

Nr

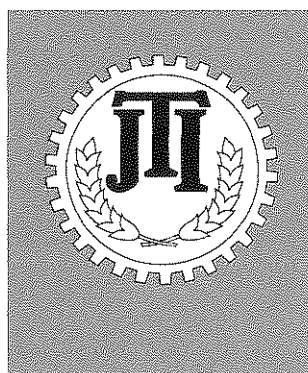
12

Biogas i framtida lantbruk och kretsloppssamhällen

Effekter på mark, miljö och ekonomi

Martin Sundberg
Waldemar Johansson
Hans Hjortsberg
Kurt Hansson
Huibert Oostra
Kerstin Berglund
Helena Elmquist

1997



JTI-rapport
KRETSLOPP & AVFALL
Nr 12

Biogas i framtida lantbruk och kretsloppssamhällen

Effekter på mark, miljö och ekonomi

Biogas in future agricultural and urban-rural recycling systems

Effects on soil, environment and economy

Martin Sundberg
Waldemar Johansson
Hans Hjortsberg
Kurt Hansson
Huibert Oostra
Kerstin Berglund
Helena Elmquist

© Jordbrukstekniska institutet 1997
Enligt lagen om upphovsrätt är det förbjudet
att utan skriftligt tillstånd av copyrightinnehavaren
helt eller delvis mångfaldiga detta arbete

Tryck: Jordbrukstekniska institutet, Uppsala 1997
ISSN 1401-4955

Innehåll

Förord	5
Sammanfattning	7
Bakgrund	8
Syfte	9
Uppläggnig	10
Allmänna förutsättningar	10
Växtföljder	11
Fältarbeten	12
Biogasanläggning	14
Gasproduktion	15
Rötrest	16
Gödsling	16
Beskrivning av modellen över marksystemet	17
Producerad biomassa	19
Mängder	19
Sammansättning	20
Nedbrytning av organiskt material i marken	21
Kol	21
Kväve	23
Kvävefixering	23
Utlakning och denitrifiering	24
Ammoniakavgång	25
Gröngödslingsvallar	25
Rötrest	25
Markstruktur	26
Beräkning av miljöeffekter	28
Förbrukning av diesel	28
Förbrukning av eldningsolja	31
Förbrukning av el	31
Externa gödselmedel	32
Kvantifiering av emissioner	33
Värdering av emissioner	34
Ekonomi	35
Intäkter och kostnader	35
Lantbruk	35
Biogasanläggning	40
Resultat	42
Marksystemet	42
Mullhalt	42
Kväveförsörjning	43
Kväveförluster	44

Fosfor	45
Markstruktur.....	46
Miljöeffekter	49
Ekonomi.....	52
Lantbruk	52
Biogasanläggning	53
Känslighetsanalys.....	54
Diskussion	55
Slutsatser	57
Referenser.....	58

Bilagor

1. Grundvärden till odlingsystemindex	61
2. Sammanställning av förbrukade resurser m.m., utgörande underlag för beräkning av miljöeffekter	63
3. Resultat från simuleringar av marksystemet under en tioårsperiod	
Ekologisk odling med grüngödsling	65
Konventionell odling utan vall.....	66
Ekologisk odling med biogas.....	67
Konventionell odling med biogas	68
Konventionell odling med biogas – samrötning	69

Förord

Den ökade specialiseringen inom lantbruket har bland annat inneburit att en allt större del av spannmålsproduktionen sker på gårdar helt utan djurhållning. Ensidig stråsådesodling ger en rad negativa effekter, som på lång sikt innebär att jordarnas produktionsförmåga försämras. Genom att införa fleråriga vallar i växtföljden skulle emellertid situationen för dessa gårdar kunna förbättras avsevärt. En stor del av vallgrödans energiinnehåll kan i en röttningsprocess utnyttjas för produktion av biogas. Rötning av vallgrödan till biogas innebär dessutom miljömässiga fördelar, eftersom biogasen bl.a. inte ger något utsläpp av fossilt koldioxid. Den rötrest som sedan återstår utgör ett växtnärings- och jordförbättringsmedel som på ett kontrollerat sätt kan fördelas till grödorna i växtföljden. I föreliggande rapport redovisas ett projekt som syftar till att försöka belysa de långsiktiga effekterna av att man på kreaturslösa gårdar inför flerårig baljväxtrik vall som rötas till biogas.

Projektet initierades av Lennart Thyselius, Jordbrukstekniska institutet och Kurt Hansson, Gasilage i Sala AB. Under projektets gång har riktlinjerna för arbetet dragits upp av en grupp bestående av Martin Sundberg, Jordbrukstekniska institutet; Kerstin Berglund, Sveriges Lantbruksuniversitet; Helena Elmquist, Sveriges Lantbruksuniversitet; Kurt Hansson och Waldemar Johansson, Svensk Växtkraft AB och Sveriges Lantbruksuniversitet.

Ansvarig projektledare har varit Martin Sundberg, vilken också skrivit huvudparten av denna rapport. Den del av projektet som rör markstruktur har genomförts av Kerstin Berglund och Waldemar Johansson. Avsnitten om markstruktur och större delen av bakgrunden har skrivits av Waldemar Johansson. De ekonomiska beräkningarna har genomförts av Hans Hjortsberg, Jordbrukstekniska institutet, i dialog med Kurt Hansson och Martin Sundberg. Avsnitten om ekonomi i rapporten har författats av Hans Hjortsberg. Helena Elmquists medverkan inom projektet har främst rört växtnäringsfrågor.

Programmeringen vid framtagning av simuleringsmodellen över marksystemet har gjorts av Huibert Oostra vid Jordbrukstekniska institutet.

Projektet har finansierats med medel från Stiftelsen Lantbruksforskning och NUTEK inom ramen för "Utvecklingsprogram biogas". Till alla som på olika sätt bidragit till projektets genomförande framförs ett varmt tack.

Ultuna, Uppsala i november 1997

Björn Sundell

Chef för Jordbrukstekniska institutet

Sammanfattning

Lantbruket har under de senaste decennierna i flera avseenden genomgått stora förändringar. Effektivitetskrav har medfört en successivt ökande storlek på traktorer och fältmaskiner. Även om man sedan många år tillbaka varit medveten om lämpliga åtgärder för att undvika skadlig jordpackning, är detta något som jordarna ändå drabbas av. Vi ser också en alltmer tydlig specialisering inom jordbruket, som medfört att man i vissa regioner har en ensidig odling av spannmålsgrödor. Sammantaget har detta medfört att huvuddelen av våra odlade jordar idag har en sämre fysikalisk status idag än någon gång tidigare. I många växtföljder skulle vallen, som har en mycket positiv inverkan på mullhalt och markstruktur, utgöra ett värdefullt avbrott. Under senare år har vi också blivit alltmer uppmärksamma på jordbrukets miljöpåverkan, tillika jordbrukets roll när det gäller att sluta kretsloppet mellan stad och land. För att nå ett uthålligt, resurssnålt och miljövänligt jordbruk är det av stor vikt att våra jordars produktionsförmåga kan upprätthållas och att skadlig miljöpåverkan minimeras. I framtiden kommer jordbruket sannolikt inte bara att producera livsmedel, utan i större omfattning än idag även energi och andra förnyelsebara råvaror till industrin.

Föreliggande studie har genomförts för att i någon mån belysa i vilken utsträckning man med olika utformning av framtida lantbruk kan bidra till att nå den ovan beskrivna målbilden. Med ett systemanalytiskt angreppssätt har vi studerat långsiktiga effekter på mark och miljö vid införande av biogas från vall på gårdar utan kreatur. Vi har också försökt belysa de ekonomiska konsekvenserna av att införa biogasvall.

I studien har vi utgått från gårdsenheter på 100 ha på mellanlera i Mellansverige. Fyra grundalternativ med olika driftsform har beräknats, nämligen:

1. Ekologisk odling med gröngödsling
2. Konventionell odling utan vall
3. Ekologisk odling med vall för biogas
4. Konventionell odling med vall för biogas

I grundalternativen produceras biogasen i en liten anläggning på gårdsnivå, där årsmedeleffekten är 60 kW. Vi har i de ekonomiska beräkningarna även sett på effekterna av när 15 gårdar samverkar om en större anläggning på 1 MW. I ytterligare ett alternativ samrötas ensilage med organiskt avfall i en anläggning på 2 MW. Den producerade biogasen kan användas för antingen uppvärmning, kraftvärme (el och värme) eller fordonsdrift.

För att beskriva dynamiken i marksystemet konstruerades en simuleringsmodell, där bl.a. flödena av kol, kväve och fosfor i marken beräknas. Som resultat erhålls bl.a. mullhaltsförändringar, storleken av olika kväveförluster i systemet och underskott av kväve (gödslingsbehov). I statistiska beräkningar har de olika driftsformernas inverkan på markstrukturen värderats och sammanvägts i ett odlingssystem-index. De studerade alternativens miljöpåverkan vad avser växthuseffekt, övergödning och försurning har kvantifierats med livscykelanalysmetodik. När det gäller ekonomi har vi beräknat dels hur införande av flerårig vall påverkar lantbrukarens ekonomi, dels investeringsutrymme för tre storlekar på biogasanläggning vid olika slutanvändning av biogasen.

Av de resultat som framkommit i studien framgår att man med flerårig vall i växtföljden får en uppbyggnad av markens förråd av både kol (mull) och organiskt bundet kväve. I referensalternativen (utan flerårig vall) lyckas man nätt och jämnt upprätthålla den initiala mullhalten på 2,5 %. Detta trots att vi i förutsättningarna antagit att all halm lämnas kvar på fältet. En ökning av mängden organiskt bundet kväve i marken gör att odlingssystemet blir mer självförsörjande, varvid behovet av inköpt kväve minskar.

Mineraliseringen av det organiska kvävet kan emellertid inte styras på samma sätt som kompletteringsgödsling, vilket i konventionell odling innebär större förluster av kväve i systemet med flerårig vall. I ekologisk odling däremot, ger alternativet med flerårig vall inte större kväveförluster än växtföljden med grüngödslingsvallar, åtminstone på 20 års sikt.

Flerårig vall i konventionell odling ger avsevärt bättre markstruktur än en växtföljd utan vall. Lika god markstruktur har beräknats för det ekologiska alternativet med ettåriga grüngödslingsvallar. Däremot uppnås inte samma goda markstruktur med flerårig vall i ekologisk odling. Den främsta orsaken till detta är den ökade markbelastningen vid vallskörd och spridning av rötrest i jämförelse med växtföljden med grüngödslingsvallar. I beräkningarna har emellertid ingen hänsyn tagits till att markstruktureffekterna av en flerårig vall troligen är stabilare och varar längre än effekterna av ettåriga vallar utspridda i växtföljden.

Om man inte tar hänsyn till de miljöeffekter som uppnås när biogasen ersätter annan energi, ger växtföljderna med flerårig vall större bidrag till växthuseffekt, övergödning och försurning räknat per ton avsalugrödor. När hänsyn också tas till att biogasen ersätter annan energi, blir bidraget till växthuseffekten avsevärt mycket lägre för biogasalternativen. Den ur miljösynpunkt bästa användningen av biogasen är när den ersätter diesel som fordonsbränsle. Bidragen till övergödning och försurning blir då ungefär lika stora i systemen med respektive utan flerårig vall.

Vid samrötning med organiskt avfall accentueras ökningen av kol och kväve i marken. På lång sikt skulle den stora mängden rötrest i detta system vara tillräcklig för att klara kväveförsörjningen i konventionell odling. Samtidigt blir dock kväveförlusterna större än i de övriga studerade systemen.

Med antagna förutsättningar och prisrelationer erhålls det största investeringsutrymmet för en biogasanläggning när gasen förädlas till fordonsbränsle. Därefter kommer produktion av kraftvärme, medan värmeproduktion har lägst investeringsutrymme.

Bakgrund

Sedan 1940-talet har lantbruket genomgått stora förändringar vad avser djurhållning, åkeranvändning, maskin- och odlingsteknik. Detta har medverkat till att huvuddelen av våra odlade jordar idag har sämre fysikalisk status än någon gång tidigare. Effekter vi ser och kan mäta är bland annat låg mullhalt, ogynnsam markstruktur och låg genomsläpplighet i matjorden och övre delen av alven. Andra märkbara konsekvenser är dålig dränering, stort bearbetnings- och dragkraftbehov

samt dåliga betingelser för rotutveckling, vattenupptagning, näringsutnyttjande och tillväxt. Problemen är störst inom spannmålsdominerade områden, på struktur-svaga mjälajordar och lerjordar.

Markens struktur och fysikaliska egenskaper, liksom olika slag av markprocesser, påverkas mer eller mindre kontinuerligt av flera naturliga faktorer såsom tjäle, uppblötning och upptorkning, flora och fauna m.m. Dessutom sker en påverkan genom brukarens åtgärder, liksom av andra mänskliga influenser. En viss influens kan ha olika effekt vid olika tidpunkter och på skilda jordar. Brukaren påverkar sin jords struktur och fysikaliska status genom grundförbättringsåtgärder, såsom dränering, strukturkalkning och tillförsel av externt organiskt material, samt genom det odlingssystem han tillämpar. Odlingssystemet – gröda och växtföljd, jordbearbetningsmetoder, gödslingsåtgärder, återförsel av organisk substans etc. – kan påverka marken i såväl positiv som negativ riktning.

Med avseende på mullhalt och markstruktur, och alla därav betingade egenskaper, samt på kemiska förhållanden, markliv, behov av bekämpningsmedel m.m., har vallen en mycket positiv inverkan. Detta gäller för de flesta jordar, men särskilt på lerjordar. Andelen vall på åker har inom vårt klimatområde alltid utgjort och kommer sannolikt alltid att utgöra karakteristika på odlingssystemets uthållighet och god markvård.

En ökad andel spannmål, vilket kan bli ett resultat av senare års prisutveckling inom EU, skulle med visshet försämra odlade jordars produktionsförmåga. Andra effekter är ett ökat dragkraftbehov, minskad nyttjandegrad av näringsämnen och en sannolikt ökad skördevariation mellan år.

Fleråriga baljväxtri- vallar för utvinning av energi skulle ge möjlighet till ut- hålligare och miljövänligare jordbruk inom nu spannmålsdominerande områden. Att jordbruket i framtiden kommer att ha en viktig roll som energiproducent, är något som framhålls i en studie som nyligen genomförts av Naturvårdsverket (1997). Genom att konservera och röta baljväxtri- vallgröda kan jordbrukaren dessutom, från år till år, föra över växtnäring med möjligheter till kontroll över gödselgivar och fördelning på fält.

Ett värdefullt växtnärings- och jordförbättringsmedel kan också erhållas från organiskt avfall som rötas, antingen tillsammans med växtmaterialet eller i en särskild rötchamber. En fördel med att röta organiskt avfall är att de flesta av de viktigare växtnäringsämnena finns kvar i rötresten efter processen. Många andra behandlingsmetoder, som t.ex. förbränning eller kompostering, ger ingen eller mycket lägre återföringsgrad av kväve.

Syfte

Syftet med detta projekt är att med ett systemanalytiskt angreppssätt studera de långsiktiga effekterna på mark och miljö vid införande av biogas från vall på gårdar utan kreatur. Arbetet avser i första hand att återspegla förhållandena på 20 års sikt, då de långsiktiga effekterna av en förändrad odlingsstrategi kan för- väntas bli tydliga. Projektet ska dessutom belysa de ekonomiska konsekvenserna av att införa biogasvall.

Uppläggnig

Effekterna av att införa flerårig vall som rötas till biogas har studerats dels för en liten anläggning på en enskild gård, dels en större anläggning med samverkan mellan grupper av närliggande gårdar. Gårdar med såväl ekologisk som konventionell drift ingår i analysen. Systemanalysen har genomförts i följande tre delar:

- Marksystemet
- Miljöeffekter
- Ekonomi

För att beskriva dynamiken i marksystemet konstruerades en simuleringsmodell i programmen MATLAB - SIMULINK. I modellen beräknas flödena av kol, kväve och fosfor i marken och som resultat erhålls bl.a. storleken av olika kväveförluster i systemet och underskott av kväve (gödslingsbehov). För att få ett mått på den fysikaliska strukturen i marken har också ett odlingssystemindex för de olika driftsformerna beräknats. Detta har gjorts med statiska beräkningar och ingår således inte i simuleringsmodellen.

För att beräkna miljöeffekterna har de studerade alternativens förbrukning av bl.a. diesel, eldningsolja, elektricitet och gödselmedel kvantifierats. Genom livscykelanalysmetodik har de uppkomna emissionerna förts samman i effektkategorierna växthuseffekt, övergödning och försurning. Dessa beräkningar har utförts i kalkylprogrammet EXCEL.

De ekonomiska beräkningarna har främst syftat till att fastställa, dels hur införande av flerårig vall påverkar lantbrukarens ekonomi, dels investeringsutrymmet för biogasanläggning. I denna del har mycket av de data och resultat som framkommit i de två andra delarna använts som indata. Även dessa beräkningar har utförts i kalkylprogrammet EXCEL.

Biogasen kan användas för uppvärmning, kraftvärme (el och värme) eller fordonsdrift. I analysen har vi också försökt belysa hur effekterna av dessa olika användningar av gasen inverkar på miljö och ekonomi.

Allmänna förutsättningar

I systemanalysen har följande fyra grundalternativ beräknats:

1. Ekologisk odling med gröngödsling
2. Konventionell odling utan vall
3. Ekologisk odling med vall för biogas
4. Konventionell odling med vall för biogas

Alternativ 1 och 2 utgör *referensalternativ*, som avser att återspegla nuvarande system för ekologisk och konventionell odling där befintlig kunskap om respektive odlingssystem utnyttjas på ett förnuftigt sätt.

I *grundalternativen* 1-4 omfattar analysen *en* brukningsenhet bestående av 100 ha åkermark. Produktionen av biogas sker här på gårdsnivå i en liten anläggning med en årsmedeleffekt på ca 60 kW. I de ekonomiska beräkningarna har vi också belyst

effekterna av när 15 gårdar (à 100 ha) går samman om en större biogasanläggning på ca 1 MW.

I ytterligare ett alternativ samrötas ensilage och organiskt avfall i proportionen 1:1 på torrsubstansbas. Detta alternativ är beräknat för 15 gårdar med konventionell odling. Eftersom vallandelen på gårdarna antas vara oförändrad ger detta alternativ dubbelt så stor mängd rötningssubstrat. Biogasanläggningen får därför en storlek på ca 2 MW.

Röresterna separeras i en fast och en flytande fas som sedan lagras och återförs till åkermarken.

Gårdarna antas vara belägna i Mellansverige. Jordarten är mellanlera och den initiala mängden kol i marken har satts till 50 ton/ha, vilken innebär en mullhalt på 2,5 %. Mängden mineralkväve i jorden på våren år 1 har satts till 40 kg/ha, och mängden fosfor till 4 ton/ha. Driften är kreaturslös och all halm brukas ned i jorden. All bärgad kärna och frö torkas på gården och säljs.

Växtföljder

För alla de fyra grundalternativen fastlades 10-åriga växtföljder samt skördenivåer för de ingående grödorna, tabell 1. Varje gröda i växtföljden har förutsatts odlas på 10 % av arealen, vilket på varje gård om 100 ha således utgör 10 ha. Avkastningen för grödorna har satts med beaktande av förfruktseffekter, samt på en nivå som bedömts vara rimlig att i genomsnitt uppnå på lång sikt i respektive odlings-system. I konventionell odling utan vall har skördenivåerna satts med utgångspunkt från normskördar på lerjordar i Svealands slättbygder. Kärnskördarna i växtföljder *med* flerårig vall, har i medeltal satts ca 9 % högre än de som uppnås *utan* fleråriga vallar. Vidare har skördarna av spannmål (ej ärter) i de ekologiska systemen satts till ca 80 % av vad som uppnås i de konventionella systemen. Denna nivå har vi bedömt vara rimlig att uppnå på rationellt skötta ekologiska gårdar.

Tabell 1. Växtföljder och skördenivåer (kg torrsubstans/ha) i de fyra grundalternativen.

År	Ekologisk m gröng.		Konventionellt		Ekol. m biogas		Konv. m biogas	
	Gröda	Skörd	Gröda	Skörd	Gröda	Skörd	Gröda	Skörd
1	Korn m ins.	3 145	Vårrybs	1 700	Korn m ins.	3 400	V-rybs m ins.	1700
2	Gröngödsl.	5 500	Höstvete	5 015	Vall 1	7 500	Vall 1	7 500
3	Havre	3 060	Havre	3 740	Vall 2	8 500	Vall 2	8 500
4	Ärter	3 400	Ärter	3 400	Vall 3	6 500	Vall 3	6 500
5	Höstvete	4 080	Höstvete	5 015	Vårvete	3 655	Höstvete	5 610
6	Havre m ins.	2 975	Vårrybs	1 700	Ärter	3 655	Höstvete	5 015
7	Gröngödsl.	5 500	Höstvete	5 015	Råg	3 400	Ärter	3 655
8	V-vete m ins.	3 315	Korn	3 910	Havre m ins.	3 230	Höstvete	5 440
9	Gröngödsl. /Halvträda	4 500	Havre	3 740	Gröngödsl. /Halvträda	4 500	Havre	4 080
10	Råg	3 145	Höstvete	4 760	Höstvete	4 420	Höstvete	5 185

Fältarbeten

För vart och ett av odlingssystemen har det årliga behovet av olika fältarbeten för varje odlingssäsong fastställts, tabell 2-5.

Tabell 2. Genomsnittligt antal årliga jordbearbetningsåtgärder och körningar i fält.

Ekologisk odling med grüngödsling. v = vår, h = höst

Gröda	Harvning		Spridn. rötrest		Sådd (kombi)		Vältning	Ogräs-harvning	Skörd	Putsning	Stubb-bearbetning	Plöjning
	v	h	v	h	v	h						
Korn m ins.	2				1		0,5		1			
Grüngödsl.										3	0,5	1
Havre	2				1		0,5	3	1		2	1
Ärter	2	3			1	1	1	1,5	1		1	1
Höstvete							1	1	1		2	1
Havre m ins.	2				1		0,5		1			
Grüngödsl.										3	0,5	1
V-vete m ins.	2				1		0,5		1			
Grüngödsl. /Halvträda		3				1				2	3	1
Råg							0,5	0,5	1		2	1

Tabell 3. Genomsnittligt antal årliga jordbearbetningsåtgärder och körningar i fält.

Konventionell odling utan vall. v = vår, h = höst

Gröda	Harvning		Spridn. h-gödsel		Spridn. rötrest		Sådd (kombi)		Vältning	Kemisk bekämpning	Skörd	Stubb-bearbetning	Plöjning
	v	h	v	h	v	h	v	h					
Vårrybs	2	3					1	1	0,5	2	1	1	1
Höstvete			1,5						1	1,5	1	1	1
Havre	2						1		0,5	1	1	1	1
Ärter	2	3					1	1	1	0,5	1	2	0,5
Höstvete			1,5						1	1,5	1	1	1
Vårrybs	2	3					1	1	0,5	2	1	1	1
Höstvete			1,5						1	1,5	1	1	1
Korn	2						1		0,5	1	1	1	1
Havre	2	3					1	1	0,5	1	1	1	1
Höstvete			1,5						1	1,5	1	1	1

Tabell 4. Genomsnittligt antal årliga jordbearbetningsåtgärder och körningar i fält.
Ekologisk odling med vall för biogas. v = vår, h = höst

Gröda	Harvning		Spridn. rötrest		Sådd (kombi)		Vältning	Ogräs-harvning	Skörd	Putsning	Stubb bearbetning	Plöjning
	v	h	v	h	v	h						
Korn m ins.	2		1		1		0,5	1**	1			
Vall 1				1					3			
Vall 2				1					3			
Vall 3									2		3	1
Vårvete	2		1		1		0,5	3	1		2	1
Ärter	2	3			1	1	1	1,5	1		1	1
Råg			1				0,5	0,5	1		2	1
Havre m ins	2		1		1		0,5	2+1**	1			
Gröngödsl./Halvträda		3		1*		1				2	3	1
Höstvete							1	1	1		2	1

* Fasta rötrest. I övriga fall flytande rötrest.

** Avser fördelning av halm för att inte hämma vallinsådden.

Tabell 5. Genomsnittligt antal årliga jordbearbetningsåtgärder och körningar i fält.
Konventionell odling med vall för biogas. v = vår, h = höst

Gröda	Harvning		Spridn. h-gödsel		Spridn. rötrest		Sådd (kombi)		Vältning	Kemisk bekämpning	Skörd	Stubb bearbetning	Plöjning
	v	h	v	h	v	h	v	h					
V-rybs m ins.	2				1		1		0,5	2	1		
Vall 1						1					3		
Vall 2						1					3		
Vall 3		3						1			2	2	1
Höstvete		3	1,5					1	1	1,5	1	1	1
Höstvete			0,5		1				1	1,5	1	1	1
Ärter	2	3					1	1	1	0,5	1	2	0,5
Höstvete			1,5						1	1,5	1	1	1
Havre	2	3			1	1*	1	1	0,5	1	1	1	1
Höstvete			0,5						1	1,5	1	1	1

* Fasta rötrest. I övriga fall flytande rötrest.

Den maskinpark som komponerats för att utföra fältarbetena redovisas i tabell 6. Uppgifterna om ringtryck och lastvikt i tabellen har använts som underlag för beräkningarna rörande markstrukturen.

Tabell 6. Maskinpark.

Maskin	Arbetsbredd, m	Ringtryck, kPa fram/bak	Lastvikt, kg
Traktor, 60 hk		50/50	
- " - , 90 hk (fyrhjulsdriven)		50/50	
- " - , 140 hk (fyrhjulsdriven)		50/50	
Stubbkultivator	5,0		
Plog, 4-skärig	1,6		
Harv	8,5		
Såmaskin (kombi)	4,0		2 000
Vält	6,0		
Handelsgödselspridare (snurra)	16,0		1 000
Släpplangspridare (3-axlad)	12,0		10 000
Fastgödselspridare (3-axlad)	12,0		12 000
Ogräsharv	10,0		
Ogrässpruta	12,0	60/80	1 000
Putsmaskin (för gröngödslingsvallar)	3,6		
Slätterkross med svängbart drag	3,1		
Exakthack och vagn (3-axlad)	6,2		12 000
Skördetröska	4,2	160/160	

Biogasanläggning

Biogasanläggningen förutsätts vara utformad som en enstegs totalomblandad mesofil rötningsprocess. Ensilaget lagras i plansilor i anslutning till anläggningen. Uttagning av ensilaget görs med traktor, varefter det rivs isär och matas in i en kvarn som ger en hög sönderdelningsgrad. Materialet matas sedan direkt in i röt-kammaren. I alternativet med samrötning hanteras det organiska avfallet i en helt separat linje, inklusive hygienisering vid 70° C, innan beskickningen.

För att undvika alltför höga saltkoncentrationer i röt-kammaren tillsätts 1,3 liter vatten/kg substrat vid rötning av enbart ensilage. Motsvarande mängd vid samrötning är 1 liter. Rötningen kommer då att ske vid en högre torrsbstanshalt (7-8 %) än i konventionella slamröttningsprocesser, där ts-halten vanligen ligger på 3-4 %. Rötresten avvattnas så att en flytande och en fast fas erhålls. Den fasta fasen körs med traktor till tomt plansiloutrymme, medan den flytande fasen pumpas till en lagringsbehållare.

Gasproduktion

På en gårdsenhet om 100 ha skördas årligen 225 ton ts grönmassa. Efter ensileringsförluster på 10 % återstår 202,5 ton som kan användas i röt-kammaren. I alternativet med samrötning tillförs lika stor mängd torrsbstans i form av organiskt avfall. De båda substratens innehåll av näring framgår av tabell 7. Värdena för organiskt avfall grundas på analyser utförda på material från Västeråsregionen (Ånger, pers. medd.)

Tabell 7. Torrsubstanshalt och innehåll av näringsämnen i substrat.

	ts-halt, %	VS, % av ts	N, % av ts	P, % av ts	C, % av ts
Ensilage	25,0	90	2,58	0,30	43,0
Ensilage + org. avfall	27,5	89	2,44	0,43	45,5

Gasutbytet har vid rötning av enbart ensilage satts till 330 liter metan/kg VS, och vid samrötning till 375 liter metan/kg VS (VS = Volatile Solids, beteckning för organisk substans - glödförlust). Andelen metan i den producerade gasen har antagits vara 56 % vid ensilagerötning och 58,5 % vid samrötning. Vid rötning av ensilage beräknas 5 % av den producerade gasen åtgå för att upprätthålla önskad temperatur i röt-kammaren. Motsvarande värde vid samrötning har satts något högre, 6 %, vilket då även inkluderar energiåtgången för att hygienisera avfallet. En Nm³ metangas antas innehålla 35,33 MJ.

Från en enhet om 100 ha produceras med dessa förutsättningar gas med ett bruttoenergiinnehåll på 2,02 TJ per år. Vid samverkan mellan 15 gårdar produceras 30,3 TJ per år. Vid samrötning blir motsvarande värde 67,0 TJ per år. Medeleffekterna över hela året blir då för de tre anläggningsstorlekarna 64 kW, 960 kW respektive 2,12 MW. För enkelhetens skull benämns dessa storlekar i fortsättningen 60 kW, 1 MW och 2 MW.

Vid produktion av kraftvärme används en gasmotor som drivs med rågas från anläggningen. Kraftvärmeproduktion kan tänkas ske vid alla de tre storlekarna på anläggningen. Olika storlekar på gasmotorer ger olika förhållande mellan el- och värmeproduktion (Jarheim, pers. medd.). I tabell 8 har detta samt den totala årliga produktion av el och värme för olika anläggningsstorlekar angivits.

Tabell 8. Årlig energiproduktion vid olika storlekar av gasmotorer.

	60 kW	1 MW	2 MW
Verkningsgrad	88	88	88
Andel el av producerad energi	0,33	0,41	0,455
Årlig värmeproduktion, TJ	1, 19	15,7	32,1
Årlig elproduktion, MWh	163	3 035	7 447

Innan gasen kan användas för fordonsdrift måste den renas, vilket innebär att bl.a. CO₂ avlägsnas. Metanhalten bör enligt ett förslag till svensk standard uppgå till 97 % (Hjortsberg, 1997), ett värde som också används i denna studie. Vid reningen

uppstår gasförluster, vars storlek är beroende av vilken reningsteknik som används. I detta arbete har vi antagit att 5 % av mängden metan i den orenade gasen går förlorad. Detta innebär att för anläggningarna med storlekarna 60 kW, 1 MW och 2 MW blir energiinnehållet i den återstående mängden gas 1,92, 28,8 respektive 63,6 TJ. Energiåtgången för rening och komprimering av biogasen har på underlag av uppgifter från Brolin m.fl. (1995), beräknats till 0,57 kWh/Nm³. Av detta åtgår 0,17 kWh/m³ för reningen och 0,4 kWh/m³ för komprimeringen.

Användning av biogas som fordonsbränsle ger sämre utnyttjande av energiinnehållet än vid dieseldrift. Detta beror främst på att motorn får lägre verkningsgrad och att fordonsvikten blir högre. Vi har i denna studie antagit 15 % högre energiåtgång vid gasdrift än vid användning av diesel (Hjortsberg, 1997).

Rötrest

Utifrån de antaganden som gjorts vad gäller gasutbyte och metanhalt, kan man teoretiskt beräkna mängd och sammansättning av den återstående rötresten. Vi har då förutsatt att inget kväve eller fosfor förloras vid rötningen. Efter avvattning har ts-halten i den fasta fasen antagits vara 32 %. Torrsubstanshalten i den flytande fasen antas vid rötning av ensilage vara 4 % och vid samrötning 5 %. Vid lagringen av den fasta fasen antas 10 % av dess innehåll av kväve gå förlorat i form av ammoniak. Med dessa förutsättningar erhålls från en produktionsenhet om 100 ha, de mängder av fast och flytande rötrest inklusive näringsinnehåll som redovisas i tabell 9.

Tabell 9. Mängder och sammansättning av rötrester för spridning på fält. Angivna mängder avser produktionen från en enhet om 100 ha.

	Mängd, ton /100 ha		Ts-halt, %	N, % av ts (kg/100 ha)	P, % av ts (kg/100 ha)	C, % av ts (kg/100 ha)
	vått	ts				
Ensilage						
fast fas	102	32,6	32,0	4,35 (1 416)	0,84 (275)	46,2 (15 027)
flytande fas	835	33,4	4,0	10,9 (3 641)	1,00 (333)	46,2 (15 416)
Ensilage+org. avfall						
fast fas	149	47,8	32,0	4,87 (2 326)	1,31 (628)	52,4 (25 058)
flytande fas	1 442	72,1	5,0	10,1 (7 278)	1,51 (1 090)	52,4 (37 800)

Gödsling

I de båda växtföljderna med vall fördelas den flytande rötresten ut på grödorna enligt det fasta schema som återfinns i tabell 10. Hela den tillgängliga mängden av fast rötrest läggs i båda fallen på hösten år 9, innan sådd av höstvetete. Att vi har valt hösten som spridningstidpunkt i vall, beror på att man i fleråriga gödslingsförsök i Uppland erhållit det genomgående bästa kväveutnyttjandet med detta alternativ (Larsen m.fl., 1991).

Tabell 10. Fördelning av tillgänglig mängd flytande rötrest i växtföljden, % av tillgänglig mängd.

Ekologisk odling med biogas			Konventionell odling med biogas			
			vallrötning	samrötning		
Korn m ins.	14	**	V-rybs m ins.	21	7	**
Vall 1			Vall 1			
Vall 2	24	*	Vall 2	24	9	*
Vall 3	24	*	Vall 3	24	13	*
Vårvete	10	**	Höstvete			
Ärter			Höstvete	16	25	***
Råg	14	***	Ärter			
Havre m ins.	14	**	Höstvete		26	***
Gröngödsl. /Halvträda			Havre	16	20	**
Höstvete			Höstvete			

* sent föregående höst

** på våren med efterföljande nedbrukning inom 1 tim

*** på våren i växande gröda

I samtliga alternativ tillförs varje gröda vid behov extra tillskott av kväve. Erforderlig mängd beräknas av simuleringsmodellen som beskrivs i nästa avsnitt.

I de ekologiska odlingssystemen antas kompletteringsgödslingen ske med BIOFER 10-4. Detta är ett KRAV-godkänt organiskt gödselmedel som innehåller 10 % kväve och 4 % fosfor. I konventionell odling utförs kompletteringsgödsling med HYDRO 27-5, innehållande 27 % kväve och 5 % fosfor.

Beskrivning av modellen över marksystemet

Modellens principiella uppbyggnad framgår av flödesschemat i bild 1. Syftet med modellen har i första hand varit att simulera cirkulationen av kväve, fosfor och kol i odlingssystemet. Härigenom kan man bl.a. få en uppfattning om vad olika stora förråd av organiskt material i marken får för betydelse för växternas näringsförsörjning och mängden kväve som läcker ur systemet. Eftersom studien avser odlingssystem på mellanlera där det alltid finns ett stort kaliumförråd i marken, har vi inte inkluderat kaliumflöden i modellen.

Beräkningarna startar år 1 med antagna initialvärden på markens innehåll av kväve (N), fosfor (P) och kol (C). Beräkningarna vad gäller kväve i modellen, görs för såväl organiskt bundet kväve som för mineralkväve. Det sistnämnda är den form av kväve som kan tas upp och utnyttjas av växterna. På våren tillförs i förekommande fall N, P och C i form av flytande rötrest. Hela den mängd kväve som finns i utsädet, beräknas i modellen komma växterna tillgodo.

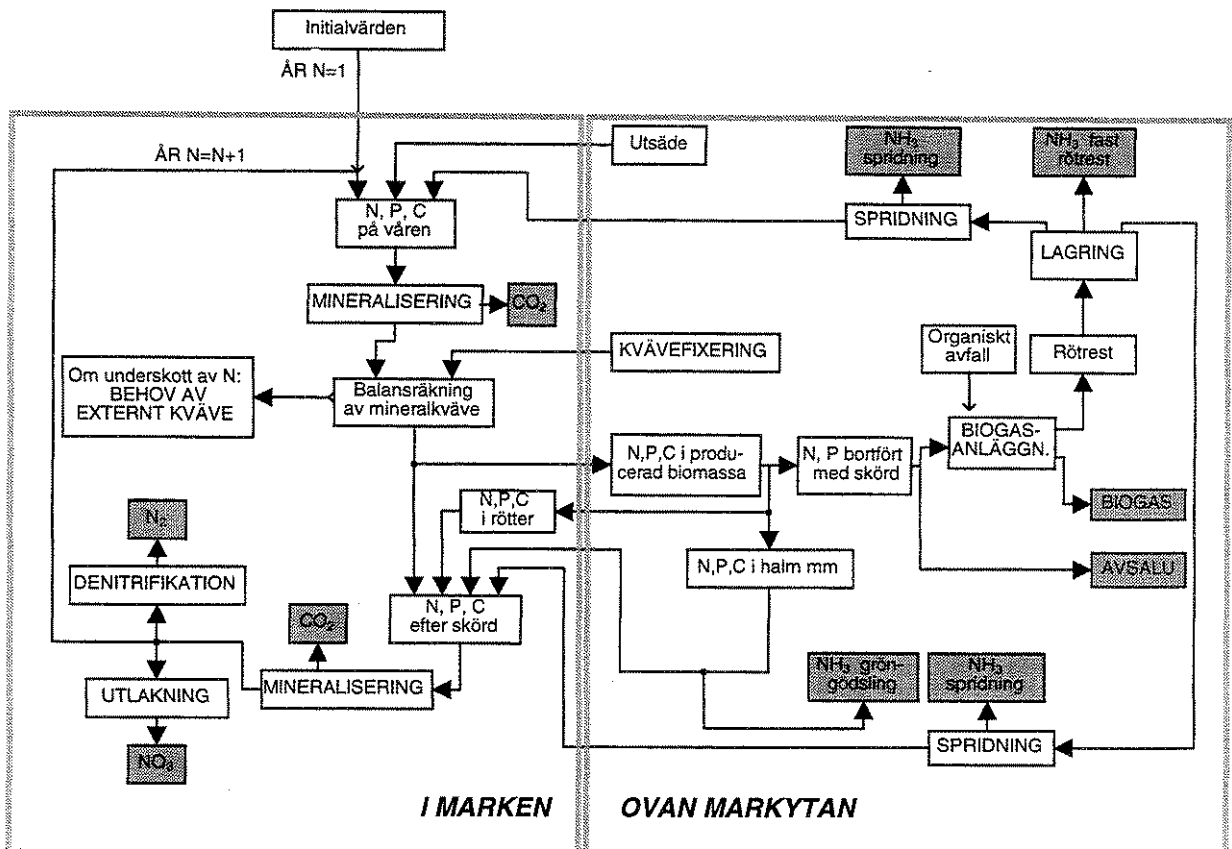


Bild 1. Schematisk uppbyggnad av simuleringsmodellen för marksystemet. Den vänstra delen av bilden avser förhållandena i marken, medan den högra avser förhållanden ovanför markytan. Skuggade boxar indikerar bortförelse ur systemet.

Under växtsäsongen fram till skörd bryts en del av markens innehåll av organiskt bundet kväve ned till växttillgängligt mineralkväve (mineralisering). Nedbrytningen av organiskt material medför även att kol avgår i form av koldioxid. Tillförelse av kväve till växterna kan när det gäller baljväxter också ske genom att luftkväve fixeras av bakterier som finns på rötterna. Kvävefixerande grödor som finns med i denna studie är klöver i slåtter- och grön gödslingsvallar samt ärter.

Mängden mineralkväve i marken på våren, plus mineraliserat och eventuellt fixerat kväve utgör tillsammans den totala mängd kväve som växterna kan använda för produktion av biomassa. Mängden kväve i denna biomassa är definierad, eftersom mängder och kvävehalter i olika delar av växterna har fastställts i förutsättningarna. I modellen utförs därför en balansräkning för att se om kvävet är tillräckligt för den förutbestämda produktionen av biomassa. Om så inte är fallet, måste det underskott som uppstår täckas genom tillförelse av externt inköpt kväve. Detta innebär att vi i modellen tillämpar ett ytterst exakt system för behovsanpassad gödsling.

I balansräkningen tas också hänsyn till att det alltid finns en mindre mängd kväve kvar i marken som av olika anledningar inte är tillgängligt för växterna, s.k. restkväve. Mängden restkväve har i analysen satts till 25 kg/ha. Även om det är troligt att det kan föreligga skillnader i mängden restkväve mellan olika grödor och odlings-system, har detta inte kunnat återspeglas i modellen eftersom kunskapen om detta ännu är otillräcklig.

Växterna omvandlar således mineralkväve i marken till organiskt bundet kväve. Detta organiskt bundna kväve kan, såsom framgår av flödesschemat, ta olika vägar. En del förs, tillsammans med upptaget fosfor, ur systemet i form av avsalugrödor. Biomassa från vall återförs till marken som rötrest efter att ha passerat genom biogasanläggningen. I samband med lagring och spridning av rötresten förloras en del kväve i form av ammoniak. Eftersom ingen halm bärgas i systemen, återförs denna liksom övriga växtrester som blir kvar på fältet. Även materialet från grüngödslingsvallarna kommer, efter förluster av ammoniumkväve, åter marken tillgodo. Det kväve som bundits upp i växternas rotsystem finns naturligtvis hela tiden kvar i marksystemet.

Även efter skörd och fram till påföljande vår sker en nedbrytning av organiskt material, varvid kväve mineraliseras och kol försvinner som koldioxid. Under denna perioder uppstår också förluster av mineralkväve, dels genom utlakning av nitrat, dels genom denitrifikation som innebär att kväve avgår huvudsakligen som harmlöst luftkväve. Återstående mängder mineralkväve, organiskt bundet kväve, fosfor och kol utgör sedan startvärden för nästa års simulering.

När det gäller fosfor, bokförs i modellen den mängd som bortförs ur systemet via avsalugrödor. Tillförsel sker med utsäde, samt i alternativet med samrötning även från det organiska avfallet. Den fosfor som finns i ensilage, rötrest, halm, rötter m.m. cirkulerar bara runt i systemet.

Simuleringsmodellen arbetar med tidssteg på ett år. De fastslagna förutsättningarna vad gäller skördenivåer m.m. har gjorts utifrån bedömningar av vad som kan anses vara ett "normalår". Väderleken ingår således inte som variabel i beräkningarna. I verkligheten påverkar väderleken i hög grad både de antagna förutsättningarna och många av de samband som används i modellen, vilket ger upphov till stora variationer mellan enskilda år.

En mer detaljerad beskrivning av de förutsättningar och samband som använts i modellen ges i följande avsnitt.

Producerad biomassa

Mängder

Den totala mängden biomassa som produceras, har i modellen delats upp på tre fraktioner:

1. Bärgad skörd (kärna, frö, eller grönmassa till ensilage)
2. Halm, växtrester och bladspill under växtperioden
3. Rötter

Fraktionerna 1 och 2 utgör tillsammans den totala mängd biomassa som under ett år producerats ovan jord. Fraktion 1 är sådant som förs bort, medan fraktion 2 utgörs av sådant material som aldrig lämnar fältet. Mängderna av "bärgad skörd", fraktion 1, är de som tidigare redovisats i tabell 1 (*Växtföljder och skördenivåer*). Det ska dock påpekas att de skördenivåer som i denna tabell anges för grüngödslingsvall, utgörs av material som aldrig lämnar fältet, och går således in i fraktion 2.

De mängder som för olika grödor ingår i fraktionerna 2 och 3 har i huvudsak bestämts enligt Johansson (1994). I fraktion 2 innefattas bruttoproduktionen av halm, bladfall m.m. under växttiden samt spill vid skörd. Brutttoproduktionen av halm är uttryckt som en andel av "bärgad skörd". För korn och ärter är denna andel 82 %, för höst- och vårvete, havre samt råg 100 % och för oljeväxter 150 %. Mängden bladfall och spill uppgår för dessa grödor till 1/6 av halmmängden. För slätter- och grüngödslingsvallar är mängden bladfall och spill 25 % av produktionen ovan jord.

De rotmängder som används som indata i modellen, är för spannmål, ärter och oljeväxter 40 % av mängden i fraktion 2. För grüngödslingsvallar är mängden rötter satt till 75 % av produktionen ovan jord. Den mängd rötter som i modellen går in i marksystemet är enbart döda rötter. För slättervallar utförs därför beräkningarna på ett lite annorlunda sätt, eftersom en del av rotmassan övervintrar mellan åren. Den årligen producerade rotmassan är också här satt till 75 % av produktionen ovan jord. Den årliga mängden döda rötter har sedan beräknats utifrån ett antagande om att 65 % av den årliga rotproduktionen övervintrar. Av dessa övervintrande rötter antas 70 % dö under nästföljande växtsäsong. Med detta beräkningssätt återspeglas den ackumulering av rotmassa som sker vid odling av fleråriga vallar, och därmed också den stora mängd organiskt material som finns i marken vid vallbrott. Det kan nämnas att med dessa antaganden och med de avkastningsnivåer som valts i studien, uppgår rotmassan vid vallbrott efter tre år till över 10 ton ts/ha.

Sammanfattning

Genomgående för all den biomassa som produceras av växterna, har kolhalten satts till 43 % av torrsubstansen. Halter av kväve och fosfor i det material som förs bort från fältet, fraktion 1, har hämtats från Haak (1988, ref. av Claesson & Steineck, 1991) och återges i tabell 11. För alternativen med ekologisk odling har kvävehalterna i skördad spannmål satts 10 % lägre än för konventionellt odlad. I tabellen återfinns även kvävehalter i halm. Dessa värden är hämtade från samma källa och används för allt material i fraktion 2.

Tabell 11. Innehåll av växtnäring i bärgad skörd och halm, % av ts. Efter Haak (1988).

Gröda	N i bärgad skörd, % av ts		P i bärgad skörd, % av ts	Halm N, % av ts
	Konv. odling	Ekologisk odling		
Höstvete	2,24	2,01	0,44	0,70
Vårvete	2,35	2,12	0,44	0,82
Råg	2,00	1,80	0,41	0,82
Korn	2,00	1,80	0,41	0,94
Havre	2,12	1,91	0,40	0,82
Oljeväxter	4,12	-	0,71	0,94
Ärter	4,12	4,12	0,42	1,18
Vall, 75 % klöver *	2,70	2,70	0,30	
Vall, 25 % klöver *	2,50	2,50	0,30	

* För slättervallar med annan klöverandel, har kvävehalterna i "bärgad skörd" inter-, alternativt extrapolerats efter den räta linje som erhålls av de två värdena i tabellen.

För slåttervallar har kvävehalten i bladfall och spill, fraktion 2, antagits vara 25 % lägre än i den bärgade skörden.

När det slutligen gäller kvävehalten i rotmassan, är det svårt att hitta väl underbyggda data. På underlag av det begränsade material som finns tillgängligt, har därför egna bedömningar av vilka kvävehalter som kan vara rimliga diskuterats fram. De halter som används i modellen är för spannmål och oljeväxter 1,8 %, för klöver och ärter 2,4 % och för gräs 1,6 %.

Nedbrytning av organiskt material i marken

För att simulera nedbrytningen av organiskt material i modellen, används för såväl kol som kväve tre pooler i marksystemet, i vilka det organiska materialet som tillförs marken fördelas. Fördelningen i de tre poolerna har gjorts utifrån bedömningar hur lätt nedbrytbart det tillförda materialet är. I pool 1 sker nedbrytningen snabbt, medan den i pool 3 är mycket långsam. Den årliga mängden nedbrutet material i poolerna är lika för både kol och kväve och framgår av tabell 12. I tabellen redovisas också vilken procentuell fördelning som görs när olika former av organiskt material tillförs marksystemet. Gröngödslingsvallens avvikande fördelning avser att återspegla att detta är ett material som är mindre förvedat och därmed lättare att brytas ned.

Tabell 12. Årlig nedbrytning av organiskt material i marken, samt fördelning i pooler vid tillförsel av organiskt material.

	Pool 1	Pool 2	Pool 3
Årlig nedbrytning, % av mängd i pool	78	10	0,28
Fördelning i pooler, % av ts			
Halm, bladfall och spill	75	20	5
Gröngödslingsvall	80	15	5
Rötter	75	20	5
Org. kol i rötrest	49	37	14
Org. kväve i rötrest	44	41	15

Med undantag av rötresten, är fördelningen vid tillförsel av material i poolerna densamma för både kol och kväve. Rötrestens fördelning i de tre poolerna har gjorts med utgångspunkt från ett antagande om att den nedbrytning som sker i röt-kammaren motsvarar ett års nedbrytning i mark.

Kol

Nedbrytningen av det organiskt bundna kolet innebär att kol lämnar marksystemet i form av koldioxid. Hur snabbt mängden kol minskar i de tre poolerna framgår av bild 2.

Man kan se att i pool 1 är allt kol borta efter 2-3 år. I pool 2 återstår drygt 12 % efter 20 år, medan kolet i pool 3 kommer att finnas kvar i marken under flera hundra år. Nedbrytningshastigheterna i pool 1 och 2 samt materialfördelning enligt tabell 12, har valts för att få överensstämmelse med de omsättningstider

som redovisas av Johansson (1994). Nedbrytningshastigheten i pool 3 har kalibrerats in med hjälp av en kolbalansmodell framtagen av André & Ketterer (1997). Denna modell grundas på försöksdata från långliggande försök och kan bl.a. användas för att beräkna "steady-state"-värden på markens kolinnehåll vid konstant årlig tillförsel av organiskt material.

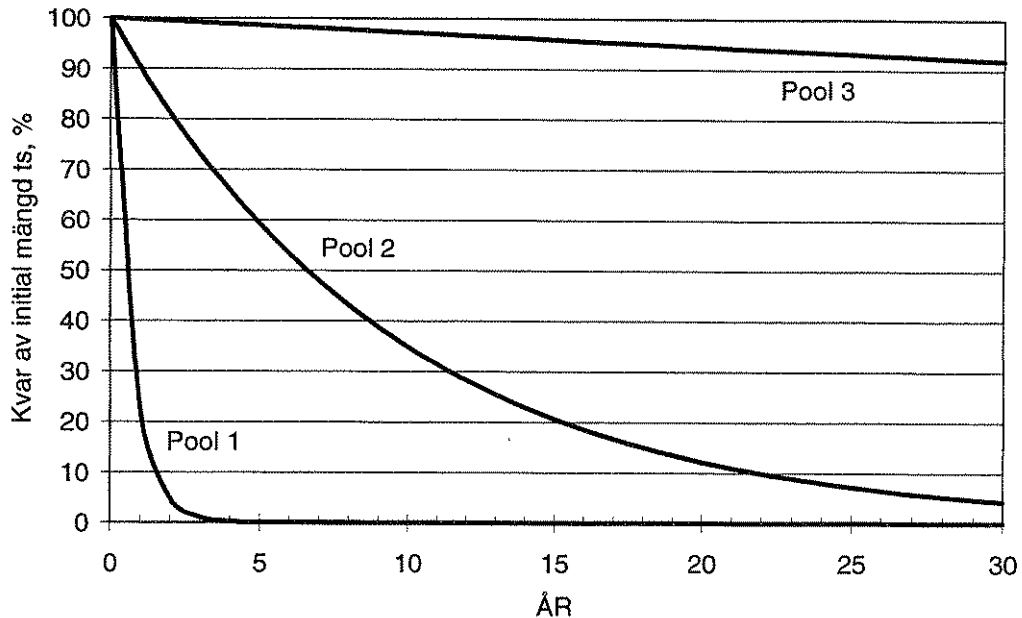


Bild 2. Nedbrytningshastighet av kol i de tre markpoolerna efter en enskild tillförsel av organiskt material.

Hur snabbt det organiskt bundna kolet bryts ned i marken, beror således på hur kolet är fördelat i de olika poolerna. Med de fördelningar som angivits i tabell 12, kommer nedbrytningen av organiskt material i modellen att ske enligt vad som illustreras i bild 3.

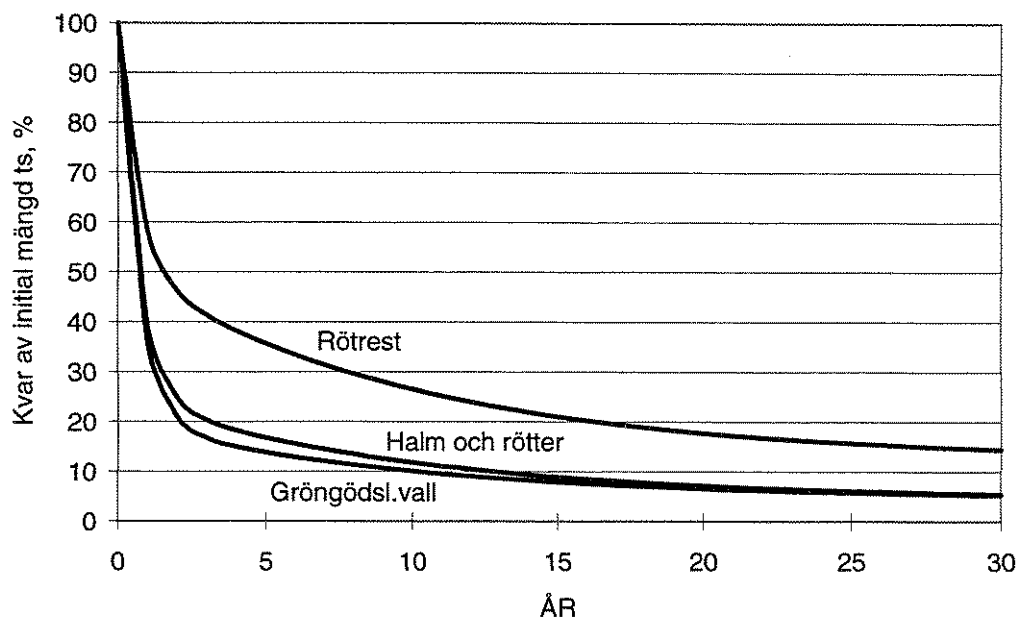


Bild 3. Nedbrytningshastigheter för olika former av organiskt material efter en enskild tillförsel.

Kväve

Vid förmultningen bryts det organiskt bundna kvävet ned och övergår till växttillgängligt kväve i marksystemet, en process som brukar kallas *mineralisering*.

I våra odlade mineraljordar är förhållandet mellan mängden kol och mängden kväve (C/N-kvoten) oftast mycket stabilt med värden på ca 10, vilket innebär att marken innehåller 10 gånger mer kol än kväve. I modellen har vi antagit att var och en av poolerna i marksystemet på sikt strävar efter att ställa in sig på "stabila" C/N-kvoter, som för pool 1 satts till 12 och för poolerna 2 och 3 till 10.

Den halm och annat växtmaterial som i modellen tillförs marksystemet har alltid en högre C/N-kvot än den pool till vilken den tillförs. För att få önskad C/N-kvot i respektive pool måste därför kväve överföras från poolen med mineralkväve i marken. Detta återspeglar den *fastläggning* av kväve som sker i marken vid nedbrytning av kvävefattig organisk substans. Fastläggningen beräknas i modellen som en process som tar ett år, vilket innebär att ett år efter tillförsel av t.ex. halm har C/N-kvoterna i poolerna justerats in till de ovan angivna "stabila" nivåerna. Som ett exempel kan nämnas att vid tillförsel av 1 ton halm med 1 % kväve, har det enligt beräkningarna i modellen efter ett års nedbrytning skett en fastläggning av 5,8 kg N från poolen med mineralkväve.

När det gäller rötresten, har justeringar gjorts så att C/N-kvoterna i den mängd rötrest som fördelas in i respektive pool, ligger på samma nivå som den "stabila" C/N-kvoten för motsvarande pool i marksystemet. Detta i enlighet med antagandet om att nedbrytningen i röt-kammaren motsvarar ett års nedbrytning i mark.

Skillnaden mellan mängden mineraliserat kväve och fastläggning kallas om den är positiv för *nettomineralisering*, och om den är negativ för *nettofastläggning*.

Kvävefixering

För att beräkna hur mycket av det fixerade luftkvävet som återfinns i de ovanjordiska delarna i ett- och fleråriga vallar, används ett samband redovisat i grafisk form av Granstedt (1996). I detta är kvävefixeringen beroende av baljväxtandel och skördens storlek enligt:

$$N_{fix} = Avk \cdot B \cdot (0,0185 \cdot Avk + 0,1874)$$

där N_{fix} är fixerat kväve ovan jord i kg N/ha, Avk är skörden i ton ts/ha och B är andelen baljväxter i vallen i procent.

Även i baljväxternas rotsystem återfinns fixerat luftkväve. Mer precisa uppgifter eller samband som beskriver storleken av detta är emellertid svårt att hitta. Vi har i detta arbete antagit att mängden fixerat kväve som återfinns i rötterna uppgår till hälften av den mängd som återfinns i växternas ovanjordiska delar. Hur stor kvävefixeringen blir för de grödor som ingår i analysen framgår av tabell 13.

När det gäller kvävefixering i ärter är kunskapen för närvarande mycket bristfällig. Generellt anses att ärter är självförsörjande på kväve, och ska således inte behöva tillföras något extra kväve via gödsling. I modellen har vi hanterat detta genom att låta ärternas kvävefixering uppgå till exakt den nivå som behövs för att täcka behovet för den avkastningsnivå som satts. För att ge en uppfattning om vad detta angreppssätt innebär, kan nämnas att den resulterande totala kvävefixeringen för år 20 varierat mellan 130 och 148 kg/ha i de beräknade systemen.

Tabell 13. Kvävefixering i ett- och fleråriga vallar.

Gröda	Avkastning, ton ts/ha	Andel baljväxter, %	Kvävefixering, kg N/ha		
			ovan jord	rötter	totalt
Vall 1	7,5	75	183,5	91,7	275,2
Vall 2	8,5	40	117,2	58,6	175,8
Vall 3	6,5	15	30,0	15,0	45,0
Gröngödslingsvall	5,5	75	119,3	59,6	178,9
D:o/halvträda	4,5	75	91,3	45,7	137,0

Utlakning och denitrifiering

Som utgångspunkt för att ta fram ett samband som ger storleken av de kväveförluster som sker genom utlakning och denitrifikation, har vi antagit att de tillsammans bör ligga på i storleksordningen 30 kg N/ha när marken är obevuxen under vintern. Eftersom jordarten i systemanalysen förutsatts vara en mellanlera, är förlusterna genom denitrifiering större än de som sker genom utlakning. Vi har antagit att förlusterna sker i ett förhållande 2:1, vilket innebär att av det ovan angivna riktvärdet på 30 kg N/ha utgörs 20 kg av denitrifiering och 10 kg av utlakning.

Hur stora kväveförlusterna blir är naturligtvis i hög grad beroende av hur mycket mineralkväve som finns i marken under vintern. Denna kvävemängd beräknas i modellen och utgör således en potential för förlusternas storlek, som beräknas enligt följande samband:

$$D = N_m \cdot 0,30 \cdot G$$

$$U = N_m \cdot 0,15 \cdot G$$

där D och U är mängden kväve i kg som förloras genom denitrifikation respektive utlakning, N_m är mängden mineralkväve i kg som finns i marken under vintern och G är en koefficient som beskrivs närmare nedan.

De värden som åsatts koefficienten G framgår av tabell 14 och återspeglar dels om marken är beväxt under hösten/vintern, dels vilken gröda som växer. Enligt Claesson & Steineck (1991) har vallen en särställning som kvävefälla. Samma källa anger att av de höstsådda grödorna har oljeväxterna den klart bästa förmågan att ta upp kväve under hösten. Därefter kommer höstråg och höstkorn, medan höstvetete bara tar upp mycket begränsade mängder kväve.

Tabell 14. Värden på koefficienten G för olika förhållanden under vintern.

	G
Obeväxt mark	1,0
Höstvetete	0,9
Råg	0,8
Vintern efter insädd av slätter- eller gröngödslingsvall	0,5
Vintern efter vall 1	0,4
Vintern efter vall 2	0,3

Ammoniakavgång

Förluster av kväve i form av ammoniak (NH_3) sker i modellen dels från grön-
gödslingsvallar, dels vid lagring och spridning av rötrest.

Gröngödslingsvallar

Gröngödslingsvallar putsas (klippas av) flera gånger under växtsäsongen, varefter materialet får ligga kvar orört på fältet. Under den nedbrytning som då påbörjas bryts en del av växtmaterialets innehåll av organiskt kväve ned och avgår i form av ammoniak.

I laboratorieförsök har man kunnat konstatera att upp till 50 % av växtmaterialets totala N-innehåll avgått som ammoniak. Dessa försök har dock varit upplagda i syfte att undersöka vilken *maximal* mängd som kan avgå, och har således genomförts under sådana förhållanden, vad avser fuktighet, temperatur m.m., som gynnar biologisk nedbrytning.

När det gäller ammoniakavgång från växtmaterial under mer praktiska förhållanden är erfarenheterna mycket begränsade. I de fåtal fältstudier som gjorts med gröngödslingsvallar har man uppmätt nivåer på ca 10 %. I försök med marktäckning, där man använt mycket tjockt materialskikt, har man uppmätt 15-17 % (Wivstad, pers. medd.). I modellen har ammoniakavgången från gröngödslingsvallar satts till 10 % av den totala mängd kväve som finns i det avslagna materialet.

Rötrest

Vid lagringen av den fasta rötresten kan avsevärda mängder kväve gå förlorade genom ammoniakavgång. I modellen har dessa förluster satts till 10 % av den totala mängden kväve i rötresten. Denna siffra innebär att i princip hela rötrestens ursprungliga innehåll av ammoniumkväve har försvunnit innan spridning.

I systemanalysen sprids en fast och en flytande fas av rötrest, där den fasta sprids med vanlig fastgödselspridare och den flytande med släpplangsspridare. Den fasta fasen sprids på hösten i samband med såbäddsberedning för höstvetete. Den flytande fasen sprids antingen på våren med efterföljande harvning, på våren i växande gröda eller sent på hösten i vall (se avsnittet *Gödsling* under *Allmänna förutsättningar*).

Såvitt känt finns det inga mätningar av ammoniakavgången vid spridning av rötrest. De fysikaliska egenskaperna för den flytande fasen är närmast att jämföra med urin, medan den fasta mer liknar fastgödsel. Storleken av ammoniakförlusterna vid spridning av rötrest, uttryckt som procent av mängden ammoniumkväve, har därför bedömts ligga på samma nivå som vid användning av motsvarande spridningsteknik för gödsel och urin, där en hel del mätningar har genomförts. Följande värden, som används i modellen, har hämtats från Jordbruksverkets STANK-program.

Tabell 15. Ammoniakavgång vid spridning av rötrest. Efter Jordbruksverkets STANK-program.

	Spridningstidpunkt	Ammoniakavgång, % av NH_3 -N
Fast fas	hösten innan höstvetesådd, nedbrukning inom 1 tim	20
Flytande fas	våren med efterföljande nedbrukning inom 1 tim	7
	våren i växande gröda	10
	sent på hösten i vall	25

Markstruktur

Från flera synpunkter hade det varit önskvärt dels att kunna ta fram ett sammanfattande index för hur markens struktur och fysikaliska egenskaper påverkas av odlingssystemet, dels att i systemstudien kunna använda ett sådant index för att beräkna olika effekter vad gäller grödors näringsutnyttjande, tillväxt och avkastning, dragkraftbehov vid jordbearbetning m.m. Att beräkna effekter på basis av ett markstrukturindex skulle dock, med den kunskap vi har idag, inte ha gett en rimlig grad av precision. Vi har därför begränsat oss till att ta fram ett index för varje gröda (vegetationsperiod) och odlingssystem. Erhållna värden på detta index ger mått på skillnader mellan grödor och odlingssystem. Indexet är uppbyggt så som beskrivits av Johansson m.fl.(1993). Det är dock delvis baserat på andra grunddata än i nämnda arbete.

Rotutveckling/rotmängd, upptorkning, till- och återförsel av organisk substans, andel bar mark, antal jordbearbetningar/år och markbelastning (packning) är sex faktorer som brukaren, mer eller mindre medvetet styr med sitt odlingssystem. Generellt sett ger en ökning av var och en av de tre första en förbättring och en ökning av var och en av de tre sista en försämring av markens struktur och fysikaliska egenskaper. En sammanvägning av de sex faktorernas inverkan bör sålunda ge ett mått eller index för den enskilda grödans, vegetationsperiodens eller odlingssystemets effekt. Vi benämner detta ett odlingssystemindex för inverkan på markens struktur och fysikaliska egenskaper.

De olika faktorerna i odlingssystemindexet har bestämts så som beskrivs i det följande. Först har ett grundvärde tagits fram för varje faktor. Dessa grundvärden redovisas i bilaga 1. Varje grundvärde har sedan multiplicerats med en koefficient, som är olika för olika faktorer. Detta har gett ett faktorvärde. De sex faktorvärdena för varje års gröda har sedan summerats till ett odlingssystemindex för vegetationsperioden (grödåret) ifråga. Erhållna faktorvärden och index redovisas i resultatdelen, tabell 39-42. Koefficienterna för bearbetningsfrekvens och markbelastning har åsatts andra värden än hos Johansson m.fl. (1993).

Rotmängd. Den totala rotproduktionen (R) av årets gröda eller grödor har beräknats enligt Johansson (1994) på följande sätt. Värdena, som avser torrsubstans (ts)/ha, gäller för lerjord.

Stråsäd, örter och varrybs. R = bruttoproduktionen av halm (skörd + stubb) + bladfall och spill (1/6 av halmproduktionen).

Vall. R = skördad vallmassa + bladfall och spill (1/4 av skördad vallmassa).

Vallinsådd på våren i vårsäd. R = 465 kg

Vallinsådd på våren i vårrybs. R = 698 kg

Nysådd höstsäd på hösten. R = 174 kg

Rotmängden R i ton ts/ha har multiplicerats med 0,5. Rotmängdsfaktorn har då fått ett värde mellan 1,6 och 5,3.

Upptorkning. Grundvärden har tagits fram från data hos Johansson (1974a, 1974b). Vi har räknat med att rotzonen kan hålla 75 mm växttillgängligt vatten, vilket svarar mot ett effektivt rotdjup på ca 70 cm för en mullhaltig mellanlera. Stark uttorkning har antagits föreligga under dagar då rotzonen innehåller högst 30 mm växttillgängligt vatten (högst 40 % av kapaciteten). För varje grödår har sedan antalet sådana dagar under växtperioden bestämts för år 21 i raden av 30 år från det fuktigaste till det torraste för perioden 1931-60 i Uppsala. Detta dagantal har använts som grundvärde.

Grundvärdena har multiplicerats med 0,05. Upptorkningsfaktorn har då antagit ett värde mellan 2,9 och 5,3.

Återförsel av ovanjordisk organisk substans. Som grundvärde för varje vegetationsperiod har använts den mängd av producerad torrsbstans ovan jord som på hösten kan antas finnas kvar i och/eller på marken. Denna mängd (O) utgörs av bruttoproduktionen av halm (all halm kvar i fält), kvarvarande bladfall, spill m.m. samt utspridda rötresten. Den har beräknats enligt Johansson (1994). I bilaga 1 har för stråsådesgrödorna även angivits vilka mängder organisk substans som skulle ha blivit kvar i fält om skörden av halm (2/3 av bruttoproduktionen) bortförts. Rötresterna, som antagits innehålla 45 % av torrsbstansen i vallskördarna har här räknats bli återförda till slåttervallarna i relation till skördarnas storlek. Alla följande värden avser torrsbstans (ts)/ha.

Stråsådd, örter och vårrybs. O = bruttoproduktionen av halm + bladfall och spill (1/6 av halmproduktionen).

Slåttervall. O = 1/4 av vallskörden + rötresten (45 % av mängden ts i vallskörden).

Gröngödslingsvall och gröngödslingsvall/halvträda. O = 1/4 av vallproduktionen ovan jord.

Vallinsådd på våren. O = 1/4 av vallproduktionen ovan jord (= 174 kg för insådd i vårsäd och 262 kg för insådd i vårrybs).

Nysådd höstsäd på hösten. O = 1/6 av produktionen ovan jord (= 39 kg).

Grundvärden för O i ton ts/ha har multiplicerats med 0,8. Faktorn återförd organisk substans har då fått ett värde mellan 2,4 och 5,5. För stråsådesgrödorna (med all halm kvar) ligger värdena mellan 2,5 och 5,3. Om halmskörden hade bortförts skulle värdena ha blivit mellan 1,2 och 2,2.

Andel bar mark. Grundvärdena (bilaga 1) anger antalet dagar/år som markytan i genomsnitt är bar eller nästan helt bar och ofrusen. De gäller för Uppsala 1931-1960 och har bestämts på basis av väderleksdata enligt Johansson (1974a). Antaganden har gjorts om tidpunkter för grödors uppkomst och skörd. För spannmål har räknats med att grödan inte ger något markyteskydd t.o.m. 7 dagar efter

uppkomsten och därefter fullt skydd t.o.m. 2 dagar efter skörd. För oljeväxter och ärter har räknats med inget markyteskydd t.o.m. 10 dagar efter uppkomsten och därefter fullt skydd till 2 dagar efter skörd.

Grundvärdena har multiplicerats med -10. Faktorn för andel bar mark har då fått ett värde mellan 0 (för vall I och II) och -3,2.

Bearbetningsfrekvens. Summan av medelantalet jordbearbetningar/vegetationsperiod för harvning, sådd, vältning, stubbearbetning och plöjning (tabell 2-5) har använts som grundvärde.

Grundvärdena har multiplicerats med -0,4. Faktorn för bearbetningsfrekvens har då antagit ett värde mellan 0 (för vall I och II) och -5,0. Vi har bedömt att en koefficient på -0,6 som hos Johansson m.fl.(1993) skulle ha gett för stora negativa värden på bearbetningsfaktorn.

Markbelastning. Grundvärden för årlig markbelastning i tonkm/ha har beräknats med en på försöksresultat baserad empirisk modell för hur jordbearbetningsåtgärder och körningar påverkar markstrukturen och skördens storlek (Arvidsson & Håkansson 1991, 1992). Beräkningarna har utförts av Johan Arvidsson, Inst. för markvetenskap. Förteckning över jordbearbetningsåtgärder och körningar (tabell 2-5) och över maskinpark (tabell 6) har utgjort underlag. Varje redovisat grundvärde (bilaga 1) är en summerad markbelastning för alla slag av bearbetningar och körningar i fält under vegetationsperioden. Värdet anger således inte den summerade inverkan av de bearbetningar och körningar fr.o.m. föregående höst t.o.m. skörden eller sista skörden, vilka kan sägas vara knutna till årets gröda (huvudgröda). Det skall tilläggas att däck och ringtryck samt vagnar för transporter i fält valts med tanke på att ge låga marktryck och att helt eller nästan helt förhindra packning på större djup än 40 cm.

Grundvärdena har multiplicerats med -0,06. Faktorn för markbelastning har då fått ett värde mellan -2,2 och -7,6. Vi har bedömt att en koefficient på -0,04 som hos Johansson m.fl.(1993) skulle ha gett för låga negativa värden på markbelastningsfaktorn.

Beräkning av miljöeffekter

I denna del av systemanalysen har vi till att börja med kvantifierat de olika systemens totala förbrukningen av diesel, olja och elektricitet. Dessutom har förbrukningen av externa gödselmedel samt ammoniakavgång och utlakning år 20 hämtats från simuleringsresultaten och använts som ingångsdata. Alla dessa uppgifter, som finns sammanställda i bilaga 2, utgör sedan underlag för beräkningar av uppkomna emissioner. Slutligen har emissionerna med hjälp av s.k. viktningsfaktorer förts samman i effektkategorierna växthuseffekt, övergödning och försurning.

Förbrukning av diesel

För samtliga de fältarbeten som förekommer i analysen har uppgifter om bränsleförbrukningen tagits fram. I de fall uppgifter från litteraturen inte funnits tillgängliga har egna bedömningar gjorts, tabell 16.

Tabell 16. Använda värden på dieselförbrukning i liter per hektar för olika fältarbeten.

Arbetsoperation	Dieselförbr., liter/ha	Källa
Harvning		
a) ogräsharvning	2,0	Egna bedömningar
b) såbäddsberedning	3,0	Danfors, 1988
c) halmspridning	2,0	Egna bedömningar
Gödsling		
a) handelsgödsel	1,0	Norén, 1984
b) fast rötrest	8,0	Egna bedömningar
c) flytande rötrest	6,0	Egna bedömningar
Sådd	3,3	Danfors, 1988
Vältning	1,3	Danfors, 1988
Kem. bekämpning	0,5	Danfors, 1988
Tröskning	*	
Vallskörd		
slätter	8,0	Norén, 1984
bärgning	14,0	Norén, 1984
Putsning	8,0	Egna bedömningar
Stubbearbetning	8,3	Danfors, 1988
Plöjning	*	

* Speciell beräkningsmetod, se texten.

För att beräkna bränsleförbrukningen vid tröskning har ett samband tagits fram med avkastningen som påverkande variabel. På underlag av data redovisade av Nielsen (1989), har en regressionslinje som anger bränsleförbrukning vid olika avkastningsnivåer för spannmål kunnat tas fram. I samma källa finns också en uppgift för vårraps, vilken efter parallellförskjutning av linjen för spannmål användes för oljevaxter. För ärter slutligen, gjordes en egen bedömning att bränsleförbrukningen är 20 % högre än för spannmål. De framtagna sambanden för bränsleförbrukningen vid tröskning illustreras i bild 4.

En god jordstruktur anses kunna minska dragkraftsbehovet och därmed bränsleförbrukningen med åtminstone 15-20 % (Johansson m.fl., 1993). I denna studie har de framräknade medelvärdena på odlingsystemindex för hela växtföljden, se tabell 39-42, använts som påverkande variabel för att beräkna bränsleåtgången vid plöjning. Med utgångspunkt från att bränsleåtgången vid ett odlingsystemindex på 0 uppgår till ett grundvärde på 20,6 liter/ha (Danfors, 1988), samt att förbrukningen är 20 % lägre för ett odlingsystemindex på 3, kan bränsleförbrukningen vid plöjning som funktion av odlingsystemindex beskrivas av den räta linjen:

$$B = 20,6 (1 - 0,067 \cdot OSI)$$

där B är bränsleförbrukningen i liter/ha och OSI är odlingsystemindex. Den resulterande bränsleåtgången i de olika systemen framgår av tabell 17.

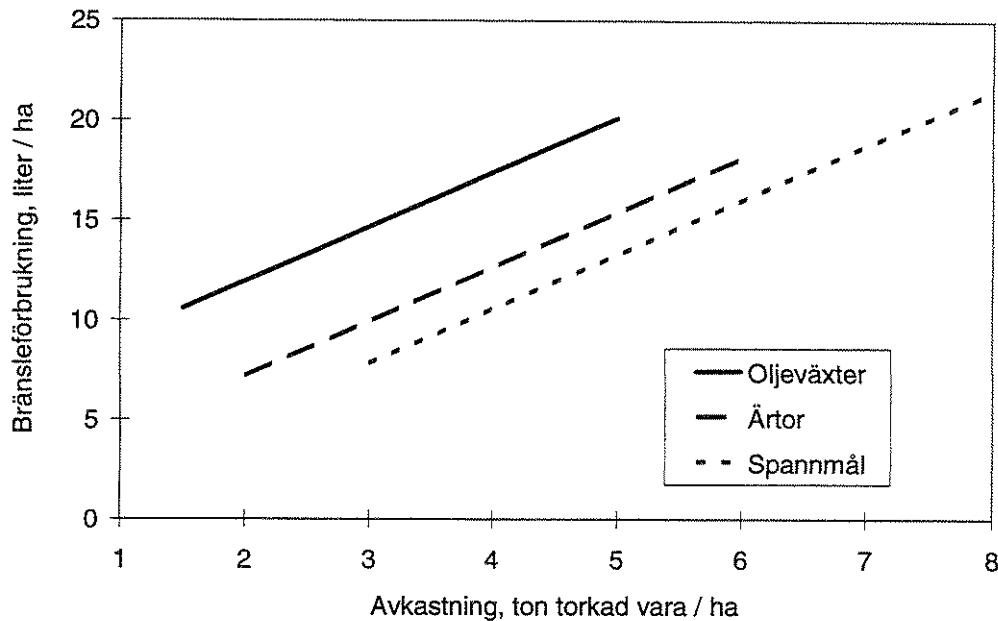


Bild 4. Använda samband för att beräkna bränsleförbrukningen vid tröskning.

Tabell 17. Bränsleåtgång vid plöjning.

	Ekol. m gröng.	Konventionellt	Ekol. m biogas	Konv. m biogas
Odlingssystemindex	2,9	0,4	1,7	3,0
Bränsleförbrukning, l/ha	16,6	20,1	18,3	16,5
Red. av grundvärde, %	19,3	2,7	11,3	20,0

På underlag av de fastställda arbetsmomenten för de olika växtföljderna, se tabell 2-5, har alternativens årliga förbrukning av diesel för fältarbeten beräknats.

För att beräkna dieselåtgången vid vägtransporter, har antalet kilometer som körs med traktor till och från fält räknats fram. Det genomsnittliga avståndet mellan fält och brukningscentrum har för en 100 ha gård beräknats till 1,1 km. I de alternativ där 15 gårdar går samman om en biogasanläggning, kommer transportavstånden för grönmassa och rötrest att öka. Det genomsnittliga transportavståndet för dessa produkter har beräknats till 6,2 km. På underlag av en serieprovning av traktorer utförd av Statens maskinprovningar (1983), har bränsleförbrukningen vid transport av maskiner och tomma vagnar satts till 0,25 liter per km. För transporter av skördade produkter och rötrest har förbrukningen satts till 0,3 liter per km.

Bränsleåtgången vid inläggning (inkl. packning) och uttagning av ensilaget i plansilo har beräknats med data redovisade av Nielsen (1989). För uttagning och lastning av rötrest har samma värde som för uttagning av ensilage antagits.

Slutligen har vi för alla alternativ adderat en schablonförbrukning av diesel, som är 900 liter per 100 ha. Detta för att få med den förbrukning som inte innefattas i ovanstående moment, t.ex. hämtning av förnödenheter, tomgångskörning vid av- och påkoppling av maskiner, fältinspektioner m.m. Av de 900 literarna antas 400 liter förbrukas som traktorbränsle, medan 500 liter förbrukas av personbil.

Denna förbrukning har i sammanställningen förts samman under benämningen "driftsledning".

Förbrukning av eldningsolja

Torkningen av avsalugrödor antas ske i en varmluftstork där olja används för att värma torkluften. På underlag av antagna vattenhalter före och efter torkning, samt specifik oljeåtgång, tabell 18, har den totala åtgången av olja för alternativen beräknats, tabell 19. Som framgår av tabellen står den årliga åtgången av olja naturligtvis i proportion till den totala mängden skördade avsalugrödor för respektive alternativ.

Tabell 18. Vattenhalter före och efter torkning i avsalugrödor, samt specifik oljeåtgång för torkningen.

	Spannmål	Ärter	Oljeväxter
Vattenhalt före torkning, %	21,0	23,0	16,0
Vattenhalt efter torkning, %	13,5	15,0	9,0
Oljeåtgång, l/procentenhet och ton färdigtorkad vara	1,85	2,00	1,70

Tabell 19. Årlig mängd avsalugrödor /100 ha, samt åtgång av olja för torkning av dessa.

Driftsalternativ	Avsalugrödor, ton/år	Oljeåtgång, liter/år
Ekologisk odling med grön gödsling	268	3 800
Konventionell odling utan vall	438	6 090
Ekologisk odling med vall för biogas	252	3 590
Konventionell odling med vall för biogas	355	4 970

Vi har också räknat med att vissa lokaler på gården, t.ex. verkstad, värms med eldningsolja. För varje enhet om 100 ha, antas 500 liter olja åtgå för sådan uppvärmning.

Förbrukning av el

Förutom olja åtgår vid torkningen av avsalugrödorna också en del elenergi för att driva fläktar, transportörer m.m. Elförbrukningen anses ligga på en nivå motsvarande 5-10 % av energiåtgången för själva torkningen. I denna studie har ett värde på 8 % antagits. Årlig förbrukning av el för torkning redovisas i tabell 20.

Tabell 20. Årlig elförbrukning /100 ha vid torkning av avsalugrödor.

Driftsalternativ	Elförbr., kWh
Ekologisk odling med grön gödsling	3 040
Konventionell odling utan vall	4 870
Ekologisk odling med vall för biogas	2 870
Konventionell odling med vall för biogas	3 980

I biogasanläggningen antas rivning, malning, omrörning, avvattning och pumpning ske med elektriskt driven utrustning. Energiåtgången för detta har för 1 MW-anläggningen satts till motsvarande 4,2 % av producerad mängd biogas (Nordberg & Edström, 1997). Eftersom den specifika energiåtgången, framför allt för omrörningen, blir större vid mindre rötchammarvolym, har motsvarande värde för 60 kW-anläggningen satts till 5 %. Detta motsvarar en elförbrukning på 24,8 respektive 29,5 MWh per gårdsenhet om 100 ha och år.

Också när det gäller elektricitet har ett schablonpåslag gjorts för övrig förbrukning på gården. Detta påslag har satts till 10 MWh per gårdsenhet om 100 ha och år.

Externa gödselmedel

Som tidigare nämnts tillförs grödorna inköpt kväve vid behov. I de ekologiska odlingssystemen används BIOFER 10-4 och i konventionell odling utförs gödningen med HYDRO 27-5. För båda dessa gödselmedel krävs naturligtvis insatser av energi i olika former fram tills dess att den färdiga produkten har levererats till gården.

Uppgifter om energiförbrukning vid tillverkning av BIOFER har inte gått att erhålla från tillverkaren. De uppgifter som gått att få fram begränsas till en kortfattad beskrivning av vilka olika moment som ingår, samt vilken energiform som används för respektive moment. Utifrån dessa har egna teoretiska beräkningar utförts av hur stora insatser av olika energislag som krävs. I detta har en lastbilstransport på 580 km från tillverkaren i Malmö fram till gården inräknats.

Tillverkningen av HYDRO 27-5 sker vid Hydro Agris fabrik i Köping. Förbrukningen av olika energislag grundas på en studie av Sundberg & Dalemo (1995) och innefattar råvarutransport till fabrik, tillverkning, granulering, paketering och transport till gård. Transportavståndet mellan fabrik och gård har satts till 50 km. Förutom emissioner som är knutna till energianvändning, uppstår också emissioner vid själva tillverkningsprocessen för kväve. Varje kg kväve som framställs ger emissioner i form av 1,5 g NO_x, 1,6 g NH₃ och 6,8 g NO₃ (Bertilsson, 1992).

För lastbilstransporter av gödselmedel räknas med en dieselförbrukning motsvarande 0,72 MJ/tonkm (Bertilsson, 1992). I tabell 21 återfinns en sammanställning över energiåtgången för de båda gödselmedlen.

Tabell 21. Använda data på energiåtgång för tillverkning av BIOFER och HYDRO 27-5.

Energislag	BIOFER 10-4		HYDRO 27-5	
	MJ/ton färdig vara	MJ/kg N	MJ/ton färdig vara	MJ/kg N
Diesel	1 118	11,2	36	0,1
Eldningsolja	2 492	24,9	800	3,0
Naturgas	2 492	24,9	9 612	35,6
El	259	2,6	-	
Olja, båttransport			204	0,7
Summa	6 361	63,6	10 652	39,5

Kvantifiering av emissioner

Uppgifter om emissioner vid användning av traditionella energislag har hämtats från olika källor och finns sammanställda i tabell 22. När det gäller diesel har data för själva förbränningen hämtats från Dalemo (1996). Till detta har adderats emissioner vid utvinning, transport och raffinering av råolja enligt Tillman m.fl. (1991). Från den sistnämnda källan har också de data som används för eldningsolja, naturgas och olja (båttransport) hämtats. Emissionerna kopplade till elförbrukning finns redovisade av Lundgren (1992) och avser genomsnittlig elproduktion i Sverige.

Tabell 22. Emissioner till luft och vatten för olika bränslen, g /MJ i förbrukat bränsle. Efter Dalemo (1996), Tillman m.fl. (1991) och Lundgren (1992).

Emissioner till:	Ämne	Diesel	Eldningsolja	Naturgas	Olja (båttransport)	EI
LUFT	CO ₂ -fossil	78,0	79,8	55,2	78,6	3,8
	CH ₄	0,001				1,40E-04
	NO _x	0,911	0,154	0,15	0,744	9,20E-03
	N ₂ O	4,1E-03				4,20E-04
	SO ₂	0,200	0,394	0,002	1,294	6,70E-03
VATTEN	COD	0,0012	0,0012		0,0012	
	Tot N	1,9E-04	1,9E-04		1,9E-04	

Värden på emissioner vid förbränning av biogas är svårare att återfinna i litteraturen. De värden för kraftvärme och fordonsbränsle som anges i tabell 23, är sådana som sammanställts från olika källor av Dalemo (1996) respektive Hjortsberg (1997). För biogas till uppvärmning har samma värden som för kraftvärme antagits, dock med undantag av NO_x-emissioner som reducerats med 80 % (Dalemo, pers. medd.).

Tabell 23. Emissioner till luft och vatten vid förbränning av biogas i olika tillämpningar, g /MJ i förbrukat bränsle. Efter Dalemo (1996) och Hjortsberg (1997).

Emissioner till:	Ämne	Uppvärmning	Kraftvärme	Fordonsdrift
LUFT	CO ₂ -fossil	0	0	0
	CH ₄	0,1	0,1	0,15
	NO _x	0,033	0,165	0,27
	SO ₂	0,3	0,3	0

Övriga emissioner som innefattas i beräkningarna är ammoniakavgång och nitratutlakning från odlingsystemen. Storleken av dessa beräknas i modellen över marksystemet och återfinns både i sammanställningen, bilaga 2, och i resultatavsnittet. Vidare tillkommer de emissioner som uppstår vid tillverkningen av kvävet i HYDRO 27-5 som redovisades i föregående avsnitt.

Värdering av emissioner

De sammanlagda emissionerna för de olika alternativen har sammanvägts i effekt-kategorierna växthuseffekt, övergödning och försurning. För att göra detta har viktningsfaktorer enligt Nord 1995:20 för de olika ämnena använts.

Växthuseffekten uttrycks i CO₂-ekvivalenter och de viktningskoefficienter som använts i denna studie, tabell 24, avser en tidshorisont på 100 år.

Tabell 24. Viktningsfaktorer för växthuseffekt. Efter Nord 1995:20.

Ämne	g CO ₂ -ekvivalenter/g
CO ₂ -fossil	1,0
CH ₄	24,5
N ₂ O	320

Övergödning vägs samman som utsläpp av syreförbrukande substans, med viktningsfaktorer enligt tabell 25.

Tabell 25. Viktningsfaktorer för övergödning. Efter Nord 1995:20.

Ämne	g O ₂ /g	
	till luft	till vatten
NO _x	6	
NH ₃	16	
NO ₃		4,4
N		20
COD		1

Försurningen uttrycks i SO₂-ekvivalenter, där sammanvägningen görs med viktningsfaktorer enligt tabell 26.

Tabell 26. Viktningsfaktorer för försurning. Efter Nord 1995:20.

Ämne	g SO ₂ -ekvivalenter/g
SO ₂	1,0
HCL	0,88
NOX	0,7
NH ₂	1,88

Ekonomi

Syftet med de ekonomiska beräkningarna är främst att visa hur vallodling på 30 % av åkerarealen påverkar lantbrukarens ekonomi, samt att ta fram ett investeringsutrymme för tre storlekar på biogasanläggning vid olika slutanvändning av biogasen.

Redovisningen av de ekonomiska beräkningarna har delats in i områdena *lantbruk* och *biogasanläggning*. Detta för att underlätta läsningen och för att det inte är givet att ägaren till biogasanläggningen är densamme som lantbrukaren. Med syfte att underlätta läsningen är också många värden i tabellerna avrundade.

För att räkna ut hur *lantbrukets* ekonomi förändras vid införandet av flerårig vall har täckningsbidragskalkyler upprättats och övriga kostnader (samkostnader) beräknats. Beräkningarna baseras på aktuella skatter och avgifter (september 1997). Genomgående har realräntesatsen 7 % använts och priset på arbetskraft satts till 108 kr/h. Arrendekostnaden för marken har antagits vara 800 kr/ha. Alla intäkter och kostnader som redovisas för *lantbruk*, avser en brukningsenhet på 100 hektar.

Gemensamt för alla alternativ är också att aktuella EU-bidrag medräknats (september 1997). I en känslighetsanalys som redovisas i resultatdelen, återfinns dock de resultatnivåer som erhålls *exklusive* bidrag.

Kalkylerna är baserade på data framför allt från Svealands slättbygder (SLU, 1995) och Götalands skogsbygder (Länsstyrelsen i Göteborgs och Bohus län, 1994). Uppgifter rörande skördenivåer, kemisk och maskinell bekämpning, samt förbrukning av drivmedel, eldningsolja, el och gödselmedel har hämtats från de andra delarna av systemanalysen.

Vid beräkningen av investeringsutrymmet för *biogasanläggningen*, dels för olika storlekar, dels för olika användningsområden för rågasen, har först intäkterna och de rörliga kostnaderna fastställts.

Olika priser och rörliga kostnader som är förknippade med respektive produkt har uppskattats. Intäkterna består av försåld energi vid produktion av antingen enbart värme, kraftvärme (el och värme) eller fordonsbränsle. Den rörliga kostnaden för att driva biogasanläggningen, har i alla alternativ antagits uppgå till 30 % av intäkten från anläggningen, oavsett vad rågasen används till.

Intäkterna minus de rörliga kostnaderna delat med en annuitetsfaktor ger sedan investeringsutrymmet.

För 2 MW-anläggningen där ensilage och avfall samrötas, antas att biogasanläggningen tar ut en behandlingsavgift på 350 kr/ton för att ta emot avfallet.

Intäkter och kostnader

Lantbruk

För att beräkna vinsten för den enskilde lantbrukaren har intäkter, sär- och samkostnader beräknats. Intäkterna i täckningsbidragskalkylerna består av försåld gröda samt aktuella bidrag. Särkostnaderna, som också inkluderas i täckningsbidragskalkylerna, utgörs av kostnad för utsäde, gödsel, bekämpningsmedel,

arbetskraft för fältarbeten, räntekostnader på rörelsekapital, eventuella analyskostnader av gröda samt avgifter till KRAV och andra odlaravgifter.

I täckningsbidragskalkyler ingår vanligen också transporter, drivmedel, underhåll och torkning som särkostnader. Av praktiska skäl har dessa kostnader i stället setts som samkostnader. För att det inte ska bli någon skillnad i de totala kostnaderna mellan denna kalkyl och en vanlig täckningsbidragskalkyl, har också räntekostnaderna på rörelsekapital för transporter, drivmedel, underhåll och torkning inkluderats i samkostnaderna.

Intäkter

De använda avräkningspriserna för avsalugrödor, är för konventionell odling hämtade från ODAL (Aspgren, pers. medd.) och för ekologisk odling från Ecotrade (Björnberg, pers. medd.). Avräkningspriser tillsammans med priser för utsäde samt utsädesmängd visas i tabell 27. Priset på utsäde har också erhållits från ODAL. För gröngödsling och vall är de dock hämtade från SLU:s databok för driftsplanering 1996.

Tabell 27. Använda priser för avsalugrödor och utsäde (kr/kg), samt utsädesmängder (kg/ha).

Gröda	Avräkningspriser, kr/kg		Utsädespriser, kr/kg		Utsäde, kg/ha
	Konventionell	Ekologisk	Konventionell	Ekologisk	
Värrybs	1.85	3.66*	46.5	36.5*	15
Vall	0.00	0.00	28.0	28.0	25
Gröngödsl. /Halvträda	0.00	0.00	28.0	28.0	10
Korn	0.95	1.30	2.97	2.97	210
Vårvete	1.08*	2.50	3.15*	3.15	250
Höstvete	1.03	1.90	2.95	2.95	210
Höstråg	0.97*	1.75	2.95*	2.95	200
Ärter	1.33	2.60	3.30	3.30	280
Havre	0.93	1.25	2.95	2.95	230

* Uppgiften används ej i beräkningarna.

Om lantbrukaren inte är densamme som ägaren till biogasanläggningen kan man börja spekulera i vilka priser som lantbrukaren får för vallen respektive får betala för rötresten. I detta arbete har intäkten från försäljning av vall och kostnaden för inköp av rötrest antagits vara lika stora. Detta är förklaringen till att priset för vall i tabell 27 satts till noll. Följaktligen belastas kalkylerna inte heller av någon kostnad för rötrest.

Försäljningsintäkten, med priser enligt tabell 27 och tidigare framräknade kvantiteter samt aktuella bidrag (Jordbruksverket, 1997), visas i tabell 28.

Tabell 28. Intäkter i lantbruket (kkr/100 ha och år).

	Försäljning	Bidrag	Summa
Ekologisk odling med grüngödsling	488	350	838
Konventionell odling utan vall	480	252	732
Ekologisk med biogas, alla storlekar	456	340	796
Konventionell med biogas, alla storlekar	387	254	641

Särkostnader

I tabell 29 har de beräknade särkostnaderna för alternativen sammanställts.

Tabell 29. Sammanställning av särkostnader (kkr/100 ha och år).

	Utsäde	Inköpt gödsel	Bekämpningar	Arbetskostnad	Räntekostnad	Övrigt	Summa
Ekologisk odling	57	71	0	60	5,7	8,3	202
Konventionell odling	68	91	22	75	8,1	5,9	270
Ekol. m. biogas, 60 kW	52	54	0	78	5,8	7,2	197
Konv. m. biogas, 60 kW	55	53	20	79	7,4	3,6	218
Ekol. m. biogas, 1 MW	52	54	0	91	6,2	6,8	210
Konv. m. biogas, 1 MW	55	53	20	92	7,7	0,3	228
Konv. m. biogas, 2 MW	55	23	20	94	6,7	0,3	199

De årliga kostnaderna för utsäde i de olika odlingssystemen baseras på uppgifterna i tabell 27. Som gödselmedel används i ekologisk odling Biofer 10-4 som kostar 3,80 kr/kg (Albrektsson, pers. medd.), och i konventionell odling Hydro NP 27-5 som kostar 2,42 kr/kg (SLU, 1996). För bekämpningsmedel har priserna för vanliga ogräs-, insekts- och svampbekämpningsmedel hämtats ur SLU:s databok för driftsplanering 1996. För arbetskraft är priset 108 kr/h (SLU, 1996).

I tabellen visas också beräknade räntekostnader på rörelsekapital för särkostnaderna. Faktorerna för rörelsekapitalbehovsberäkning varierar mellan 0,3-0,6 beroende på gröda (SLU, 1996 och Länsstyrelsen i Göteborgs och Bohus län, 1997).

I kolumnen "övrigt" ingår några mindre kostnader som inte redovisas enskilt, t.ex. ODAL:s kostnader för analys av gröda (SLU, 1996), och för de ekologiska bönderna kostnader för KRAV-kontroll (SLU, 1996). Dessutom ingår för vissa grödor en avgift till Sveriges Frö- och Oljeväxtodlare på 338 kr/år (Andersson pers. medd.), och en hagelskadeförsäkring från Agria.

Täckningsbidrag

Då intäkterna subtraheras med de totala särkostnaderna erhålls täckningsbidraget, tabell 30.

Tabell 30. Täckningsbidrag (kkr/100 ha och år).

	kkr/100 ha och år
Ekologisk odling med grüngödsling	636
Konventionell odling utan vall	462
Ekol. med biogas, 60 kW	599
Konv. med biogas, 60 kW	423
Ekol. med biogas, 1 MW	586
Konv. med biogas, 1 MW	413
Konv. med biogas - samrötning, 2 MW	442

Samkostnader

Samkostnaderna består av kostnader för maskiner, drivmedel, el och värme, byggnader, tork och lager för avsalugrödor, transporter samt övriga arbetskostnader. Dessutom ingår vissa räntekostnader på rörelsekapital.

Beräkningen av maskinkostnader baseras på arbetsbehovet för fältarbeten. Arbetsbehovet multipliceras sedan med maskinkostnaden per timme, baserat på Maskinring Västmanlands (1997) taxor. I denna ingår allt, exempelvis underhåll, skatter, försäkringar och maskinhallskostnader, dock ej drivmedelskostnaden som beräknas separat. I tabell 31 visas de använda maskinkostnaderna per timme.

Tabell 31. Maskinkostnader (kr/h).

Maskin	kr/h	Maskin	kr/h
Traktor, 60 hk	70	Släpslangspridare	198
Traktor, 90 hk	130	Fastgödselspridare	170
Traktor, 140 hk	180	Ogräsharv, 10 m	125
Stubbkultivator	132	Ogrässpruta	200
Plog, 4-skärig	145	Putsmaskin, 3,6 m	130
Harv	180	Slätterkross	290
Såmaskin (kombi)	241	Exakthack	492
Vält	90	Skördetröska	674
Handelsgödselspridare	100	Vagn 10-15 ton	200

I tabell 32 redovisas den *totala maskinkostnaden* för de olika alternativen. Denna har räknats fram genom att multiplicera värdena i tabell 31 med antal arbetstimmar för respektive maskin. I samma tabell visas också kostnader för värme, el och drivmedel. För dessa beräkningar har vi använt ett pris för eldningsolja på 3,3 kr/l, (Kilholm, pers. medd.) och ett elpris på 0,5 kr/kWh (Iggesten, pers. medd.).

Dieselpriiset har satts till 4,5 kr/l (Kilholm, pers. medd.). För att inberäkna även smörjmedel, har dieselkostnaden multipliceras med en schablonfaktor 1,2 (Ekman, pers. medd.).

Tabell 32. Kostnader för maskiner, drivmedel, eldningsolja och el (kkr/100 ha och år).

	Maskiner	Drivmedel	Eldn.olja	El
Ekologisk odling med grön gödsling	177	31	14	6,5
Konventionell odling utan vall	233	37	22	7,4
Ekol. med biogas, 60 kW	248	55	14	6,4
Konv. med biogas, 60 kW	251	53	18	7,0
Ekol. med biogas, 1 MW	287	58	14	6,4
Konv. med biogas, 1 MW	289	56	18	7,0
Konv. med biogas - samrötning, 2 MW	297	58	18	7,0

I tabell 33 återfinns de återstående posterna som ingår i samkostnader. Kostnaderna för byggnader, kolumn 1, innefattar kapitalkostnader för verkstad, förråd, samt byggnader innehållande spannmålstork och lagringssilor. Maskinhallskostnaden ingår som tidigare nämnts i maskinkostnaden. Kostnaden för spannmålstork och lagringssilor, kolumn 2, är bl.a. baserade på skördens storlek (SLU, 1989). Alla byggnader, liksom tork och silor, anses vara delvis avskrivna.

Vid beräkning av kostnaden för transport av avsalugrödor till spannmålssilo har en schablon på 3,75 kr/dt använts (SLU, 1996). De räntekostnader på rörelsekapital som utelämnades i täckningsbidragskalkylerna redovisas istället här, och avser t.ex. räntekostnader på drivmedel, transport till silo, underhåll av traktor, tröska och spruta samt räntekostnader på rörelsekapital för torkning. I posten *övrigt arbete* ingår exempelvis torkning, underhåll, gemensamma driftarbeten och flyghavreplockning.

Tabell 33. Kostnader för underhåll och avskrivning av byggnader, transport av avsalugrödor till silo, övriga räntekostnader på rörelsekapital, samt övrigt arbete (kkr/100 ha och år).

	Byggnader	Tork & silor	Transport av avsalugrödor	Övriga räntekostn.	Övrigt arbete
Ekologisk odling	29	21	10	3,6	9
Konventionell odling	31	36	16	5,2	12
Ekol. med biogas, 60 kW	29	21	9	4,8	7
Konv. med biogas, 60 kW	30	29	13	5,6	9
Ekol. med biogas, 1 MW	29	21	9	5,0	7
Konv. med biogas, 1 MW	30	29	13	5,8	9
Konv. med biogas, 2 MW	30	29	13	5,9	9

När de ovan beräknade samkostnaderna adderas erhålls de totala samkostnaderna som redovisas i tabell 34.

Tabell 34. Totala samkostnader (kkr/100 ha och år).

	Summa samkostnader
	Ekologisk odling med grüngödsling
Konventionell odling utan vall	480
Ekol. med biogas, 60 kW	474
Konv. med biogas, 60 kW	495
Ekol. med biogas, 1 MW	516
Konv. med biogas, 1 MW	537
Konv. med biogas - samrötning, 2 MW	547

Biogasanläggning

Nettomängden energi i den gas som produceras för olika användningsområden har tidigare redovisats i avsnittet *Gasproduktion* under *Allmänna förutsättningar*. I tabell 35 återfinns dessa energimängder omräknade till MWh. I tabellen visas också hur mycket av den producerade energin som kan förbrukas på gården (åtminstone hypotetiskt) och hur mycket som försäljs till "externa" köpare i de olika alternativen.

Tabell 35. Årligen producerad energimängd samt fördelning på egen användning och försålt för de olika beräkningsalternativen (MWh/år).

Storlek/ användning	Producerat	Konventionellt		Ekologiskt	
		Egen anv.	Försålt	Egen anv.	Försålt
60 kW					
Värme	505	54	450	41	464
Kraftvärme, el	163	43	119	42	120
värme	331	54	276	41	290
Fordonsbränsle	533	98	435	101	431
1 MW					
Värme	7 570	813	6 760	607	6 960
Kraftvärme, el	3 030	582	2 450	565	2 470
värme	4 370	813	3 550	607	3 760
Fordonsbränsle	7 990	1 535	6 450	1 590	6 400
2 MW					
Värme	16 700	813	15 900		
Kraftvärme, el	7 450	582	6 870		
värme	8 920	813	8 110		
Fordonsbränsle	17 700	1 590	16 100		

Den producerade värmen och elektriciteten säljs till el- respektive fjärrvärmenät, som antas finnas i anslutning till anläggningen. Värmen antas kunna inbringa 17 öre/kWh. Den producerade elen antas kunna säljas till ett pris på 25 öre/kWh (Gustavsson, pers. medd.). För renad och komprimerad gas såld som fordonsbränsle, antas ett pris motsvarande inköpspriset för diesel delat med en faktor 1,15. Denna korrigering har gjorts för att likställa det av fordonet utträttade arbetet (som tidigare nämnts får man bl.a. en lägre verkningsgrad vid användning av biogas). Vissa anser också att man bör ta hänsyn till eventuell merkostnad för biogasfordon jämfört med dieselfordon. Detta har dock inte gjorts i denna kalkyl. Försäljningspriset blir således ca 40 öre/kWh.

Inköpspris för värme och elektricitet varierar beroende på var man bor, hur mycket man köper etc. För inköpt värme har vi antagit ett pris på 33 öre/kWh. Priset på el har vi satt till 50 öre/kWh (Sävström, pers. medd.). För diesel har ett inköpspris på 45 öre/kWh antagits.

Anledningen till att el- och värmepriset vid försäljning är lägre än inköpspriset, beror till stor del på att köparen betalar nät- och distributionskostnader innan den säljs till konsument. För biogas som fordonsbränsle antas att den säljs direkt till konsument.

Då man själv använder det man producerat antas "användningspriset" vara lika med inköpspriset, utom när biogasen säljs som fordonsbränsle. I det fallet antas användningspriset vara 40 öre/kWh, vilket är detsamma som försäljningspriset. De priser på energi som använts i beräkningarna återfinns i tabell 36, (gäller alla anläggningsstorlekar).

Tabell 36. I studien använda priser på olika energislag (kr/kWh).

	Försäljning	Inköp	Egen användning
Värme	0,17	0,33	0,33
Elektricitet	0,25	0,50	0,50
Fordonsbränsle	0,40	0,45	0,40

För 2 MW-anläggningen, där vall och avfall samrötas, antas att anläggningen tar en avgift för att ta emot avfallet på 350 kr/ton. Eftersom avfallsmängden blir ca 10 125 ton kommer den totala intäkten att uppgå till ca 3 500 kkr/år. På underlag av tabell 35 samt ovan angivna priser vid användning och försäljning, erhålls intäkter enligt tabell 37.

Kostnader

I rörliga kostnader för biogasanläggningen ingår elkostnader, arbets- och underhållskostnader. Dessa kostnader har för alla alternativ antagits uppgå till 30 % av intäkterna enligt tabell 37. Det ska nämnas att spridning och transport av rötter inte ingår i biogasanläggningens kostnader, detta belastar istället lantbrukets resultat.

Tabell 37. Intäkter från användning och försäljning av gas, inklusive intäkt från behandlingsavgift för 2 MW-anläggningen (kkr/år).

Storlek/produktion	Konventionellt	Ekologiskt	Differens
60 kW			
Värme	93	91	2
Kraftvärme (el & värme)	116	113	3
Fordonsbränsle	211	211	0
1 MW			
Värme	1 397	1 363	34
Kraftvärme (el & värme)	1 770	1 730	40
Fordonsbränsle	3 160	3 160	0
2 MW			
Värme	6 500		
Kraftvärme (el & värme)	7 200		
Fordonsbränsle	10 500		

Resultat

Marksystemet

Målet med systemanalysen har som tidigare nämnts varit att belysa förhållandena på 20 års sikt. För att på ett tydligare sätt kunna åskådliggöra vissa dynamiska förlopp i marken, har dock simuleringarna av marksystemet utförts för en period på 30 år.

Studerar man resultaten av simuleringarna för ett skifte med en viss startgröda år 1, varierar de utgående resultaten för varje år i hög grad med de olika grödorna i växtföljden. Resultatet för ett visst år är således beroende av var man befinner sig i växtföljden. För att på ett rättvisande sätt kunna jämföra de olika systemen, har varje alternativ därför simulerats tio gånger med olika startgröda varje gång. De resultat som redovisas här avser medelvärden för dessa tio simuleringar, och representerar således ett genomsnitt för *hela* arealen på gården. Detta innebär att resultaten för de fem alternativ som redovisas, bygger på simuleringar som totalt omfattar 1 500 år.

För den som vill ha en mer detaljerad bild av hur förhållandena i marken varierar under en växtföljd med olika grödor, redovisas i bilaga 3 simuleringresultat för *ett* skifte under en tioårsperiod. Bilagan omfattar alla de simulerade alternativen.

Det kan här också nämnas att när det gäller förhållandena i marken, blir resultaten för de båda alternativen med 15 gårdar som samverkar om en biogasanläggning desamma som för motsvarande enheter om 100 ha.

Mullhalt

Mullhaltens förändring under 30 år i de olika alternativen framgår av bild 5. Den initiala mullhalten på 2,5 % motsvarar som tidigare nämnts 50 ton kol/ha.

Av detta följer att 0,1 % mull motsvarar 2 ton kol/ha. Av bilden framgår att i referensalternativen utan flerårig vall, klarar man i stort sett bara att upprätthålla den initiala kolmängden i marken. I alternativen *med* flerårig vall får man däremot en klar ökning av mullhalten. Att de konventionella systemen ligger på en högre nivå, beror på att skördarna, och därmed också halm- och rotmängderna, är större. Alternativet med samrötning, där stora mängder organiskt material tillförs utifrån, ger naturligtvis den snabbaste ökningen av mullhalten.

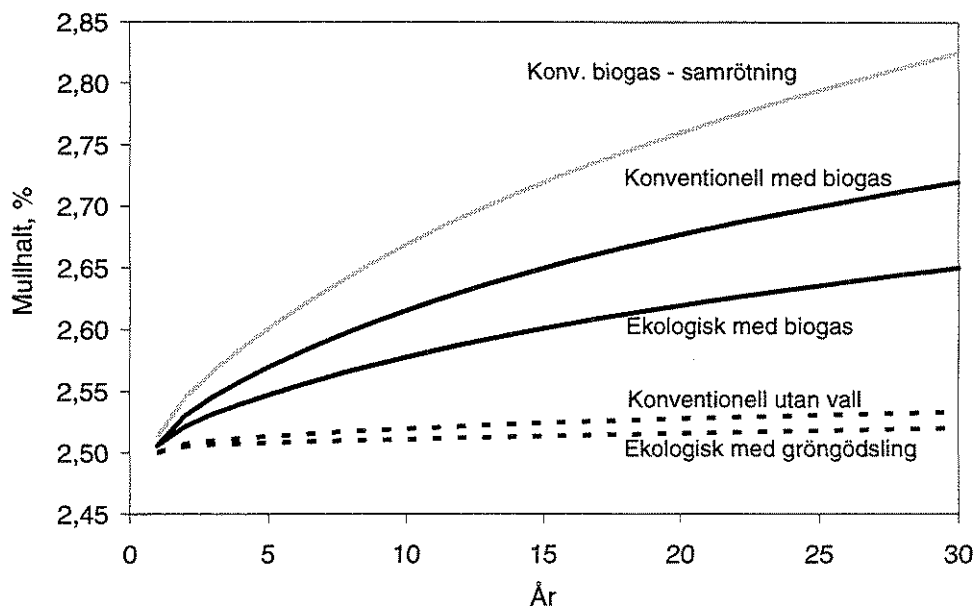


Bild 5. Mullhaltens förändring under 30 år.

Alla kurvor kommer så småningom att plana ut och ställa in sig på ett jämviktsvärde. Detta kommer att vara högst för alternativet med samrötning och lägst för ekologisk odling med grüngödsling, dvs rangordningen mellan de olika alternativen blir densamma som i bilden.

Det bör här återigen påpekas att erhållna resultat bygger på förutsättningen att all halm återförs till marken. Om halmen av någon anledning hade bärgats, skulle ökningen av mullhalten ske i betydligt långsammare takt. I de båda referensalternativen hade halmbärgning med all säkerhet resulterat i en sänkning av mullhalten.

Kväveförsörjning

Mullhalten i marken återspeglar inte bara mängden kol, utan hela den mängd organiskt material som finns i marken. En ökad mullhalt innebär således också en större mängd organiskt bundet kväve och därmed ökad mineralisering till växttillgängligt kväve.

I modellen resulterar detta i att grödornas behov av inköpt kväve minskar. Detta illustreras i bild 6, där man ser att de båda referensalternativens behov av inköpt kväve ligger på en i stort sett konstant nivå. För de andra alternativen där man har en ökning av mullhalten, har man också en tydlig minskning av externkvävebehov.

För konventionell odling med biogas har man efter 30 år nästan halverat behovet. I alternativet med samrötning blir effekten ännu kraftigare, efter 30 år är behovet av inköpt kväve på samma nivå som för de ekologiska alternativen.

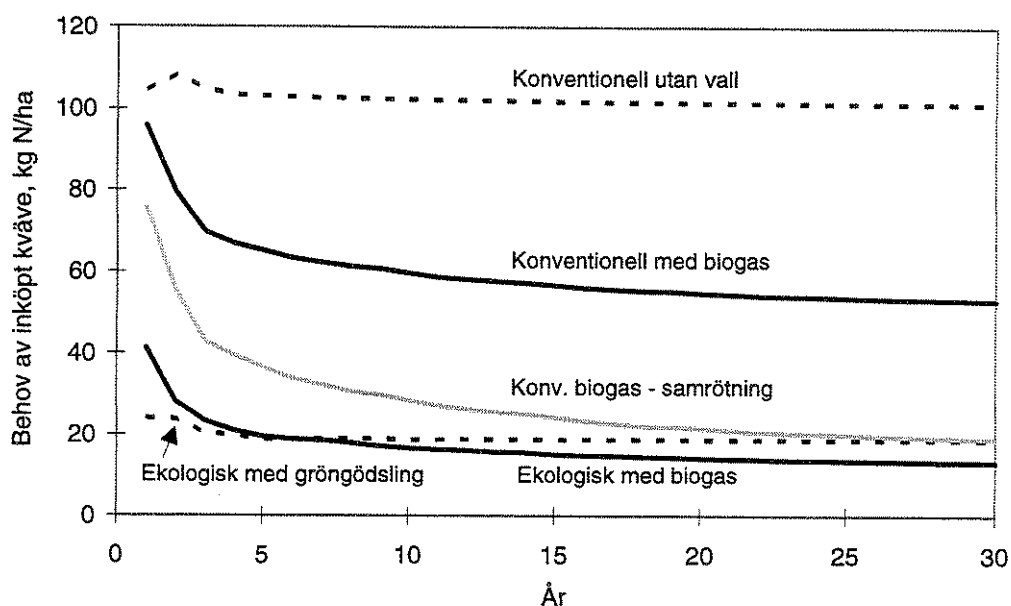


Bild 6. Årligt medelbehov av inköpt kväve per hektar under 30 år.

Kväveförluster

En naturlig följd av att förrådet av organiskt bundet kväve i marken ökar, är att kväveförlusterna i systemet efterhand också kommer att bli större. Mineraliseringsprocessen kan ju inte styras så att den levererar kväve enbart under den tidsperiod då det finns en gröda som kan ta upp det. De totala kväveförlusterna för systemen under 30 år framgår av bild 7.

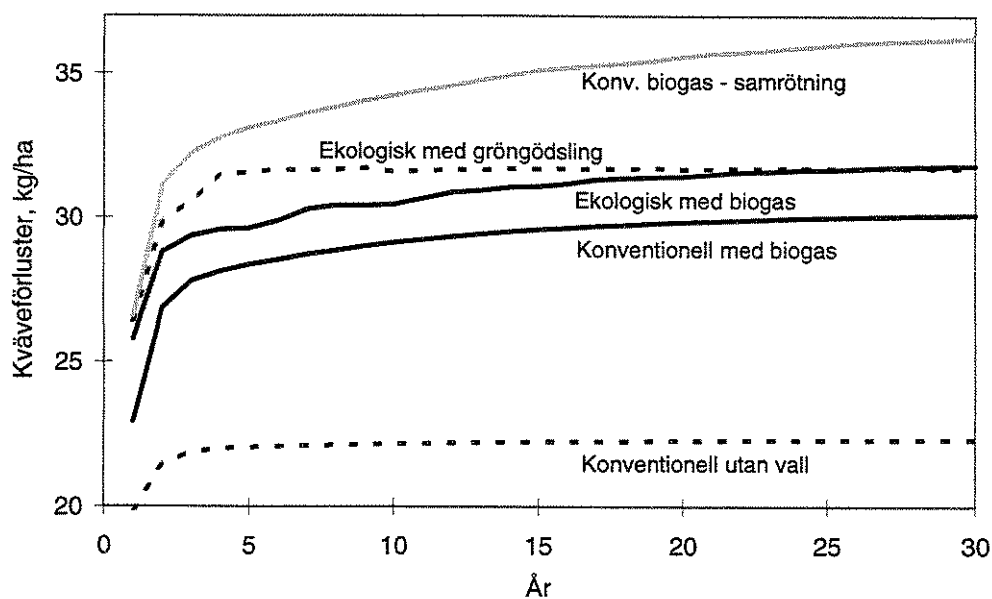


Bild 7. Totala årliga kväveförluster per hektar under 30 år.

Här framgår bl.a. att förlusterna i konventionell odling utan vall ligger på en avsevärt lägre nivå än i övriga alternativ. Detta beror på att man har en liten mängd mineraliserat kväve och därmed störst möjligheter att styra kvävetillförseln med handelsgödsel efter varje grödas behov.

De totala förlusterna år 20 varierar mellan ca 22 och 36 kg/ha och är i de olika alternativen. Hur de totala förlusterna av kväve är fördelat på olika förlustposter år 20 framgår av bild 8.

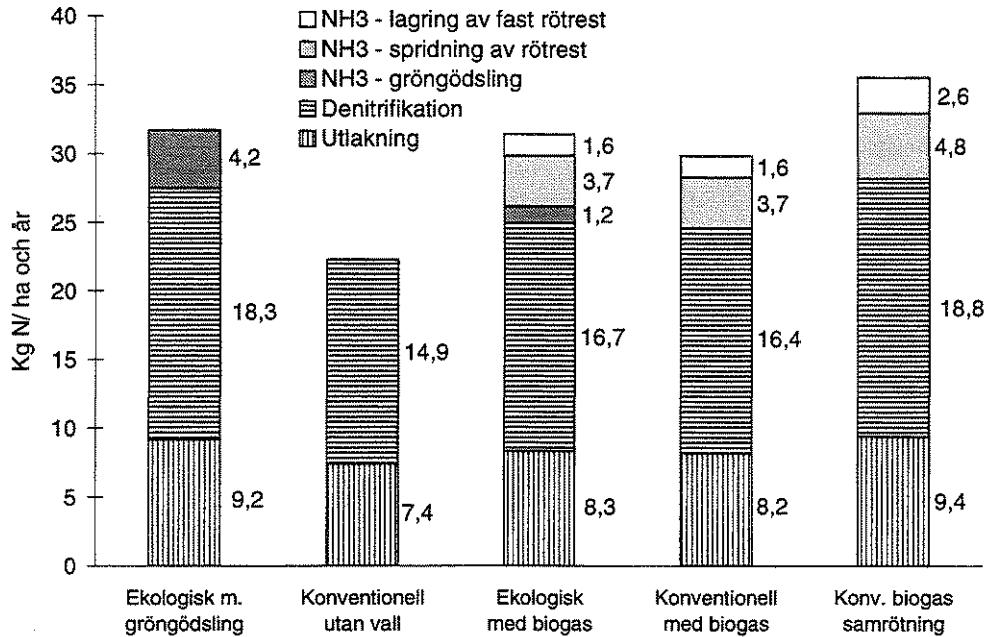


Bild 8. Olika former av kväveförluster år 20.

Fosfor

I tabell 38 redovisas dels hur stor genomsnittlig mängd fosfor som varje år bortförs från marksystemet, dels vad nettoeffekten blir när hänsyn tagits till den mängd fosfor som tillförs via inköpta gödselmedel. Som tidigare nämnts styrs gödselgivorna i modellen av varje grödas kvävebehov.

Minskningen av markens P-förråd är naturligtvis kraftigast i alternativet med konventionell odling utan vall, där man enbart odlar grödor för avsalu. Här tillförs emellertid också de största mängderna inköpt gödsel, vilket mer än väl kompenserar den bortförda mängden fosfor. I alla de övriga grundalternativen får man en årlig "fosforskuld", som man på sikt måste återbetala för att kunna upprätthålla markens produktionsförmåga.

I alternativet med samrötning tillförs extern fosfor via det organiska avfallet. Denna mängd är nästan tillräcklig för att kompensera de bortförda mängderna i avsalugrödor. När fosforinnehållet i inköpta gödselmedel medräknas, får man emellertid även här en ökning av P-förrådet i marken som nettoeffekt.

Tabell 38. Genomsnittlig bortförsl av fosfor (kg P/ha och år), med och utan hänsyn tagen till fosforinnehåll i inköpt gödsel (grundat på gödslingsbehov år 20).

Alternativ	Effekten av P i inköpt gödsel	
	ej medräknad	medräknad
Ekologisk odling med grön gödsling	9,1	1,6
Konventionell odling utan vall	16,5	-2,3
Ekologisk odling med vall för biogas	9,3	3,7
Konventionell odling med vall för biogas	13,9	3,7
Konventionell m. biogas - samrötning	2,8	-1,2

Markstruktur

Resultaten i tabellerna 39-42 visar att odlingssystemen med vall ger högre odlingssystemindex än systemet utan vall. Konventionell odling med treårig vall för biogas och ekologisk odling med tre åttåriga grön gödslingsvallar ger högst och ungefär samma index; +3,0 respektive +2,9. Större mängd rötter och återförd organisk substans samt mindre andel bar mark och färre bearbetningar/år medför högre index för konventionell odling med treårig slåttervall än för motsvarande ekologiska system. Odlingssystem med åttåriga grön gödslingsvallar ger högre index (+2,9) än system med flerårig vall för biogas (+1,7). Detta är främst en följd av stor markbelastning i samband med skörd av slåttervall. Mycket talar emellertid för att de positiva markstruktureffekterna av en flerårig vall både är stabilare och mer långvariga än effekterna av åttåriga vallar utspridda i växtföljden. Någon sådan skillnad mellan ett- och fleråriga vallar har dock inte kunnat inkluderas i beräkningarna. Lägst index (+0,4) har det konventionella odlingssystemet utan vall. Värdet är dock positivt även i detta system. Detta är en följd av att ingen halm bortförs, att andelen höstvetete är hög (stor halmproduktion) och att maskinparken ger låg markbelastning.

Bortförsl av halmskörden (2/3 av bruttoproduktionen av halm) för all stråsåd skulle ha gett följande index för odlingssystemen: Konventionell odling med vall för biogas +2,5, konventionell odling utan vall -1,0, ekologisk odling med vall för biogas +1,5 och ekologisk odling med grön gödsling +1,9.

En detaljanalys av beräkningarna rörande markbelastning visar att på större djup än 40 cm har belastning endast skett vid plöjning och spannmålsskörd och då i mycket ringa grad; 1-2 % av totala belastningen. Skiktet 25-40 cm under markytan har upptagit en del av markbelastningen vid plöjning (25-40 %), vid spannmålsskörd (15-20 %), vid uppsamling av vallskörd (5-10 %) och vid spridning av rötter (5-10 %).

Av de olika grödorna eller grödåren ger grön gödslingsvall högst (+10,6) och slåttervallarna I och II näst högst index (6,6 respektive 7,8). Närmast därefter ligger höstvetete (+2,7 till +5,8). Lägst värden ger ärter (-3,8 till -5,3) och vårrys utan insädd (-4,3). Negativa index ger även ett år med havre och spridning av fasta rötter i konventionell odling med vall (-3,2), korn och havre vid konventionell odling utan vall (-1,2 respektive -1,6) samt vårvetete efter vall III vid ekologisk odling (-4,0).

Tabell 39. Faktorvärden och odlingssystemindex. *Ekologisk odling med grüngödsling.*

Gröda	Rotmängd	Upptorkning	Återförd organisk substans	Bar mark	Bearbetningsfrekvens	Markbelastning	Summa = odlingssystemindex
Korn m. insådd	+1,7	+3,4	+2,5	-1,1	-1,4	-2,6	+2,5
Grüngödslingsvall	+3,4	+5,3	+5,5	-0,8	-0,6	-2,2	+10,6
Havre	+1,8	+3,4	+2,9	-3,2	-3,8	-4,9	-3,8
Ärter	+1,7	+2,9	+2,6	-2,2	-4,6	-5,3	-4,9
Höstvete	+2,4	+4,2	+3,8	-2,1	-2,0	-3,6	+2,7
Havre m. insådd	+2,0	+3,4	+2,8	-1,1	-1,4	-2,6	+3,1
Grüngödslingsvall	+3,4	+5,3	+5,5	-0,8	-0,6	-2,2	+10,6
Vårvete m. insådd	+2,2	+3,4	+3,1	-1,1	-1,4	-2,6	+3,6
Grüngödsling /halvträda	+2,9	+3,7	+4,5	-1,6	-3,2	-3,6	+2,7
Höstråg	+1,8	+4,2	+2,9	-2,1	-1,6	-3,3	+1,9
Medeltal	+2,3	+3,9	+3,6	-1,6	-2,0	-3,3	+2,9

Tabell 40. Faktorvärden och odlingssystemindex. *Konventionell odling utan vall.*

Gröda	Rotmängd	Upptorkning	Återförd organisk substans	Bar mark	Bearbetningsfrekvens	Markbelastning	Summa = odlingssystemindex
Vårrybs	+1,6	+2,9	+2,4	-2,2	-3,8	-5,2	-4,3
Höstvete	+2,9	+4,2	+4,7	-2,1	-1,2	-3,4	+5,1
Havre	+2,2	+3,4	+3,5	-3,2	-2,2	-4,1	-0,4
Ärter	+1,7	+2,9	+2,6	-2,2	-4,2	-4,9	-4,1
Höstvete	+2,9	+4,2	+4,7	-2,1	-1,2	-3,4	+5,1
Vårrybs	+1,6	+2,9	+2,4	-2,2	-3,8	-5,2	-4,3
Höstvete	+2,9	+4,2	+4,7	-2,1	-1,2	-3,4	+5,1
Korn	+1,9	+3,4	+3,0	-3,2	-2,2	-4,1	-1,2
Havre	+2,3	+3,4	+3,5	-1,9	-3,8	-5,1	-1,6
Höstvete	+2,8	+4,2	+4,4	-2,1	-1,2	-3,4	+4,7
Medeltal	+2,3	+3,5	+3,6	-2,3	-2,5	-4,2	+0,4

Tabell 41. Faktorvärden och odlingssystemindex. *Ekologisk odling med vall för biogas.*

Gröda	Rotmängd	Upptorkning	Återförd organisk substans	Bar mark	Bearbetningsfrekvens	Markbelastning	Summa = odlingssystemindex
Korn m. insådd	+1,9	+3,4	+2,7	-1,1	-1,4	-3,5	+2,0
Vall I	+4,7	+5,3	+4,2	0	0	-7,6	+6,6
Vall II	+5,3	+5,3	+4,8	0	0	-7,6	+7,8
Vall III	+4,1	+4,4	+3,7	-2,4	-1,6	-5,8	+2,4
Vårvete	+2,1	+3,4	+3,4	-3,2	-3,8	-5,9	-4,0
Ärter	+1,8	+2,9	+2,8	-2,2	-5,0	-5,6	-5,3
Höstråg	+2,0	+4,2	+3,2	-2,1	-1,6	-4,3	+1,4
Havre m. insådd	+2,1	+3,4	+3,2	-1,1	-2,6	-4,2	+0,8
Gröngödsling /halvtråda	+3,2	+3,7	+5,0	-1,6	-3,2	-4,9	+2,2
Höstvete	+2,6	+4,2	+4,1	-2,1	-2,0	-3,6	+3,2
Medeltal	+3,0	+4,0	+3,7	-1,6	-2,1	-5,3	+1,7

Tabell 42. Faktorvärden och odlingssystemindex. *Konventionell odling med vall för biogas.*

Gröda	Rotmängd	Upptorkning	Återförd organisk substans	Bar mark	Bearbetningsfrekvens	Markbelastning	Summa = odlingssystemindex
Vårrybs m. insådd	+1,8	+2,9	+2,6	-1,5	-1,4	-3,8	+0,6
Vall I	+4,7	+5,3	+4,2	0	0	-7,6	+6,6
Vall II	+5,3	+5,3	+4,8	0	0	-7,6	+7,8
Vall III	+4,2	+4,4	+3,7	-1,1	-2,8	-6,4	+2,0
Höstvete	+3,4	+4,2	+5,3	-0,8	-2,8	-4,4	+4,9
Höstvete	+2,9	+4,2	+4,7	-2,1	-1,2	-4,3	+4,2
Ärter	+1,8	+2,9	+2,8	-2,2	-4,2	-4,9	-3,8
Höstvete	+3,2	+4,2	+5,1	-2,1	-1,2	-3,4	+5,8
Havre	+2,5	+3,4	+3,8	-1,9	-3,8	-7,2	-3,2
Höstvete	+3,0	+4,2	+4,8	-2,1	-1,2	-3,3	+5,4
Medeltal	+3,3	+4,1	+4,2	-1,4	-1,9	-5,3	+3,0

En särskild analys har gjorts för kombinationen konventionell odling av vall för biogas och användning av alla rötresterna från samrötning av skördad vallmassa med lika stor mängd torrsubstans av rent organiskt avfall. Det har förutsatts att rötresterna utsprids även i höstveten efter årt och att större markbelastning i detta höstveten och större marktillförsel av organisk substans är de enda skillnaderna jämfört med det tidigare analyserade systemet med konventionell odling av vall och enbart rötning av vallmassa. I genomsnitt för alla grödor i växtföljden ökar faktorvärdet för återförd organisk substans från +4,2 till +4,6 och minskar faktorvärdet för markbelastning från -5,3 till -5,4. Sammantaget medför systemet med samrötning av vallmassa och avfall en ökning av odlings-systemindexet från +3,0 till +3,3.

Miljöeffekter

I bild 9 har emissionerna i grundalternativen vägts samman i effektkategorierna växthuseffekt, övergödning och försurning. Man kan se att medan de ekologiska alternativen bidrar mindre till växthuseffekten än de konventionella, är förhållandet mellan driftsformerna det omvända när det gäller övergödning och försurning.

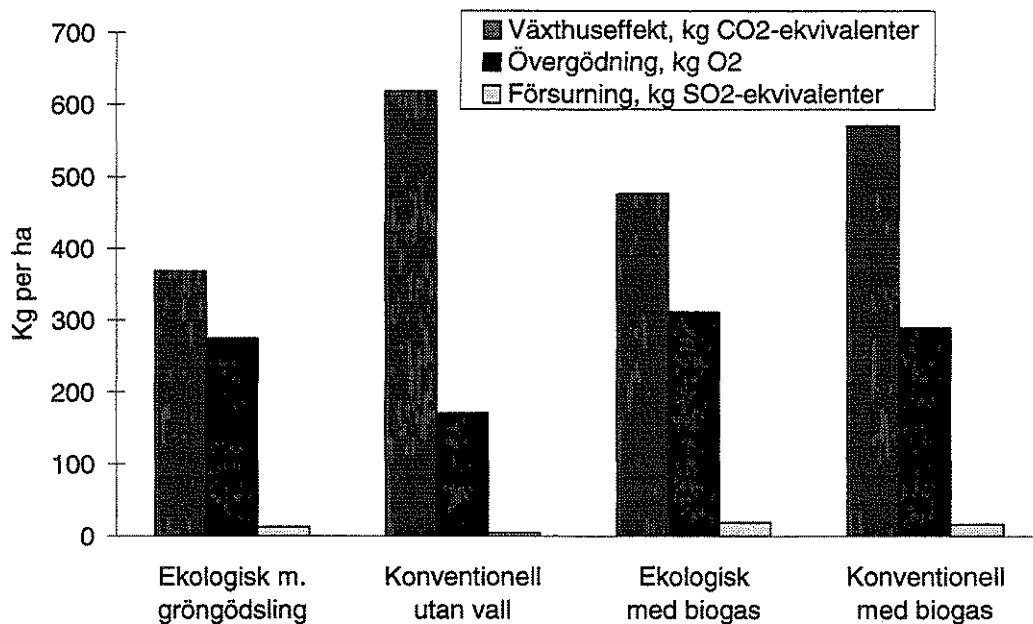


Bild 9. Miljöpåverkan från grundalternativen. Exklusive effekter av när producerad biogas ersätter annan energi.

Utifrån värdena i bild 9, redovisas i tabell 43 hur stora de procentuella bidragen från olika insatser m.m. är till respektive effektkategori.

Lantbrukets primära uppgift kan anses vara att producera livsmedel. Systemens miljöpåverkan bör då slås ut på den mängd avsaluprodukter som produceras, vilket har gjorts i bild 10. Bidraget till växthuseffekten blir då likvärdigt för de båda referensalternativen, i övrigt ger de konventionella odlingsystemen genomgående mindre miljöpåverkan än de ekologiska.

Tabell 43. Olika insatsers bidrag till effektkategorierna, %.

	Ekol. m gröng.	Konventionellt	Ekol. m biogas	Konv. m biogas
Växthuseffekt				
Diesel	44,3	31,8	61,3	49,5
Eldn.olja	33,6	30,6	24,7	27,6
Elektricitet	0,5	0,3	1,3	1,1
Inköpt gödsel	21,6	37,3	12,7	21,8
Övergödning				
Diesel	4,1	7,9	6,5	6,7
Eldn.olja	0,5	1,3	0,4	0,6
Elektricitet	0,0	0,0	0,0	0,0
Inköpt gödsel	0,7	6,2	0,5	2,0
Amm.avgång + utlakning	94,6	84,6	92,6	90,6
Försurning				
Diesel	13,7	47,4	16,3	18,0
Eldn.olja	6,2	27,2	3,9	6,0
Elektricitet	0,0	0,2	0,1	0,1
Inköpt gödsel	3,7	25,3	1,8	3,6
Ammoniakavgång	76,3	-	77,9	72,3

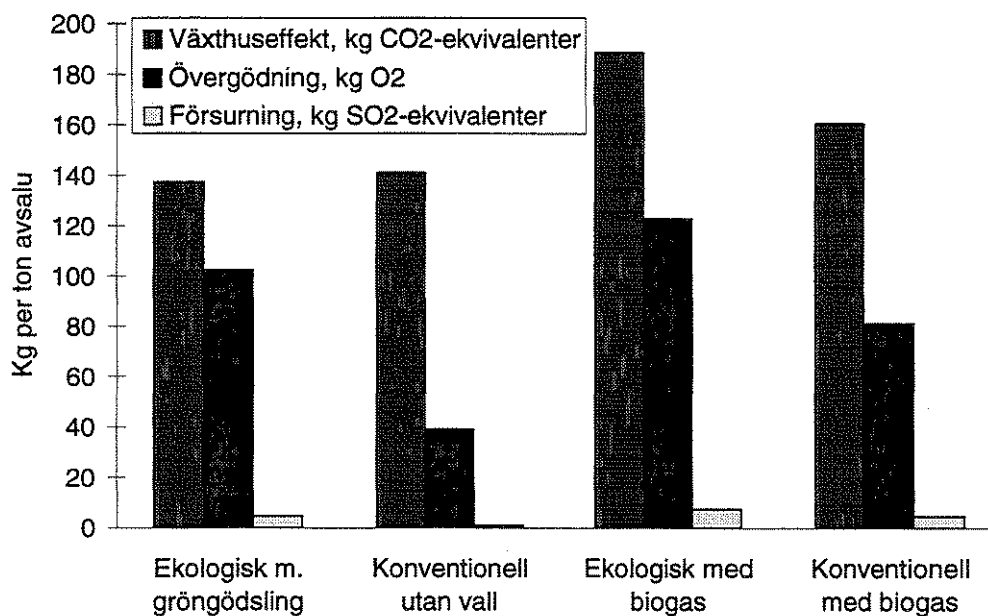


Bild 10. Miljöpåverkan från grundalternativen utslaget på producerad mängd avsalugrödor. Exklusive effekter av när producerad biogas ersätter annan energi.

Som framgår av bild 10 ger de båda alternativen med biogas i alla avseenden större miljöpåverkan än motsvarande alternativ utan biogas. I systemen med fler-årig vall och biogasrötning avstår man emellertid från avsaluproduktion på 30 % av arealen. I stället produceras energi i form av biogas. Detta bör man också ta hänsyn till vid jämförelser av alternativens miljöeffekter. För att jämföra alternativen har vi här använt det synsätt som normalt tillämpas vid livscykelanalyser. Man säger då att även de övriga alternativen ska producera samma mängd energi. Eftersom biogasen kan användas i olika tillämpningar, måste den på annat sätt producerade energin avse samma användning. Emissioner kopplade till denna energianvändning adderas sedan till respektive alternativ.

Biogas för uppvärmning. I referensalternativen räknas med att olja används för värmeproduktion. De sammanlagda miljöeffekterna per hektar blir då enligt tabell 44, att jämföras med värdena i bild 9.

Tabell 44. Miljöpåverkan från grundalternativen utslaget per hektar. Inklusive effekter av att producerad biogas ersätter olja för uppvärmning.

	Ekol. m gröng.	Konventionellt	Ekol. m biogas	Konv. m biogas
Växthuseffekt, kg CO ₂ -ekv.	1 979	2 229	525	619
Övergödning, kg O ₂	293	190	315	293
Försurning, kg SO ₂ -ekv.	23	15	25	23

Bidraget till växthuseffekten ökar här kraftigt för de båda referensalternativen och blir avsevärt mycket högre än i alternativen med biogas. I övrigt sker inga drastiska förändringar vad gäller förhållandet mellan de olika alternativen.

Biogas för kraftvärme. I referensalternativen räknas med att värmen produceras med olja och elektriciteten med ett genomsnitt av svensk elproduktion. Resultatet framgår av tabell 45.

Tabell 45. Miljöpåverkan från grundalternativen utslaget per hektar. Inklusive effekter av att biogasproducerad kraftvärme ersätter olja och svensk genomsnittsel.

	Ekol. m gröng.	Konventionellt	Ekol. m biogas	Konv. m biogas
Växthuseffekt, kg CO ₂ -ekv.	1 341	1 591	525	619
Övergödning, kg O ₂	286	182	331	309
Försurning, kg SO ₂ -ekv.	19	10	27	25

Biogas för fordonsbränsle. I referensalternativen förbrukas dieselbränsle, dock med en faktor 1,15 lägre, eftersom verkningsgraden försämras vid användning av biogas. I dessa beräkningar har vid rening och komprimering av gasen antagits 5 % förluster av metan, samt en elenergiförbrukning på 0,57 kWh per m³ gas. Resultatet framgår av tabell 46.

Tabell 46. Miljöpåverkan från grundalternativen utslaget per hektar. Inklusiva effekter av att producerad biogas ersätter diesel som fordonsbränsle.

	Ekol. m gröng.	Konventionellt	Ekol. m biogas	Konv. m biogas
Växthuseffekt, kg CO ₂ -ekv.	1 691	1 941	571	666
Övergödning, kg O ₂	366	262	342	320
Försurning, kg SO ₂ -ekv.	26	18	19	17

Av de olika effektkategorierna är det, som framgår av tabellerna, huvudsakligen bidraget till växthuseffekten i referensalternativen som ökar när man inkluderar effekterna av gasanvändning. Den största skillnaden i växthuseffekt mellan alternativen med och utan biogas, erhålls när biogasen ersätter olja, tabell 44. Eftersom det ur ekonomisk synpunkt inte går att lagra stora mängder biogas, ska det dock framhållas att detta ersättningsalternativ i realiteten kan vara svårt att förverkliga fullt ut. Medan biogasen produceras och behöver avsättas året runt, sker ju förbrukningen av olja huvudsakligen under vissa begränsade perioder av året. I verkligheten kan det därför vara svårt att ersätta den mängd olja som här räknats med. I detta avseende är användning som fordonsbränsle ett mer realistiskt alternativ, eftersom man då kan räkna med en betydligt jämnare förbrukning under året.

När det gäller övergödning och försurning ger biogasalternativen, med undantag av när biogas används som fordonsbränsle, fortfarande större bidrag än referensalternativen. Om man i en värdering även innefattar en bedömning av möjligheterna att få avsättning av gasen under hela året, kommer totalt sett användning av biogasen som fordonsbränsle att framstå som det ur miljösynpunkt bästa alternativet.

Ekonomi

Lantbruk

När täckningsbidraget minskas med samkostnaderna erhålls det ekonomiska resultatet för de olika alternativen, tabell 47.

Tabell 47. Ekonomiskt resultat för de beräknade alternativen (kkr/ 100 ha och år).

	kkr/100 ha och år
Ekologisk odling med gröngödsling	255
Konventionell odling utan vall	-18
Ekol. med biogas, 60 kW	124
Konv. med biogas, 60 kW	-73
Ekol. med biogas, 1 MW	70
Konv. med biogas, 1 MW	-123
Konv. med biogas - samrötning, 2 MW	-104

Som framgår av ovanstående tabell, så mer än halveras resultatet vid införande av vall för ekologisk odling med 60 kW biogasanläggning. Motsvarande för konventionell odling ger ett resultat som är ca 4 gånger sämre än vid odling utan vall. Odlas vall till en 1 MW-anläggning försämras resultatet ytterligare, främst på grund av ökade transporter (som i detta arbete ingår i posten "maskinkostnader"). 2 MW-anläggningen är dock mer lönsam än 1 MW-anläggningen för konventionell odling. Huvudorsaken till detta är att de stora mängderna rötrest minskar behovet av inköpta gödselmedel. Anledningar till att ekologisk odling är mer lönsam än konventionell odling, är framför allt högre försäljningspriser och större bidrag.

Sänker lantbrukaren kravet på ersättning för arbete och mark kan även den konventionella odlaren få ett positivt resultat. Det är på detta sätt som många gårdar drivs idag.

Biogasanläggning

Från de i tabell 37 redovisade intäkterna har 30 % i rörliga kostnader dragits av. Investeringsutrymmet har sedan beräknats genom att dela denna differens med en annuitetsfaktor. I denna kalkyl har en ränta på 7 % och 15 års avskrivningstid antagits, vilket ger annuitetsfaktorn 0,11. Baserat på ovan angivna förutsättningar redovisas investeringsutrymmet för de sju alternativen i tabell 48.

Tabell 48. Beräknat investeringsutrymme för biogasanläggning (kk).

Anläggningsstorlek/produktion	Konventionell	Ekologisk	Differens
60 kW			
Värme	593	578	15
Kraftvärme	736	720	16
Fordonsbränsle	1 340	1 340	0
1 MW			
Värme	8 890	8 670	220
Kraftvärme	11 250	11 000	250
Fordonsbränsle	20 100	20 100	0
2 MW			
Värme	31 500		
Kraftvärme	36 000		
Fordonsbränsle	57 300		

Av ovanstående tabell kan vi se att värme har lägst investeringsutrymme. Därefter följer kraftvärme medan produktion av fordonsbränsle har det högsta investeringsutrymmet. Dock bör investeringskostnaderna också öka med samma ordning. Vilken typ av produktion som är mest lönsam är därför svårt att avgöra innan man vet vilka investeringskostnader som krävs.

Känslighetsanalys

Lantbruk

En osäkerhetsfaktor på lite längre sikt är givetvis storleken på bidragen. Vad som händer då samtliga bidrag tas bort från resultatet illustreras i tabell 49.

Tabell 49. Bidragens inverkan på det ekonomiska resultatet (kkr/100 ha och år).

	Inkl. bidrag	Exkl. bidrag	Bidrag
Ekologisk odling med grüngödsling	255	-95	350
Konventionell odling utan vall	-18	-270	252
Ekol. med biogas, 60 kW	124	-216	340
Konv. med biogas, 60 kW	-73	-327	254
Ekol. med biogas, 1 MW	70	-270	340
Konv. med biogas, 1 MW	-123	-377	254
Konv. med biogas - samrötning, 2 MW	-104	-358	254

Som framgår av tabellen ovan, blir inget av alternativen lönsamt då bidragen tas bort från lantbruket. Vinsten försämras främst för ekologisk odling, men trots det har detta alternativ det minsta underskottet när bidragen exkluderas.

Biogasanläggning

För biogasanläggningarna styrs intäkternas och investeringsutrymmenas storlek till stor del av försäljningspriserna för värme, el och fordonsbränsle. Nivån på dessa priser i framtiden är naturligtvis också osäkra. Försäljningspriserna på el och värme skulle kunna gå upp är om den allmänna prisnivån på energi stiger, t.ex. på grund av kärnkraftsavvecklingen. Likaså skulle man kunna tänka sig att försäljningspriset för biogas som fordonsbränsle kan stiga på grund av t.ex. ökade miljöskatter på diesel. Att ersätta bensin istället för diesel skulle också ge ett högre försäljningspris. Eftersom energiutbytet då blir mer likartat, behövs troligen heller ingen faktor 1,15 som kompensation för en högre energiåtgång.

En motivering till sänkning av försäljningspriserna på el och värme kan t.ex. vara om köparen har fördelaktigare alternativ (exempelvis att köpa på elmarknaden). För "fordonsbiogas" skulle betalningsvilligheten och därmed försäljningspriset kunna sjunka om konsumenten exempelvis har höga konverteringskostnader av sitt fordon.

Om försäljningspriset för el, värme och biogas som fordonsbränsle förändras med $\pm 50\%$ blir resultatet enligt tabell 50.

Investeringsutrymmet vid 50 % förändring av försäljningspriserna varierar med 27-43 % för de olika alternativen. Priskänsligast är de ekologiska alternativen med produktion av värme. Lägst priselasticitet har värme- och kraftvärmeproduktion i en 2 MW-anläggning. Att priskänsligheten för denna överlag inte är så stor beror på att en del av intäkterna kommer från behandlingsavgifter. Av de olika produktionsformerna är kraftvärme det alternativ som genomgående uppvisar minst känslighet för prisförändringar.

Tabell 50. Procentuell skillnad i investeringsutrymme för biogasanläggning vid 50 % förändring av försäljningspriser (kkkr).

Anläggningsstorlek/ produktion	Konventionell	Ekologisk
60 kW		
Värme	593 ± 40 %	578 ± 43 %
Kraftvärme	736 ± 33 %	720 ± 35 %
Fordonsbränsle	1 340 ± 41 %	1 340 ± 40 %
1 MW		
Värme	8 890 ± 40 %	8 670 ± 43 %
Kraftvärme	11 250 ± 34 %	11 000 ± 36 %
Fordonsbränsle	20 100 ± 40 %	20 100 ± 40 %
2 MW		
Värme	31 500 ± 27 %	
Kraftvärme	36 000 ± 27 %	
Fordonsbränsle	57 300 ± 35 %	

Diskussion

Den dynamiska simuleringsmodell som inom ramen för projektet tagits fram för att återspegla bl.a. flödena av kol och kväve i marken, har byggts upp i syfte att få ett generellt verktyg som kan användas i andra framtida planerings- och besluts-situationer. Sålunda kan man genom att ändra indata till modellen, studera effekterna av andra växtföljder, avkastningar, gödselmedel, annan sammansättning och fördelning av rötrest etc. Efterhand som ny kunskap kommer fram kan också modellens olika delar förfinas. Exempel på sådan kunskap är hur markens struktur påverkar växternas kväveutnyttjande och därmed förlusterna i systemet.

I analysen har vi för att kunna jämföra de olika alternativen fullt ut, förutsatt att man även i ekologisk odling gödslar med inköpt kväve vid behov. I praktiken görs troligen inte detta, utan man får istället acceptera en något lägre skördenivå.

De låga kväveförlusterna i konventionell odling utan vall beror till stor del på att man i detta system har mycket goda möjligheter att styra kvävetillförseln efter växternas behov. I modellen görs detta mycket exakt i balansräkningen. I verkligheten har årsmånen stor betydelse för hur det tillförda kvävet kan utnyttjas. Sålunda kan växterna under t.ex. ett torrår inte komma åt allt kvävet. Framför allt i detta alternativ ger därför modellen troligen en underskattning av kväveförlusterna.

Att de största förlusterna av kväve erhålls för alternativet med samrötning, beror inte på systemet som sådant, utan är en följd av den stora mängden organiskt material i form av rötrest som tillförs marken. Jämfört med alternativen med rötning av enbart växtmaterial, läggs nästan dubbla mängden rötrest per ytenhet. Om man istället hade fördelat rötresten på dubbelt så stor areal skulle kväveförlusterna komma att ligga på ungefär samma nivå som i alternativet med växtrötning. Naturligtvis skulle då också förändringen av mullhalt och behov av inköpt kväve bli mer likvärdigt i de båda alternativen.

I studien har vi kvantifierat de olika odlingssystemens inverkan på miljön vad avser växthuseffekt, övergödning och försurning. Alla system medför emellertid även annan miljöpåverkan som inte innefattas i någon av dessa tre kategorier. Sålunda ingår t.ex. ingen värdering av användningen av kemiska preparat i konventionell odling.

Huvuddelen av det kväve som avgår vid denitrifiering är i form av harmlöst luftkväve. En mindre del kan dock utgöras av lustgas (N_2O), som är en kraftig växthusgas. Med nuvarande kunskap har vi emellertid inte bedömt det som möjligt att kunna särskilja de olika odlingssystemen med avseende på lustgasemissioner.

Tistel upplevs av många som ett gissel i ekologisk odling. Någon regelbunden åtgärd för att bekämpa denna har inte lagts in i förutsättningarna för studien. Genom att införa fleråriga vallar i växtföljden bör dock problemen med tistel minska betydligt.

För den producerade biogasen har vi antagit att andelen metan uppgår till 56 % vid rötning av enbart ensilage och 58,5 % vid samrötning med organiskt avfall. Dessa antaganden bygger på resultat från laboratorieförsök med totalomblandade enstegsprocesser, vilket är vad som förutsatts i denna studie. Metanhalten i gasen kan dock variera något beroende på substratets sammansättning. Det bör också nämnas att med annan processteknik skulle mycket väl högre metanhalter kunna erhållas, som t.ex. i metansteget vid tvåstegsrötning. De alternativ till enstegsprocessen som finns idag är emellertid ur teknisk synpunkt mer komplicerade och skulle bl.a. medföra en högre investeringskostnad för anläggningen.

Huruvida lantbrukaren kan motiveras till att odla vall eller inte, beror naturligtvis i hög grad på vad vallen kan tänkas ge för intäkter. Om lantbrukaren själv äger biogasanläggningen, gäller det att han får täckning för sina kostnader för vallodling genom överskottet (efter att investeringen är gjord) på försäljning och användning av biogas. Om inte lantbrukaren själv äger biogasanläggningen, är frågan vilken intäkt från vallen han måste ha för att vara indifferent jämfört med odling utan vall. Rimligtvis borde det räcka med skillnaden i vinst mellan odling med och utan vall. Då denna skillnad divideras med kvantiteten vall erhålls ett "pris" på vallen, vilket vi kallar alternativpris. Detta pris och odlingskostnaden för vallen visas i tabell 51.

Tabell 51. Odlingskostnad och alternativpris för vallen (öre/kg ts).

	Odlingskostnad	Alternativpris
Ekologisk odling	76	58
Konventionell odling	61	24

Den påfallande stora skillnaden mellan odlingskostnad och alternativpris för den konventionella gården, kan förklaras med att vi byter ut spannmålsodlingens kostnader mot vallodlingens. Med dagens svaga lönsamhet i spannmålsodling blir vallen därför ganska billig att producera. För den ekologiska vallodlingen är skillnaden mindre. Det är med andra ord betydligt "dyrare" att producera vall på den ekologiska gården. Här tillkommer nämligen nästan hela odlingskostnaden, eftersom bara grön gödslingvallens kostnader avgår.

För att veta om de redovisade investeringsutrymmena räcker för att bygga och driva biogasanläggningen, behöver man ha kännedom om vilka investerings- och driftskostnader som kan förväntas för de olika anläggningarna vid respektive gasanvändning. Detta har emellertid legat utanför målsättningen med denna studie.

För att kunna genomföra projektet inom de ramar som stått till förfogande, har vi naturligtvis varit tvungna att i förutsättningarna göra ganska strikta avgränsningar. Det skulle vara intressant om man i fortsatta systemstudier kunde ge en bredare belysning av mark- och miljöeffekter i andra odlingsystem, med t.ex. olika andel vall och spannmål, olika vallängder, olika grad av halmbortförsel samt annan odlingsteknik. Andra viktiga frågeställningar är hur jordart, årsvariationer i väderlek samt en högre metanhalt i biogasen påverkar mark- och miljöeffekter. Det är också angeläget att genom fortsatt metodutveckling ta fram ett enklare sätt för att beräkna ett index för markstrukturen. En sådan metod bör efter validering kunna utgöra ett användbart verktyg både inom forskning och praktiskt lantbruk. Erfarenheter och resultat som framkommit inom ramen för detta projekt, bör tillsammans med de beräkningsmodeller som tagits fram kunna utgöra en bra bas för fortsatta arbeten inom området.

Slutsatser

På underlag av de resultat som framkommit i studien kan följande slutsatser dras avseende inverkan på mark och miljö.

Införande av flerårig vall för biogas, ger i förhållande till referensalternativen följande effekter:

- En uppbyggnad av markens förråd av kol (mull) och organiskt bundet kväve. Det sistnämnda innebär att markens kvävelevererande förmåga ökar, varvid behovet av inköpt kväve minskar.
- Ökade förluster av kväve i konventionell odling. Detta eftersom den ökade kvävetillförseln från mineraliseringsprocessen inte kan styras på samma sätt som kompletteringsgödning. I ekologisk odling ligger kväveförlusterna kvar på ungefär samma nivå.
- En förbättrad markstruktur i konventionell odling. I ekologisk odling däremot ger växtföljden med gröngödslingsvallar mer positiv inverkan på markstrukturen än fleråriga vallar.
- Om man bortser från effekterna av att biogasen ersätter annan energi, erhålls större bidrag till växthuseffekt, övergödning och försurning räknat per ton avsalugrödor. När hänsyn också tas till att biogasen ersätter annan energi, blir bidraget till växthuseffekten avsevärt mycket lägre. Den ur miljösynpunkt bästa användningen av biogasen är när den ersätter diesel som fordonsbränsle. Bidragen till övergödning och försurning blir då ungefär lika stora i systemen med respektive utan flerårig vall.
- Vid samrötning med organiskt avfall accentueras ökningen av kol och kväve i marken. På lång sikt skulle den stora mängden rötrest i detta system vara tillräcklig för att klara kväveförsörjningen i konventionell odling. Samtidigt blir dock kväveförlusterna större än i de övriga studerade systemen.

Vid en jämförelse mellan ekologisk och konventionell odling med vall, kan följande skillnader noteras:

- I det konventionella systemet produceras med hjälp av inköpta gödselmedel en större mängd biomassa årligen. Förutom att detta resulterar i en snabbare ökning av jordens mullhalt, är det också den främsta anledningen till att det framräknade indexet för markstrukturen blir bättre än i ekologisk odling.
- Enbart räknat per ton avsalugrödor, ger det konventionella alternativet mindre bidrag till såväl växthuseffekt, övergödning som försurning. Om hänsyn tas även till de effekter som erhålls när biogasen ersätter annan energi, blir bidraget till växthuseffekten något lägre för det ekologiska alternativet, medan förhållandet blir det omvända när det gäller övergödning och försurning.

När det slutligen gäller de ekonomiska beräkningarna kan följande slutsatser dras:

- De ekologiska alternativen ger bättre resultat för lantbruket än de konventionella. Detta gäller både med och utan bidrag och beror i första hand på merbetalningen för avsalugrödorna.
- Det största investeringsutrymmet erhålls när biogasen förädlas till fordonsbränsle. Därefter kommer produktion av kraftvärme, medan värmeproduktion har lägst investeringsutrymme.

Referenser

- Andrén, O. & Kätterer, T. 1997. ICBM - the introductory carbon balance model for exploration of soil carbon balances. *Ecological Applications* 7(4), 1226-1236.
- Arvidsson, J. & Håkansson, I. 1991. A model for estimating crop yield losses caused by soil compaction. *Soil & Tillage Research* 20, 319-332.
- Arvidsson, J. & Håkansson, I. 1992. En modell för att beräkna jordpackningens effekter på grödornas avkastning. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst. för markvetenskap. Rapport från jordbearbetningsavd. 82, 23 s.
- Bertilsson, G. 1992. Environmental consequences of different farming systems using good Agricultural practices. Paper read at the International Conference in Cambridge on 16-17 December 1992. Fertiliser Society.
- Brolin, L., Hagelberg, M. & Norström, A. 1995. Biogas som drivmedel för fordon. NUTEK R 1995:1, KFB-rapport 1995:3.
- Claesson, S. & Steineck, S. 1991. Växtnäring, hushållning - miljö. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Speciella skrifter 41.
- Dalemo, M. 1996. The modelling of an aerobic digestion plant and a sewage plant, in the ORWARE simulation model. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Institutionen för lantbruksteknik, Rapport 213.
- Danfors, B. 1988. Bränsleförbrukning och avverkning vid olika system för jordbearbetning och sådd. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. Meddelande nr 420.
- Granstedt, A. 1996. Vallväxternas betydelse för kväveförsörjningen i ekologisk odling. *Tidskrift för Lantmän och andelsfolk (LOA)*, 77 (6-7), s 238-240.

- Hjortsberg, H. 1997. Biogas eller diesel som drivmedel i stadsbussar - En jämförande företags- och samhällsekonomisk analys. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Institutionen för ekonomi. Examensarbete.
- Johansson, W. 1974a. Metod för beräkning av vatteninnehåll och vattenomsättning i odlad jord med ledning av meteorologiska data. Grundförbättring 26, 57-153.
- Johansson, W. 1974b. Data om väderlek och agrohydrologiska förhållanden vid Uppsala 1931-1960 och Ultuna 1961-1973. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Inst. för markvetenskap, Avd. för lantbrukets hydroteknik. Stenciltryck 81.
- Johansson, W. 1994. Kolbindning och kolflöden vid odling: Sammanfattning av en analys rörande inverkan av växtföljd/odlingssystem och av restprodukt-tillförsel till marken. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst. för markvetenskap, Avd. för lantbrukets hydroteknik. Rapport till SLF. December 1994, 18 s.
- Johansson, W., Mattson, L., Thyselius, L. & Wallgren, B. 1993. Energigrödor för biogas. Effekter på odlingssystem. JTI-rapport 161, 53 s.
- Jordbruksverket, 1997, Miljöstöd 1997, EU-information, Jönköping.
- Jordbruksverket, 1997, Miljöstöd för flerårig vallodling 1997, EU-information, Jönköping.
- Jordbruksverket, 1997, Arealersättning 1997, EU-information, Jönköping.
- Larsen, K. E., Steineck, S. & Kempainen, E. 1991. Husdyrgödningens udnyttelse i planteproduktion ved intensiv husdyrproduktion. Et fællesnordiskt projekt. Statens Planteavlfsorsøg, Tjele, Danmark. Tidsskrift for Planteavl's Specialserie. Beretning nr S 2127-1991.
- Lundgren, L. 1992. Hur påverkas miljön av en kilowattimme använd el i Sverige? Vattenfall Research.
- Länsstyrelsen i Göteborgs och Bohus län m.fl., 1997, Bidragskalkyler Västra Sverige 1996/97 Ekologisk produktion, Landsbygdsenheten, Uddevalla.
- Länsstyrelsen i Göteborgs och Bohus län, 1994, Bidragskalkyler, 1994, Landsbygdsenheten, Uddevalla.
- Maskinring Västmanland, 1997, Årsbok 1997, Västerås.
- Naturvårdsverket. 1997. Det framtida jordbruket. Slutrapport från systemstudien för ett miljöanpassat och uthålligt jordbruk. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Nielsen, V. 1989. Avsnitt 5.6 i Pick, E; Norén, O & Nielsen, V. (red). Energy consumption and input-output relations of field operations. CNRE Study No 3, s 36-52. FAO, Rome.
- Nilsson, M. 1997. Naturgasbaserad småskalig kraftvärme inom uppvärmningssektorn. Rapport SGC 081. SGC, Malmö.
- Nord 1995:20. Nordic guidelines on life-cycle assessment. Nordic Council of Ministers. ISBN 92 9120 692 X.
- Nordberg, Å. & Edström, M. 1997. Optimering av biogasprocess för lantbruksrelaterade biomassor. JTI-rapport *Kretslopp & Avfall* nr 11, Jordbruks-tekniska institutet, Uppsala.
- Norén, O. 1984. Different methods of forage harvesting from an energy point of view. Proceedings of technical consultation of el/n. 1a: "Energy conservation with tractors and agricultural machines". CNRE Bulletin No. 4, s 45-54.
- ODAL, 1997, Växtodlaren: När, Var, Hur, Lidköping.
- SLU, 1996, Databok för driftsplanering, Uppsala.
- SLU, 1989, Databok för driftsplanering, Uppsala.
- SLU, 1995, Områdeskalkyler - jordbruk Ss 1995/96, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Info/ekonomi, Allmänt 192.

- Statens maskinprovningar. 1983. Serieprovning av bränsleförbrukning hos traktorer med 40-50 kW kraftuttagseffekt. Meddelande 2849.
- Sundberg, M & Dalemo, M. 1995. Livscykelinventering - linfiber. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. Internrapport.
- Tillman, A-M., Baumann, H., Eriksson, E. & Rydberg, T. 1991. Packaging and the environment. Life-cycle analyses of selected packaging materials. Quantification of environmental loadings. Chalmers Industriteknik. Göteborg.

Personliga meddelanden

- Albrektsson, L-G., Skånska Lantmännen, Malmö
- Andersson, K., Sveriges Frö- och Oljeväxtodlare Service AB, Malmö
- Aspgren, M., Odal, Enköping
- Björnberg, A., Ecotrade, Norrköping
- Dalemo, M., Jordbrukstekniska institutet, Uppsala
- Ekman, S., Jordbrukstekniska institutet, Uppsala
- Gustavsson, M., Fjärrvärmeföreningen, Stockholm
- Iggsten, P., Strömsbergs industri AB, Strömsberg
- Jarheim, K., IGF Kraftvärme, Stockholm
- Kilholm, B., Odal, Sala
- Sävström, U., Svenska elverksföreningen, Stockholm
- Wivstad M., Institutionen för växtodlingslära, SLU, Uppsala
- Ånger, T., VAFAB, Västerås

Under arbetets gång med systemanalysen har diskussioner förts med följande personer inom respektive specialområde:

- Mats Blomberg, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala
- Mats Edström, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala
- Magnus Dalemo, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala
- Britta Fagerberg, Institutionen för växtodlingslära, SLU, Uppsala
- Lotta Hansson, Institutionen för ekologi och miljövård, SLU, Uppsala
- Börje Lindén, Institutionen för jordbruksvetenskap Skara, SLU, Skara
- Åke Nordberg, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala
- Sigurd Regnér, Institutionen för lantbruksteknik, SLU, Uppsala
- Staffan Steineck, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala

Grundvärden till odlingsssystemindex

Ekologisk odling med grüngödsling

Gröda	Rotmängd	Antal dagar med stark upptorkning	Organisk subst.		Antal dagar med bar mark	Antal bear- betningar	Markbe- lastning Tonkm/ha
	Ton ts/ha		Halm kvar Ton ts/ha	Halm bort			
Korn m. insådd	3,00+0,47	68	3,17	1,46	41	3,5	42,9
Grüngödslingsvall	6,88	105	6,88		29	1,5	36,4
Havre	3,57	68	3,57	1,53	116	9,5	82,0
Ärter	3,24	57	3,29		79	11,5	88,9
Höstvete	4,76	83	4,76	2,04	75	5,0	59,3
Havre m. insådd	3,47+0,47	68	3,51	1,66	41	3,5	42,9
Grüngödslingsvall	6,88	105	6,88		29	1,5	36,4
Vårvete m. insådd	3,87+0,47	68	3,91	1,83	41	3,5	42,9
Grönvall/halvträda	5,63+0,17	73	5,67		58	8,0	59,4
Höstråg	3,67	83	3,67	1,57	75	4,0	55,4

Konventionell odling utan vall

Gröda	Rotmängd	Antal dagar med stark upptorkning	Organisk subst.		Antal dagar med bar mark	Antal bear- betningar	Markbe- lastning Tonkm/ha
	Ton ts/ha		Halm kvar Ton ts/ha	Halm bort			
Vårrybs	2,98+0,17	57	3,02		79	9,5	86,7
Höstvete	5,85	83	5,85	2,51	75	3,0	57,3
Havre	4,36	68	4,36	1,87	116	5,5	68,7
Ärter	3,24+0,17	57	3,29		79	10,5	81,9
Höstvete	5,85	83	5,85	2,51	75	3,0	57,3
Vårrybs	2,98+0,17	57	3,02		79	9,5	86,7
Höstvete	5,85	83	5,85	2,51	75	3,0	57,3
Korn	3,73	68	3,73	1,60	116	5,5	68,7
Havre	4,36+0,17	68	4,40	1,91	69	9,5	84,3
Höstvete	5,55	83	5,55	2,38	75	3,0	57,3

Ekologisk odling med vall för biogas

Gröda	Rotmängd	Antal dagar med stark upptorkning	Organisk subst.		Antal dagar med bar mark	Antal bearbetningar	Markbelastning
	Ton ts/ha		Halm kvar	Halm bort			Tonkm/ha
Korn m. insådd	3,24+0,47	68	3,42	1,57	41	3,5	59,1
Vall I	9,38	105	1,88+3,38 ¹⁾		0	0	126,4
Vall II	10,63	105	2,13+3,83 ¹⁾		0	0	126,4
Vall III	8,13	88	1,63+2,93 ¹⁾		88	4,0	96,4
Vårvete	4,26	68	4,26	1,83	116	9,5	98,1
Ärter	3,49+0,17	57	3,53		79	12,5	93,9
Höstråg	3,97	83	3,97	1,70	75	4,0	71,5
Havre m. insådd	3,77+0,47	68	3,94	1,79	41	6,5	69,3
Rajgräs/halvträda	6,25+0,17	73	6,29		58	8,0	81,3
Höstvete	5,16	83	5,16	2,21	75	5,0	59,3

¹⁾ Organisk substans i rötresten = 45% av ts-skörden i vallen

Konventionell odling med vall för biogas

Gröda	Rotmängd	Antal dagar med stark upptorkning	Organisk subst.		Antal dagar med bar mark	Antal bearbetningar	Markbelastning
	Ton ts/ha		Halm kvar	Halm bort			Tonkm/ha
Vårrybs m. insådd	2,98+0,70	57	3,24		54	3,5	63,8
Vall I	9,38	105	1,88+3,38 ¹⁾		0	0	126,4
Vall II	10,63	105	2,13+3,83 ¹⁾		0	0	126,4
Vall III	8,13+0,17	88	1,67+2,93 ¹⁾		41	7,0	106,1
Höstvete	6,55+0,17	83	6,59	2,81	28	7,0	72,8
Höstvete	5,85	83	5,85	2,51	75	3,0	70,9
Ärter	3,49+0,17	57	3,53		79	10,5	81,9
Höstvete	6,35	83	6,35	2,72	75	3,0	57,3
Havre	4,76+0,17	68	4,80	2,08	69	9,5	120,7
Höstvete	6,05	83	6,05	2,59	75	3,0	54,8

¹⁾ Organisk substans i rötresten = 45% av ts-skörden i vallen

Sammanställning av förbrukade resurser m.m., utgörande underlag för beräkning av miljöeffekter

	Ekologiskt med gröngödsling	Konventionell utan vall	Ekologiskt med biogas, 100 ha	Konv. med biogas, 100 ha	Ekologiskt med biogas, 15*100 ha	Konv. med biogas, 15*100 ha	Konv. m. biogas 15*100 ha, samrötn.
DIESEL, lit/ha och år							
Fältsbeten	43,9	54,2	65,1	61,1	65,1	61,1	61,7
Transporter till och från fält	4,1	5,6	6,2	6,8	10,8	11,4	13,7
Inl. o uttag ur silo	9,0	9,0	21,9	21,9	21,9	21,9	22,5
Driftsledning			9,0	9,0	9,0	9,0	9
SUMMA	57,1	68,7	102,2	98,8	106,8	103,4	106,9
ELDNINGSSOLJA, lit/ha och år							
Spannmålstorkning	38,0	60,9	35,9	49,7	35,9	49,7	49,7
Uppvärmning prod. lokaler	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
SUMMA	43,0	65,9	40,9	54,7	40,9	54,7	54,7
ELEKTRICITET, kWh/ha och år							
Spannmålstorkning	30,4	48,7	28,7	39,8	28,7	39,8	39,8
Biogasläggning			295	295	248	248	248
Övrigt gården	100	100	100	100	100	100	100
SUMMA	130,4	148,7	423,9	434,9	376,6	387,7	387,8
GÖDSELMEDEL, kg/ha och år							
Biofer 10-4	187	NP 27-5	Biofer 10-4	NP 27-5	Biofer 10-4	NP 27-5	NP 27-5
kg gödsel	18,7	376	142	203	142	203	80
kg N		101,5	14,2	54,8	14,2	54,8	21,5
UTLAKNING, kg NO3/ha och år							
Kg N	40,6	32,9	36,9	36,3	36,9	36,3	41,6
Kg N	9,2	7,4	8,3	8,2	8,3	8,2	9,4
NH3-AVG., kg NH3/ha och år							
Kg N	5,1	0,0	7,8	6,4	7,8	6,4	9,0
Kg N	4,2	0,0	6,5	5,2	6,5	5,2	7,4

Ekologisk odling med grön gödsling

	Korn m insådd	Grön- gödsling	Havre	Ärtor	Höstvete	Havre m insådd	Grön- gödsling	Vårvete m insådd	Grön gödsling/ halvträda	Råg
ÅR	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FOSFOR på våren, kg	3.909	3.897	3.897	3.885	3.872	3.855	3.844	3.844	3.830	3.830
Mineralkväve på våren, kg	50,5	43,1	47,2	44,4	36,3	25,2	40,4	46,0	51,4	64,2
KVÄVETILLFÖRSEL, kg N/ha										
Mineraliserat sommar	88	79	152	90	87	83	82	154	93	140
Fastfågning sommar	41	33	38	40	31	55	39	38	43	31
Nettomineral. sommar	46	46	114	50	56	28	43	116	49	109
Flytande rötrest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utsäde	3,6	0,2	4,2	9,8	4,0	4,2	0,2	5,0	0,2	3,4
Kvävefixering	0	179	0	130	0	0	179	0	137	0
BALANSRÄKNING										
Tillgängligt mineralkväve inkl. N-fix., kg	100,5	268,4	165,5	234,5	96,7	57,3	262,5	167,1	237,7	176,7
Behov av min-N, kg	106,4	239,3	113,4	209,5	149,6	110,3	239,3	129,8	195,8	113,1
Underskott (minst 25 kg rest-N i mark)	30,9	0,0	0,0	0,0	77,9	78,0	1,7	0,0	0,0	0,0
KOL, kg	50.206	49.916	50.504	50.237	49.989	50.197	50.016	50.557	50.345	50.519
Mullhalt, %	2,51	2,50	2,53	2,51	2,50	2,51	2,50	2,53	2,52	2,53
ORG. KVÄVE, kg	5.011	4.984	5.037	5.013	4.990	5.009	4.993	5.042	5.024	5.040
HÖST-VÅR										
Min-N i mark efter skörd	25,0	29,1	52,0	25,0	25,0	25,0	25,0	37,3	42,0	63,5
Fast rötrest, kg min-N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mineraliserat vinter kg N	45	73	46	49	44	44	75	48	72	46
Fastfågning vinter kg N	14	16	17	13	24	17	16	19	13	18
Nettomineral. vinter kg N	30,6	56,8	28,7	36,0	20,9	27,1	58,5	29,1	58,3	28,8
Min-N i mark efter mineralisering	55,6	85,9	80,8	61,0	45,9	52,1	83,5	66,4	100,3	92,3
KVÄVEFÖRLUSTER, kg N										
Denitrifikation	8,3	25,8	24,2	16,5	13,8	7,8	25,1	10,0	24,1	27,7
Utläkning	4,2	12,9	12,1	8,2	6,9	3,9	12,5	5,0	12,0	13,8
Ammoniakavgång - rötrest	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ammoniakavgång - grön gödsling	0,0	14,9	0,0	0,0	0,0	0,0	14,9	0,0	12,2	0,0

Ekologisk odling med biogas

	Korn m		Vall 1		Vall 2		Vall 3		Vårvete		Årtor		Råg		Havre m		Gröngöds./	
	insådd		12	13	13	13	14	14	15	16	17	17	18	18	19	19	20	20
ÅR	11																	
FOSFOR på våren, kg	3 907		3 898	3 876	3 858	3 847	3 835	3 821	3 812	3 804	3 832							
Mineralkväve på våren, kg	43,3		50,8	56,9	61,5	41,2	36,4	44,5	32,5	43,8	64,7							
KVÄVETILLFÖRSEL, kg N/ha																		
Mineraliserat sommar	111		95	106	128	163	111	107	96	90	173							
Fastläggning sommar	60		35	20	38	70	48	33	45	42	31							
Nettomineral. sommar	51		59	86	90	93	63	74	52	48	142							
Flytande rötrest	29		0	40	40	21	0	28	29	0	0							
Utsåde	3,6		0,5	0,0	0,0	5,0	9,8	3,4	4,2	0,2	4,0							
Kvävefixering	0		275	176	45	0	141	0	0	137	0							
BALANSRÄKNING																		
Tillgängligt mineralkväve inkl. N-fix., kg	126,9		386,0	359,0	237,3	160,9	250,2	149,2	116,9	228,5	210,5							
Behov av min-N, kg	115,1		364,3	380,8	273,8	143,2	225,2	122,3	119,7	195,8	162,1							
Underskott (minst 25 kg rest-N i mark)	13,1		3,3	46,8	61,5	7,3	0,0	0,0	27,9	0,0	0,0							
KOL, kg	51 922		51 415	51 260	51 670	52 607	52 167	51 902	51 871	51 652	52 784							
Mullhalt, %	2,60		2,57	2,56	2,58	2,63	2,61	2,60	2,59	2,58	2,64							
ORG. KVÄVE, kg	5 178		5 132	5 117	5 155	5 243	5 204	5 180	5 177	5 156	5 263							
HÖST-VÅR																		
Min-N i mark efter skörd	25,0		25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	26,9	25,0	32,8	48,4							
Fast rötrest, kg min-N	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
Mineraliserat vinter kg N	56		53	62	80	62	59	51	50	86	63							
Fastläggning vinter kg N	15		9	16	30	21	14	19	18	13	26							
Nettomineral. vinter kg N	40,6		44,4	46,0	49,9	41,2	44,6	32,2	31,5	73,1	37,9							
Min-N i mark efter mineralisering	65,6		69,4	71,0	74,9	66,2	69,6	59,2	56,5	108,7	86,4							
KVÄVEFÖRLUSTER, kg N																		
Denitrifikation	9,8		8,3	6,4	22,5	19,8	16,7	17,7	8,5	29,4	25,9							
Utläkning	4,9		4,2	3,2	11,2	9,9	8,3	8,9	4,2	14,7	13,0							
Ammoniakavgång - rötrest	2,2		0,0	13,5	13,5	1,6	0,0	3,1	2,2	0,7	0,0							
Ammoniakavgång - gröngödsling	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	0,0							

Konventionell odling med biogas

	Vårrys		Vall 1		Vall 2		Vall 3		Höstvete		Årtor		Höstvete		Havre		Höstvete	
ÅR	m insådd		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
FOSFOR på våren, kg	3 861		3 866	3 834	3 816	3 805	3 781	3 765	3 750	3 727	3 744							
Mineralkväve på våren, kg	36,9		54,7	66,8	62,7	45,4	35,9	36,4	42,6	29,3	48,5							
KVÄVETILLFÖRSEL, kg N/ha																		
Mineraliserat sommar	124		101	109	131	162	132	120	108	115	141							
Fastläggning sommar	69		32	20	38	70	74	66	35	72	52							
Nettomineral. sommar	56		68	89	94	92	58	54	73	43	88							
Flytande rötrest	43		0	40	40	0	31	0	0	32	0							
Utsäde	0,5		0,5	0,0	0,0	4,0	4,0	9,8	4,0	4,2	4,0							
Kvävefixering	0		275	176	45	0	0	150	0	0	0							
BALANSRÄKNING																		
Tillgängligt mineralkväve inkl. N-fix., kg	136,1		398,6	372,3	241,8	141,7	129,0	250,2	120,1	108,2	140,7							
Behov av min-N, kg	119,4		364,3	380,8	273,8	218,6	195,4	225,2	212,0	159,8	202,1							
Understött (minst 25 kg rest-N i mark)	8,3		0,0	33,5	57,0	102,0	91,4	0,0	116,9	76,6	86,3							
KOL, kg	52 856		52 150	51 931	52 295	53 076	53 342	53 243	52 687	53 191	53 946							
Mullhalt, %	2,64		2,61	2,80	2,61	2,65	2,67	2,66	2,63	2,66	2,70							
ORG. KVÄVE, kg	5 270		5 205	5 184	5 217	5 290	5 317	5 309	5 258	5 305	5 378							
HÖST-VÅR																		
Min-N i mark efter skörd	25,0		34,3	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0							
Fast rötrest, kg min-N	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
Mineraliserat vinter kg N	59		56	64	81	67	70	61	59	76	74							
Fastläggning vinter kg N	14		9	16	30	32	28	15	31	22	29							
Nettomineral. vinter kg N	45,6		47,1	47,5	51,3	35,3	41,2	46,5	28,3	53,7	44,1							
Min-N i mark efter mineralisering	70,6		81,4	72,5	76,3	60,3	66,2	71,5	53,3	81,6	69,1							
KVÄVEFÖRLUSTER, kg N																		
Denitrifikation	10,6		9,8	6,5	20,6	16,3	19,9	19,3	16,0	22,0	20,7							
Utlakning	5,3		4,9	3,3	10,3	8,1	9,9	9,7	8,0	11,0	10,4							
Ammoniakavgång - rötrest	3,2		0,0	13,5	13,5	0,0	3,5	0,0	0,0	3,1	0,0							
Ammoniakavgång - grön gödsling	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							

Aktuella JTI-rapporter, Kretslopp & Avfall

Kostnadsfritt kan Du få en förteckning över samtliga rapporter (*Lantbruk & Industri och Kretslopp & Avfall*) utgivna av JTI, tfn 018-30 33 00, fax 018-30 09 56.

1996

- 1 Länsvís omhändertagande av slaktavfall och kadaver för utvinning av energi och växtnäring. A. Lindberg
- 2 Biogas och växtnäring kretslopp stad-land. Röttningsförsök med organiskt avfall i Uppsala. M. Edström, L. Andersson, Y. Adolfsson, J-O. Sundqvist
- 3 Våtkompostering som stabiliserings- och hygieniseringsmetod för organiskt avfall - Försök i pilotskala med svartvatten, köksavfall och gödsel. E. Norin
- 4 Miljökonsekvenser vid hantering av hushållsavfall i VAFAB-regionen. M. Dalemo, H. Oostra
- 5 Våtkompostering i ett lokalt, kretsloppsbaseerat behandlingssystem för toalett- och köksavfall. E. Norin
- 6 Ammonia Recovery from Liquid Manure by Desorption with Air. A. Wikberg

1997

- 7 Lokalt omhändertagande av icke avvattnat avloppsslam. P-A. Algerbo, M. Dalemo
- 8 Sammanfattning av seminariet "Morgondagens kretslopp" Uppsala den 22-23 oktober 1996
- 9 Hanteringssystem för råvara och rötrest vid storskalig rötning av växtmaterial. M. Dalemo, B. Jonsson, H. Oostra, M. Sundberg
- 10 Hygienisering av biologiskt avfall. M. Inger, E. Norin, B. Mathisen
- 11 Optimering av biogasprocess för lantbruksrelaterade biomassor. Å. Nordberg, M. Edström

Läsvärt från JTI

Jordbrukstekniska institutet (JTI) är ett industriforskningsinstitut som arbetar med forskning, utveckling och information inom områdena jordbruk, miljö, energi och avfall. Enklaste sättet att ta del av JTI:s resultat är att prenumerera på den information som passar Dig bäst!

Nyhetsbrevet *JTI-perspektiv - om biologiskt avfall och kretslopp* riktar sig till Dig som arbetar med frågor som rör organisk avfallshantering. *JTI-perspektiv* ges ut två gånger per år och är gratis.

JTI-rapporterna är vetenskapliga sammanställningar för den som vill fördjupa sig ytterligare. Rapporterna delas in i *Kretslopp & Avfall* och *Lantbruk & Industri*. Det kostar 200 kr att prenumerera på *Kretslopp & Avfall* och Du får då 4 - 6 rapporter på ett år. En prenumeration på serien *Lantbruk & Industri* kostar 400 kr och består av ca 15 rapporter. Vi erbjuder även en prenumeration på båda serierna tillsammans för ett paketpris på 500 kr. (Alla priser är inklusive moms och gäller för 1997.)

JTI:s årsberättelse som är gratis, ger en samlad bild av verksamheten och presenterar aktuella projekt.

För Dig som är särskilt intresserad av lantbruk finns även:

Teknik för lantbruket. På 8-16 rikt illustrerade sidor presenteras ny teknik och nya metoder för lantbruket. En årsprenumeration består av åtta nummer och kostar 150 kr (1997).

Axplock från JTI. Detta nyhetsbrev vänder sig till alla som har anknytning till svenskt lantbruk och är intresserade av teknik och utveckling. Brevet, som ges ut tre gånger per år, är gratis.

Vill du veta mer, så kontakta JTI på nedanstående adress!

Distribution:
JTI (Jordbrukstekniska institutet)
Box 7033
750 07 UPPSALA
Telefon 018 - 30 33 00
Telefax 018 - 30 09 56
E-post: office@jti.slu.se
Hemsida: <http://www.jti.slu.se>

Postgiro 29 74 00 - 4
Bankgiro 171 - 8246

ISSN 1401 - 4955