



Miljöeffekter vid primärproduktion av biobränslen

ER 2009:12



Böcker och rapporter utgivna av Statens
energimyndighet kan beställas via
www.energimyndigheten.se
Orderfax: 08-505 933 99
e-post: energimyndigheten@cm.se

© Statens energimyndighet

ER 2009 12

ISSN 1403-1892

Förord

Energimyndigheten har i uppdrag att skapa ett effektivt och hållbart energisystem. I strävan att klara såväl klimatmål som mål om ökad andel förnybara bränslen så kan biobränslen få en allt större betydelse i energisystemet framöver. En ökad användning av biobränslen kan dock komma att förändra vad som tas ut ur skogen och vad som odlas på jordbruksmark. Vilka miljöeffekter har olika växtsystem för biomassa som kan nyttjas som biobränsle? Mer kunskap behövs dessutom om de miljöeffekter nya grödor, som kan komma in i det svenska landskapet, har. En annan viktig fråga är vilket utbud av biobränsle vi ekonomiskt kan räkna med i Sverige idag, och vilka ekonomiska förutsättningar det finns för att nyttja mer biobränsle?

På uppdrag av Energimyndigheten har forskare från Linköpings universitet och Luleå tekniska universitet på var sitt håll undersökt olika aspekter av uttag av biomassa för bioenergiändamål. Rapporterna skiljer sig åt i sin karaktär då forskarna från Linköpings universitet undersökt miljöeffekter ur ett ekologiskt perspektiv (ER 2009:12) och forskaren från Luleå tekniska universitet haft en nationalekonomisk utgångspunkt (ER 2009:13). Rapporterna kompletterar varandra i syfte att skapa en större förståelse för utvecklingsmöjligheterna för den svenska bioenergiproduktionen.

Föreliggande rapport är framtagen av Johan Bergstedt, Lars Westerberg och Karin Tonderski från Linköpings universitet.

Författarna ansvarar själva för analyser och slutsatser.



Charlotte Billgren
Handläggare
Energimyndigheten

Innehåll

Sammanfattning	7
1 Introduktion	11
1.1 Syfte, avgränsningar och definitioner	12
1.2 Miljöeffekter	13
2 Biobränslen från jordbruksmark och deras miljöeffekter	19
2.1 Traditionella jordbruksgrödor	20
2.2 Hampa	22
2.3 Halm	22
2.4 Perenna gräsmarker	23
2.5 Salix	26
2.6 Populus	28
3 Biobränslen från skogsmark och deras miljöeffekter	31
3.1 Intensiv-odling av gran	31
3.2 GROT	33
3.3 Stubbrytning	34
4 Akvatisk biomassa	37
4.1 Kollagring	37
4.2 Kompaktering	37
4.3 Näringsläckage	37
4.4 Bekämpningsmedel	38
4.5 Landskapsdiversitet	38
4.6 Biodiversitet	38
5 Sammanställning	39
6 Diskussion och slutsatser	43
6.1 Traditionella jordbruksgrödor	43
6.2 Perenna gräsmarker	44
6.3 Energiskog	45
6.4 Avverkningsrester	46
6.5 Intensivodling av gran	47
6.6 Akvatiska biobränslen	48
7 Slutsatser och viktiga kunskapsluckor	49
Litteratur	51

Sammanfattning

Sverige har ett politiskt mål att skogs- och jordbrukets produktion av förnybar energi ska öka. Flera av de traditionellt odlade ettåriga grödorna kan användas till biobränsle, t.ex. vete, raps och sockerbetor, men även helt andra grödor är intressanta. Förutom en ökning av arealen *Salix*-odling diskuteras odling av växter som vi tidigare inte odlat, t.ex. hampa, poppel och asp, samt intensivodling av gran. Även rörfen och gräsmarker med flera arter kan bli aktuella. De gamla odlingssystemens miljöeffekter är väl kända men vad de nya innebär för miljön är ganska dåligt känt. I denna rapport sammanställs kunskapsläget rörande miljöeffekter av primär biobränsleproduktion i Sverige. Utifrån antagandet att referensgrödan är en plöjd åker diskuteras de grödor som kan komma att odlas på jordbruksmark. För skogsmarken analyseras GROT, stubbrytning och intensivodlad gran. De miljöeffekter som behandlas är kollagringen i marken, kompaktering (med medföljande erosionsproblem), näringsläckage, bekämpningsmedel, landskapsdiversitet, och biodiversitet. Diversiteten diskuteras i ett lokalt och regionalt perspektiv, men för de övriga handlar det om de lokala effekterna.

För jordbruksmarken framstår det tydligt att en omställning till perenna grödor skulle ha huvudsakligen positiva lokala effekter. En ökning av arealen *Salix* skulle lokalt medföra en minskning av näringsläckaget, användningen av bekämpningsmedel och problemen med kompaktering, samt en ökning av kollagringen i marken. Även den biologiska diversiteten skulle påverkas positivt av ett ökat *Salix*-inslag eftersom andra arter gynnas av en trädgröda. Studier visar dock att den högsta positiva effekten uppnås i gränzonen mellan öppen mark och *Salix*-odlingar. En slutsats är därför att det vore mest positivt att lokalisera *Salix* i mindre odlingar väl fördelade i ett öppet landskap. En potentiell nackdel är behovet av att hägna in odlingarna för att skydda mot betande djur. Staketet kan både upplevas negativt och få en barriäreffekt för olika djurgruppers spridning om de förekommer över stora områden. Det är alltså tydligt att skal- och lokaliseringsfrågan har en central betydelse. En kraftig ökning av *Salix*-odlingen på skogsbygdens jordbruksmark skulle upplevas som negativt och förmodligen även få negativa effekter för den biologiska mångfalden, medan den i slättbygden kan få en positiv effekt på såväl den biologiska mångfalden som landskapsbilden.

Odling av asp och poppel skulle ha en större positiv påverkan på biodiversiteten eftersom de odlingarna skördas med längre intervall. Övriga effekter är förmodligen jämförbara med *Salix*. Här födras dock mer studier av såväl effekter som produktionspotential.

Andra intressanta perenna system som i de flesta avseenden är jämförbara med *Salix* vad gäller miljöeffekter är odling av rörfen (*Phalaris arundinaceae*) och gräsmarker med flera arter. Särskilt de senare har lyfts fram på senare år eftersom de är mer tåliga mot störningar, kan ge en hög och jämn produktion och i många

landskap har en mer positiv effekt på den biologiska mångfalden och landskapsdiversiteten än *Salix*.

Gödslade flerartssystem är dock i stort sett ostuderade i Sverige både vad avser produktionspotential och miljöeffekter. Man kan dock anta att de liknar gödslade gräsvallar vad gäller faktorer som näringsläckage, kollagring och kompaktering.

Vad gäller skogsmarken så innebär alla uttag av avverkningsrester att man påverkar den biologiska mångfalden negativt. Det finns ett ökande antal forskningsresultat som visar att även klenare död ved har stor betydelse, både som substrat för organismer och som skydd mot sol och vind. Särskilt viktigt är det att lämna kvar GROT från lövträd efter avverkningen. Däremot kan ett ökat GROT-uttag sannolikt komma att upplevas som positivt eftersom hyggena blir mer framkomliga och ser ”städade” ut. Negativa miljöeffekter av GROT-uttag är att kollagringen i marken minskar samt att man får en minskning av markens buffringsförmåga mot försurning och en gradvis utarmning av närsalt-förrådet. Alla dessa effekter gäller även stubbrytning. Förmodligen får man en reell minskning av kollagret i marken i många litet torrare marker, eftersom nedbrytningen snabbas på i de blottlagda markprofilerna.

Vad gäller intensivodling av gran på skogsmark så resulterar gödningen i ett ökat kväveläckage, medan kolinnehållet i marken verkar öka. Eftersom omloppstiderna kortas innebär det risk för ökad kompaktering och en snabbare minskning av markens buffrande katjon-förråd. Återföring av katjoner är sannolikt nödvändigt för att motverka en ökande försurning. Effekten av intensivodlad gran på biodiversiteten är inte undersökt, men eftersom granarna växer tätt kommer markfloran att minska. Skulle granen odlas på åkermark skulle den bidra till att försura marken, men innebära att kollagret ökar samt problemen med kompaktering minskar. Beroende på vilken odlingsregion vi diskuterar skulle den kunna utgöra ett nytt habitat och på det sättet öka diversiteten. Det borde dock vara mer intressant att odla lövträd, t.ex. björk, på åkermark eftersom dess densitet och värmevärde inte blir lägre när den växer fortare, vilket är fallet med granen. Sammanfattningsvis kan dock sägas att mer studier av de långsiktiga effekterna av intensivt odlade träd behövs snarast, och att lövträd som t.ex. björk borde ingå i sådana undersökningar.

En slutsats av studien är att man generellt får många positiva miljöeffekter av att ställa om jordbruksmarken till perenna grödor för bioenergi, åtminstone i viss omfattning. Däremot medför ett ökat uttag av primär bioenergi från skogen huvudsakligen negativa miljöeffekter. Storleken på effekterna är starkt kopplade till hur mycket och var man odlar/skördar, varför studier av skalproblematiken snarast borde genomföras. Det gäller såväl näringsläckage som påverkan på den biologiska och landskapsmässiga mångfalden. Användning av ekologiska och geografiska modeller kan vara effektiva verktyg för att generera olika scenarier. Störst potential av alla grödor tycks dock de akvatiska systemen ha med skörd av alger och blågröna bakterier, vilket förmodligen skulle ha huvudsakligen positiva

effekter på de övergödda sjöar från vilka de skulle skördas. Inga sådana studier finns dock. Här krävs även mer studier av hur det rent tekniskt skulle gå till och om det är ekonomiskt försvarbart.

1 Introduktion

Sedan energikrisen på 1970-talet har Sverige försökt minska sitt beroende av fossila bränslen. Idag står till exempel kärnkraft, vattenkraft och, till en mindre del, vindkraft för praktiskt taget all elproduktion. Då var det osäkerheten i tillgången på fossila bränslen som drev utvecklingen. Idag är det den ökande medvetenheten om koldioxidutsläppens påverkan på klimatet som ytterligare stärkt intresset för att minska användandet av fossilt bränsle. Det har, bland annat, inneburit ett ökande intresset för biobränslen.

När det slutliga målet för att odla en gröda inte längre är den traditionella (mat, tekniska produkter, råvara till massafabriker och sågverk) behöver grödan utvärderas med avseende på andra egenskaper. Då erfarenhet och kunskap om odling är starkt förknippad med traditionella grödor och deras odling så har dessa ett försprång, men intresset har även riktats mot nya grödor och produktions-system, i vissa fall nygamla, såsom t.ex. skottskogsbruk. Intresset för biobränslen har inneburit en förändrad användning av traditionella grödor och att nya grödor introducerats, eller kommer att introduceras, i Sverige.

De gamla odlingssystemens miljöeffekter är väl kända men vad de nya innebär för miljön är ganska dåligt känt. Framförallt om nya grödor ska introduceras i stor skala så behöver vi kunskap om miljöeffekterna av dessa grödor. Till exempel så har en energiskog på jordbruksmark en helt annan effekt på miljön än en veteåker, men vari ligger skillnaden och hur stor är den? En förändring av sättet att bruka marken kommer att påverka de totala utsläppen av växthusgaser, t.ex. har 20-25% av de totala utsläppen av växthusgaser i världen visats komma från att markanvändningen förändrats (Totten *et al.* 2003). När det gäller skogar så vet vi att ett intensivare utnyttjande kommer att utgöra ett hot mot den biologiska mångfalden i dessa (Cook *et al.* 1991).

En mängd undersökningar och utredningar har gjorts för att sammanställa vilka potentialer det finns för biobränsleproduktion i Sverige (Christersson 1990, Ericsson & Larsson 2006, Hagström 2006, Jordbruksverket 2006, Larsson 2006). En del av dessa har beräknat hur stor produktion av olika biobränslen som är biologiskt möjlig (PROFU 2007), medan andra fokuserat på ekonomiskt möjlig produktion (Lundmark 2007). En del av dem har också tittat på miljökonsekvenserna av ett eller flera biobränslen. Med tanke på att Sveriges Riksdag har beslutat om 16 miljömål där många kommer att beröras av en ökad produktion av biobränslen är det angeläget med en sammanställning av de olika miljökonsekvenser som är förknippade med de olika biobränslena. Inte minst de lokala miljöeffekterna av olika system för att producera biobränslen måste utvärderas. För att kunna fatta bra beslut om framtida resursanvändning så måste de bygga på kunskap om både den ekonomiska och ekologiska hållbarheten hos olika alternativ.

1.1 Syfte, avgränsningar och definitioner

Syftet med denna rapport är att sammanställa relevanta studier av miljöeffekter av primär biobränsleproduktion med en nationell utgångspunkt. Med primär biobränsleproduktion menas att detta inte är en livscykelanalys av olika biobränslen, utan rapporten handlar om lokala miljöeffekter av produktion inom jord- och skogsbrukssektorn där den huvudsakliga målsättningen är att producera energi.

En annan utgångspunkt har varit att arealfördelningen mellan skog- och jordbruksareal inte förändras nämnvärt. Miljöeffekterna av en ökad produktion av biobränslen är beroende av skalan. Skulle Sveriges markanvändning förändras kraftigt så ändras också förutsättningar för en mängd miljörelaterade företeelser, framförallt om skogsmark ställs om till jordbruksmark eller tvärtom. Grödor som odlas på skogs- respektive jordbruksmark skiljer sig åt. Skogsmarken har en betydligt större areell utbredning och markerna har delvis olika miljöproblem. I rapporten behandlas markslagen separat.

Den förväntade temperaturstegringen under innevarande sekel kommer troligen att påverka såväl biomasproduktionen som de miljöeffekter produktionen av biobränslen ger upphov till. Temperaturökningens effekt är inte skattad i denna studie.

Enligt Svenska Standardiseringsinstitutet (SIS) är biobränsle ”bränsle där biomassa är utgångsmaterial. Bränslet kan ha genomgått en kemisk eller biologisk process eller omvandling och ha passerat annan användning.” Med biomassa avses ”material med biologiskt ursprung som inte eller i endast ringa grad omvandlats kemiskt eller biologiskt.” Enligt Jordbruksverket (2006) innebär det att biobränslen kan delas in i fem undergrupper:

- Trädbränslen, trädråvara från skogen som inte genomgått någon kemisk process. Hit hör avverkningsrester, klenvirke, bark, spån samt träpulver, pellets och briketter.
- Returlutar, vilket är den biprodukt från massaindustrin som bildas när träflis kokas till pappersmassa.
- Agrara bränslen eller åkerbränslen från jordbruket. Hit räknas t.ex. energiskog, energigräs, halm och spannmål för etanoltillverkning.
- Torvbränsle görs av torv, som är ofullständigt nedbruten biomassa.
- Biobränslen från sorterat avfall, vilket vanligen eldas i avfallsförbränningsanläggningar. Rötgas från reningsverk och deponigas hör också hit.

Då rapporten handlar om lokala miljöeffekter av primärproduktion av biobränslen så täcker den två av ovanstående grupper: trädbränslen och agrara bränslen. Till avverkningsrester räknas också stubbar när dessa bryts för energiutvinning. Biobränslen som hushållsavfall eller restprodukter inom massa- och sågverks-

industrin till energiproduktion tas inte upp, då de är restprodukter från verksamhet som inte primärt är inriktad på att producera energi. Däremot diskuteras en del idéer som ännu inte realiserats, t.ex. energiproduktion från växtplankton (algblomningar, algodlingar).

Med *Salix* menas olika arter och kloner av vide ur släktet *Salix*. *Populus* avser både asparter och poppelarter samt olika kloner av dessa, *Populus* är det vetenskapliga släktnamnet.

När en gröda får ett nytt användningsområde påverkas inte de miljömässiga konsekvenserna av att odla grödan. Därför har vi valt att i rapporten klassa grödorna efter hur stor risk för negativa miljökonsekvenser eller konsekvenser som motverkar ett miljöproblem de innebär.

Vi presenterar också en metod för att jämföra ekologiska effekter mellan olika produktionssystem. Slutligen sammanställs också kunskapsluckor och behov av ytterligare forskning kring miljöeffekter av att odla biobränslen.

1.2 Miljöeffekter

Med miljöeffekter avses i denna rapport önskade och oönskade lokala ekologiska följder eller miljöeffekter av odling och/eller skörd av biobränslen. Med lokala följder menas det som påverkas i odlingen och dess omedelbara närhet. Miljöeffekter kan vara av många olika slag och ha kort- eller långvarig effekt på miljön. Vissa kan också ha effekt på miljöer både nära och långt ifrån odlingen, t.ex. näringsläckage med övergödning som följd. Vi har koncentrerat oss på effekter som direkt relaterar till de miljömål som Sveriges riksdag satt upp samt effekter som kan påverka markens långsiktiga produktionsförmåga.

De miljöeffekter som undersökts är de som är förknippade med produktionen, dvs. med odling och skörd, medan effekter av transporter, det industriella processandet av råvaran eller med omhändertagandet av restprodukter från detta inte täcks av denna rapport. Vissa insatser i produktionen är svåra att bedöma. Dit hör drivmedel till maskiner som används vid odling och skörd, då drivmedlen är ett val som varje markägare eller entreprenör själv beslutar om. Avgaserna kommer att spridas över stora områden tillsammans med avgaser från övriga samhället, och att försöka uppskatta de miljömässiga effekterna från de avgaser som enbart hör ihop med produktionen av biobränslen har bedömts ligga utanför målet för rapporten.

Det är känt att olika odlingssystem ger olika emissioner av växthusgaserna metan och lustgas. Det finns dock inget kunskapsunderlag för att bedöma skillnader i detta avseende mellan de olika grödor och skördesystem som analyseras i denna rapport. En viktig faktor för hur stora emissionerna av lustgas blir är hur mycket och på vilket sätt gödsling sker, varför ett antagande kan vara grödor och skördeuttag som innebär en minskad gödsling torde medföra en minskad lustgasemission från en given yta och vice versa för ökad gödsling. Metanemissioner får vi från

jordar med högt vatteninnehåll, men det är känt att olika växtarter påverkar emissionernas storlek. En ökad odling av vattentåliga arter som t.ex. *Salix* och rörflen (*Phalaris arundinaceae*) på blöta marker skulle kunna medföra förändrade emissioner från dessa områden, men i vilken riktning går inte att bedöma.

Om extra näring tillförs odlingarna så är det av stor betydelse vilken typ av gödselmedel som används. Användning av stallgödsel medför emissioner av växthusgasen N₂O och den försurande gasen ammoniak (NH₃). Även vid framställningen av oorganiska gödselmedel (handelsgödsel) avges N₂O till atmosfären (Elmqvist & Strid Eriksson 2000, Gunnarsson *et al.* 2000). För att framställa handelsgödsel åtgår det mycket energi, energi som idag, i stor utsträckning, kommer från fossila bränslen. Som gödningsmedel används också rötslam, en restprodukt från reningsverken som kan innehålla tungmetaller (kadmium). Här är det återigen den enskilde brukaren som avgör vilken typ av gödsel som används och det kan ha stor betydelse för vilken miljöpåverkan energi-grödan har.

Generellt gäller förmodligen att erosion är ett större problem för årliga grödor än för perenna men då ingående studier av skillnader i detta hänseende inte finns för svenska förhållanden så kommer inte detta att skildras mer ingående i rapporten.

Kalkning av skogsmark har framförts som en åtgärd för att stoppa den pågående försurningen. Flera av våra vanliga trädslag, bland annat gran och tall, bidrar genom nedbrytningen av de avfallna barren till en sänkning av pH i skogsmarken. Detta är det som räknas till den naturliga försurningen men det sura nedfallet från luften tillsammans med skörd av skogsbiomassa bidrar till ytterligare en sänkning. I rapporten diskuteras försurning enbart i samband med biobränslen från skogsmark och intensivodlad gran från jordbruksmark.

I hur stor omfattning som mark kommer att tas i anspråk för odling av biobränslen är idag oklart, men det har en stor betydelse för en mängd miljöeffekter. Att införa en trädgröda som *Salix* eller asp i ett jordbrukslandskap har i stor utsträckning positiva effekter på biodiversitet, näringsläckage, etc. Men skulle *Salix* odlas i en skala som gör den till den dominerande grödan så innebär varje ökning av odlingsarealen en negativ belastning för den biologiska mångfalden. I rapporten utgår vi ifrån att en ny gröda, t.ex. en trädgröda i ett jordbrukslandskap, inte kommer att odlas i sådan omfattning att den nya grödan kommer att dominera landskapet.

Biobränslena har olika krav på den miljö de odlas i, vilket innebär att de inte kan odlas var som helst i Sverige. Förutom regionala skillnader i klimat, så betyder lokala skillnader i vattentillgång, jordart, etc., mycket vid valet av gröda. Denna aspekt täcks inte av rapporten.

1.2.1 Kollagring

Mängden kol i marken är en stor del av kolets kretslopp, globalt är mängden kol i marken ungefär dubbelt så stor som i atmosfären och tre gånger så stor som i den levande biomassan (Eriksson *et al.* 2007). Om kolet minskar i marken så ökar det på andra platser i kolets kretslopp, däribland i atmosfären, vilket innebär en förstärkt växthuseffekt.

Organiskt material i jorden bevarar jordens produktionsförmåga genom att minska näringsläckaget och förbättra jordens struktur eftersom porositeten ökar med halten organiskt material. I en jord med ett högt organiskt innehåll kan också växter lättare etablera sig eftersom rotsystemet lättare tränger igenom jorden (Patzek & Pimentel 2005). Vilken gröda som väljs påverkar mängden lagrad kol i marken, och generellt kan sägas att fleråriga grödor ökar mängden kol i jorden och att markbearbetning (plöjning, markberedning, stubbrytning) minskar den.

En fullständig kolbalans för varje biobränsle skulle, förutom vad odlingen och grödan i sig påverkar, även kräva kunskap om vilket bränsle som används till maskinparken i det aktuella odlingsystemet, om, och i så fall vilka, gödselmedel som används. Dessutom skulle användningsområdet för den producerade biomassan (etanol-tillverkning, förbränning, rötning, etc.) och vad som sker med restprodukterna (Eriksson *et al.* 2007) ingå i en sådan analys. En sådan livscykelanalys ligger utanför målsättningen med denna rapport.

Kolbalansen har en direkt effekt på miljömålet Begränsad klimatpåverkan och en indirekt på många av de andra, då en förstärkt växthuseffekt påverkar miljömål som Storslagen fjällmiljö, Ett rikt växt- och djurliv, Hav i balans samt levande kust och skärgård, etc.

Med kollagring avses här hur grödan påverkar storleken på kollagret i marken.

1.2.2 Kompaktering

Användandet av tunga maskiner i odling innebär risker för kompaktering av jorden vilket har flera negativa konsekvenser. Bland annat så minskar markens porositet som är grundläggande för en jords vattenhållande förmåga och därigenom markens produktionskapacitet (Patzek & Pimentel 2005). När markens porositet minskar ökar ytavrinningen vilket innebär risk för erosion och att mer näring och eventuella bekämpningsmedel spolats med ut i vattendrag. I Sverige har skördeminskningar på upp till 15 % uppmätts till följd av kompaktering (FAKTA 2001).

Kompaktering har en effekt på miljömål som Ingen övergödning, Ett rikt odlingslandskap, Giftfri miljö, Ett rikt växt- och djurliv, Grundvatten av god kvalitet, etc.

Med kompaktering avses här hur odlingen av de aktuella grödorna påverkar risken för kompaktering.

1.2.3 Näringsläckage

Generellt kan sägas att när mängden uttagen biomassa ökar per ytenhet så förkortas tiden tills att produktionen kommer att minska om inga insatsvaror tillförs. Det innebär att, ju mer biomassa som skördas per tidsenhet, desto tidigare behöver näring tillsättas för att upprätthålla produktionsförmågan. Att minska övergödningen är ett prioriterat miljömål i Sverige.

I jordbruket krävs extra näringstillförsel varje år oavsett gröda för att nå ekonomiskt rimliga skördar. Det kan vara naturgödsel, handelsgödsel eller rötslam, gemensamt är att tillsättande av gödningsmedel för att öka produktionen ökar risken för näringsläckage till grundvatten, vattendrag, sjöar och slutligen havet. En ytterligare riskfaktor är ofta markbearbetningen, då näringsläckaget är högst från obeväxt mark. Storleken på näringsläckaget varierar vidare med en mängd andra faktorer som t.ex. val av tidpunkt för gödslingen, hur gödningen tillförs, hur vädret blir direkt efter näringstillförseln (kraftigt regn ökar utlakningen), vilken växtföljd man odlar efter, vilket gödningsmedel som används, typ av gödsel m.m. Dessa faktorer är dock inte specifika för en viss gröda, utan de stora skillnaderna ligger i behovet av gödning och markbearbetning. Därför har dessa två faktorer legat till grund för bedömningen av näringsläckaget från grödor på jordbruksmark.

Från traditionellt brukad skogsmark är det vid avverkning som det förekommer läckage av kväve till omgivande vattendrag. Tillvaratagande av grenar och toppar från skogsbruket innebär dock ett ökat biomassauttag, och därmed näring, från skogen. Det har inneburit att behovet av kompensationsgödsling har diskuterats och försök med askåterföring har gjorts. Omfattande gödsling av skogsmark har också gjorts vid försök med intensivodling av gran. Man har även utfärdat varningar för ett ökat läckage av kväve från skogsmark som en följd av deponeringen av kväve från luftföroreningar (Akselsson *et al.* 2007).

Näringsläckage har framförallt en effekt på miljömålet Ingen övergödning och därigenom även på målen Levande sjöar och vattendrag, Ett rikt odlingslandskap och Ett rikt växt- och djurliv.

Här avses hur stor risk för näringsläckage som är förknippad med odling av olika biobränslen.

1.2.4 Bekämpningsmedel

Beroende på gröda kan behov av bekämpning av patogener av olika slag (insekter, svampar, ogräs) förekomma. Olika typer av kemiska bekämpningsmedel används och alla är förenade med risker, både för miljön och för odlaren (Nilsson 2001). De kan spridas via vatten och luft till omgivningen och därigenom ge upphov till negativa miljökonsekvenser. Ett bekämpningsmedel kan också ha oförutsedda effekter på annat organiskt liv än det som är målet för medlet, t.ex. har det visats att ett ogräsmiddel, glyfosat, även har en negativ effekt på kvalster i jorden (Minor *et al.* 2004). Riskerna med bekämpningsmedel är svåra att kvantifiera och bero-

ende av förutsättningar som jordart, behandlingstidpunkt, behandlingsteknik och väderlek. Men då inga kemiska bekämpningsmedel är ofarliga ur miljösynpunkt så är det, ur miljösynpunkt, eftersträvansvärt att minska av användande av dem.

Bekämpningsmedel har en direkt effekt på miljömålet Giftfri miljö och därigenom på flera av de andra.

I rapporten görs inga graderingar av olika bekämpningsmedel utan här avses i hur stor utsträckning som kemiska bekämpningsmedel som grupp används, eller beräknas användas, vid odling av de aktuella grödorna.

1.2.5 Landskapsdiversitet

För att odling av biobränslen ska få ett bra genomslag måste dessa grödor och odlingssystem accepteras av brukare och allmänhet. Det öppna jordbrukslandskapet, mellanbygden med sitt småbrutna landskap och skogsbygderna i Sverige är landskapstyper som många skulle ha svårt att se radikalt förändrade. Samtidigt vet vi att en större strukturell diversitet är bra för den biologiska mångfalden.

Landskapsdiversitet påverkar miljömål som Ett rikt odlingslandskap och Levande skogar.

Med landskapsdiversitet avses här hur olika odlingar av olika biobränslen påverkar landskapsbilden.

1.2.6 Biodiversitet

Att bevara den biologiska mångfalden är ett viktigt mål i Sveriges miljöarbete. Den biologiska mångfalden reflekteras bland annat av en mångfald av habitat. Därför är det en stor skillnad på att anlägga en odling baserad på trädbränslen i ett jordbrukslandskap och att plantera igen den sista åkerlappen i ett skogsdominerat område. Fragmentering av habitat, dvs att habitatet blir uppdelat i allt mindre enheter som ligger allt längre ifrån varandra, kan också innebära att arter får problem med sin överlevnad.

Den biologiska mångfalden är en skattning av hur de aktuella biobränslena påverkar miljömålen Ett rikt växt- och djurliv, Ett rikt odlingslandskap, Levande skogar, etc.

Här avses med biodiversitet hur den biologiska mångfalden ändras på landskapsnivå, t.ex. då en energiskog anläggs i ett slättlandskap dominerat av jordbruk, men också hur en gröda är associerad med andra arter.

2 Biobränslen från jordbruksmark och deras miljöeffekter

Jordbruksmark är det markanvändningsslag som idag är mest i fokus när det gäller odling av flertalet av de grödor som diskuteras när biobränsleproduktion är huvudmål. Förutom att många traditionella jordbruksgrödor är intressanta ur bioenergisympunkt så odlas även energiskog av vide (*Salix*) på tidigare åkermark. Asp och poppel (*Populus*) planeras också att odlas på marker tidigare använda i jordbruksproduktionen. Två viktiga skäl till att jordbruksmark i allt högre grad kommer att användas för energiproduktion är den fortlöpande produktivitetsökningen i jordbruket och en förväntad liberalisering av världshandeln med jordbruksprodukter (EEA 2006). Idag ligger också större arealer i träda än vad odlingssystemen kräver. Ett annat alternativ skulle vara att utnyttja mark som idag är extensiv vall (betesmark utan regelbunden plöjning) för intensiv odling av energigrödor och då skulle, ur ekologisk synpunkt, de flesta biobränslen sannolikt vara negativa (Jordbruksverket 2006, EEA 2006). I rapporten utgår vi ifrån att alternativanvändningen är regelbundet plöjd jordbruksmark.

Traditionellt brukas jordbruksmark med grödor som skördas efter varje växtsäsong. Det är våra vanliga jordbruksgrödor, årliga gräs och örter vars ovanjordiska delar skördas varje år och som sås på nytt inför varje växtsäsong. På åkermarken kan även andra grödor odlas, grödor som återkommer år efter år från sitt gamla rotsystem, så kallade perenna grödor.

Till de årliga växterna hör våra traditionella jordbruksgrödor. Här kan man tänka sig att nya, eller nygamla grödor, skulle kunna börja odlas i större skala i Sverige tack vare ett varmare klimat (solros) och/eller ett förändrat regelsystem (hampa). Till de årliga grödor som diskuteras för, och redan används till, energiproduktion hör våra vanliga jordbruksgrödor som vete, sockerbetor, raps, etc. Halm är en restprodukt vid konventionell jordbruksproduktion av spannmål som idag har ett brett användningsområde, från energiutvinning till nedplöjning för att förbättra strukturen i jorden.

Perenna växter är växter som inte behöver sås på nytt inför en ny växtsäsong. Till perenna grödor räknas det gamla ängsbruket med årlig skörd av flerartssammansatt vegetation. Nya, eller nygamla, perenna grödor är monokulturer av en eller ett fåtal arter, hit hör odlingar av energigräset rörflen (*Phalaris arundinacea*) och energiskogar.

I Sverige har energiskogar anlagts på jordbruksmarker. Ur koldioxidreducerande synvinkel så är energiskog istället för traditionell skog mycket tveksamt, då skogen har en mycket större förmåga att lagra kol än energiskogen, kol som skulle frigöras i form av koldioxid vid en förändrad markanvändning (Totten et al.

2003). När försöken med energiskog i form av skottskogsbruk av Salix startade i slutet av 1970-talet, var man inriktad på att utnyttja övergiven jordbruksmark (igenlagda åkrar, ängar och betesmarker) samt torvmarker av olika slag (Gustafsson 1987). Den stora anläggningsvågen på 1990-talet handlade däremot enbart om att ta regelbundet plöjd åker ur matproduktionen. Med de krav på närings- och vattentillgång som en Salix-odling har så är det praktiskt taget enbart före detta åkermarker som idag räknas in i den potentiella arealen. Detsamma gäller för energiskogar där olika arter och kloner av poppel och asp odlas. Huvudsakligen behandlar rapporten energiskogar som en gröda på åkermark men diskuterar även Populus odlad på skogsmark.

Idag så är en del av den svenska jordbruksarealen under ekologisk odling. Nu är andelen KRAV-odlad mark 6.8% i Sverige och regeringens mål är att denna ska öka till 20 % år 2010 (Jordbruksstatistisk årsbok 2007). Ur miljösynpunkt skiljer sig den KRAV-odlade marken på flera sätt från den konventionellt odlade, man använder inte oorganiska gödselmedel och inga bekämpningsmedel. Tillgången på KRAV-godkända gödselmedel kan förväntas öka då rester från biogasanläggningar (under förutsättning att det är "rena" råvaror som används och inte avfall eller slam från reningsverk) och etanolfabriker kan användas. En sammanställning över 76 vetenskapliga undersökningar visade på ett ökat individantal och en ökad artrikedom av en mängd olika organismgrupper på ekologiskt odlade marker jämfört med marker som är konventionellt odlade (Hole *et al.* 2005). Konsumenternas efterfrågan av ekologiskt odlad mat är en viktig drivande faktor för ökningen av arealen under ekologisk odling. Utan statliga styrmedel är det sannolikt att energigrödorna kommer att odlas med konventionella metoder, eftersom biomassaproduktionen per hektar är lägre i ekologisk odling.

2.1 Traditionella jordbruksgrödor

Traditionella jordbruksgrödor som används för energiproduktion är vete, majs, sockerbetor, oljeväxter (raps, rybs, etc). Dessa odlas med samma teknik som när slutmålet är födoproduktion. Tekniken kan vara ekologisk, dvs utan kemiska bekämpningsmedel eller konstgödsel, eller konventionell. Odlingen kräver årliga insatser i form av årlig plöjning, harvning, sådd, gödning och bekämpning av ogräs och skadeangrepp. Den årliga markbearbetningen snabbar på nedbrytningen av organiskt material, vilket innebär att förhållandevis lite kol finns i marken. Om kemiska bekämpningsmedel används så påverkas det biologiska livet på olika sätt negativt.

2.1.1 Kollagring

Marker under traditionellt jordbruk har ett lägre kolinnehåll än marker som är permanent beväxta och det förändras inte av att grödan används till energiproduktion.

Vid ekologisk odling används organiska gödselmedel vilket innebär att kolinnehållet i marken blir högre.

2.1.2 Kompaktering

Det är inte troligt att maskinanvändandet kommer att påverkas av slutanvändningen av grödan. Generellt används maskiner på marken vid många tillfällen under en årscykel. De olika grödorna har dock olika förmåga att minska kompaktering. Grödor med stora och vittförgrenade rotsystem, som spannmål, minskar risken för kompaktering.

2.1.3 Näringsläckage

Traditionella grödor odlas med tillsats av gödningsmedel, enbart organiska gödselmedel (stallgödsel och godkänt rötslam från biogasanläggning) om odlingen är ekologisk, och handelsgödsel och stallgödsel vid konventionell odling. En genomgång av ett flertal undersökningar visar att halter och mängder av nitratkväve som utlakas per ytenhet är större vid konventionell odling jämfört med ekologisk (Bergström & Kirchman 2000). Näringsläckaget från våra jordbruksmarker är väl dokumenterat och är en starkt bidragande orsak till övergödningen av våra vatten. Grödor som innebär att jorden ligger oöväxt över vintern ger ett högre näringsläckage än höstsådda grödor. På samma sätt har tidpunkten för plöjning och brytning av vallar betydelse för kväveläckaget. Sen höstplöjning eller vårplöjning har visat sig ge mindre kväveläckage (Stenberg & Aronsson 1999). Då nya sorter av spannmål tas fram för exklusiv användning inom bränsle-sektorn kan det minskade behovet av protein i grödan innebära något minskat behov av gödning (Jordbruksverket 2006), men det är osäkert om det kommer att påverka näringsläckaget från marken.

2.1.4 Bekämpningsmedel

Vid ekologisk odling används inga kemiska bekämpningsmedel, däremot förekommer mekanisk bekämpning av ogräs och viss biologisk bekämpning av insekter.

I den konventionella odlingen förekommer bekämpningsmedel i olika utsträckning beroende på gröda och behov. Det är därmed en viktig faktor hur energi-grödor kommer att odlas, konventionellt eller ekologiskt.

2.1.5 Landskapsdiversitet

På samma sätt som vid traditionellt jordbruk kan brukaren välja ny gröda för varje växtsäsong. Det nuvarande öppna jordbrukslandskapet bibehålles, eftersom landskapets utseende inte förändras av att skörden har ett nytt användningsområde.

2.1.6 Biodiversitet

Generellt gäller att när man odlar traditionella jordbruksgrödor så kommer inte den biologiska mångfalden att påverkas av slutanvändningen av grödan. Biodiversiteten i odlingar av jordbruksgrödor för energiändamål kommer att vara densamma om samma grödor odlas för matproduktion. Däremot så kan odlingsmetoderna, till exempel ekologisk eller konventionell odling, ha effekt på den biologiska mångfalden. I en sammanställning över 76 vetenskapliga under-

sökningar påvisades ett ökat individantal och en ökad artrikedom av en mängd olika organismgrupper på marker som var ekologiskt odlade jämfört med konventionella odlingar (Hole *et al.* 2005).

2.2 Hampa

Hampa är en ca 3 m hög, ettårig växt som kan användas i en traditionell växtföljd. Det gör den intressant ur lantbrukarens perspektiv. Av stjälken kan 70-75% användas till energi och resten för fiberutvinning, dessutom ger hampan 1-2 ton frö per ha (Jordbruksverket 2006). Idag är odlingen av hampa liten men den förväntas enligt Jordbruksverket (2006) öka.

2.2.1 Kollagring

Med årlig plöjning kommer kolinnehållet i marken vara litet och i samma storleksordning som vid odling av traditionella jordbruksgrödor.

2.2.2 Kompaktering

Minskad ogräsbekämpning innebär minskad körning.

2.2.3 Näringsläckage

Hampa har ett kvävebehov på 80-120 kg per ha (Jordbruksverket 2006) och marken plöjs varje år, vilket innebär att risken för näringsläckage är av samma storleksordning som för traditionellt jordbruk.

2.2.4 Bekämpningsmedel

Behövs normalt ingen bekämpning eftersom hampa har en bra konkurrenskraft mot ogräs (Jordbruksverket 2006).

2.2.5 Landskapsdiversitet

En ny högväxt gröda, kan upplevas som främmande i odlingslandskapet. Den är dock lägre än de perenna vedväxter som kan odlas som energigrödor. Då hampa är en ettårig gröda så har brukaren samma flexibilitet som vid odling av traditionella jordbruksgrödor.

2.2.6 Biodiversitet

Bra konkurrens mot ogräs, vi har inte funnit några svenska studier av annan biodiversitet i hampafält.

2.3 Halm

Halm är en överskottsprodukt från jordbruket så att utnyttja halmen för dess energiinnehåll påverkar inte den lokala miljön på något avgörande sätt. Däremot så har halm andra användningsområden som strö i djurstallar, så en konkurrens kan uppstå om råvaran.

2.3.1 Kollagring

I de fall då alternativet är att plöja ned halmen så minskar förstås kolinlagringen i marken av att halmen tas tillvara för energiändamål.

2.3.2 Kompaktering

Kan ge en extra körning om alternativet varit bränning på plats eller nedplöjning.

2.3.3 Näringsläckage

Se Traditionella jordbruksgrödor.

2.3.4 Bekämpningsmedel

Se Traditionella jordbruksgrödor.

2.3.5 Landskapsdiversitet

Se Traditionella jordbruksgrödor.

2.3.6 Biodiversitet

Se Traditionella jordbruksgrödor.

2.4 Perenna gräsmarker

Att odla olika perenna gräs som biobränsle har framförallt provats i USA (McLaughlin & Walsh 1998), men även i Sverige har försök gjorts med rörflen (*Phalaris arundinacea*). Några av fördelarna med en perenn gröda jämfört med en traditionell jordbruksgröda är att insatserna minskar (ingen årlig plöjning), rotsystemen minskar erosion och mer kol lagras i marken. Över en längre tid ger perenna grödor stabilare skördar även under extrema somrar, och samtidigt ökar mullhalten i marken (McLaughlin & Walsh 1998). Rörflen förekommer vilt i större delen av Sverige och företrädesvis på ställen med högt grundvatten. Gräset tål översvämning bra och är mycket vinterhärdigt vilket gör att det lämpar sig för långliggande vallar. Det passar utmärkt i Norrland där andra biobränslen är svår-odlade på grund av det kärvarre klimatet. I etableringsfasen har rörflen låg konkurrensförmåga och ska helst sås i rena bestånd, dessutom så rekommenderas en gödselgiva på 40 kg kväve per ha första året. Andra året så har plantorna etablerat sig, börjat skicka ut utlöpare och bilda täta bestånd. Rekommenderad gödselgiva andra året är 100 kg kväve per ha. Vid skörd kan samma maskiner som används i konventionell vallodling användas. Som skördetillfälle finns två alternativ, antingen i juli-augusti som traditionellt grovfoder eller så tidigt på våren som möjligt (så snart marken bär maskinerna). Fördelen med den senare skördestrategin är att växten under vintern dragit ner en del växtnäringsämnen i rotsystemet och den har fällt en stor del av bladen. Det innebär att det finns mer växtkraft i rotsystemen inför den nya växtsäsongen och att de fällda bladen kan förmultna på plats och bidra till en högre produktion. Dessutom innebär vårskörd ett lägre vatteninnehåll i biomassan, oftast bara ca 15 % vilket innebär att den direkt kan läggas i lager utan torkning. Skörden blir då förstås lägre och det torra materialet

kan innebära förluster vid bärgningsarbetet. Dessutom måste skörden passas in så att de gröna årsskotten inte skadas. Skörden innebär att en del växtnäringssämnen går förlorade men behovet av kompensationsgödsling är dåligt känd. Jordbruksverket (2006) rekommenderar dock ca 40-50 kg kväve per ha och år från och med tredje året vid vårskörd. Vid traditionell sommarskörd skulle det behövas en större gödselgiva, osäkert hur stor.

När det gäller perenna gräsmarker pågår i Nordamerika en diskussion om två olika huvudalternativ, liten investering - hög diversitet (Low-Input High-Diversity (LIHD)) eller stor investering - liten diversitet (High-Input Low-Diversity (HILD))(Tilman *et al.* 2006). I det första fallet skördar man naturliga gräsmarker (prärien), medan man i det andra fallet odlar en monokultur av en gräsart som vanligtvis är Switchgrass (*Panicum virgatum*). En undersökning visade att efter ett decennium var skördeutfallet från flerartssammansatta gräsmarker hela 238% högre biobränsleproduktion än från monokulturer (Tilman *et al.* 2006). I Litauen visade sig monokulturer som gödslades med 120 kg kväve per ha och år (två gödslingstillfällen per säsong med 60 kg per gång) ge större skörd under år med torka än blandningar av inhemska gräs och örter, däribland ärtväxter, utan tillsats av gödning. De senare gav dock bättre skördar under normala år (Kryzeviciene 2006). En genomgång av 44 olika experiment visar att diversiteten av växter generellt har en positiv effekt på biomassaproduktionen och att den positiva effekten ökar med tiden (Cardinale *et al.* 2007).

I Sverige har vi inga stora arealer med naturliga gräsmarker. Idag existerande flerartsgräsmarker som kan komma ifråga är de slåtterängar vi försöker bevara, områden i tätorter som hålls gräsbevuxna men enbart klipps ett fåtal gånger per växtsäsong, samt vägrenar som slås för att bevara funktionaliteten i diken och se till att trafikanter har god sikt på sidorna av vägen. Dessa arealer är dock små och strödda över Sverige. För att anlägga nya flerartsgräsmarker finns idag olika fröblandningar för vallodlingar att köpa. Dessa sås på samma sätt som vid vanlig vallodling men därefter får artsammansättningen utvecklas utan hjälp. Skörden sker med samma maskinpark som vid normal vallskörd. På de gamla ängs- och slåttermarkerna kan förekomsten av sten och block samt ett högt grundvatten kräva anpassningar av skördesystemet.

Rörflensodlingar har ett stort behov av vatten som tillgodoses med att odla på marker med god tillgång på vatten. Artuppsättningen i flerartsmarker anpassar sig naturligt till den vattentillgång som finns och kräver ingen extra hänsyn.

2.4.1 Kollagring

Jämfört med normalt jordbruk så innebär perenna grödor att mullhalten och kollagringen ökar. Det betyder att den mängd kol som i annat fall skulle finnas på andra platser i kolets kretslopp, bl. a. i atmosfären som CO₂, istället lagras i marken. Storleken på kollagringen och om den skiljer sig mellan rörflens-odlingar och marker med flera arter är, vad vi vet, inte undersökt i Sverige. En under-

sökning i USA visade att flerartssystem fungerar som en kolsänka av i storleksordningen 4 megagram per ha och år (Tilman *et al.* 2006).

2.4.2 Kompaktering

Minskad körning med maskiner då plöjning, harvning, vältning och sådd inte behöver utföras varje år. För rörlensodlingar kvarstår körning vid gödsling och skörd, medan vid skötsel av de flerartssammansatta gräsmarkerna maskiner endast kommer att användas vid skörd. Rörflen bör odlas på marker med god tillgång på vatten, marker som är förknippade med en större risk för kompaktering.

2.4.3 Näringsläckage

Risken för läckage av näring är mindre än vid traditionellt jordbruk med årlig plöjning eftersom marken hela tiden är täckt av vegetation. Hur stor den kan tänkas vara beror på eventuell gödselgiva och ett antal faktorer som har med marken att göra. Det handlar om lutning, vattenrörelser i marken, jordart och jordmån. Då rekommendationen vid rörlensodling är en gödselgiva på 40-50 kg kväve per ha och år så är det troligt att risken för ett näringsläckage är högre än vid flerartssammansatta odlingar. För flerartssammansatta odlingar har försök i Litauen visat att dessa kan bibehålla sin produktivitet under de tre första åren utan tillsatser av näringsämnen om det finns ärtväxter i blandningen (Kryzeviciene 2006).

2.4.4 Bekämpningsmedel

Då rörflen har dålig konkurrensförmåga när den etableras (Jordbruksverket 2006) kan kemisk ogräsbekämpning vara nödvändig, medan när den väl är etablerad så förutsätts inga ytterligare insatser behövas. Bekämpningsmedel har inte använts i de försök med flerartsmarker som finns beskrivna.

2.4.5 Landskapsdiversitet

Om rörflen anläggs på vattensjuka eller fuktiga marker som annars skulle planteras med skog, eller lämnas till fri utveckling, så kan odlingen bidra till att bevara ett jordbruksinslag på marker som annars skulle buskas igen och sluta som skog. I ett jordbrukslandskap så kommer en rörlensodling att se ut som en vall och inte förändra landskapets utseende. Flerartsmarker liknar ängar som sedan gammalt är en del av det svenska jordbrukslandskapet, och nyanlagda sådana marker kommer med tiden att få ett mer ängsliknande utseende.

En fördel ur brukarperspektivet är att en rörlensodling eller en flerartssammansatt gräsmark är lätt att bryta vilket ger brukaren möjlighet att ändra odlingssystem på den aktuella marken utan stora investeringar.

2.4.6 Biodiversitet

Odling av perenna grödor innebär en ökad diversitet i markfaunan då markbearbetning vid traditionellt jordbruk minskar den (Minor & Cianciolo 2007). Att skörda flerartsmarker kan vara ett sätt att kombinera biomassaproduktion med ett

bevarande av den biologiska mångfalden på våra ängar. Ett kontinuerligt skördande av gräsmarker i tätorter skulle även kunna öka arealen av ängsrelaterad biodiversitet.

En undersökning i staten New York (tempererat klimat) visade att diversiteten och mängden av jordkvalster (framförallt tillhörande gruppen Oribatida), var lägst i majsält jämfört med gräsmark, *Salix*-odling, buskmark och lövskog (Minor & Cianciolo 2007). Slutsatsen att årligen plöjd åkermark minskar diversiteten av jordkvalster är antagligen giltig även för svenska förhållanden. Förmodligen gäller det även en hel del andra markorganismer.

2.5 **Salix**

Odlingar av *Salix* behöver inhägnas som skydd mot de stora betesdjuren älg, hjort och rådjur. Innan plantering görs en konventionell plöjning med behandling mot rotgräs, men när odlingen väl är etablerad konkurrerar den bra gentemot ogräset. Frost, och särskilt sommarfroster, kan slå hårt mot odlingarna och ett förädlingsarbete för att få fram mindre känsliga sorter pågår. *Salix* planteras med sticklingar, tillkapade bitar som sätts ner i jorden och skördas efter 3-5 år. Efter skörd kommer nya skott från stubbarna och man beräknar att återupprepad skörd kan ske i tjugo-trettio år. Näringstillförsel är enklast att ge direkt efter skörd då man kan använda traditionell teknik. Sedan de första *Salix*-odlingarna anlades har bättre plantmaterial tagits fram vilket kan ge upp till 100% högre skördar (Jordbruksverket 2006). Vattentillgången under växtsäsongen spelar stor roll för produktiviteten hos *Salix* (Lindroth & Båth 1999, Karacic, *et al.* 2003). Vid avslutning av en *Salix*-odling används en nyodlingsplog och tidigare täckdikning kan behövas göra om i de fall då åkern skall användas till konventionella årliga grödor.

För en optimal produktion av *Salix* är det nödvändigt att gödsla planteringar på alla typer av jordar (Lindroth & Båth 1999). Vattenbehovet är stort i en växande odling, man bör därför välja marker med god tillgång på grundvatten eftersom nederbörden ofta inte räcker till under växtsäsongen, bevattning är antagligen för dyrt så markvalet och eventuell växtförädling mot kloner med bättre vattenutnyttjande är mycket viktigt (Lindroth & Båth 1999). Det pågår en fortlöpande växtförädling mot mer frosthärdiga och högproduktiva kloner av *Salix* (von Fircks & Sennerby-Forsse 1990).

2.5.1 **Biodiversitet**

Då alla perenna grödor ökar mängden kol i marken så kommer en *Salix*-odling att fungera som kolsänka tills marken är mättad med kol. Hur lång tid detta tar är ännu inte känt. Vid skörden kommer mycket av det upplagrade kolet att frigöras, men då det under lång tid varit låst i marken så kommer den totala mängden kol på andra ställen i kretsloppet att vara mindre. Dessutom så kommer det kol som finns i rotsystemet att vara kvar under hela odlingens livslängd. Genomsnittligt

kommer det också att vara mer kol i grödan ovan mark än vid traditionella jordbruksgrödor.

2.5.2 Kompaktering

Salix-odling innebär en stark minskning av maskinanvändandet, från flera gånger per år till ett par gånger per omloppstid (3-4 år). Då trädens rotsystem är djupt och rikt förgrenat och jordfaunan samtidigt ökar (se nedan) så ökar omrörningen och porositeten i jorden, sammantaget kommer det att innebära att risken för kompaktering är liten.

2.5.3 Näringsläckage

Näringstillförsel av olika gödselmedel har diskuterats men oavsett det så innebär en perenn gröda utan regelbunden plöjning att risken för näringsläckage är mindre än vid traditionellt jordbruk (Jordbruksverket 2006).

2.5.4 Bekämpningsmedel

Bekämpningsmedel kan komma att behövas då en odling startar. Efter etableringsfasen så konkurrerar *Salix* bra med ogräs. En amerikansk undersökning av effekten av olika behandlingar i förberedelserna inför *Salix*-odling, visade att utan användande av ogräsmedel (glyfosat) så misslyckades planteringen.

2.5.5 Landskapsdiversitet

Salix-odlingar är ett nytt inslag i den svenska landskapsbilden och för en acceptans kan det vara viktigt med placeringen av dem. Den strukturella diversiteten ökar i ett jordbrukslandskap när energiodling av *Salix* introduceras (Graham *et al.* 1996, Skärbäck & Becht 2005). Dessutom förändras strukturen mellan åren då odlingen växer till eller skördas, *Salix* bidrar också till en annorlunda färgsättning i landskapet med gröna färger som håller längre in på hösten än de traditionella jordbruksgrödorna (Skärbäck & Becht 2005). Odlingarna kan utgöra bra vindskydd mellan åkrar och de kan utgöra förbindelselänkar mellan små skogsområden i ett annars jordbruksdominerat landskap. En riktigt storskalig satsning på *Salix*-odling kräver dock noggrann planering i landskapsskala för att de positiva effekterna skall överväga upplevelsen av att det öppna landskapet försvinner.

När en *Salix*-odling är anlagd så beräknas dess livstid idag till 20-30 år, vilket innebär att brukaren inte kan anpassa sin odling för varje år utan behöver planera för en längre tidshorisont.

2.5.6 Biodiversitet

Den floristiska diversiteten har undersökts i ett fåtal studier. Gamla skottskogar i England har ofta en rik flora medan nyare är mycket artfattigare. Troligen tar det mycket lång tid innan en ny flora har etablerat sig, de första arterna är ofta kortlivade ruderat-arter som återfinns i åkrar, diken, trädgårdar, vägrenar etc (Gustafsson 1987). I en undersökning gjord 1979-82 fann man att äldre energiskogar ofta hade fler långlivade arter som vitsippa, träjon, majbräken etc

(Gustafsson 1987). Kärnväxtfloran hade under högsommaren en täckning på mellan 41 och 99 % (Gustafsson 1987). I en studie gjord 2003 jämfördes floran i *Salix*-odlingar med omgivande åkermark (Augustsson *et al.* 2006). Energiskogen visade ett högre artantal och en annorlunda flora. Antalet arter var som störst i kanten mot den omgivande åkermarken för att minska in mot mitten av odlingen. Vissa arter hittades både på åkermarken och i energiskogen medan andra enbart fanns i *Salix*-odlingarna. Det var stor skillnad mellan olika *Salix*-odlingar, vissa arter fanns i nästan alla odlingar medan andra bara förekom i enstaka eller endast en. Det innebär att ur ett landskapsperspektiv så ökas den floristiska diversiteten när *Salix*-odlingar anläggs i ett jordbrukslandskap (Augustsson *et al.* 2006).

En undersökning i staten New York (tempererat klimat) visade att diversiteten och mängden av jordkvalster (framförallt tillhörande gruppen *Oribatida*), var högre i *Salix*-odling jämfört med majsält och gräsmark (Minor & Cianciolo 2007). Samtidigt så visade man en tydlig nedgång av jordkvalster i samband med applicerandet av glyfosat mot ogräs (Minor *et al.* 2004). Slutsatsen att övergången från årligen plöjd åkermark till en perenn gröda som *Salix* ökar diversiteten av jordkvalster är antagligen giltig även för svenska förhållanden.

Slapokas & Granhall (1991) visade att dagmaskfaunan delvis var beroende av vilken art eller klon av *Salix* som odlades, där *S. daphnoides* var mer attraktiv än *S. fragilis* och *S. viminalis* för alla jordorganismer. Huruvida detta också stämmer i svenska förhållanden är inte undersökt.

2.6 Populus

Poppel-arter har hittills i Sverige framför allt odlats för att ge råvara till tändsticksindustrin. Den enda svenska arten av asp (*Populus tremula* L) finns i hela landet, virkesförrådet i Sverige är 43 miljoner m³ (Skogsdata 2005). Aspen har tidigare motarbetats av skogsbruket för dess konkurrensförmåga med de värdefulla barrträdslagen (*Picea abies* L och *Pinus silvestris* L). På senare tid har den ökande efterfrågan på lövträd till massaindustrin och aspens betydelse som habitat för många hotade arter inneburit en förändrad syn på asp. Nu har asp tillsammans med olika poppelarter också blivit allt intressantare för det bidrag som intensiv odling med kort rotationstid kan ge till biobränslesektorn (Karacic 2005). I Sverige är det framförallt hybridasp, korsningen av europeisk och amerikansk asp (*P. tremula* X *P. tremuloides* Michx) som tilldragit sig intresse. Den har högre produktion och också något bättre motståndskraft mot vissa skadeangrepp som drabbar föräldraarterna. Hybrid Aspen skapades i Sverige 1939 och den svenska tändsticksindustrin initierade ett antal försök under åren 1940-1965. Ett antal olika kloner av poppelhybrider såväl som de nordamerikanska arterna *Populus trichocarpa* och *Populus deltoides* har också undersökts med tanke på produktion i Sverige. All asp, hybridasp, poppel och hybridpoppelodling är planerad för, och undersökt vid, plantering på före detta jordbruksmark, huvudsakligen tidigare regelbundet plöjd åkermark. För att ha kontroll på egenskaper hos träden sker praktiskt taget all plantering med kloner, dvs genetiskt identiska individer. Troligen är alla dessa arter begärliga för betande vilt vilket innebär behov av hägn

för att skydda träden vid etableringen och under ungdomsfasen. Inga studier verkar vara gjorda för att skilja mella popplar och aspar av olika ursprung i detta hänseende. Hybridpoppel kan planteras med sticklingar medan hybridaspens sticklingar måste rotas innan utplantering. För alla arter finns behov av ogräskontroll i början. Nya studier av odling av hybridasp tyder på att skördar på över 20 m³ per ha och år är möjliga. Produktiviteten hos poppelkloner varierar med vattentillgången under växstsäsongen (Lindroth & Båth 1999, Karacic, *et al.* 2003).

2.6.1 Kollagring

Mullhalten i en tidigare åkermark kommer antagligen att öka och slutligen ligga på ungefär samma nivå som för en permanent gräsmark.

2.6.2 Kompaktering

Poppel-odling innebär en stark minskning av maskinanvändandet, från flera gånger per år till ett par gånger per omloppstid (3-4 år). Då trädens rotsystem är djupt och rikt förgrenat och jordfaunan samtidigt ökar (se nedan) så ökar omrörningen och porositeten i jorden, sammantaget kommer det att minska risken för kompaktering.

2.6.3 Näringsläckage

Då både poppel och asp i dessa system förväntas ha en mycket hög tillväxt kommer behovet av näring att vara stort. Nuvarande beräkningar tyder på att det behövs ett tillskott på ca 60-80 kg kväve per ha och år även på före detta åkermark som kan förväntas ha en hög produktivitet (Karacic, *et al.* 2003). Det innebär att för optimal produktion kommer tillförsel av gödning att vara nödvändig. Jämfört med traditionellt jordbruk kan dock näringsläckaget förväntas vara mindre eftersom det är en flerårig gröda som odlas.

2.6.4 Bekämpningsmedel

Troligen behöver marken ogräsbekämpas innan poppelodlingen anläggs medan den senare själv klarar av konkurrensen.

2.6.5 Landskapsdiversitet

Poppel-odlingar är ett nytt inslag i den svenska landskapsbilden och för en acceptans kan det vara viktigt med placeringen av dem. De kan utgöra bra vindskydd mellan åkrar, samt utgöra spridningskorridorer mellan skogsdungar.

När en poppel-odling är anlagd så beräknas dess livstid idag till 20-30 år, det innebär att brukaren inte kan anpassa sin odling för varje år utan behöver planera för en längre tidshorisont.

2.6.6 Biodiversitet

I en undersökning av den floristiska diversiteten visade artantalet i undersökta poppelplanteringar på en artdiversitet av samma storleksordning som för

angränsande odlad åkermark (Weih *et al.* 2003). Men artuppsättningen var annorlunda vilket tyder på att i ett jordbrukslandskap så ökar den floristiska diversiteten på landskapsnivå om poppelplanteringar införs där. Resultaten pekar på att ju större poppelplantering desto färre arter, det fanns färre arter ju längre in från gränsen till åkermarken. En poppelplantering är också mer heterogen, dvs den innehåller större intern variation än en åker. Undersökningen är gjord på första generationens popplar i en ålder mellan 6 och 14 år gamla. (Weih *et al.* 2003). I en undersökning gjord 1979-82 i energiskogar av *Salix* fann man att äldre energiskogar ofta hade fler långlivade arter som vitsippa, träjon, majbräken etc (Gustafsson 1987). Det är troligt att den floristiska diversiteten även i poppelodlingar ökar när odlingarna blir äldre.

En amerikansk undersökning visade att fågelfaunan i poppelodlingar (*Populus deltoides*) med kort rotationstid var artfattigare än i uppvuxen lövskog (Twedt *et al.* 1999). Skälen bedömdes vara att den uppvuxna skogen hade en större strukturell diversitet och en större floristisk diversitet. Arter i poppelodlingarna var mer knutna till buskvegetation. För en poppelodling i ett jordbrukslandskap erbjuder odlingen utrymme för fågelarter som bygger sina bon i träd.

3 Bibränslen från skogsmark och deras miljöeffekter

Människans första energibränsle var med stor sannolikhet vedväxter och det är fortfarande den viktigaste energikällan för många människor i världen. I Sverige har brännved haft en minskande betydelse från tiden för starten industrialiseringen, med en viss återhämtning under 1900-talets två världskrig. Längre var det eldning i öppna spisar, köksspisar, kaminer och kakelugnar som dominerade. Industriellt så började man tidigt att producera träkol för bergsbruket och järntillverkning, men när tillgången på billigare fossila bränslen ökade så minskade behovet av träkol. Energikrisen på 70-talet fick den stora energikrävande massa-industrin att börja använda resterna från lutarna som bränsle, och den allmänna medvetenheten om energi-råvarors begränsningar skapade en marknad för nya sätt att använda vedens energi. Flisning av virke och pelletering av spån började växa. På 70-talet anlades också de första energiskogarna i Sverige och mot slutet av samma decennium började även intresset riktas mot de rester som lämnades kvar i skogen vid traditionellt skogsbruk. Sedan dess har intresset för ved som energiråvara ständigt ökat.

Vid traditionellt skogsbruk lämnades tidigare grenar och toppar (GROT) kvar i skogen, men sedan intresset för det potentiella energitillskottet hos dessa rester ökat, har de i allt större utsträckning tagits tillvara. Stubbrytning har också diskuterats i detta sammanhang. Det är behovet av rundvirke som styr tillgången på GROT såväl som på stubbar, och med ett ökat energipris har man tagit tillvara GROT från allt större arealer. De ekologiska effekter som behandlas här hör inte samman med avverkningen i sig utan handlar enbart om tillvaratagandet av GROT och brytning av stubbar.

Intensivodling av gran har på senare tid blivit aktuellt. Bakgrunden är de försök med gödsling av gran som pågått under lång tid. Resultaten av försöken pekar på att med en regelbunden gödsling och god tillgång på vatten kan omloppstiderna för gran minska med 20-30 år i södra Sverige och 40-60 i norra, dvs en fördubbling av volymproduktionen i söder och en tredubbling i norr (Bergh *et al.* 1999).

I framtiden kan också högre energipriser medföra att det är mer lönsamt för skogsägaren att sälja till energiproduktion än till massa. Redan idag är prisskillnaden väldigt liten och i vissa fall mer gynnsam för energiråvaran.

3.1 Intensiv-odling av gran

Intensiv-odling av gran har tilldragit sig stort intresse på senare tid. Huvudsakligen beroende på resultaten av försök i norra, Flakaliden, och sydöstra Sverige, Asa (Bergh *et al.* 1999). I Flakaliden planterades 1963 fyra-åriga granplantor, som

från och med 1987 började behandlas med tillförsel av kvävegödsel och vatten under vegetationssäsongen, i Asa planterades två-åriga granplantor 1975 och gödslingen påbörjades 1988. Olika typer av gödsel användes, flytande gödsel tillsattes kontinuerligt under vegetationssäsongen och bevattning med eller utan gödselmedel undersöktes också. Tillväxten blev kraftigt förhöjd i de kvävegödslade försöksleden, och allra mest i norr, oavsett om gödselmedlet var fast eller flytande. I sydöstra Sverige påverkades produktionen positivt även av bevattning medan detta inte hade någon effekt i norra Sverige. Generellt visade försöken att kväve är den begränsande faktorn för tillväxten i Sveriges skogar.

3.1.1 Kollagring

Då en större stående skogsvolym innebär att mer kol är bundet i biomassan så är den gödslade skogen en kolsänka. Dessutom ökar kolinnehållet i marken efter gödsling och då kolet i marken är bundet för längre tid än kolet i den levande biomassan så är denna kolsänka av större betydelse. Samtidigt innebär de förväntade kortare omloppstiderna att tiden mellan avverkningarna kommer att minska. Vid traditionellt skogsbruk så är det just vid avverkning som kol frigörs då humusen bryts ner. Kunskapen om den gödslade skogens kolbalans över en längre tid är otillräcklig. Vi vet inte hur mycket kol som frigörs vid avverkning eller när marken är mättad med kol och inte kan lagra in mer.

3.1.2 Kompaktering

Med kortare omloppstider så blir det naturligtvis mer körning. Sprids sedan gödsel med markgående maskiner så ökar körningen kraftigt. Samtidigt har träd ett omfattande rotsystem och det blir, i förhållande till jordbruksmark, små risker för kompaktering. Däremot har man i traditionellt skogsbruk en del problem med körskador på vissa marker.

3.1.3 Näringsläckage

Enligt odlingsråden (Bergh *et al.* 1999) ska gödsling påbörjas då granarna är 2-3 meter höga. Gödsel ska spridas ett par veckor innan granens skottskjutning och efter att skogen har slutit sig rekommenderas gödsling vart femte år. Den årliga gödselgivan ska anpassas till lokala förutsättningar, men en allmän rekommendation är 50 kg per ha i sydvästra Sverige och 75-100 kg i övriga delar av landet. Mängden kväve i markvattnet var betydligt högre i de gödslade än i de bevattnade områdena i Flakaliden (Andersson & Berggren 2005). Det innebär en högre risk för näringsläckage i gödslade bestånd, då kvävet i markvattnet är rörligt. I en dansk undersökning av olika gödselmedels verkan på gran (Ingerslev 1977) fann man ett ökat näringsläckage efter gödningstillfället.

3.1.4 Bekämpningsmedel

Inga insatser beräknas behövas.

3.1.5 Landskapsdiversitet

Intensivodlad gran innebär en betydligt tätare skog än den nuvarande. Det innebär antagligen praktiskt taget ingen undervegetation och en mer svårframkomlig skog, särskilt i unga år. Det finns redan idag ett motstånd mot täta granskogar, och denna fråga måste hanteras vid lokalisering av odlingarna.

3.1.6 Biodiversitet

Den biodiversitet som har undersökts verkar enbart vara hur ektomykhorrisa-svampar påverkades av gödselmedlet. Det skedde en förändring av artsammansättningen ibland mykhorrisa-svamparna, men totalt sett så minskade inte diversiteten av dem (Fransson *et al.* 2000).

Med en tätare skog är det troligt att markvegetationen kommer att bli mindre utbredd då det sannolikt blir betydligt mörkare. Vad en förkortning av omloppstiden har för betydelse för arter som lever på, i och av träden har inte undersökts.

3.2 GROT

Tillvaratagande av grenar och toppar (GROT) började i slutet på 1970-talet i Sverige. Vid tillvaratagande av GROT försvinner mycket organiskt material från skogsmarken. En undersökning efter slutavverkning visar att de högar som samlats för energiutvinning utgjorde 65% av alla rester efter avverkningen, dessutom tillvaratogs, i ett senare skede, 35% av de stammar som låg utanför högarna (Rudolphi & Gustafsson 2005).

3.2.1 Kollagring

Vid upprepade uttag av GROT minskar humuslagrets tjocklek, d.v.s. en minskning av kollagringen i skogsmarken jämfört med marker där avverkningsrester lämnats och fått förmultna på plats (Mahmood *et al.* 1999).

3.2.2 Kompaktering

Något mer maskinkörning än vid skogsbruk utan insamling av GROT då insamlingen innebär mer körning med skogstraktorer.

3.2.3 Näringsläckage

En återkommande skörd av avverkningsrester kommer att öka näringsförluster som tidigare enbart berott på uttagen av stamvirke. I försök med upprepad skörd av GROT har minskad förekomst av ektomykhorrisa registrerats, samtidigt har humustäckets tjocklek minskat. Det innebär minskad näringstillgång och större risk för torka, det senare drabbar framförallt de finaste ytliga rötterna på träden (Mahmood *et al.* 1999). Utan extra näringstillförsel innebär det att markens långsiktiga produktionsförmåga kan drabbas. Men det innebär också att risken för näringsläckage är liten.

I och med att mer näring tas bort från skogsmarken, har diskussion förts om kompensationsgödsling. Att återföra aska efter förbränning har diskuterats men kväve måste ersättas på annat sätt. Aska innehåller praktiskt taget inget kväve då det nästan fullständigt avgår vid förbränningen (Lindkvist 2000). Om gödsling skulle bli aktuellt så måste näringsläckaget undersökas.

3.2.4 Bekämpningsmedel

Ingen användning.

3.2.5 Landskapsdiversitet

För de flesta är ett hygge efter kalavverkning något som enbart är besvärligt och fult, ett tillvaratagande av GROT kan förbättra intrycket. Dessutom är det mycket lättare att ta sig fram då större delen av det ris som annars ligger kvar efter avverkning är borta.

Ur strukturell synvinkel så är förekomsten av ris av stor betydelse för en mängd mindre organismer och för fält- och bottenfloran. Grenar och toppar skapar mikrohabitat där många arter kan överleva (Esseen *et al.* 1997) eller kolonisera tills den nya skogen återigen växer upp.

3.2.6 Biodiversitet

Många arter är beroende av död ved i skogen och tidigare har forskningen framför allt undersökt förekomsten av grov död ved. Nu kommer allt fler rapporter som visar betydelsen även av klenare död ved (Nittérus *et al.* 2007, Nordén *et al.* 2004, Jonsell *et al.* 1998). Det gäller insekter, lavar, svampar och mossor som lever i eller på död ved. När det gäller grövre död ved så lämnar skogsbruket idag högstubbar och döda träd för att öka mängden i skogen och därmed gynna den biologiska mångfalden. Då det finns lika många eller fler arter knutna till den klenare döda veden (Nordén *et al.* 2004) så måste insamling av den ske med försiktighet. Det har visats att för många insektsarter knutna till död ved så spelar diametern mindre roll än trädarten. Framförallt ädla lövträd och asp är av stor betydelse för den trädanknutna insektsfaunan, medan GROT från barrträd kan skördas i högre utsträckning (Jonsell *et al.* 2007).

Tillvaratagande av GROT påverkar markvegetationen på olika sätt. Organismer med låga näringskrav och höga krav på ljus, som lavar, gynnas av bortförande av GROT medan de flesta örter och gräs missgynnas (Olsson & Staaf 1995). Det har också visats att mossor och då framförallt levermossor, drabbas starkt negativt av borttagande av grenar och toppar från slutavverkningar på grund av frånvaron av skugga och skydd (Åström *et al.* 2005).

3.3 Stubbrytning

Tidigare har försök gjorts med stubbrytning för att förse massaindustrin med råvara. Stubben innehåller en avsevärd del av trädets biomassa och nu görs en del

försök med skörd av stubbar för energiutvinning. Efter konventionell avverkning bryts stubbarna upp ur marken..

3.3.1 Kollagring

Vid konventionellt skogsbruk lämnas stubbarna kvar i marken och utgör då ett kollager som långsamt brytes ned. Vid stubbrytning är det troligt att det kommer att ske en förlust av kol från skogsmarken. Markberedning, där mineraljorden blottlägges på delar av hygget, utförs för att ge skogsplantor en snabbare etablering. Det har visats att i kanten av den blottade mineraljorden kommer nedbrytningen av organiskt material att gå fortare (Lundmark-Thelin & Johansson 1997). Antagligen kommer hålen efter stubbarna att fungera på samma sätt. Det innebär att den totala mängden kol i skogsmarken kommer att minska.

3.3.2 Kompaktering

Hur stubbrytningen kommer att påverka risken för kompaktering är inte undersökt. Troligen är risken låg.

3.3.3 Näringsläckage

Då mer biomassa tas bort ur skogen kommer tiden innan produktionsförmågan minskar att förkortas. Dessutom så innebär den snabbare nedbrytningen av det organiska materialet i förna och humus (se ovan) att risken för näringsläckage från skogsmarken kommer att öka.

3.3.4 Bekämpningsmedel

Ingen användning.

3.3.5 Landskapsdiversitet

Hyggen med gropar i marken kommer antagligen att upplevas som negativa. Och ett regelmässigt skördande av stubbar kommer att förändra den småskaliga topografin i skogsmarken. Hur länge en grop är synlig efter stubbrytningen är en viktig faktor.

3.3.6 Biodiversitet

Stubbar är viktiga för diversiteten av mossor och lavar som utnyttjar dem som substrat (Rudolphi 2007). Även svampar, insekter och fåglar använder stubbar som boplats och/eller näringskälla.

4 Akvatisk biomassa

Skörd av biomassa från marina och limniska system har under flera år dragit åt sig intresse. Vissa av dessa system karakteriseras av hög primärproduktion från växtplankton, alger, och blågrönalger, cyanobakterier. Den potentiella produktionen är mycket hög då växtplankton har en kort generationstid och alltså fördubblar sin biomassa på några timmar. Dessa plankton lagrar sin överskottsenergi som stärkelse, vilken kan destilleras till etanol, eller som små oljedroppar, vilka kan användas som diesel efter rening (NREL 1998)

Två huvudspår kan urskiljas vid användande av akvatisk biomassa: system som bygger på skörd av frilevande alger *in situ* eller i dammar, bioturbiner där alger produceras industriellt *ex situ*. Bioturbiner har hittills inte visat sig fungera tillfredsställande och kan vara energikrävande. Produktion i dammar visar kraftiga variationer som delvis beror på väderfaktorer men en del av variationerna saknar förklaring idag. I Sverige är det framförallt omhändertagande av encelliga cyanobakterier som tilldragit sig intresse. I andra länder har även försök med havsbaserad odling av stora brunalger gjorts.

De stora algblomningarna i Östersjön under det senaste decenniet har orsakats av en god tillgång på fosfor och solljus. Det som utmärker cyano-bakterier är deras förmåga att fixera kväve från luften. Ett annat skäl är förändringen av fiskfaunan i Östersjön med en ökning av framförallt, skarpsill som lever på zoo-plankton och de i sin tur lever huvudsakligen av växt-plankton varav cyano-bakterier utgör en stor del. Algblomningarna innebär förutom problem för kylvattenintag vid olika anläggningar, syrebrist när biomassan ska brytas ned (döda bottnar) och övergödning, även en minskad attraktionsförmåga för turismen längs våra kuster.

4.1 Kollagring

Vid de algblomningar som sker i sjöar och hav sjunker algerna slutligen till botten och bryts ned, varvid koldioxid frigörs. Vid nedbrytningen åtgår syre och om det tar slut så minskar nedbrytningens hastighet och en del av kolet kommer att under lång tid lagras in i bottnarna, som kommer att fungera som en kolsänka. Vid skörd kommer kolet att cirkulera snabbare i sitt kretslopp.

4.2 Kompaktering

Ej aktuellt.

4.3 Näringsläckage

Odling av alger i turbiner innebär att skydd mot att rester från odlingen kommer ut i vattendrag behövs, detsamma gäller för odling i dammar. För skörd av alger från

naturliga vatten så innebär det att näring tas bort från de områden där problemet idag är att det är för stor näringsbelastning.

4.4 Bekämpningsmedel

Ej aktuellt.

4.5 Landskapsdiversitet

Sjöar och hav utan stora algblomningar skulle innebära en ökad attraktionskraft för alla som har kontakt med dessa vatten, turister, fiskare och andra närboende. Detta ligger i linje med miljömålsarbetet och målen för Vattendirektivet.

4.6 Biodiversitet

En minskad algblomning skulle för den biologiska mångfalden innebära en återgång till mer ”normala” förhållanden i de akvatiska systemen. Detta ligger i linje med miljömålsarbetet och målen för Vattendirektivet.

5 Sammanställning

Nedanstående tabeller utgör kortfattade sammanställningar av aktuell kunskap kring potentiella miljöeffekter vid produktion av biobränsle och en jämförelse mellan olika grödor respektive skördesystem. Med miljöeffekter avses lokala ekologiska följder eller miljöeffekter vid odling och/eller skörd av biobränslen. Med lokala följder menas det som påverkas i odlingen och dess omedelbara närhet. Produktionssystem för biobränsle inom jord- och skogsbrukssektorn (Tabell 1 och 2) är här odlingar där den huvudsakliga målsättningen är att producera energi (förutom GROT, stubbar och halm). För varje produktionssystem har risken för att en miljöeffekt ska uppstå skattats och bedömts som låg (rank **A**), medel (rank **B**) eller hög (rank **C**). Den bedömda rankingen åtföljs av en kort beskrivning där de huvudsakliga orsakerna till rankningen anges. I de fall där rankingen står i *kursiv* stil har tillförlitliga litteraturuppgifter saknats och rankingen baseras på rapportförfattarnas egna uppskattningar. Rankingens är också separat och relaterad till den nuvarande markanvändning för de olika markslagen, det vill säga att ett A på jordbruksmark inte alltid är likställt med ett A på skogsmark. Det är viktigt att rankingen inte ses som ett facit över odlingarnas miljöeffekter. Den omgivande miljön, både den biologiska men även abiotiska förhållanden som jordens textur och vattentillgång, är av stor betydelse för odlingens miljöeffekter. Det betyder att rankingen måste anpassas till den lokala miljön man vill analysera

Tabell 1 Risken (rankad A-C, från låg till hög och kursiverat där litteratur saknas) för potentiella miljöeffekter vid produktion av biobränsle inom jordbrukssektorn.

	Socketbeta	Raps	Spannmål, Halm	Hampa	Rörflen	Perenn gräsmark	Salix, Populus
Kollagring	C Årlig plöjning	C Årlig plöjning	C Årlig plöjning	<i>C</i> Årlig plöjning	<i>B</i> Ökande mängd kol i marken de första åren	<i>B</i> Ökande mängd kol i marken de första åren	<i>B</i> Ökande mängd kol i marken
Kompaktering	C Tunga maskiner, tung skörd	B Djupt och tätt rotsystem	B Stort rotsystem, skörd vid torrt väder	<i>B</i> Stort rotsystem	A Perenn gröda, djupt rotsystem	A Perenn gröda, djupt rotsystem	A Perenn gröda, djupt rotsystem
Näringsläckage	C Stort behov av gödning, årlig plöjning	C Högt gödslingsbehov, årlig plöjning	B Stort behov, men bra upptagning, årlig plöjning	<i>B</i> Moderat behov, bra upptagning, årlig plöjning	<i>B</i> Högt behov, men ständigt vegetations-täckt	<i>B</i> Litet behov av gödning	B Stort behov, men ständigt vegetations-täckt
Bekämpningsmedel	B Bekämpning av ogräs	C Stor användning av bekämpningsmedel	B Ganska stort behov	<i>A</i> Normalt inget behov	A Mycket litet behov	A Inget behov	A Enbart vid anläggning av odling
Landskapsdiversitet	C Ingen förändring	C Ingen förändring	C Ingen förändring	B Ny högväxt gröda	C Ingen förändring	B Flera och även blommande arter	A Ett nytt högväxt element i jordbrukslandskapet
Biodiversitet	C Ofta hög användning av bekämpningsmedel, men kan utgöra skydd under tidig höst	C Ger en del nektar, men mycket bekämpningsmedel	C Bra för fåglar i jordbrukslandskapet, dock mycket bekämpningsmedel	<i>B</i> Ger bra skydd på sommaren, inget på vintern	B Ger skydd vintertid	A Med tiden hög floristisk diversitet	A Med tiden högre diversitet, gynnar andra arter än de som finns på jordbruksmarken

Tabell 2 Risken (rankad A-C, från låg till hög och kursiverat där litteratur saknas) för potentiella miljöeffekter vid produktion av biobränsle inom skogsbrukssektorn.

	Gran	Grenar och toppar	Stubbar
Kollagring	A Ökande mängd kol i marken	B Minskande humustäcke	C Minskande humustäcke, minskande mängd kol i marken
Kompaktering	<i>A</i> Perenn gröda, djupt rotsystem	A Perenn gröda, djupt rotsystem	A Perenn gröda, djupt rotsystem
Näringsläckage	<i>B</i> Stort behov, men bra upptagning	A Kan behöva insats av mer näring	<i>B</i> Större vid brytning av stubbar
Bekämpningsmedel	A Inget behov	A Inget behov	A Inget behov
Landskapsdiversitet	<i>B</i> Täta och mörka granskogar	A Positivt för framkomligheten	<i>B</i> Negativt för framkomligheten
Biodiversitet	<i>B</i> Utpräglad monokultur med lite ljus till markvegetationen	B Flera arter som är beroende av död ved kan drabbas	<i>B</i> Flera arter som är beroende av död ved kan drabbas stubbar viktiga för lavar och mossor

6 Diskussion och slutsatser

Det finns tydliga skillnader i miljöpåverkan mellan olika biobränslen. De negativa miljöeffekterna kan minskas om man tar hänsyn till i vilken omfattning etablering sker och i vilken del av landet lokaliseringen görs. Intensivt utnyttjade marker, vare sig det är intensivt odlade skogar eller jordbruksmark, har till exempel en lägre biodiversitet än naturliga ekosystem (Cook *et al.* 1991). Svenska brukare har kunskap om och kan minimera miljöeffekter vid odling av de konventionella grödorna. Med produktion för biobränsle skiftar dock fokus från födoproduktion (protein) till produktion av biomassa (cellulosa). Genom att byta årliga mot perenner och monokulturer mot polykulturer (t.ex. perenna gräsmarker eller skörd av akvatisk biomassa) så kan vi istället bruka system med lägre krav på besprutning, bevattning och gödning.

Då perenna grödor visar sig ha mindre negativa miljöeffekter än de årliga är det viktigt att skapa förutsättningar för brukarna att satsa på perenner. För många brukare har ett ständigt föränderligt regelverk inneburit att satsning på annat än ettåriga grödor varit ett vågspel. Ekonomin för och utnyttjandet av jordbruksmarken har genomgått många och snabba förändringar. För 20 år sedan handlade det om att lägga ner jordbruksmark (Kumm 1989), idag är ekonomin bättre än på länge. Med ett långsiktigare regelverk och rätt stöd kan perenna grödor göras attraktivare för brukarna.

Miljöeffekter är många gånger resultatet av ett samspel mellan den gröda som odlas och den omgivande miljön. Därför är det viktigt att utvärdering, planering och ekonomiskt stöd av odlingar av biobränslen anpassas regionalt, t.ex. utgående från odlingsregioner. I odlingsregioner med ett högt näringsläckage kan man med fördel ställa om till perenna grödor, medan man i andra lättare kan acceptera årliga. Effekten på både den biologiska och landskapsmässiga diversiteten är kopplad till i vilken region man väljer att odla vad. Det spelar stor roll huruvida man anlägger en *Populus*-odling i ett jordbrukslandskap eller om man planterar igen den sista åkern i ett skogsdominerat landskap.

6.1 Traditionella jordbruksgrödor

Odling av traditionella jordbruksgrödor för energiändamål har i allt väsentligt samma miljökostnader som odling av dessa grödor för matproduktion. Den årliga markbearbetningen medför att organiskt material bryts ner och kollagret i marken blir relativt lågt. Många av grödorna kräver insatser med maskiner flera gånger per växtsäsong vilket medför att risken för kompaktering blir relativt hög. Spannmål har dock ett vittförgrenat rotsystem och skörd sker i torr väderlek vilket minskar risken för kompaktering. Kemiska bekämpningsmedel används mot ogräs, skadeinsekter och svampsjukdomar som kan äventyra skördarna. Gödning tillsätts och näringsläckaget från jordbruksmark är väl dokumenterat. Landskaps-

mässigt så förändras inget av att grödan används till energiutvinning. Den biologiska mångfalden är begränsad beroende på de stora arealerna av monokulturer, den årliga markbearbetningen och bruket av kemiska bekämpningsmedel.

Det som kommer att förändras i framtiden är att arealen ekologisk odling förväntas öka och det vore angeläget att undersöka hur detta kan ske på bästa sätt när arealen biobränslen ökar. Tidigare har det visats att ekologisk odling i genomsnitt ger lägre skördar än konventionell. Det är dock tänkbart att rester från etanol-tillverkning och biogasanläggningar kan utnyttjas till gödning i ekologiska odlingar och därmed upprätthålla en hög produktion samtidigt som Sveriges mål med 20 % av jordbruksmarken i ekologisk odling uppnås.

När en framtida växtförädling sker med tanke på energiinnehåll istället för protein kan också miljöeffekterna bli annorlunda. Till exempel så krävs mer gödning för att grödan ska få en hög proteinhalt än när målet är att producera så stor biomassa som möjligt.

6.2 Perenna gräsmarker

Perenna gräsmarker har flera positiva miljöeffekter jämfört med de annuella. När grödan är perenn så sker ingen årlig markbearbetning och mer kol kommer att lagras i marken. Körning med maskiner blir mycket mindre och gräs har ett vittförgrenat rotsystem som motverkar kompaktering. Kemiska bekämpningsmedel kommer bara att användas innan sådd för att ta bort ogräs och konkurrens för det nysådda gräset. Flerartsmarker förutsätts inte ställa några krav på kemiska bekämpningsmedel eftersom svampsjukdomar och skadedjur ofta är specialister på en art eller artgrupp och i en flerartssammansatt odling finns dessa i glesare bestånd än i monokulturer. Skulle ändå en svampsjukdom eller ett skadedjur drabba en art eller artgrupp finns andra växter som kan utnyttja den frigjorda marken och på så sätt upprätthålla produktionen av biomassa.

Med en mark som är vegetationstäckt hela året så minskar risken för näringsläckage även om gödning tillsätts. Risken blir ännu mindre i flerartssammansatta gräsmarker där ärtväxter finns med då dessa lever i symbios med bakterier som kan fixera luftkväve, vilket kan minska eller helt undanröja behovet av gödning. Rörflen, som kan odlas i Norrland och på fuktiga marker kan bidra till att bevara ett inslag av jordbruk i trakter som annars helt skulle domineras av skog. Flerartssammansatta marker har möjlighet att ge ett inslag av ängsliknande vegetation i landskapet. Den biologiska mångfalden gynnas av att ingen årlig markbearbetning utförs. De flerartssammansatta markerna kommer att anläggas med en högre diversitet än monokulturer. Men även för rörflen gäller att andra arter kommer att etablera sig i odlingen när den blir äldre.

De anlagda flerartsmarkerna kommer dock inte att få en lika hög floristisk diversitet som de gamla ängar som finns kvar. Det beror på att de marker som fortfarande sköts som ängar/betesmarker har bevarats för sin höga floristiska diversitet (Ekstam & Forshed 1992) vilket är kopplat till att det varit marker med ganska låg

produktionskapacitet. Det är ofta små markområden med låg vattentillgång och en placering som gjort att omvandling till jordbruksmark eller skogsmark inte varit ett alternativ. Dessa marker har vi idag problem med att bevara, i all synnerhet i de delar av landet där djurbesättningarna minskar som i Norrland, Bergslagen och skärgården. Där har ofta slätter på ideell basis fått ersätta det gamla ängsbruket men det är bara en bråkdel som kan bevaras på detta sätt (Lennartsson 2001). En avsättning av skörden från flerartssammansatta gräsmarker till energiproduktion skulle i viss mån kunna bidra till att sänka kostnaden för att bevara dessa marker med hög floristiskt diversitet (EEA 2006).

6.3 Energiskog

Energiskogar av *Salix* och *Populus* på jordbruksmarker är också perenna grödor med de fördelar som detta medför. Utan markbearbetning kommer kollaget i marken att öka, hur mycket och hur länge är fortfarande okänt men för *Salix* har det skattats att bli ungefär lika stort som i en perenn gräsmark. Då *Salix* och *Populus* rekommenderas för odling på marker med god vattentillgång så är risken för kompaktering större än på torra marker, men då maskiner endast används vid skörd och gödselspridning så är risken för kompaktering liten. Kemiska bekämpningsmedel kommer endast att användas mot ogräs då odlingen anläggs, sedan beräknas det inte föreligga några ytterligare behov. Samtidigt har vi liten erfarenhet av stora arealer monokultur av dessa grödor, vilket kan innebära framtida behov av kemisk bekämpning av olika svampsjukdomar och skadeinsekter. Då detta är perenna grödor så kommer, trots tillsats av gödningsmedel, risken för näringsläckage att vara liten. Eftersom risken är störst direkt efter skörd kan risken antagligen minska ytterligare genom att vänta med gödslingen tills skotten skjuter fart kommande säsong.

Båda dessa grödor inför ett nytt element i jordbrukslandskapet. En positiv miljöeffekt av en högre perenn gröda kan vara att den fungerar som skydd för vind och därmed erosion och snö. Den utgör också ett annorlunda färginslag i landskapet och kommer tack vare den relativt långa tiden mellan skördarna att förändras år från år. Negativt kan vara att upplevelsen av det öppna jordbrukslandskapet går förlorad. Skulle energiskog planteras på de sista åkerlapparna i ett annars skogsdominerat landskap försvinner de sista resterna av det gamla åkerbruket ur landskapsbilden. Då energiskogar enligt rekommendationerna bör inhägnas som skydd mot betande vilt kommer höga stängsel bli vanligare, och hur detta kommer att uppfattas är okänt. För brukaren innebär energiskogsodling att flexibiliteten minskar. En odling har en livslängd på flera decennier men hur gammal den kan bli innan produktionen avtar är okänt. Redan romarna drev ett skottskogsbruk baserat på *Salix*, så det är ett gammalt system med lång historia och i England finns rester av skogar som sköts som skottskogar under större delen av de senaste ettusen åren (Gustafsson 1987).

Det nya strukturella inslaget i jordbrukslandskapet gynnar den biologiska mångfalden genom att erbjuda nya habitat (Volk *et al.* 2004). Särskilt odling av *Populus* som har en längre omloppstid och hinner utvecklas till träd. Det som kan

förändra den bilden är om energiskog blir en dominerande gröda i jordbrukslandskapet, vid vilken omfattning detta sker är inte känt. Det är troligt att den floristiska diversiteten ökar ju äldre energiskogen blir (Gustafsson 1987).

Salix kan också användas för att rena förorenad mark då *Salix* har en förmåga att ta upp och ackumulera tungmetaller i sin ved, där askan efter förbränning kan renas eller deponeras (Kuzovkina & Quigley 2005).

Tidigare odlingar av *Salix* har stött på motstånd hos markägare. En genomgång av skälen visade att motståndet berodde på okunskap och dåligt plantmaterial. Okunskapen ledde till att odlingar anlades på torra marker och plantmaterialet var många gånger känsligt för frost (Helby et al 2006). Bra rådgivning är viktigt och växtförädling har tagit fram kloner som inte är lika känsliga för frost. Växtförädling kan också i framtiden innebära att energiskog även kan bli aktuellt i de norra delarna av Sverige.

I en analys av det framtida utbudet från energiskog av *Salix* användes en maxuppskattning på 40 TWh (Lundmark 2007), vilket skulle innebära att betydande arealer nuvarande jordbruksmark ska omformas. Var dessa arealer kommer att placeras är av stor betydelse för miljöeffekterna. Med regionala analyser kan energiskogar placeras där deras positiva miljöeffekter kommer att överväga.

6.4 Avverkningsrester

Skörd av avverkningsrester, vare sig det är grenar och toppar eller stubbar innebär ett minskat kollager i skogen. Först och främst för att mer biomassa tas ut ur ekosystemet men också för att den högre temperaturen ger en snabbare nedbrytning av humustäcket. Stubbrytning kan troligen i ännu högre grad minska kollagret i skogsmarken, då stubbar och rötter tar längre tid att bryta ned och då nedbrytningen går snabbare vid gränserna till den öppna mineraljorden. Risken för kompaktering finns vid den normala avverkningen och den ytterligare körning som behövs för att samla in grenar och toppar har troligen mindre betydelse. Skogsbruket använder idag mycket lite kemiska bekämpningsmedel och att samla in avverkningsrester påverkar inte den användningen.

Från skogsmark är risken för näringsläckage störst direkt efter avverkning. Hur detta läckage kan påverkas av insamlande av avverkningsrester är inte känt. Om det ytterligare uttaget av biomassa kommer att ställa krav på näringskompensation genom gödsling är under diskussion. Askåterföring har diskuterats men då är det framförallt för att motverka ytterligare försurning och brist på mineralämnen (aska innehåller inget kväve). Ju mer biomassa som tas ut ur skogen desto mer positiva baskatjoner tas bort och pH sjunker.

Uttag av avverkningsrester innebär inte någon påverkan på landskapet eftersom marken fortsatt kommer att vara en skogsmark. Det är troligt att insamlandet av grenar och toppar kommer att uppfattas som positivt då många betraktar avverkningsytter som skräpiga och besvärliga att gå i på grund av grenar och toppar som

ligger kvar. Stubbrytning kommer antagligen av samma skäl uppfattas som negativt. Den biologiska mångfalden kommer troligen att minska om mer biomassa, och därmed småbiotoper, tas bort ur skogen. Erfarenheten visar också att död ved som avsiktligt lämnats på avverkningar i naturvårdssyfte har "försvunnit" i samband med insamlande av avverkningsrester. Det är mycket angeläget att naturvårdshänsynen i skogsbruket inte drabbas av ett ökat biomassauttag.

6.5 Intensivodling av gran

Intensivodling av gran har visats ge ett större kollager i skogsmarken. Troligen beror det på att den större näringstillgången ger en högre tillväxt av allt organiskt liv. Det är dock osäkert om detta gäller överallt i Sverige. Hur trädens immunförsvar påverkas av en snabbare tillväxt är inte känt. Vid gödsling har högre halter av kväve uppmätts i markvattnet, hur mycket av det som sedan läcker till omgivningen är inte undersökt. Då intensiv odling innebär större biomassa per arealenheter så kommer skogen att vara tätare och täta granskogar upplevs av många skogsvandrare som tråkiga. Men marken kommer att förbli skogsmark och inte förändra landskapet avsevärt.

Människans utnyttjande av skogen har haft långtgående konsekvenser för många arter knutna till Sveriges skogslandskap. De dominerande skötselansvisningarna under 1900-talet har drabbat många sällsynta arter hårt, särskilt de knutna till död ved och till miljöer med en dominans av äldre träd (de Jong 2002). Sedan miljömålet fick lika hög prioritet som produktionsmålet i Skogsvårdslagen 1994 har dock många nya element i skogsbruket, som tex högstubbar och evighetsträd, inneburit att de första stegen för att hindra minskningen av våra mest sällsynta arter i skogslandskapet tagits (de Jong 2002). Stora arealer med intensivodlad gran kommer att motverka de åtgärder som tagits. Det är angeläget att utforma den framtida skogspolitiken så att de framsteg som gjordes i slutet av 1990-talet i skogen inte omintetgörs av ett intensivare nyttjande av skogsmarken. Om gran intensivodlas på åkermark kommer flera av de negativa miljöeffekterna vid intensivodling på skogsmark att bli positiva. Jämfört med traditionella jordbruksgrödor har gran som en perenn gröda större kollager, mindre risk för kompaktering, mindre näringsläckage och skulle på landskapsnivå bidra till en ökad biologisk mångfald. Det som skulle kunna uppfattas som negativt är hur täta granskogar ersätter den öppna jordbruksmarken.

Det är angeläget att undersöka intensivodling även av andra trädslag än gran. När det dominerande målet för trädodling är energiutvinning så ändras också kraven på träden. Produktionen av volymen torrs substans blir mer intressant än volymen stamvirke, vilket idag är det som styr skogsbruket. Barrträd får en lägre densitet ju snabbare de växer, medan det för vissa av våra lövträd är tvärtom och för andra lövträd spelar tillväxthastigheten ingen roll för densiteten. Under normala tillväxtbetingelser har gran en densitet som är mindre än hälften av björkens (Dahlgren *et al* 2004) och ett bränslevärde som är 76 % av björkens (Johansson 2000). Det innebär att trots liknande, eller något mindre, volymer så skulle björk vara ett bättre alternativ ur energisynpunkt. Ur ett landskapsperspektiv skulle nog ljusa

björkskogar också vara lättare att acceptera för allmänheten än täta granskogar. För biodiversiteten skulle ett ökat lövinslag i vårt skogslandskap också vara positivt. När det gäller produktionspotentialer så har det visats (Fries 1964, Karlsson *et al* 1997) att väl skött björkskog under de första femtio åren kan ha en hög biomassaproduktion.

De försök som har gjorts med intensiv-odling av gran har gjorts på skogsmark och utvärderats med tanke på optimal volymproduktion. Det vore angeläget att undersöka intensiv-odlingens effekt på granens produktion på jordbruksmark och dess effekt på de svenska miljömålen. Om energipriserna fortsätter att stiga eller, då insamlandet av avverkningsrester nått den punkt då kostnaden för att samla in överstiger intäkten från försäljning, kan det vara ekonomiskt fördelaktigt att ta stamvirke till energiutvinning istället (Lundmark 2006).

Poppel och asp borde också utvärderas för intensivodling på skogsmark, där ett ökat inslag av lövskog skulle gynna den biologiska mångfalden och minska försurningen, samtidigt som det av många skulle ses som en förbättring av landskapet.

6.6 Akvatiska biobränslen

De encelliga algerna och cyanobakterierna har den högsta produktionspotentialen av alla biobränslen med en fördubblingstid av biomassan som räknas i timmar. Ännu har dock inte några fungerande system att odla dem eller skörda dem från naturliga vatten på tempererade breddgrader sett dagens ljus. Här behövs mer forskning.

När det gäller akvatiska biobränslen finns det väldigt litet material men om de planer som finns kan realiseras så medför de många positiva miljöeffekter. Vid odling i dammar kan miljöeffekter i omgivningen minimeras, troligen med ganska enkla medel. Om alger odlas i nyanlagda dammar som samlar upp avrinningsvatten från jordbruket eller näringsrikt vatten från reningsverk så skulle det ha en starkt positiv effekt. Näringsläckaget från jordbruket skulle kunna minska. Kan skörd av algblomningar i naturliga vatten fungera tekniskt så kommer effekterna att vara övervägande positiva. Problem idag är att dessa vatten är övergödda och att ta bort näring från dem är att, i viss mån, föra dem mot ett mer naturligt tillstånd.

7 Slutsatser och viktiga kunskapsluckor

Området biobränslen är under snabb utveckling. De grödor som har diskuterats har olika bakgrund. Vissa, som våra traditionella jordbruksväxter, har odlats under lång tid och kunskaperna om deras miljökonsekvenser är väl kända. Andra har odlats under betydligt kortare tid, till exempel *Salix*, och där är kunskaperna om de fullständiga miljöeffekterna fortfarande ofullständig men slutsatser är möjliga att dra. Sedan finns andra som endast odlats i försöksskala, intensivodling av gran, hampa, etc., Här måste en hel del forskning till för att väl underbyggda beslut om deras framtid är möjliga att göra. Sedan finns det några som fortfarande befinner sig i planeringsstadiet, det gäller framför allt odling och/eller skörd av alger.

På basis av nuvarande kunskap så har *Salix*-odlingar de minsta negativa miljöeffekterna av biobränslen från åkermarker. *Populus* kan sannolikt vara ett lika bra eller ännu bättre alternativ beroende på längre omloppstider, men kunskap saknas. Överhuvudtaget gäller för åkermarker att perenna grödor är att föredra för att minimera negativa miljöeffekter. För biobränslen från skogsmark så är det insamling av GROT som det finns tillräcklig kunskap om för att kunna dra några säkra slutsatser. De negativa miljökonsekvenserna av skördande av GROT är relativt små och hanterbara så länge den långsiktiga överlevnaden för arter som använder kvistar och grenar som refugier inte äventyras. Från akvatiska miljöer har ännu inte gjorts några praktiska försök i större skala i Sverige.

Behov av forskning föreligger för många av biobränslena, de i dagsläget mest prioriterade bör vara:

- Skalfrågan, det vill säga hur mycket av och var odlingen av biobränslen placeras, är kanske den viktigaste frågan för flertalet av miljöeffekterna.
- Intensivodling av träd bör undersökas närmare för andra trädslag än gran, men också med syfte att odla dem på åkermark. Där kan de eventuellt minska vissa negativa miljöeffekter i jordbrukslandskapet som näringsläckage och bidra till en större biologisk mångfald på landskapsnivå.
- Flerartssammansatta perenna gräsmarker bör undersökas med avseende på hur artuppsättningen förändras över tid, om behovet av gödning kan minska när ärtväxter ingår, etc.
- Odling av alger och skörd av alger från naturliga vatten bör undersökas mer. Skörd av alger från naturliga vatten innebär antagligen att störda ekosystem restaureras och vid odling ser de negativa konsekvenserna ut att vara små.
- Skillnader i miljöeffekter vid ekologisk och konventionell odling av perenna biobränslen bör kvantifieras.

Det finns också ett stort forskningsbehov i gränslandet mellan ekonomi och miljö. Det gäller hur man ska internalisera miljökostnader i en ekonomisk analys av ett

biobränsle, hur effekter av gödning (miljökostnader av produktion och miljöeffekter vid spridning) ska värderas mot produktion, etc.

Litteratur

- Akselsson, C., Westling, O., Sverdrup, H. & Gundersen, P. 2007. Nutrient and carbon budgets in forest soils as decision support in sustainable forest management. *Forest Ecology and Management* 238:167-174.
- Andersson, P. & Berggren, D. 2005. Amino acids, total organic and inorganic nitrogen in forest floor soil solution at low and high nitrogen input. *Water, Air and Soil Pollution* 162:369-384.
- Augustson, Å., Lind, A. & Weih, M. 2006. Floristisk mångfald i *Salix*-odlingar. *Svensk botanisk tidskrift* 100:1.
- Bergh, J., Linder, S. & Bergström, J. 1999. SLU; Fakta skog nr 2 1999.
- Bergström, L. & Kirchman, H. 2000. Minskar ekologisk odling utlakningen av kväve? FAKTA Jordbruk Nr 20, SLU.
- Cardinale, B.J., Wright, J.P., Cadotte, M.W., Carroll, I.T., Hector, A., Srisvastava, D.S., Loreau, M. & Weis, J.J. 2007. Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104:18123-18128.
- Christersson, L. 1990. Tala om växtkraft! Skogsfakta nr 67, SLU.
- Cook, J.H., Beyea, J. & Keeler, K.H. 1991. Potential impacts of biomass production in the United States on biological diversity. *Annual review of energy and the environment* 16:401-431.
- Dahlgren, T., Wistrand, S. & Wiström, M. 2004. Nordiska träd och trädslag. Byggförlaget, Stockholm, Sverige.
- De Jong, J. 2002. Populationsförändringar hos skogslevande arter i relation till landskapets utveckling. CBM:s skriftserie 7. Centrum för biologisk mångfald, Uppsala.
- EEA 2006. How much bioenergy can Europe produce without harming the environment, EEA Report No 7.
- Ekstam, U. & Forshed, N. 1992. Om hävden upphör. Naturvårdsverket.
- Elmqvist, H. & Strid Eriksson, I. 2000. Systemanalys av jordbruk – de storskaliga experimenten kan göras i datorn. FAKTA Jordbruk Nr 2, SLU.
- Ericsson, K. & Larsson, L.J. 2006. Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass and Bioenergy* 30:1-15.
- Eriksson, E., Gillespie, A.R., Gustavsson, L., Langvall, O., Olsson, M., Sathre, R. & Stendahl, J. 2007. Intergrated carbon analysis of forest management practices and wood substitution. *Canadian Journal of Forest Research* 37:671-681.
- Esseen, P-A., Ehnström, B., Sjöberg, K. & Ericsson, L. 1997. Boreal forests. *Ecological Bulletin* 46:16-47.
- FAKTA Jordbruk. 2001. Miljönyckeltal: Kväve, fosfor, kadmium, energi och markpackning. Faktablad, SLU Nr 7 2001.
- Fransson, P.M.A., Taylor, A.F.S. & Finlay, R.D. 2000. Effects of continuous optimal fertilization on belowground ectomycorrhizal community structure in a Norway spruce forest. *Tree Physiology* 20: 599-606.

- Fries, J. 1964. Vårtbjörkens produktion i Svealand och södra Norrland. *Studia Forestalia Suecica*, 14, 303 pp.
- Graham, R.L., Downing, M. & Walsh, M.E. 1996. A framework to assess regional environmental impacts of dedicated energy crop production. *Environmental Management* 20:475-485.
- Gunnarsson, S., Marstorp, H., Witter, E., Klemmedstsson, Å.K. & Svensson, L. 2000. Gröngödsel och stallgödsel – miljöhot eller tillgång i uthålligt lantbruk? FAKTA Jordbruk nr 4, SLU.
- Gustafsson, L. 1987. Plant conservation aspects of energi forestry - A new type of land use in Sweden. *Forest Ecology and Management* 21:141-161.
- Hagström, P. 2006. Hur stor är den svenska bioenergipotentien? FAKTA Skog nr 1, SLU.
- Helby, P., Rosenqvist, H. & Roos, A. 2006. Retreat from *Salix* - Swedish experience with energy crops in the 1990s. *Biomass and Bioenergy* 30:422-427.
- Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P.V. & Evans, A.D. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122:113-130.
- Ingerslev, M. 1997. Effects of liming and fertilization on growth, soil chemistry and soil water chemistry in a Norway spruce plantation on a nutrient-poor soil in Denmark. *Forest Ecology and Management* 92:55-66
- Johansson, T. 2000. Är gran på åkermark en tänkbar biobränsleproducent? FAKTA Skog nr 11, SLU.
- Jonsell, M., Hansson, J. & Wedmo, L. 2007. Diversity of saproxylic beetle species in logging residues in Sweden – Comparisons between tree species and diameters. *Biological Conservation* 138:89-99.
- Jonsell, M., Weslien, J. & Ehnström, B. 1998. Substrate requirements of red-listed saproxylic invertebrates in Sweden. *Biodiversity and Conservation* 7:749-764.
- Jordbruksstatistik årsbok 2007; med data om livsmedel.2007. Sveriges officiella statistik, Jordbruksverket.
- Jordbruksverket. Bioenergi - ny energi för jordbruket. Rapport 2006:1
- Karacic, A. 2005. Production and ecological aspects of short rotation poplars in Sweden. *Acta Universitatis Agriculturae Suecia*, Uppsala, 2005:13.
- Karlsson, A., Albrektsson, A. & Sonesson, J. 1997. Site index and productivity of artificially regenerated *Betula pendula* and *Betula pubescens* stands on former farmland in Southern and Central Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12:256-263.
- Kryzeviciene, A. 2006. Herbaceous plants as a renewable source of bioenergy. *Ekologija* 2:66-71.
- Kumm, K-I. 1989. Skog på jordbruksmark. *Ekonomi Fakta* nr 10, SLU.
- Kuzovkina, Y.A. & Quigley, M.F. 2005. Willows beyond wetlands: Uses of *Salix* L. species for environmental projects. *Water, Air and Soil Pollution* 162:183-204.

- Larsson, S. 2006. Supply curves of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) in Västerbotten County, northern Sweden, under different EU subsidy schemes. *Biomass and Bioenergy* 30:28-37.
- Lennartsson, T. 2001. Skötsel av naturliga fodermarker - viktiga kunskapsluckor och forskningsuppgifter. Centrum för Biologisk Mångfald, Skriftserie 4: 23-30.
- Lindkvist, L. Aska från Biobränsle, Produktions- och kvalitetsaspekter beträffande näringskompensation och vitalisering av skogsmark. Skogsstyrelsen Rapport 5 2000.
- Lundmark, R. 2007. Utbudet av biobränslen på kort- och lång sikt. Rapport Statens Energimyndighet.
- Lundmark, R. 2006. Cost structure of and competition for forest-based biomass. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21:272-280.
- Mahmood, S., Finlay, R.D. & Erland, S. 1999. Effects of repeated harvesting of forest residues on the ectomycorrhizal community in a Swedish spruce forest. *New Phytol.* 142:577-582.
- McLaughlin & Walsh (1998) Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. *Biom. Bioen.* 14:317-324.
- Minor, M.A., Volk, T.A. & Norton, R.A. 2004. Effects of site preparation on communities of soil mites (Acari: Oribatida, Acari: Gamasida) under short-rotation forestry in New York, USA. *Applied Soil Ecology* 25: 181-192.
- Minor, M.A. & Cianciolo, J.M. 2007. Diversity of soil mites (Acari: Oribatida, Mesostigmata) along a gradient of land use types in New York. *Applied Soil Ecology* 35: 140-153.
- NREL 1998. A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program – Biodiesel from Algae. NREL/TP-580-24190.
http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/biodiesel_from_algae.pdf
- Nilsson, C. 2001. Miljönyckeltal: Kemiska bekämpningsmedel. FAKTA Jordbruk Nr 6, SLU.
- Nittérus, K., Åström, M. & Gunnarsson, B. 2007. Commercial harvest of logging residue in clear-cuts affects the diversity and community composition of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Scandinavian Journal of Forest Research* 22:231-240.
- Nordén, B. Ryberg, M., Götmark, F. & Olausson, B. 2004. Relative importance of coarse and fine woody debris for the diversity of wood-inhabiting fungi in temperate broadleaf forests. *Biological Conservation* 117:1-10.
- Olsson, B.A. & Staaf, H. 1995. Influence of harvesting intensity of logging residues on ground vegetation in coniferous forests. *Journal of Applied Ecology* 32:640-654.
- Patzek, T.W. & Pimentel, D. 2005. Thermodynamics of energy production from biomass. *Critical Reviews in Plant Sciences* 24:327-364.
- PROFU 2007. Tillgång på förnybar energi – En rapport om energi och miljömål. ER 20, Statens energimyndighet.
- Rudolph, J. & Gustafsson, L. 2005. Effects of forest-fuel harvesting on the amount of deadwood on clear-cuts. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20:235-242.

- Rudolphi, J. 2007. Bryophytes, lichens and dead wood in young managed boreal forests. Doktorsavhandling, Uppsala, SLU.
- Skärbäck, E. & Becht, P. 2005. Landscape perspective on energy forests. *Biomass and Bioenergy* 28:151-159.
- Slapokas, T. & Granhall, U. 1991. Decomposition of willow-leaf litter in a short-rotation forest in relation to fungal colonization and palatability for earthworms. *Biology and Fertility of Soils* 10:241-248.
- Stenberg, M. & Aronsson, H. 1999. Plöj senare och minska risken för kväveutlakning. FAKTA Jordbruk nr 2, SLU
- Thelin, G., Rosengren, U., Callesen, I. & Ingerslev, M. 2002. The nutrient status of Norway spruce in pure and mixed-species stands. *Forest Ecology and Management* 160:115-125.
- Totten, M., Pandya, S.I. & Janson - Smith, T. 2003. Biodiversity, climate, and the Kyoto protocol: risks and opportunities. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1(5): 262-270.
- Twedt, J.D., Wilson, R.R., Henne-Kerr, J.L. & Hamilton, R.B. 1999. Impact of forest type and management strategy on avian densities in the Mississippi Alluvial Valley, USA. *Forest Ecology and Management* 123: 261-274.
- Weih, M., Karacic, A., Munkert, H., Verwijst, T. & Diekmann, M. 2003, Influence of young poplar stands on floristic diversity in agricultural landscapes (Sweden). *Basic and Applied Ecology* 4: 149-156.
- Volk, A.T., Verwijst, T., Tharakan, P.J., Abrahamsson, L-F. & White, E.H. 2004. Growing fuel: a sustainability assessment of willow biomass crop. *Front Ecol Environ* 2:411-418.
- Von Fircks, H.A. & Sennerby-Forsse, L. 1990. Frosthärdighet och tillväxtrytm hos snabbväxande *Salix*-arter. Skogsakta nr 71, SLU.
- Åström, M., Dynesius, M., Hylander, K. & Nilsson, C. 2005. Effects of slash harvest on bryophytes and vascular plants in southern boreal forest clear-cuts. *Journal of Applied Ecology* 42:1194-1202.



Vårt mål – en smartare energianvändning

Energimyndigheten är en statlig myndighet som arbetar för ett tryggt, miljövänligt och effektivt energisystem. Genom internationellt samarbete och engagemang kan vi bidra till att nå klimatmålen.

Myndigheten finansierar forskning och utveckling av ny energiteknik. Vi går aktivt in med stöd till affärsidéer och innovationer som kan leda till nya företag.

Vi visar också svenska hushåll och företag vägen till en smartare energianvändning.

Alla rapporter från Energimyndigheten finns tillgängliga på myndighetens webbplats www.energimyndigheten.se

