

Hvilken værdi har føde-, energi- og økosystemydelser, som er produceret inden for et agro-økosystem?

Læbælter til energi og marker til fødevareproduktion

■ TEKST: JOHN R. PORTER¹, LENE SIGSGAARD¹, HARPINDER S. SANDHU², STEPHEN D. WRATTEN³, ROBERT COSTANZA⁴ OG BRIAN DENNIS¹

Økosystemerne i jordbruget producerer føde, fibre og ikke-markedsomsatte økosystemydelser. Jordbruget er typisk forbundet med høje negative eksterne omkostninger, fx i forbindelse med anvendelsen af fossilt brændstof. Ved hjælp af økologisk monitorering på markniveau samt økonomiske værdisætningsmetoder har vi estimeret værdien af markedsomsatte og ikke-markedsomsatte økosystemydelser i et kombineret føde- og energiproducerende agro-økosystem (CFE), der samtidigt producerer føde, foder og bioenergi.

Nye CFE agrosystemer af denne art kan give betydelige nettoforøgelse i afgrøde-, energi- og ikke-markedsomsatte ydelser med anvendelsen af væsentlige færre fossilbaserede ressourcer sammenlignet med konventionelt jordbrug.

Vurdering af jordbrugets økosystemydelser

Økosystemydelser kan beskrives som de fordele, mennesker drager af økologiske processer og økosystemfunktioner. Ved at anerkende værdien af økosystemydelser accepterer vi, at vores hovedsagelig ikke-markedsomsatte økologiske rigdom udgør grundlaget for vores markedsomsatte økonomiske rigdom.

Økosystemydelser fra jordbruget har hidtil været tillagt relativt lave værdier sammenlignet med andre terrestriske og akvatiske økosystemer, primært som følge af manglende data. Imidlertid er det væsentligt, at der tilvejebringes en mere præcis vurdering af jordbrugets økosystemydelser, da agro-økosystemer dækker mellem 28 og 37

pct. af landjorden fordelt 70:30 mellem græsning og afgrøder. Jordbruget kan betragtes som jordens største økologiske eksperiment med en stor risiko for at kunne skade globale økosystemydelser, men også med potentialet for at kunne fremme disse ydelser gennem økologisk ansvarlige agrosystemer, der værdisætter såvel markedsomsatte som ikke-markedsomsatte økosystemydelser.

Samtidig med spørgsmålet om ydelserne fra agro-økosystemer er der nu en stigende interesse for anvendelse af dyrkede arealer til fremstilling af biobrændsel, således at produktionen er så bæredygtig som muligt. Et sådant behov indbyder til udvikling af nye primære produktionssystemer, der sikrer en positiv netto kulstofbinding i jord, har en høj artsdiversitet og lavt input, og som giver en vifte af økosystemydelser.

Det nye kombineret føde- og energiproducerende agro-økosystem (CFE) tilgodeser disse behov for bæredygtighed gennem anvendelse af nonfood levende hegn som kilder for biodiversitet og biobrændsel. Vi har identificeret, kvantificeret og værdisat økosystemydelser fra dette produktionssystem og har betegnet konceptet som kombineret føde-, energi- og økosystemydelser (Combined Food, Energy and Ecosystem Services, CFEES).

Højere energiproduktion i CFE systemet

CFE systemet, som vort arbejde er baseret på, blev etableret med det formål at skabe et netto energiproducerende agro-økosystem, der producerer mere energi i form af fornybar biomasse, end der bruges til plantning, dyrkning og høst af føde og foder. Bioenergikomponenten udgøres af læbælter med hurtigvoksende træer (pil, el og hassel) plantet på langs af marker med korn- og foderafgrøder.

CFE værkstedsområdet er placeret ved Københavns Universitets forsøgsgårde i Taastrup. CFE systemet blev plantet i maj 1995 og omfatter 10,1 ha kornafgrøder (byg og hvede) og foderafgrøder (kløvergræs) samt 1 ha biobrændselsafgrøder, der omfatter fire læbælter med hurtigvoksende træer (figur 1). Læbælterne består af 11 meter brede rækker med blandede kloner af hurtigvoksende pilebuske (*Salix spp*) omgivet på den ene side af to rækker el og på den anden side af to rækker hassel. El (*Alnus rubra*) fikserer kvælstof, mens hassel (*Corylus spp*) er tiltrækkende for rovinsekter. Træerne i læbælterne etableredes som fem dobbeltrækker med planteafstand på 0,5 meter og rækkeafstand på 0,7 meter. Afstandene mellem hver dobbeltrække er 1,3 meter, hvilket giver en plantetæthed på 20.000 træer pr. ha.

De føde- og foderafgrøder, der dyrkes mellem læbælterne, høstes årligt. Sædskiftet omfatter en mark med byg med kløvergræsudlæg, to marker med kløvergræs og en med hvede, således at den procentvise arealfordeling i CFE systemet er 45:45:10 mellem kløvergræs, afgrøde og biomasse. Dette sædskifte er anvendt i CFE systemet siden 2000; fra 1995-2000 dyrkedes havre og foderroer. Systemet drives økologisk uden anvendelse af biocider, og næringstoftilførsel sker udelukkende gennem kvælstoffiksering og recirkulering af husdyrgødning. Læbælterne er anlagt med forskellige indbyrdes afstande (50, 100 og 200 meter) for at muliggøre studier af virkningen af rumlig adskillelse og skala, der dog ikke indgår i nuværende undersøgelse.

Siden dets etablering i 1995 er der gennemført en omfattende monitorering af CFE systemet for en række økologiske indikatorer, herunder biomasse- og afgrødeudbytte, energibalance, kulstofbinding, kvælstoftil-

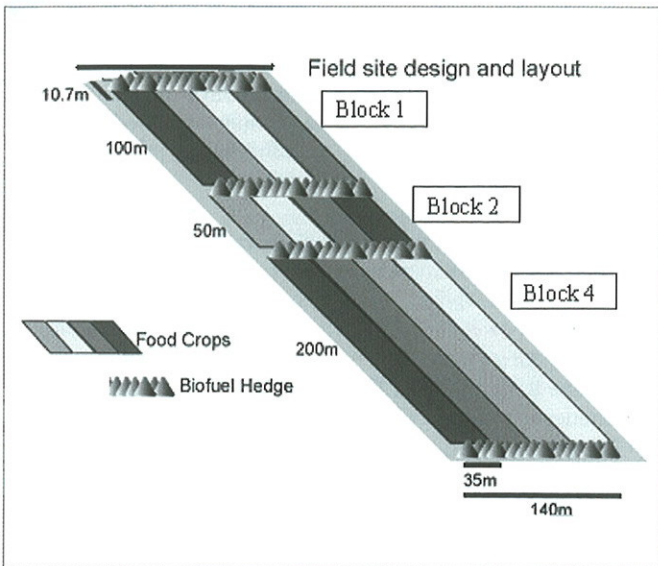
¹Institut for Jordbrug og Økologi, KU LIFE.

²CSIRO Sustainable Ecosystems, Australien.

³National Centre for Advance Bio-Protection Technologies, Lincoln University, New Zealand.

⁴Gund Institute for Ecological Economics, University of Vermont, USA.

Figur 1. Skitse af CFE systemet for økologisk føde- og energiproduktion ved Københavns Universitets forsøgsgårde.



Tabel 1. Input/output for konventionelle danske dyrkningssystemer for korn- og foderafgrøder samt for CFE systemet.

Input (pr. ha pr. år)	Konventionelt dyrkningssystem	CFE-systemet
Energi (GJ)	19	15
N-kunstgødning (kg)	110-204	-
Organisk N gødning (kg)	44	20
Insekticider (kg)	0,010-0,022	-
Fungicider (kg)	0,28-0,33	-
Herbicider (kg)	0,98-1,08	-
Vanding (m ³)	710	-
Output (pr. ha pr. år)		
Energi (GJ)	94	119
Korn (t tørstof)	5,9-8,5	4,1-5,7
Foder (t tørstof)	32	10,2-10,7
Biobrændsel (t tørstof)	5,8	6,1
Braklagt areal (%)	12	10

gængelighed og biologisk kontrol af skadedyr. Læbælterne høstes og snittes hvert fjerde eller femte år, og træflisen anvendes på et nærliggende kraftvarmeværk til produktion af varme og el.

En oversigt over forskellene mellem CFE systemet og konventionelle danske dyrkningssystemer (tabel 1) viser, at de vigtigste forskelle udgøres af CFE systemets lavere energiforbrug end i konventionelt jordbrug. Systemet anvender ikke kunstgødning, bruger mindre organisk gødning og benytter hverken biocider eller kunstvanding. Energiproduktionen er højere i CFE systemet som følge af læbælterne, mens korn- og foderudbyttet er noget lavere. Arealet, der

anvendes til nonfood afgrøder, er proportionelt lidt lavere i CFE systemet end i det konventionelle jordbrug.

Og nettoværdien er ...

Vi har anvendt en bottom-up indfaldsvinkel til estimering af økosystemydelse fra CFE systemet. Målinger af systemets processer og tilstande er foretaget på markniveau. Disse funktionelle elementer er derefter oversat til monetære enheder ved anvendelse af estimater for betalingsvillighed, værdioverførsel og afværgeomkostninger.

I forår og sommer 2006 foretog vi målinger og beregninger af biologisk kontrol af skadedyr, afgrøde- og biomasseudbytte,

kvælstoffiksering og -mineralisering, regnormetæthed, jordformation og insektbestøvning med det formål at få et øjeblikbillede af økosystemydelse fra CFE systemet 11 år efter dets etablering.

Lokale målinger af økologiske processer i CFE systemet og deres værdi (tabel 2) viser, at af systemets tre komponenter (biomasse, korn, kløvergræs) havde biomasse den højeste bruttoydelse pr. ha (USD 1146) efterfulgt af kløvergræs (USD 1134) og afgrøder (USD 998). Ikke-markedsomsatte økosystemydelse udgør henholdsvis 48 pct., 48 pct. og 81 pct. af de samlede ydelser fra de tre CFE komponenter.

Når arealfordelingen mellem kløvergræs (45 pct.), korn (45 pct.) og biomasse (10 pct.) indregnes, er økosystemydelse fra CFE systemet som helhed USD 1074 pr. ha, hvoraf 64 pct. er ikke-markedsomsatte ydelser. Når globale værdier anvendes (1), og multifunktionelle ydelser medregnes, stiger bruttoværdien af økosystemydelse fra afgrødeproduktion fra USD 92 pr. ha (omfattende bestøvning USD 14, biologisk kontrol USD 24 og fødeproduktion USD 54) til USD 1866 pr. ha. Fradraget de eksterne omkostninger (2) er nettoværdien USD 1479 pr. ha, USD 387 lavere.

Således peger beregninger af ydelserne fra multifunktionelt jordbrug baseret på henholdsvis lokale og globale værdier begge på en nettoværdi af jordbrugets økosystemydelse, der ligger mellem USD 1000-1500 pr. ha. Største bidrag til jordbrugets økosystemydelse kommer fra regulering af kvælstofomsætning, produktion af føde og biomasse samt et bidrag til landskabsæstetik.

Tabel 2. Monetær værdi af økosystemydelse i kløvergræs, korn, biomassebælter og i det kombineret føde- og energisystem (CFE). Værdien af ydelserne i CFE systemet er baseret på forholdet 45:45:10 mellem kløvergræs, korn og biomasse.

Økosystemydelse	Værdi af økosystemydelse USD pr. ha pr. år			
	kløvergræs	korn	biomasse	CFE
Biologisk kontrol af skadegørere	13	0	12	7
N-regulering: fiksering og mineralisering	434	217	15	294
Jordformation	11	17	-	13
Føde- og foderproduktion	216	515	0	329
Biomasseproduktion	0	0	600	60
Kulstofakkumulation	37	25	60	34
Hydrologisk strøm	76	86	42	77
Æstetik	262	138	332	213
Bestøvning	85	0	85	47
Samlet økonomisk værdi af økosystemydelse (ES)	1134	998	1146	1074
Værdi af ikke-markedsomsatte ydelser (NMV)	918	483	546	685
NMV/ES værdi	0,81	0,48	0,48	0,64