höga som 315, 325 och 200 mg Cd kg⁻¹ jord i blad, grenar och rötter. I jordar innehållande 60 mg Cd kg⁻¹ jord fann man värden så höga som 460, 350 och 100 mg Cd kg⁻¹ jord i blad, grenar och rötter (Se fig. 13) (Ling, Jun och Fangke, 2011).

Diskussion

Tolkning av resultat

Avkastning i de studier som undersöker hampa ligger inom ett spann av 8-16 ton ha⁻¹ och anses vara tillförlitligt. Avkastning för de grödor som jämförs med hampa har ett större intervall. Braun et al. (2008) redovisar exempelvis en avkastning på sockerbeta mellan 3-16 ton ha⁻¹ och 9-30 ton ha⁻¹ för majs. De resultat som Braun et al. (2008) har redovisat i form av metanproduktion är avsevärt högre än de värden som redovisas i Gissén et al. (2014) och Pakarinen et al. (2011). Gissén et al. (2014) och Pakarinen et al. (2011) utför sina odlingsförsök under nordiska förhållanden medan Braun et al. (2008) har sammanställt data från flera europeiska studier. Resultaten från de nordiska studierna är därmed mer relevanta för denna studie. Dock bör nämnas att med den förväntade temperaturökningen och förändrade väderförhållanden som redovisas kan en metanproduktion likt den i Braun et al. (2008) vara möjlig i Sverige. Vid alltmer ostabila väderförhållanden kommer högre krav att ställas på grödors anpassningsförmåga. Fortsatta antropogena utsläpp kommer att gynna hampas konkurrenskraft som energigröda i Sverige.

I studien av Berndes, Fredrikson och Börjesson (2004) nämns det att salix är en flerårig växt som skördas var fjärde till femte år. För en fullständig remediering så krävs det att salix odlas på marken i ca 10-20 år. Hampa är en ettårig växt vilket möjliggör en årlig skörd samt rotation av grödor för en mer lönsam fyto remediering. Hampas kadmiumackumulation är avsevärt högre än salix, men metoderna i de undersökta studierna skiljer sig vilket försvårar jämförelsen. Varierande kadmiumkoncentrationer i jord kan påverka grödornas ackumulationsförmåga. Ett annat exempel på metodvariation är vid förbehandling via steam explosion. Utförandet av förbehandling varierar, både i temperatur och tid. I Kreuger et al. (2010b) utvinns mer metan och etanol vid förbehandling av vete i 20 minuter gentemot 10 minuter. Utifrån detta kan det antas att en liknande ökning kan erhållas för hampa. Vid förbehandling via steam explosion kan relationen i mängd metan och etanol påverkas genom en förlängd process eller ökad temperatur.

Enligt Prade (2015) så bildas en så stor mängd aska vid förbränning av hampa att det inte lämpar sig som fast bränsle. Poiša et al. (2010) nämner även att mängden aska är ett problem vid förbränning av briketter och pellets. Prade et al. (2012a) redovisar en askhalt i hampa på under 2 % vid vårskörd vilket är likvärdigt de askhalter Syc et al. (2012) erhåller ur salix. I och med att salix används vid förbränning så får det antas att hampas askhalt inte är något hinder vid förbränning. Prade et al. (2012a) skriver att ett flertal askbildande ämne inte påverkas av hampasorten, geografiskt avgränsning eller mellan försöksåren medan Poiša et al. (2010) menar att askinnehållet påverkas av val av plats samt väderförhållanden.

Ett slutet kretslopp för biogas kräver en rening av rötresten. Genom avvattnings- och förbränningsprocesser kan föroreningar avlägsnas med rökgasrening och näringsämnen återförs till marken. Den begränsande faktorn för att få ett slutet kretslopp är kadmiumhalten i askan. Detta gäller även för användning av hampa som fast bränsle. Något gränsvärde för kadmiumhalt i aska har inte påträffats vilket gör det svårt att jämföra med annan typ av gödsling. Däremot bör nämnas att kadmiumhalten förväntas vara högre i askan än i vanlig mineralgödsel vilket kan göra det olämpligt för spridning på jordbruksmark. Askan bör därför spridas på mindre känsliga marker som skogsmark.

De studier vi jämfört har använt sig av flera olika sorter av *Cannabis sativa L.*, bland annat Fibranova (Citterio et al. 2003), Futura 75 (Prade et al. 2012a) och USO-31 (Linger et al. (2001), Linger, Ostwald och Haensler 2005). Mellan dessa Hampasorter finns variation i tillväxthastighet, mängd biomassa, fördelning av biomassa och så vidare. Detta kan i sin tur påverka den slutgiltiga produktens energiinnehåll. Resultatet varierar därefter med vilken sorts hampa som väljs att odla.

Biogasproduktion begränsas idag då en brist på styrmedel har resulterat i färre investeringar i biogas. Politiska beslut behöver fattas och styrmedel etableras inom biogassektorn för att se en lönsamhet. En sådan satsning skulle därmed ge möjlighet till en ökning av hampa som biogasproducent.

Felkällor

För att kunna jämföra resultaten från olika studier krävdes ibland bearbetning av värden för att kunna presentera data med samma enhet. Vid omvandling av värden kan fel ha gjorts. Värden kontrolleras därför noga för att undvika felaktigheter och få ett så trovärdigt resultat som möjligt. Resultaten i denna studie baseras på artiklar med en geografisk variation. Resultatet i sig kan påverkas då avkastning, fytoremedieringsförmåga med mera kan variera på grund av geografisk variation. Resultaten bedöms vara tillförlitliga trots denna variation då de studier utförda under nordiska förhållanden har erhållit liknande resultat. Biotillgängligheten i försöken kan variera då man använt sig av olika metoder för att bedöma växtens upptag av kadmium. Andel organiskt material hade i detta fall varit väldigt lämpligt att redovisa för samtliga studier men de flesta studier uppger inte detta.

Litteratursökningen har inte genomförts enligt någon fastlagd metod vilket kan påverka studiens tillförlitlighet. Trots en annorlunda metod så har omfattande sökningar genomförts och studien baseras på en stor mängd vetenskapliga artiklar skrivna av författare med en gedigen bakgrund inom respektive område. Därmed kan denna studie ses som tillförlitlig.

Källkritik

Resultaten i de sammanställda studierna är inte fullt enhetliga. En viss skillnad kan förväntas då ingen standard för genomförande är framtagen. Vissa studier utförs på åkermark (eg. Prade et al. 2012a), medan andra utförs i

kontrollerade miljöer där växten odlas i kruka (eg. Citterio et al. 2003). Vid odlingsförsök på åkermark kan resultatet variera på grund av odlingstidpunkt, topografi samt jordmån. Dessa faktorer påverkar i sin tur även energibalansen. Hampa är en tålig gröda men växten har ett optimalt odlingsintervall. Avvikelse ifrån detta intervall kan komma att påverka avkastningen samt dess lämplighet som energigröda. Yttre påverkan minskas genom att använda sig av odling i kruka. Denna typ av studie är lättare att replikera men är svår koppla till en verklig hampaodling. Några resultat är teoretiska och har endast tagits fram matematiskt baserat på reella värden ur den egna studien.

Kritik riktas mot ett flertal studier där teoretiska värden för etanolutvinning (Kreuger), energiutvinning per hektar (Prade et al. 2011b) och mängd ackumulerad förorening per växtperiod tagits fram utifrån resultat i studien. Även om de är matematiskt korrekta så kan teoretiska värden aldrig helt avspegla verkligheten. Vissa teoretiska värden kan ses som lite väl optimistiska, exempelvis Kreuger et al. (2010b) med en avkastning på 16 ton ha⁻¹. Även om 16 ton ha⁻¹ kan ses som möjlig (se Braun et al. 2008, Prade, Svensson och Mattsson 2012b) så är en mer realistisk avkastning idag runt 14 ton ha⁻¹.

Hänvisning till relevanta miljömål

Studien knyter an till ett flertal svenska miljömål. Miljömålen Giftfri miljö och Generationsmålet berörs då hampa kan rena jordbruksmark från bland annat kadmium, vilket annars skulle tas upp av livsmedelsgrödor och biomagnifieras till nästa generation. Vid användning av hampa som producent av fordonsbränsle berörs miljömålen Begränsad klimatpåverkan, Skyddande ozonskikt, Bara naturlig försurning och Frisk luft. En ökad användning av biogas och etanol som fordonsbränsle skulle minska utsläpp av växthusgaser som bidrar till uttunning av ozonskikt, ökad temperatur, antropogen försurning och sämre luftkvalitet. Odling av hampa minskar mängden biotillgängliga tungmetaller och andra miljöfarliga ämnen vilket hämmar infiltrering till grundvatten. Hampa kräver generellt mindre bekämpningsmedel än de grödor som odlas i Sverige idag vilket bidrar till att nå miljömålet Grundvatten av god kvalitet. Miljömålen Hav i balans samt levande kust och skärgård och Levande sjöar och vattendrag berörs då fosfor och kväve ackumuleras i växten istället för att föras vidare till recipienter där det är risk för övergödning. Hampaodling i Sverige sker på relativt få åkermarker och vid etablering av en hampaodling går vi ifrån det monokulturella jordbruket. Miljön kan gynna vissa arter och därmed bidra till en ökad biologisk mångfald. Hampa som en del i växtföljden kan rensa upp mark från ogräs samt oönskade ämnen vilket gör ekologisk odling möjligt. Detta tillsammans med hampas låga krav på bekämpningsmedel knyter an till miljömålet Ett rikt odlingslandskap.

Hållbarhetsaspekter

Hampas mångsidighet skulle öppna upp en helt ny marknad i Sverige. Nya arbetsmöjligheter inom jordbrukssektorn samt vid förädling av hampa skulle skapas. Då det idag redan är ett problem med kadmiumförorening är hampaväxten

ett bra alternativ för rening av mark. Ur ett ekonomiskt och etiskt perspektiv är det bättre att rena marken nu istället för att låta marken förbli förorenad. Därmed undviks stora påföljder hos den svenska befolkningen, djur- och växtliv samt naturen.

Etiska aspekter

Vid intervjutillfället informerades intervjupersonen om intervjuens syfte samt hur den skulle gå tillväga. Utöver detta har studien genomförts på teoretiskt grund och inga försök eller liknande har förekommit där etiska aspekter berörs.

Slutsats

En optimal energiutvinning ur miljösynpunkt vore att använda hampa till biogas då den högkvalitativa energin kan lagras och ger upphov till lägre koldioxidutsläpp vid framställning och användning. Om en slutsats skall dras enbart utifrån energibalans så är biogasproduktion av hampa inte lika ekonomiskt hållbart som förbränning av hampa. Däremot kan hampa anses vara lämplig som gröda vid biogasproduktion jämfört med energikrav och metanutvinning från andra grödor. En rening av avfall från biogasproduktion bör vara möjlig genom avvattning och förbränning av rötresten. Flera faktorer så som energikvalitet, bemötande av miljömål, användningsområde, möjlighet till slutet kretslopp m.m. måste tas hänsyn till för att en definitiv slutsats skall kunna dras.

Vi har kommit fram till att förbränning av hampa i kombination med fytoremediering idag är att föredra. Förbränning av hampa har visat på låga energikrav och rökgasrening är möjlig för att avlägsna föroreningar. Askan kan spridas på mark och därmed skapa ett slutet kretslopp. För en optimal fytoremediering bör dock hela växten med rötter avlägsnas. Detta är nödvändigt då hampa ackumulerar större delen av föroreningar i dess rötter och har en låg translokationsfaktor.

Förslag till fortsatt arbete

En studie som grundligt jämför hampa med salix är i dagsläget nödvändigt för att fastställa hampas lämplighet som energigröda och fytoremedieringsväxt i Sverige. Jämförelsen bör ta upp växternas avkastning, energiinnehåll, energiutvinning per år vid förbränning, askhalt vid förbränning, kadmiumkoncentration i askan, ackumulation av tungmetaller, translokationsfaktor, biokoncentrationsfaktor och en energibalans för de båda växterna. För en optimal användning av hampa bör det även genomföras en studie där metoder för rening av rötresten från kadmiumförorenad hampa undersöks.

Referenslista

Bauer, A., Bösch, P., Friedl, A., Amon, T. (2009). *Analysis of methane potentials of steam-exploded wheat straw and estimation of energy yields of combined ethanol and methane production*. Journal of Biotechnology 142: 50–55.

Berndes, G., Fredrikson, F., Börjesson, P. (2004) *Cadmium accumulation and Salix-based phytoextraction on arable land in Sweden*. Agriculture, Ecosystems and Environment 103: 207–223.

Bondesson, P.M., Dupuy, A., Galbe M., Zacchi, G. (2014). *Optimizing Ethanol and Methane Production from Steam-pretreated, Phosphoric Acid-impregnated Corn Stover*. Applied Biochemical Biotechnology 175: 1371–1388.

Braun, R., Weiland, P., Wellinger, A. 2008. *Biogas from energy crop digestion*. IEA Bionergy Task 37 – Energy from Biogas and Landfill Gas. [http://www.iea-](http://www.iea-biogas.net/_download/energycrop_def_Low_Res.pdf)

[biogas.net/_download/energycrop_def_Low_Res.pdf](http://www.iea-biogas.net/_download/energycrop_def_Low_Res.pdf) (Hämtad 2015-04-08)

Börjesson, P. (2004). *Energianalys av drivmedel från spannmål och vall*. Rapport: 54. Lunds tekniska högskola. Institutionen för teknik och samhälle. Avdelningen för miljö- och energisystem.

Citterio, C., Santagostino, A., Fumagalli, P., Prato, N., Ranalli, P., Sgorbati, S. (2003). *Heavy metal tolerance and accumulation of Cd, Cr, and Ni by Cannabis sativa L*. Plant and Soil 256: 243–252.

EEA. (2006). *How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?*

http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2006_7. (Hämtad 2015-03-17)

FAO/WHO. 2011. *Joint FAO/WHO food standards programme codex committee on contaminants in food*.

ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/CCCCF/cccf5/cf05_INF.pdf (Hämtad 2015-05-02)

Finnan, J., Styles, D. (2013). *Hemp: A more sustainable annual energy crop for climate and energy policy*. Energy Policy 58: 152-162.

Fortenbery, T.R., Bennett, M. (2004). *Opportunities for commercial hemp*. Review of Agricultural Economics 26 (1): 97-117.

Gissén, C., Prade, T., Kreuger, E., Nges, I.A. (2014). *Comparing energy crops for biogas production: Yields, energy input and costs in cultivation using digestate and mineral fertilisation*. Biomass and Bioenergy 64: 199–210.

Greger, M., Landberg, T. (2006). *Use of Willow in Phytoextraction*. International Journal of Phytoremediation 1 (2): 115-123. DOI: 10.1080/15226519908500010

Jordbruksverket. 2015. *Gårdsstöd för mark där du odlar hampa*.

<http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/stod/jordbrukarstod/gardsstod/villkor/markforodlingavhampa.4.57971bc14bbfb4901e21a8b.html> (Hämtad 2015-03-19)

Karlsson, A. 2013. *Odling av hampa i Sverige*. Jordbruksverket.

<https://jordbruketisiffror.wordpress.com/2013/08/05/odlingen-av-hampa-i-sverige/> (Hämtad 2015-01-29).

Kemikalieinspektionen. 2011. *Kadmiumhalten måste minska– för folkhälsans skull*.

https://www.kemi.se/Documents/Publikationer/Trycksaker/Rapporter/KemI_Rapport_1_11.pdf (Hämtad 2015-02-24).

Kolarikova, M., Havrland, B., Ivanova, T. (2013). *Energy Balance of Hemp (Cannabis sativa L.) Grown for Energy Purposes*. Agricultura Tropica et Subtropica 46 (1): 10–15.

Kreuger, E. (2012). *The potential of industrial hemp (Cannabis sativa L.) for biogas production*. Diss., Lunds universitet.

Kreuger, E., Prade, T., Escobar, F., Svensson, S.E., Englund, J.E., Björnsson, L. (2010a). *Anaerobic digestion of industrial hemp - Effect of harvest time on methane energy yield per hectare*. Biomass and bioenergy 35: 893–900.

Kreuger, E., Sipos, B., Zacchi, G., Svensson, S.E., Björnsson, L. (2010b). *Bioconversion of industrial hemp to ethanol and methane: The benefits of steam pretreatment and co-production*. Bioresource Technology 102: 3457–3465.

Kuglarz, M., Gunnarsson, I.B., Svensson, S.E., Prade, T., Johansson, E., Angelidaki, I. (2014). *Ethanol production from industrial hemp: Effect of combined dilute acid/steam pretreatment and economic aspects*. Bioresource technology 163: 236–243.

Ling, T., Jun, R., Fangke, Y. (2011). *Effect of cadmium supply levels to cadmium accumulation by Salix*. International Journal of Environmental Science & Technology 8 (3): 493-500.

- Linger, P., Müssig, J., Fischer, H., Kobert, J. (2001). *Industrial Hemp (Cannabis sativa L.) growing on heavy metal contaminated soil: fibre quality and phytoremediation potential*. Industrial Crops and products 16: 33–42.
- Linger, P., Ostwald, A., Haensler, J. (2005). *Cannabis sativa L. growing on heavy metal contaminated soil: growth, cadmium uptake and photosynthesis*. Biologica Plantarum 49 (4): 567–576.
- Naturvårdsverket. 2015. *De svenska miljömålen*. <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/>. (Hämtad 2015-02-04)
- OKEO-TEX. 2015. *Limit values and fastness*. https://www.oeko-tex.com/en/manufacturers/test_criteria/limit_values/limit_values.html (Hämtad 2015-05-02)
- Pahkala, K., Pahkala, E., Syrjälä, H. (2008). *Northern Limits to Fiber Hemp Production in Europe*. Journal of industrial Hemp 13 (2): 104–116.
- Pakarinen, A., Maijala, P., Stoddard, F.L., Santanen, A., Tuomainen, P., Kymäläinen, M., Viikari, L. (2011). *Evaluation of annual bioenergy crops in the boreal zone for biogas and ethanol production*. Biomass and bioenergy 35: 3071–3078.
- Poiša, L., Adamovičs, A. 2011. *Evaluate of hemp (Cannabis sativa L.) quality parameters for bioenergy production*. Proceedings of the 10th international Scientific Conference (pp. 358-362) Engineering for Rural Development, Jelgava, Latvia, 26-27 May 2011. http://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2011/Papers/066_Poisa.pdf (Hämtad 2015-04-16)
- Poiša, L., Adamovičs, A., Jankauskiene, Z., Gruzdeviene, E. 2010. *Industrial hemp (Cannabis sativa L.) as a biomass crop*. Proceedings of the 14th Ramiran International Conference, of the FAO ESCORENA network on the Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, Lisboa, 13-15 September 2010. http://lathemp.lv/wp-content/uploads/2010/11/Ramiran2010_0155_final_Poisa_-Adamovics.pdf (Hämtad 2015-04-09)
- Prade, T (2011a). *Industrial hemp (Cannabis sativa L.) – a high-yielding energy crop*. Diss., Sveriges lantbruksuniversitet.
- Prade, T., Finnell, M., Svensson, S.E., Mattson, J.E. (2012a) *Effect of harvest date on combustion related fuel properties of industrial hemp (Cannabis sativa L.)*. Fuel 102: 592–604.
- Prade, T., Svensson, S.E., Andersson, A., Mattson, J.E. (2011b). *Biomass and energy yield of industrial hemp grown for biogas and solid fuel*. Biomass and bioenergy 35: 3040–3049.

Prade, T., Svensson, S.E., Mattsson, J.E. (2012b). *Energy balances for biogas and solid biofuel production from industrial hemp*. Biomass and bioenergy 40: 36–52.

Prade, Thomas; Teknologiedoktor vid Sveriges Lantbruksuniversitet. 2015. Intervju 10 mars.

Robinson, B.H., Mills, T.M., Petit, D., Fung, L.E., Green, S.R., Clothier, B.E. (2000). *Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: Implications for phytoremediation*. Plant and soil 229: 301-306

Shi, G., Cai, Q. (2009). *Cadmium tolerance and accumulation in eight potential energy crops*. Biotechnology Advances 27: 555–561.

Shi, G., Liu, C., Cui, M., Ma, Y., Cai, Q. (2011). *Cadmium Tolerance and Bioaccumulation of 18 Hemp Accessions*. Applied Biochemistry and Biotechnology 168: 163–173.

Soth, J. (2008). *Hållbar odling av växter till textil*. Stockholm: Naturskyddsföreningen. Elektronisk. Tillgänglig: <http://www.naturskyddsforeningen.se/upload/alternativafibrer.pdf> (Hämtad 2013-08-14)

Svensson, S.E. (2006). *Växtnäring från avlopp ger mer hållbar produktion av ettåriga energi- och fibergrödor*. Sveriges lantbruksuniversitet: 2006:12.

Syc, M., Pohorely, M., Kamenikova, P., Habart, J., Svoboda, K., Puncochar, M. (2012). *Willow trees from heavy metals phytoextraction as energy crops*. Biomass and Bioenergy 37: 106–113.

Utmazian, M.N., Wenzel, W.W. (2007). *Cadmium and zinc accumulation in willow and poplar species grown on polluted soils*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 170: 265-272.

Bilagor

Statement of Contribution

Studien har sammanställts med båda författare närvarande med undantag för kapitlen ”Förutsättning för växt”, ”Energi” och ”Miljö”. Martin Johansson har haft huvudansvar för kapitlen ”Förutsättning för växt” samt ”Energi”. Philip Martell har haft huvudansvar för kapitlet ”Miljö”.

Philip Martell

Martin Johansson



Besöksadress: Kristian IV:s väg 3
Postadress: Box 823, 301 18 Halmstad
Telefon: 035-16 71 00
E-mail: registrator@hh.se
www.hh.se