BIOEKONOMI OCH HÄLSA
JORDBRUK OCH
LIVSMEDEL

Hushållnings sällskapet

Europeiska jordbruksfonden för landsbygdsutveckling. Europa investerar i landsbygdsområden

Underlag för uppdatering av IP-standardens tillvalsmodul för klimatcertifiering

Birgit Landquist, Maria Berglund*, Serina Ahlgren, Anna Woodhouse, Malin Axel-Nilsson, Annie Svensson, Ann-Kristina Lind

*Hushållningssällskapet Halland

RISE Rapport 2019:121

© RISE Research Institutes of Sweden

Underlag för uppdatering av IP-standardens tillvalsmodul för klimatcertifiering

Birgit Landquist, Maria Berglund*, Serina Ahlgren, Anna Woodhouse, Malin Axel-Nilsson, Annie Svensson, Ann-Kristina Lind

*Hushållningssällskapet Halland

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2019:121
ISBN: 978-91-89049-74-1
Lund 11 mars 2020

Omslagsfoto: Sigill Kvalitetssystem

© RISE Research Institutes of Sweden

Innehåll

Förord **3**
Sammanfattning **4**
1 Inledning och bakgrund **5**
2 Rapportens syfte, mål, leverans och avgränsningar **7**
2.1 Syfte 7
2.2 Mål 7
2.3 Leverans 7
2.4 Avgränsningar 7
2.5 Disposition 8
3 Växthusgaser från jordbruket **9**
3.1 Växthusgasutsläpp i svenskt jordbruk idag 10
3.2 Beräkning av växthusgasutsläpp 11
3.3 Värdering av olika växthusgaser 13
3.4 Andra sammanställningar över möjliga åtgärder att minska klimatpåverkan från jordbruket 15
4 Bedömning av olika åtgärders effekt på klimatavtrycket **16**
5 Allmänna åtgärder som gäller oavsett produktion **17**
5.1 Energieffektivisering 17
5.2 Fossilfritt jordbruk 20
5.3 Kolinlagring 25
6 Åtgärder inom växtodling **34**
6.1 Minska utsläppen av lustgas från mark 34
6.2 Gödsling med mineralkväve 35
6.3 Precisionsodling 38
6.4 Reducerad jordbearbetning 39
6.5 Organogena jordar 40
6.6 Mellangrödor 43
6.7 Växtföljd 45
7 Åtgärder inom produktion av grönsaker, bär och frukt och i plantskolor **46**
7.1 Frilandsodling av grönsaker 46
7.2 Bärodling 48
7.3 Fruktodling 51
7.4 Plantskolor 52
8 Åtgärder inom växthus **53**
8.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul 53
8.2 Kunskapssammanfattning 53

© RISE Research Institutes of Sweden

8.3 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar 61
9 Åtgärder inom animalieproduktion 63
9.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul 63
9.2 Kunskapssammanfattning gällande samtliga djurslag 64
9.3 Åtgärder inom grisproduktion 69
9.4 Åtgärder inom kycklingproduktion 70
9.5 Åtgärder inom mjölk- och nötköttsproduktion 72
9.6 Åtgärder inom får- och lammköttsproduktionen 75
9.7 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar 76
10 Åtgärder inom lagring och spridning av stallgödsel och andra organiska gödselmedel 78
10.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul 78
10.2 Kunskapssammanfattning 79
10.3 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar 90
Referenser 93

Bilagor

Bilaga 1. Underlagsrapporter 2009-2011
Bilaga 2. Metoder för att beräkna växthusgasutsläpp från jordbrukssektorn
Bilaga 3. Värdering av olika växthusgaser

© RISE Research Institutes of Sweden

Förord

Denna rapport sammanfattar ett projekt initierat av Sigill Kvalitetssystem och finansierat av Jordbruksverket, Landsbygdsprogrammet. Rapporten ska utgöra en kunskapsgrund för Sigill Kvalitetssystem AB:s arbete med att uppdatera klimatmodulen i IP-standarden.

Kontaktpersoner på Sigill Kvalitetssystem AB har varit Helena Allard och Katarina Ahlmén. Från RISE har Birgit Landquist varit projektledare och redaktör för rapporten samt ansvarat för avsnittet om växtodling. Maria Berglund, Hushållningssällskapet Halland, har ansvarat för avsnitten om växthusgaser från jordbruket, metoder för att beräkna växthusgasutsläpp från jordbrukssektorn och värdering av olika växthusgaser samt avsnittet om stallgödsel och andra organiska gödselmedel. Från RISE har Serina Ahlgren ansvarat för avsnitten om energieffektivisering, fossilfritt jordbruk samt kolinlagring medan Anna Woodhouse ansvarat för avsnitten om grönsaker, bär, frukt, plantskolor och växthus. Malin Axel-Nilsson och Ann-Kristina Lind har arbetat med avsnittet om animalieproduktion medan Annie Svensson varit behjälplig med bland annat avsnittet om mellangrödor.

Ett stort tack riktas till alla som vi kontaktat och som gett oss värdefull muntlig eller skriftlig information.

© RISE Research Institutes of Sweden

Sammanfattning

I denna rapport beskrivs de senaste forskningsresultaten vad gäller praktiska åtgärder för att minska klimatpåverkan från växtodling inklusive odling av grönsaker, frukt och bär samt plantskolor, växthus och animalieproduktion. Rapporten ska utgöra en kunskapsgrund för Sigill Kvalitetssystem AB i deras arbete med att uppdatera klimatmodulen i IP-standarden. I projektet ”Klimatmärkning för mat” som initierades 2007 författade SIK (som numera ingår i RISE) ett antal underlagsrapporter som beskrev det dåvarande kunskapsläget och syftet med denna nya rapport har varit att uppdatera kunskapsunderlaget som beskrevs i de tidigare rapporterna.

Mycket av den fakta som finns i de tidigare rapporterna gäller fortfarande och har inte behövt uppdaterats eller omvärderas i denna nya rapport. Däremot har resultaten från ny forskning breddat och förfinat kunskapen om jordbrukets och trädgårdsodlingens klimatpåverkan, vilket kan stärka tidigare rekommendationer men ibland även peka på ett behov av att specificera dem.

Fokus i denna rapport har legat på områden där ny kunskap och teknik tillkommit samt några områden som diskuteras mycket inom lantbruket idag, exempelvis kolinlagring, fossilfritt jordbruk, betydelsen av metanets klimatpåverkan och reducerad jordbearbetning. En del för klimatpåverkan viktiga åtgärder diskuteras också även om det inte finns så mycket ny kunskap, exempelvis vikten av att välja mineralgödsel med klimatgaranti. Uppskattningar av olika åtgärders inverkan på klimatavtrycket redovisas också i de fall det är möjligt.

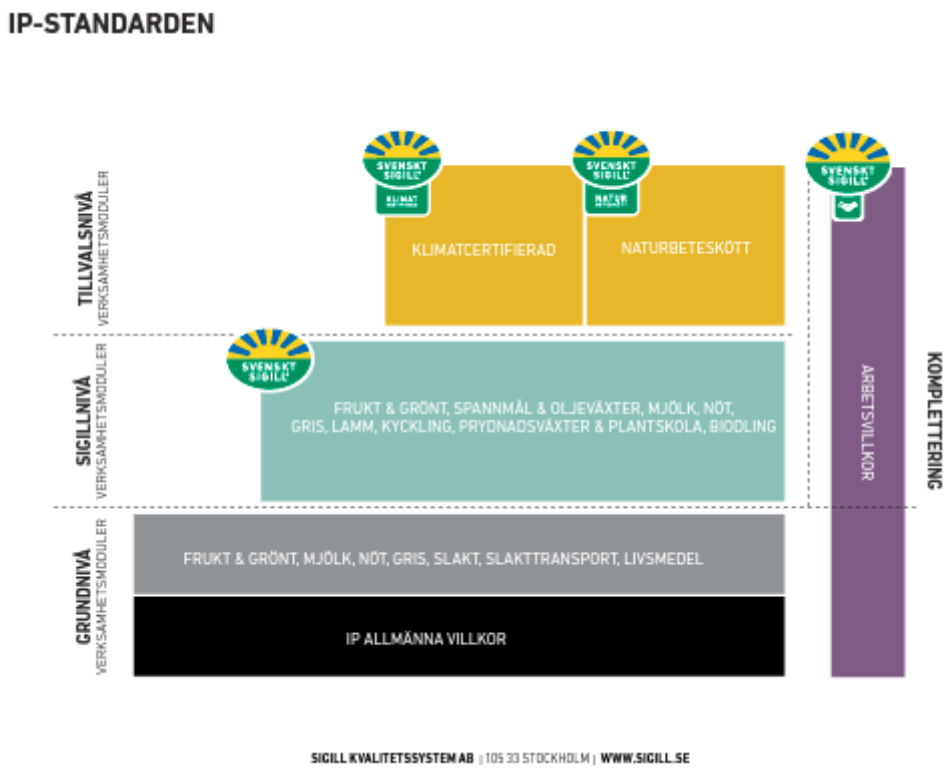
Rapporten omfattar åtgärder som är möjliga att genomföra på kort sikt. Alla åtgärder som bidrar till en säker och hög produktion är grundläggande för ett lågt klimatavtryck. Ökad avkastning och ökad produktionseffektivitet, genom exempelvis växtförädling och avel, är viktiga åtgärder för ett lågt klimatavtryck men inget vi går närmare in på i denna rapport.

© RISE Research Institutes of Sweden

1 Inledning och bakgrund

IP-standarden är en oberoende standard som drivs av Sigill Kvalitetssystem AB för certifiering av livsmedelsäkerhet, djuromsorg, miljöansvar och arbetsvillkor vid produktion av livsmedel och prydnadsväxter. De organisationer och företag som använder eller påverkas av IP-standarden har möjlighet att påverka utvecklingen genom att delta i Standardrådet. Där ingår företag och organisationer som har nytta av att det finns hållbarhetscertifierade livsmedel på marknaden. På så sätt kan de styra utvecklingen så att deras behov beträffande certifiering av råvaror och produkter tillgodoses.

Certifiering enligt IP-standarden är möjlig på tre olika nivåer, se Figur 1. Grundnivån innehåller krav i nivå med lagstiftning och branschriktlinjer, Sigillnivån innehåller, förutom de krav som ställs på grundnivån, även mervärden inom livsmedelssäkerhet, djuromsorg och miljöansvar. Tillvalsnivån bygger vidare på Sigillnivån och innefattar extra krav på åtgärder för minskad klimatpåverkan eller åtgärder för hävd av naturbetesmark. Certifiering på Sigillnivå och tillvalsnivå berättigar till märkning med Svenskt Sigill.



Figur 1. IP-standardens olika nivåer.

2007 initierade Sigill Kvalitetssystem AB och KRAV projektet ”Klimatmärkning för mat” som bland annat resulterade i ett antal underlagsrapporter som skrevs och publicerades av dåvarande SIK. Rapporterna, som finns publicerade på nätet1, beskrev det dåvarande kunskapsläget vad gäller klimatpåverkan från olika typer av primärproduktion och föreslog lämpliga områden och kriterier för en klimatmärkning. De föreslagna kriterierna i dessa rapporter har sammanfattats i Bilaga 1. Projektet avlutades 2012 och med bas i

[1] www.klimatmarkningen.se

© RISE Research Institutes of Sweden

rapporterna införde Sigill Kvalitetssystem AB klimatcertifiering som frivilligt tillval inom IP-standarden med regler för olika produktionsgrenar. Alla förslag från underlagsrapporterna utmynnade inte i regler och ytterligare regler har också utvecklats efterhand, regler som inte direkt föreslogs i underlagsrapporterna. Ett exempel på en sådan regel är den om utbildning i sparsam körning som inte fanns som ett direkt förslag.

Sedan de första reglerna togs fram har tekniken inom jordbruket utvecklats och kunskapen om effekten av olika åtgärder på utsläppen av växthusgaser har ökat. Hösten 2017 gjorde RISE på uppdrag av Sigill Kvalitetssystem AB en förstudie kring uppdatering av gällande regler i IP-standardens klimatmodul för växthus och växtodling inklusive stallgödsel (Landquist, 2017). Befintliga regler kommenterades utifrån om de bedömdes vara aktuella fortfarande eller om de behövdes utvecklas på något sätt. Nya regler och regelområden som kunde bli aktuella föreslogs också.

Intressenterna bakom IP-standarden har bedömt att det finns ett behov av att uppdatera kunskapsunderlaget för klimatcertifieringen och 2017 sökte därför Sigill Kvalitetssystem AB medel från Jordbruksverket till detta. För en långsiktigt framgångsrik klimatcertifiering krävs att det bakomliggande regelverket verkligen leder till minskad klimatpåverkan och att kraven är möjliga att genomföra och kontrollera. Som en grund för utveckling av reglerna uppdrogs därför till RISE att göra en kartläggning av ny kunskap inom området samt att beräkna potentiella klimateffekter vid praktisk tillämpning. Detta redovisas i denna rapport som är en del i ett större projekt finansierat av Jordbruksverket som ska leda fram till nya regler för IP-standardens klimatmodul.

© RISE Research Institutes of Sweden

2 Rapportens syfte, mål, leverans och avgränsningar

2.1 Syfte

Rapporten ska bidra till förtroendet för certifiering enligt IP-standardens Sigillnivå med tillval Klimatcertifiering och därmed förtroendet för märkningen Svenskt Sigill Klimatcertifierad.

2.2 Mål

Rapporten ska vara baserad på den senaste forskningen kring praktiska åtgärder för att minska klimatpåverkan från primärproduktion och utgöra en trovärdig grund för utvecklingen av nästa generation regler inom Klimatcertifieringen.

2.3 Leverans

Ett kunskapsunderlag som, utifrån befintliga underlagsrapporter för växtodling, foderproduktion, mjölk, nötkött, griskött, lammkött och kycklingkött, beskriver de senaste forskningsresultaten när det gäller praktiska åtgärder för att minska klimatpåverkan från primärproduktionen, samt en ungefärlig uppskattning av de utsläppsminskningar dessa åtgärder kan leda till.

2.4 Avgränsningar

De befintliga underlagsrapporterna innehåller till stor del fakta som fortfarande är aktuell och kommer därför inte att uppdateras i sin helhet. Rapporten avgränsas främst till de områden där ny kunskap och teknik tillkommit med speciell fokus på åtgärder med stor klimatnytta, områden där kunskapen behöver uppdateras samt områden och åtgärder är diskuteras allmänt inom dagens jordbruk.

Rapporten omfattar åtgärder som är möjliga att genomföra på kort sikt. Alla åtgärder som bidrar till en säker och hög produktion är grundläggande för ett lågt klimatavtryck. Ökad avkastning och ökad produktivitet, genom exempelvis växtförädling och avel, är viktiga åtgärder för ett lågt klimatavtryck men inget vi går närmare in på i rapporten.

Det har inte rymts inom projektbudgeten att göra uppdaterade beräkningar av klimatavtrycket för hur olika åtgärder i produktionen för de olika produktionsgrenarna påverkar klimatavtrycket. De uppskattningar som görs av olika åtgärders betydelse måste betraktas som just uppskattningar, det är inga exakta beräkningar. Se vidare i Kapitel 3.2.

© RISE Research Institutes of Sweden

2.5 Disposition

Rapporten inleds med ett kapitel om utsläpp av växthusgaser inom jordbruket och värdering av desamma. Här beskrivs också den metod som använts då olika åtgärders betydelse för växthusgasutsläppen bedömts.

Därefter kommer ett antal kapitel där aktuell kunskap gås igenom för olika produktionsgrenar med förslag till nya områden för regelutveckling. Allmänna åtgärder som gäller oavsett produktion har samlats i ett inledande kapitel. Därefter följer kapitel med åtgärder inom växtodling inklusive frilandsodling, frukt och bär, plantskolor, växthus och till sist animalieproduktion. Varje kapitel inleds med en kort beskrivning av nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul. Sedan följer en sammanfattning av ny kunskap sedan Underlagsrapporterna skrevs. I de fall området diskuterats i förstudien (Landquist, 2017) redovisas detta även här. Till sist följer rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar

I Bilaga 1 sammanfattas kort vilka åtgärder som föreslogs i Underlagsrapporterna och beräknade utsläppsminskningar från dessa.

Bilaga 2 och 3 innehåller fördjupande text om beräkning och värdering av växthusgasutsläpp från livsmedelsproduktion.

Befintliga regler i tillvalet för Klimatcertifiering i IP Sigillstandarden finns att ladda hem från följande webbplats: http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-43257

© RISE Research Institutes of Sweden

3 Växthusgaser från jordbruket

Sedan länge vet vi att lustgas, metan och koldioxid är de viktigaste växthusgaserna i jordbruket, och vad som är de stora källorna till dessa utsläpp. Den mesta lustgasen bildas när kväve omsätts i mark, vatten och gödsel samt vid produktion av mineralgödselkväve. Metan är djurhållningens växthusgas och bildas framför allt i djurens matsmältning och i stall- och betesgödsel. Koldioxiden kommer främst från fossila bränslen, samt från markanvändning och förändrad markanvändning.

Kunskapen om utsläppskällorna förfinas ständigt. Ny forskning ger mer detaljerad kunskap om de biologiska processerna bakom utsläpp och upptag av växthusgas. Ju fler fältförsök, utfodringsförsök etc. som genomförs, desto bredare blir kunskapsbasen och desto fler situationer undersöks. Mät- och analysmetoder utvecklas också, och vi har nu till exempel större tillgång till resultat från kontinuerliga mätningar än tidigare av bland annat lustgasemissioner från mark. Resultaten från försök ligger till grund för de modeller och metoder som används för att beräkna växthusgasutsläpp från jordbruket bland annat i klimatrapporteringen och livscykelanalyser. Sådana metoder har också förändrats och förfinats genom åren och viktiga förändringar som skett tas upp i rapporten (se Kapitel 3.2 samt Bilaga 2.).

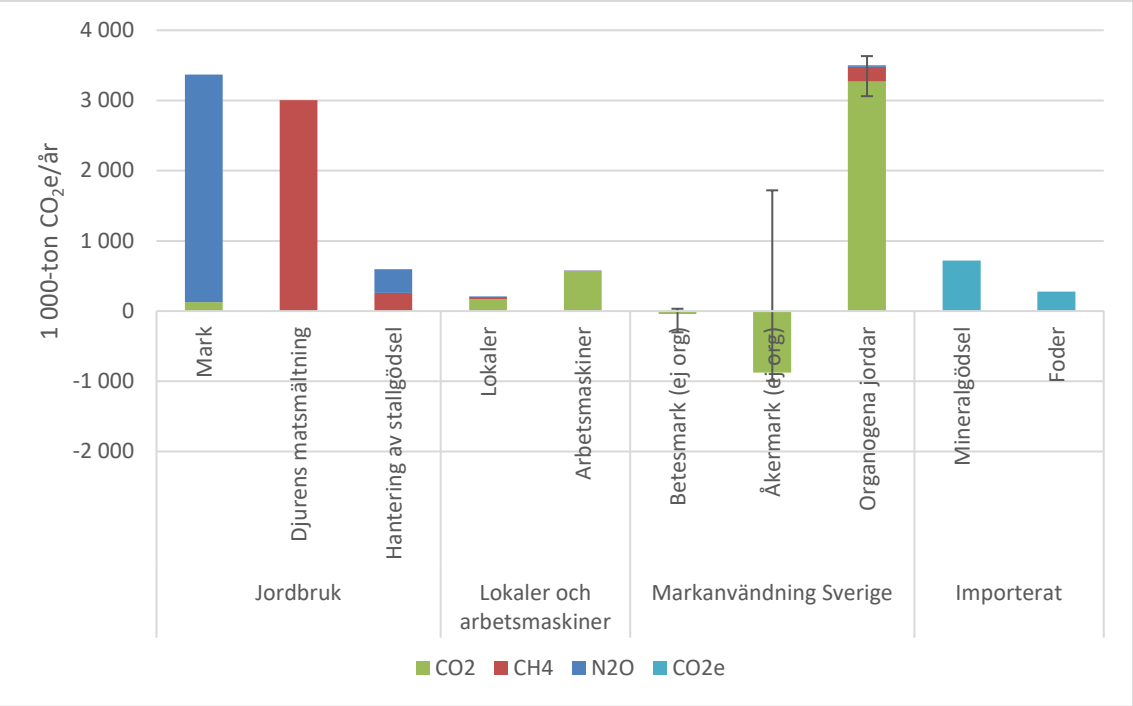
Det har inte skett några omvälvande nya upptäckter på området sedan tidigare underlagsrapporter, och grunderna i det som står i dessa håller fortfarande. Däremot har resultaten från ny forskning breddat och förfinat kunskapen om jordbrukets klimatpåverkan, vilket kan stärka tidigare rekommendationer men ibland även peka på ett behov av att specificera dem. Vi kommer att ta upp de viktigaste slutsatserna och lyfta de ”nyheter” som har betydelse för rekommendationerna. Sådana sammanställningar redovisas framför allt i Kapitel 5–9 (gäller sådant som kan kopplas till en enskild åtgärd).

På senare tid har frågan om hur växthusgaser ska värderas aktualiserats och fått stort utrymme i debatten. Det gäller framför allt metan och koldioxid, och hur dessa gaser ska viktas mot varandra. Debatten har handlat om huruvida metan från djurhållningen verkligen har betydelse för klimatförändringarna med tanke på att det historiskt funnits många djur, att detta metan har biologiskt ursprung och att metanet bryts ner så snabbt i atmosfären. Argumentationen saknar dock till viss del förankring i den vetenskapliga litteraturen. Värderingen av växthusgaser är komplex och det finns flera olika viktningsmetoder beskrivna i litteraturen som ger olika resultat. Detta har inte belyst i tidigare underlagsrapporter och vi kommer därför att gå igenom de alternativ som är aktuella idag och rekommendera samt motivera ett alternativ. En del av komplexiteten är att växthusgaserna har så olika egenskaper, och vi kommer därför även att beskriva mer om skillnaderna mellan koldioxid och metan. Se vidare Kapitel 3.3 samt Bilaga 3.

© RISE Research Institutes of Sweden

3.1 Växthusgasutsläpp i svenskt jordbruk idag

De totala utsläppen av växthusgaser från svensk jordbrukssektor redovisas i Figur 2. Utsläppen är uppdelade i fyra kategorier: *Jordbruk, Lokaler och arbetsmaskiner*, *Markanvändning i Sverige* samt *Importerat* (mineralgödsel och foder). De totala utsläppen av växthusgaser från jordbruket redovisade på detta sätt motsvarar 11–14 miljoner ton koldioxidekvivalenter (CO_2e) per år.



Figur 2. Utsläpp av växthusgaser från jordbruket i Sverige, medel för 2015–2017. Siffrorna för Jordbruk, Lokaler och arbetsmaskiner samt Markanvändning är hämtade från Sveriges klimatrapportering (SCB, 2019). Siffrorna för importerad mineralgödsel och foder är hämtade från Jordbruksverket. Vi har valt att redovisa felstaplar för Markanvändning Sverige eftersom variationen mellan åren är stor. Felstaplarna motsvarar 25:e och 75:e percentil för perioden 1990–2017.

Enligt Sveriges klimatrapportering 2017 (SCB, 2019) släpper den svenska jordbrukssektorn ut knappt 8 miljoner ton växthusgaser per år. I denna siffra ingår kategorierna *Jordbruk* (utsläpp från åkermark (lustgas samt koldioxid från kalkning), djurens matsmältning och stallgödselhantering) samt *Lokaler och arbetsmaskiner* (energianvändning i lantbruks- och skogsbruksbyggnader samt maskiner som används i jordbruket). Drygt 40 procent av dessa utsläpp utgörs av lustgas från mark, och knappt 40 procent är metan från fodersmältningen. Cirka 10 procent kommer från användningen av energi medan metan och lustgas från hantering av stallgödsel bidrar med vardera 3–4 procent.

Till den totala klimatpåverkan från jordbruket kommer också utsläpp orsakade av markanvändning. Åker- och betesmarken kan vara både en källa och en sänka för koldioxid, se kategorin *Markanvändning Sverige* i Figur 2 där en uppdelning har gjorts mellan betes- och åkermark på mineraljordar samt organogena jordar (summering av betes- och åkermark). I medeltal de senaste tre åren har mineraljordarna beräknats vara en sänka för koldioxid. Man kan dock se en stor mellanårsvariation speciellt för kategorin åkermark. Mellan 1990–2017 har värdet ofta legat inom intervallet -0,9 till +1,7 miljoner ton

© RISE Research Institutes of Sweden

koldioxid och år, med det lägsta värdet på -3,4 och det högsta på +4 miljoner ton koldioxid och år. Dessa värden tas fram med hjälp av en modell (ICBM) som beräknar hur mängden kol i mark förändras mellan år beroende på aktuellt väder, grödfördelning, gödsling etc. Variationen beror främst på att grödfördelning och vädret ändras från år till år (Kätterer, 2018). Totalt sett beräknas jordbruksmarken i Sverige vara en källa till koldioxid till stor del beroende på omfattande koldioxidutsläpp från organogena jordar. Växthusgasutsläppen från sektorn Markanvändning var i genomsnitt 4 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år mellan 1990 och 2017, oftast inom intervallet 2,5 till 5,4 miljoner ton koldioxidekvivalenter.

Utsläpp orsakade utomlands från produktion av mineralgödsel och foder visas i kategorin *Importerat* i Figur 2 och motsvarar cirka 1 miljon ton koldioxidekvivalenter (Jordbruksverket, 2012). Dessa siffror ingår inte i Sverige klimatrapportering.

Mellan åren 1990 och 2016 minskade utsläppen av växthusgaser från jordbrukssektorn (exklusive lokaler och maskiner) med 0,75 miljoner ton koldioxidekvivalenter vilket motsvarar cirka 10 procent. Denna minskning förklaras med minskat antal djur, främst mjölkkor och grisar, samt minskad användning av mineralgödsel (Naturvårdsverket, 2018).

Av de totala utsläppen från jordbruket enligt Figur 2 utgörs alltså cirka en tredjedel av metan, en tredjedel av lustgas och en tredjedel av koldioxid. Om man bryter ner bilden till produktgrens- eller produktnivå blir det en mer brokig bild eftersom fördelningen av vad i produktionen som orsakar utsläppen av växthusgaser skiljer mellan olika produktionsgrenar. För växtodling (spannmål, oljeväxter etc.) och frilandsodling av grönsaker, frukt och bär, dominerar lustgasutsläppen från mark, tillverkning av kvävemineralgödsel och dieselanvändning. För kyckling och gris dominerar utsläppen från produktion av foder samt stallgödselhantering, medan det för lamm och nöt tillkommer metanutsläpp från djurens matsmältning. Användningen av fossil energi och därmed utsläpp av fossil koldioxid inom jordbruket kan generellt sägas stå för en liten del av utsläppen av växthusgaser, förutom för växthusproduktion där den är en betydande andel om inte omställning till förnybara bränslen skett. Utsläppen från organogena jordar utgör en väsentlig del av de totala koldioxidutsläppen.

3.2 Beräkning av växthusgasutsläpp

Här följer en kort genomgång med några exempel på nya modeller och faktorer som används vid beräkning av växthusgasutsläpp från jordbruket och som har ändrats över tiden.

3.2.1 Beräkning av lustgasutsläpp

Att modellera och beräkna lustgasavgången från jordbruksmark är betingat med stora osäkerheter (Zimmermann m.fl., 2018). Det finns flera avancerade processbaserade modeller som främst används i forskningssyfte och för att öka förståelsen för de lustgasbildande mekanismerna. Zimmermann m.fl. (2018) simulerade utsläppen med ett par sådana modeller och visade att resultaten var väldigt beroende på platsspecifika egenskaper och att ingen av modellerna passade riktigt bra för att uppskatta utsläppen, exempelvis skillnader mellan olika gödselmedel.

© RISE Research Institutes of Sweden

Henryson m.fl. (2019) har använt en modell utvecklad i Kanada när man analyserade bland annat odlingsplatsens betydelse för klimatavtrycket baserat på resultat från ett antal långliggande försök i Sverige. I den kanadensiska modellen inkluderades förutom kvävegödsling bland annat nederbörd, sandinnehåll i jorden, pH och medeltemperatur. Därmed fick andra platsspecifika faktorer än enbart mängden tillfört kväve betydelse för emissionerna av lustgas och i sin tur påverkan på klimatavtrycket. Slutsatsen från studien var att odlingsplatsen, det vill säga var i Sverige en gröda odlas, ofta spelar större roll för klimatpåverkan än kvävegödslingen, och att det därför är nödvändigt att ha tillgång till data från specifika odlingsområden för att göra rättvisande beräkningar av klimatavtrycket.

I många livscykelanalyser av jordbruksgrödor och i Greppa Näringens klimatrådgivningsmodul är man dock hänvisad till att använda en mycket enklare statisk modell som bygger på FN:s klimatpanels riktlinjer för nationell inventering av växthusgasutsläpp. Den ger ett grovt mått på en rimlig emissionsnivå, men den kan inte användas för att ge detaljerade svar av olika åtgärders betydelse för emissionerna av lustgas från mark förutom mängden tillfört kväve, se Bilaga 2. Med denna modell beräknas lustgasavgången som en linjär funktion av mängden kväve som tillförs marken och som förloras från marken och lustgasavgången bli högre ju mer kväve som tillförs marken respektive förloras från marken. Metoden är dock tänkt för inventeringar av växthusgasutsläppen på nationell nivå och den är inte anpassad för beräkningar på grödnivå eller för att bedöma effekter av odlingsåtgärder. Det har också visat sig i fältförsök att det inte alltid är tydliga samband mellan kvävegiva och lustgasavgång, i alla fall inte vid relativt låga gödslingsnivåer (Kasimir Klemedtsson, 2010).

Vår slutsats är ändå att den modell som används för att beräkna lustgasemissioner från mark i livscykelanalyser och vid klimatrådgivning kan ge en rimlig bild av emissionsnivåerna (kg N2O per hektar och år) och därmed hur stor betydelse som lustgas från mark har för en produkts klimatavtryck. Den är dock för begränsad för att kunna bedöma hur stor effekt många odlingsåtgärder har på lustgasavgången från mark. För att kunna göra sådana bedömningar behöver man istället se på resultatet från fältförsök eller från simuleringar med processbaserade modeller.

3.2.2 Emissioner från stallgödselhantering

Ett annat exempel på att det löpande sker kunskapsutveckling är kring var, när och hur emissioner uppstår vid stallgödselhantering. Resultat från ny forskning och uppdatering av riktlinjer för nationell inventering av växthusgaser har gjort att Sverige reviderat hur man beräknar växthusgasavgången från stallgödselhantering i klimatrapporteringen. Dessa modeller används även inom livscykelanalyser och i klimatrådgivning. De viktigaste förändringarna är:

- Man räknar med lägre metanemissioner från lagring av flyt- och djupströgödsel på grund av att man nu räknar med att en mindre andel av gödselns organiska material bryts ner till metan. Tidigare baserades dessa beräkningar på en äldre version av IPCC:s riktlinjer, men med nya riktlinjer samt resultat från emissionsmätningar som gjorts på RISE i Uppsala bedöms nu att emissionerna är lägre än vad man tidigare beräknat. Detta ger störst effekt för grisproduktion eftersom hanteringen av stallgödsel står för en relativt stor andel av grisköttets klimat-

© RISE Research Institutes of Sweden

avtryck. Förändringen har även betydelse för flytgödsel i mjölk- och nötkötts-produktion.

- Förändringar i emissionsfaktorer för lustgasavgången från träck och urin gör att lustgasavgången från nöt- och svinflytgödsel blir fem gånger högre jämfört med tidigare beräkningar. Detta bedöms ha störst betydelse för griskött eftersom stallgödselhanteringen står för en relativt stor andel av dess klimatavtryck.
- Fördelningen mellan metanets och lustgasens bidrag till flytgödselns växthus-gasutsläpp kommer att förskjutas så att metanets andel minskar kraftigt. Detta kan dock behöva belysas ytterligare eftersom flera mätningar av växthusgas-utsläpp från gödselhantering tyder på att metan oftast är den dominerande växthusgasen.

3.2.3 Metanproduktion från kor

En ny modell för beräkning av metanproduktionen från nötkreaturs matsmältning an-vänds då en modell från NorFor modell har ersatt den tidigare modellen. Beräkningar enligt NorFor bedöms ge högre metanproduktion, speciellt vid hög mjölkavkastning. Oavsett beräkningsmetod är metanproduktionen per ton mjölk lägre vid högre avkast-ningsnivåer än lägre avkastningsnivåer, allt annat lika.

Med den nya NorFor-modellen är det även andra foderparametrar som får betydelse för metanproduktionen i vommen. Högre fett- eller energiinnehåll i fodret får större effekt på ett sänkt klimatavtryck jämfört med tidigare beräkningsmetod. Det innebär att förändringar i utfodringsstrategier kan få olika utfall beroende på vilken modell man använt för att beräkna metanproduktionen från kornas fodersmältning.

3.3 Värdering av olika växthusgaser

Som tidigare nämnts skiljer sig växthusgasernas egenskaper åt, och det finns även olika sätt att värdera och jämföra växthusgaserna. Här följer en kort sammanfattning av Bilaga 3 i denna rapport, där en grundlig genomgång har gjorts av hur olika växthusgaser värderas och skillnader mellan metan och koldioxid.

Den vanligaste metoden för att värdera olika växthusgaser och vikta dem mot varandra är *Global Warming Potential* (GWP). GWP används till exempel inom klimatrapporte-ringen, i klimatpolitiken och i livscykelanalyser. Denna metod har även använts tidigare när effekterna av klimatmärkningen har utvärderats.

GWP beskriver hur stor uppvärmande effekt en växthusgas har summerat över en viss tidsperiod efter utsläppstillfället. GWP-talet för en växthusgas är ett relativt mått, och det beskriver hur stor växthusgasens klimatpåverkan är relativt koldioxid. I nästan alla fall räknar man med GWP_{100}, det vill säga den summerade uppvärmningspotentialen under 100 år efter utsläppet.

FN:s klimatpanel, IPCC, publicerar så kallade utvärderingsrapporter ungefär vart sjätte år, och i dessa rapporter finns tabeller med GWP-tal för olika växthusgaser. Ny kunskap om växthusgasernas egenskaper och om klimatsystemet medför att GWP-talen revideras efter hand. GWP-talen enligt de två senaste utvärderingsrapporterna (2007 och 2013) redovisas i Tabell 1.

© RISE Research Institutes of Sweden

GWP_{100} för metan är högre i Myhre m.fl. (2013a) än i tidigare utvärderingsrapporter. Det handlar dels om ny kunskap om metanets egenskaper och påverkan i atmosfären, dels om att talet blir högre när återkopplingar i klimatsystemet inkluderas (GWP_{100} = 28 kg CO_2e/kg metan (biogent ursprung) utan återkoppling). I föregående utvärderingsrapport IPCC 2007 (Forster m.fl., 2007) var GWP_{100} för metan satt till 25 kg CO_2e/kg metan. Med de nya GWP-talen får metan större betydelse. Det är tidskrävande att uppdatera klimatavtrycksberäkningar och de allra flesta som är tillgängliga i litteraturen före 2014–2015, är beräknande med GWP-tal från IPCC 2007. Skillnaden har särskilt stor betydelse för mjölk samt kött från idisslare där metanet står för en stor andel av klimatavtrycket. Om man uppdaterar en klimatavtrycksberäkning med de nya emissionsfaktorerna för sådana produkter kan man räkna med att klimatavtrycket blir cirka 20 procent högre, vilket i sig är en betydelsefull förändring.

Tabell 1. GWP-värden och livslängder enligt IPCC 2007 och IPCC 2013. I värdena enligt IPCC (2013) ingår återkopplingar i klimatsystemet (Climate-Carbon feedback)

Växthusgas	**GWP_{100}**	
	IPCC 2007 (Forster m.fl., 2007)	**IPCC 2013** (Myhre m.fl., 2013a)
Metan, biogent ursprung	25	34
Metan, fossilt ursprung	25	36
Lustgas	298	298

På senare tid har metanets inverkan på den globala uppvärmningen diskuterats speciellt inom lantbruksnäringen. Till skillnad från koldioxid som har mycket lång uppehållstid i atmosfären, kommer det mesta metanet att ha brutits ner efter några decennier. Ett metanutsläpp ger dock på kort sikt mycket större klimatpåverkan än koldioxid – direkt efter ett utsläpp har metan cirka 120 gånger större inverkan på klimatet än vad koldioxid har.

Diskussionen har gällt om det är korrekt att ge metanet så stor vikt jämfört med koldioxid som GWP_{100} gör eftersom metanet brytts ner så mycket snabbare. Det stämmer i och för sig att om metanutsläppen från till exempel svensk animalieproduktion inte ökar, ökar inte heller klimatpåverkan från densamma. Om metanutsläppen är i balans med nedbrytningen betyder det att klimatpåverkan från metan inte ökar. En fråga som då uppstår är om den nivå på klimatpåverkan som dagens metanutsläpp ger är ”rätt” nivå, det vill säga är den rimlig i förhållande till det utsläppsutrymme som finns. Denna fråga kommer inte att besvaras i denna rapport. Ett faktum är att eftersom metan har en så stor effekt de första åren efter det släppts ut, skulle vi, om vi önskar en snabb minskning av växthusgaser, få en större effekt av att dra ner på metanutsläppen än på koldioxidutsläppen.

Slutsatser av relevans för denna rapport är att

- Betydelsen av förändringar av viktningsfaktorerna för växthusgaser bedöms vara marginell för slutsatserna i denna studie trots att metanet kommer att få en större betydelse.
- Åtgärder för att minska metanutsläppen från jordbruket är fortsatt viktiga för en klimatmärkning.
- GWP_{100} bedöms fortfarande vara den mest relevanta metoden för att värdera olika växthusgasers klimatpåverkan inom detta arbete.

© RISE Research Institutes of Sweden

3.4 Andra sammanställningar över möjliga åtgärder att minska klimatpåverkan från jordbruket

Det senaste decenniet har flera större svenska sammanställningar gjorts av möjliga åtgärder för att minska miljöpåverkan från jordbruket och animalieproduktionen. Några exempel är projektet ”Hållbara matvägar” som omfattade svensk produktion med Västra Götaland som exempel och som utfördes av RISE (dåvarande SIK och JTI) tillsammans med SLU. Projektet sammanfattas i rapporten *Hållbara Matvägar – Resultat och analys* (Sonesson m.fl., 2014). Målet med Hållbara matvägar var att presentera konkreta beskrivningar av alternativa produktionskedjor med mindre miljöpåverkan för bland annat bröd, nötkött, griskött, kycklingkött och mejeriprodukter (mjölk och ost). En annan rapport, *Hur kan den svenska jordbrukssektorn bidra till att vi når det nationella klimatmålet,* togs fram av Jordbruksverket 2018 och sammanfattade pågående arbeten och framtida insatsområden kring hur den svenska jordbrukssektorn kan bidra till att vi når det nationella klimatmålet (Jordbruksverket, 2018a). En studie,”*Virkemidler til reduktion av klimagasser i landbruget*” har gjorts av Århus universitet i Danmark, och denna syftade till att sammanställa möjliga åtgärder för att minska utsläpp av växthusgaser inom det danska jordbruket (Olesen m.fl., 2018). Och alldeles nyligen publicerade Lantmännen sin vision om ”Framtidens jordbruk, Vägen mot ett klimatneutralt jordbruk 2050”[2].

De allra flesta möjliga åtgärder för att minska utsläppen av växthusgaser från jordbruket som har identifierat i ovanstående rapporter stämmer mycket väl överens med det som beskrevs i underlagsrapporterna från 2009 (Cederberg, 2009, Cederberg och Berglund, 2009, Sonesson m. fl. 2009). I de nyare rapporterna poängteras vikten av ökad avkastning och ökad produktivitet, genom exempelvis växtförädling och avel. Det är förstås viktiga åtgärder, till exempel om vi med hjälp av växtförädling kan höja skörden av höstvete med 1 procent med bibehållna insatser sjunker klimatavtrycket med cirka 0,4 procent (beräknat enligt Moberg m.fl. 2019).

Även om forskningen har gått framåt och man på försöksstadiet kan påvisa indikationer på möjliga åtgärder för att minska miljöpåverkan inom jordbruket, är det oftast en bit kvar innan det är praktiskt tillämpbart för den enskilde producenten. Det medför även att det kan vara svårt att ytterligare skärpa kraven inom IP-standardens klimatmodul. Tack vare de senaste tio årens tekniska utveckling och fördjupad kunskap om de olika djurslagen finns dock vissa områden med förbättringspotential, vilket vi resonerar kring i de olika avsnitten i denna rapport.

[2] https://www.lantmannen.se/forskning-och-innovation/framtidens-jordbruk/

© RISE Research Institutes of Sweden

4 Bedömning av olika åtgärders effekt på klimatavtrycket

I uppdraget har också ingått att bedöma olika åtgärders effekt på klimatavtrycket för de produkter som produceras. Vid tolkningar av dessa bedömningar är det viktigt att ha i åtanke att de är ganska grova vilket har många orsaker. Åtgärdens betydelse beror bland annat på den ”baseline” man väljer för beräkningen. De modeller som används vid beräkningar av klimatavtryck är i en del fall inte tillräckligt detaljerade för att kunna bedöma en enskild åtgärds betydelse. Emissionsfaktorer och modeller kan också ändras över tiden.

I denna studie har det inte funnits utrymme att göra några nya beräkningar av klimatavtryck, istället har befintliga verktyg använts eller förenklade bedömningar och uppskattningar gjorts baserade på bästa möjliga kunskap, vilket antas ge tillräckligt bra noggrannhet beaktat de osäkerheter som ändå finns. För varje åtgärd framgår det vilken metod som använts. Ett exempel på ett verktyg som använts är en Excel-fil där klimatavtryck för svensk medelproduktion beräknats av Moberg m.fl., 2019. Ur denna fil har dels ett antal klimatavtryck för olika produkter hämtats, och beräkningar har gjorts för att uppskatta möjliga utsläppsminskningar för en del av åtgärderna där det varit en möjlig metod att använda. I andra fall har vi hämtat bedömningar som gjorts i andra studier eller på annat sätt vilket framgår i texten.

Utgångpunkten är ett klimatavtryck för svensk medelproduktion. Det innebär att de som redan är ”bäst i klassen” inte har så stor potential att minska klimatavtrycket, men det är naturligtvis viktigt att den goda nivån bibehålls eller förbättras ytterligare. Ett exempel är mineralgödsel med klimatgaranti – en producent som redan använder det har ingen potential till minskning, medan en som idag använder exempelvis gödsel importerad

En åtgärd kan ha effekt på olika faktorer som i sin tur påverkar klimatavtrycket, exempelvis jordbearbetning som kan påverka både dieselförbrukningen, avgången av lustgas från mark och kolinnehållet i mark. I möjligaste mån ingår detta i uppskattningarna.

En åtgärd kan ha betydelse för flera produktionsgrenar, exempelvis användning av mineralgödsel med klimatgaranti har betydelse inte bara för själva grödan utan även för klimatavtrycket för animalier där grödan används som foder. Den bedömning som då görs har fått göras mycket grov, exempelvis kan en enkel medelfoderstat ha använts i beräkningarna.

© RISE Research Institutes of Sweden

5 Allmänna åtgärder som gäller oavsett produktion

5.1 Energieffektivisering

5.1.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatcertifieringsmodul

De nuvarande reglerna för energianvändning i IP-standardens klimatcertifieringsmodul skiljer sig något åt mellan de olika produktionsgrenarna men omfattar i princip:

- Krav på energikartläggning av direkt energianvändning.
- Rekommendation om kartläggning av indirekt energianvändning.
- Framtagande av nyckeltal, exempelvis liter diesel per hektar, kWh per djurenhet.
- Plan för effektivare energianvändning och minskad användning fossil energi (för växthus skarp regel minst 80 procent förnybar energi).
- Energihänsyn vid nyinvesteringar.
- Utbildning i sparsamt körsätt.

5.1.2 Kunskapssammanfattning

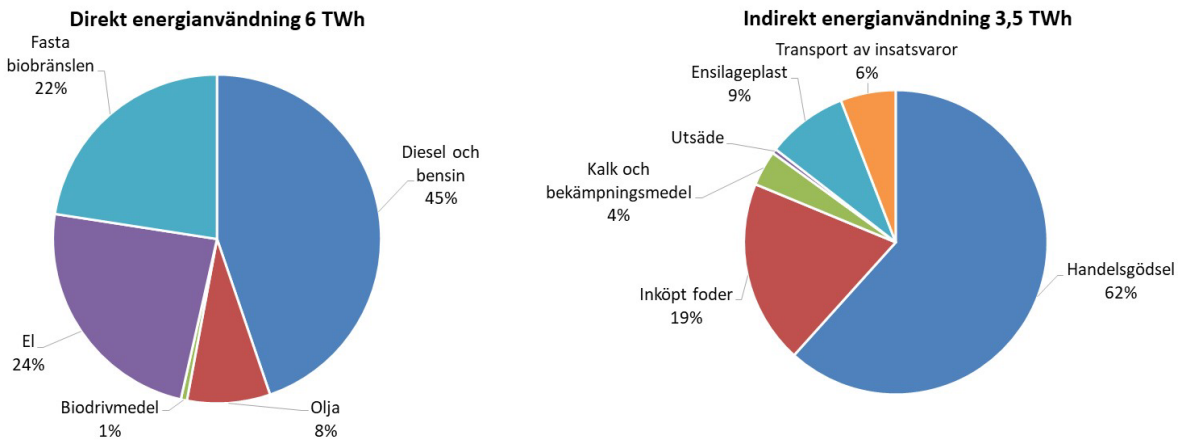
I en förstudie åt Sigill gjordes en genomgång av ett urval av gällande regler för klimatcertifieringen (Landquist, 2017). För energi var slutsatsen att nuvarande regler kunde kvarstå, men att de i flera fall bör omformuleras då de kan upplevas som snåriga. En ny regel föreslogs om att en rutin för att kontrollera och följa upp energiförbrukningen skulle kunna formuleras och införas omgående. Vidare diskuterades om traktor skulle bytas ut mot lastbil, framför allt då avståndet mellan fält och gårdscentrum är längre (över 5 km är det även ekonomiskt lönsamt).

Energianvändning i dagens jordbruk

Enligt enkäten Bonden och Energin 2018 som besvarades av 779 personer var det 12 procent som svarade att de har genomfört energikartläggningar, jämfört med 2015 års enkät då endast 4 procent hade genomfört energikartläggning. Det var framför allt företag med högre omsättning som gjort en energikartläggning. Cirka en fjärdedel av de tillfrågade (25 procent) hade gått kurs i sparsam körning.

I Figur 3 kan vi se hur energianvändningen ser ut i det svenska jordbruket. Energianvändningen är indelad i direkt (på gården) och indirekt (energianvändning utanför gården, till exempel för insatsvaror). Producenten kan påverka både den direkta och indirekta energianvändningen genom olika val.

© RISE Research Institutes of Sweden



Figur 3. Energianvändning i det svenska jordbruket. Referens: Baky m.fl. 2010, Energimyndigheten 2014, samt egna beräkningar.

Hur kan energianvändningen minska?

Senaste åren har det kommit mycket litteratur kring energianvändning och råd kring energibesparingsåtgärder för jordbruket. Rådgivningen för kartläggning av energianvändning har också utvecklats, till exempel Greppa näringens Energikollen där gården kan få en detaljerad bild av sin direkta energianvändning och se hur olika åtgärder påverkar. Däremot finns inga bra verktyg för att kartlägga indirekt energianvändning på gårdsnivå.

Nedan listas ett axplock av åtgärder som vi hittat i litteraturen (främst från Energimyndigheten, 2018 och LRF, 2013) och som uppkommit i samband med workshops inom detta projekt. Listan är lång men inte detaljerad; mer detaljer kan finnas i andra kapitel. Torkning och lagring hanteras under fossilfritt jordbruk.

Växtodling

- Precisionsodling, exempelvis logga maskindata
- Inget regnvatten i gödselbrunnen
- Pumpa ut flytgödsel till fält
- Reducerad jordbearbetning
- Sparsam körning
- Rätt tryck i däcken
- Effektivisera transport inomgårds samt till/från fält (lastbil bättre)

Torkning och lagring

- Våtlagring foderspannmål
- Förrensa spannmål
- Isolera varmluftskanalen
- Bättre vattenhaltsmätning och torkstyrning
- Luftningsfickor för kylning

© RISE Research Institutes of Sweden

Foderberedning

- Torrutfodring (dock inte om det påverkar tillväxten)
- Skivkvarn att föredra framför hammarkvarn
- Eldrift, till exempel för fodervagn

Djurstallar

- Bättre styrning ventilation och värme
- Rengöring och service ventilationsdon
- Ta tillvara överskottsvärme
- LED-belysning
- För-kylning och värmeåtervinning mjölk
- Rengöring och service mjölkkylanläggning

Växthus

- Rätt styrd uppvärmning och fuktreglering
- Isolering och vindskydd
- LED-belysning

I Kapitel 9 Åtgärder inom animalieproduktion redovisas aktuell energianvändning för de olika djurslagen.

5.1.3 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar

Att ha specifika krav för energieffektivisering är svårt, då gårdarna ser så olika ut. Därför är nuvarande regler kring energikartläggning och energiplan ett bra sätt att jobba på, där varje gårds unika förutsättningar för energibesparing tydliggörs. Eventuellt kan energiplanerna uppdateras oftare än vart femte år. Ett annat krav skulle kunna vara att energikartläggningen måste utföras tillsammans med en rådgivare, för att säkerställa kvaliteten på kartläggningen och för att utveckla planen för energibesparingar på ett bra sätt.

Krav på kurs i sparsam körning bör kvarstå.

Årliga nyckeltal är ett bra sätt att följa upp sin energianvändning på. Det finns i nuläget dock inga krav på att värdena måste ligga under ett visst värde, eller att energianvändningen måste minskas över tid, det skulle kunna utredas vidare.

Kartläggning av indirekt energianvändning är önskvärd men svårt att ha som krav, då tillräckligt detaljerade verktyg saknas. Sigill bör bevaka området och om till exempel en foderdatabas utvecklas kan det kan det vara aktuellt att införa krav på kartläggning av indirekta insatsmedel som inköpt foder.

Som exempel på vad en energieffektivisering skulle kunna betyda har vi med hjälp av Mon berg m.fl., 2019 räknat med 5 procent lägre dieselförbrukning för höstvete. Detta skulle minska klimatavtrycket med mindre än 0,5 procent. I övrigt i detta kapitel räknar vi inte på eventuella utsläppsminskningar, eftersom det är väldigt många olika åtgärder som är möjliga och utsläppsminskningarna till så stor del beror på hur det ser ut på enskilda gårdar. Vi bedömer också att utsläppsminskningarna kopplade till energieffektivisering generellt sett är små, undantaget stora energiförbrukare som växthus.

© RISE Research Institutes of Sweden

5.2 Fossilfritt jordbruk

5.2.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul

Inom nuvarande regler all el vara från förnybara källor. Med förnybara energikällor avses vattenkraft, vindkraft, solenergi, geotermisk energi (ex. bergvärme) och biobränslen.

En kartläggning för minskad användning av energi ska upprättas, och denna ska uppdateras vart femte år. Det ska även finnas en kartläggning över möjligheterna att ersätta fossil energi med förnybar. För växthus finns en skarp regel om minst 80 procent förnybar energi.

5.2.2 Kunskapssammanfattning

I förstudien föreslogs en ny regel om krav på en viss andel biobränsle vid torkning av spannmål eller alternativa konserveringsmetoder. Dessutom diskuterades biodrivmedel, elektrifierade gårdsmaskiner samt att ställa krav på biodrivmedel vid inköpta transporttjänster.

Det är idag få som använder biodrivmedel vid maskinkörningar (endast 8 procent). Drygt 20 procent använder förnybart bränsle för torkning av spannmål. Det är främst större gårdar med högre omsättning som har förnybart bränsle i torken.

Den direkta fossilenergianvändningen kan ersättas med förnybar energi på flera sätt, vilket beskrivs i det följande.

Elanvändning

Vad gäller el finns möjligheter för gårdar att producera egen el, till exempel via solceller eller vindkraft. Nära till hands ligger solceller, där investeringskostnaden sjunkit kraftigt de senaste åren, det finns möjlighet till statligt investeringsstöd och det har blivit lättare att sälja överskottsel (LRF, 2015). Den installerade effekten av nätanslutna solceller i Sverige har ökat kraftigt de senaste åren, 2016 var den 140 MW, under 2018 var installerad effekt 411 MW (Energimyndigheten, 2019).

Ett alternativ till placering på tak är att använda jordbruksmark till solcellsparker. Bedömning av potentialen blir avhängig antagande tillgång på mark utan annan effektiv användning. I en rapport av Profu (Blomqvist och Unger, 2018) uppskattas den teknoekonomiska potentialen till 5 TWh per år, baserat på Jordbruksverkets kartläggning av mark som tagits ur produktion 2008, alltså en ansenlig del av jordbrukets egen energianvändning.

El och värme kan också produceras via förbränning av egen biogas, alternativt kan biogasen uppgraderas till fordonsbränsle. Produktion av biogas behandlas vidare under Kapitel 9 om stallgödsel.

© RISE Research Institutes of Sweden

Bränsle till fordon

Fossil diesel till arbetsmaskiner kan ersättas med biodrivmedel och redan nu innehåller fossil diesel en viss andel biodrivmedel. För en övergång till helt fossilfritt ligger RME[3] och HVO[4] närmast till hands. Vissa problem med bakterietillväxt i RME har upplevts bland äldre traktorer som inte körs så ofta, men det i övrigt visat sig fungera bra i större drift (Energikontoret Östra Götaland, u.å.).

HVO påminner mer om fossil diesel och är godkänd för användning i flertalet traktorer. HVO tillverkas av olika råmaterial, däribland palmoljedestillat, som är ett sidoflöde från palmoljetillverkning. Detta har tidigare enligt Förnybartdirektivet klassificerats som en biprodukt men klassificeras numera som en samprodukt vilket betyder att det får bära klimatpåverkan från odling av palm, som ofta är förknippad med stora utsläpp från markanvändning. Andra råvaror som används till HVO är animaliskt fett, tallolja och majsolja.

Batteridrivna traktorer fungerar troligen för lättare arbeten, men är svårt när höga effekter behövs vid exempelvis plöjning, och batterikapaciteten förkortar då arbetstiden väsentligt. Det finns försök med kabeldrivna eltraktorer. På längre sikt kan eldrivna autonoma maskiner bli ett alternativ, som då själva kan ta sig till laddare och jobba dygnet runt. Eldrivna mindre arbetsmaskiner som hjullastare och fyrhjulingar finns redan på marknaden.

Att konstruera en biogastraktor från grunden är en komplicerad process eftersom dieselmotorn är en integrerad del av traktorernas chassi och bärande delar. Biogastraktorer har utvecklats i forskningsprojekt men ännu har ingen modell nått marknaden. En traktortillverkare har dock sagt att det kommer en biogastraktor redan nästa år, en prototyp finns redan framtagen[5]. Man har även provat att bygga om befintliga dieseltraktorer men det har visat sig svårt att hindra att biogasen (dvs metan) läcker genom motorn och avgassystemet, vilket motverkar den positiva klimateffekt man vill uppnå. Till detta kommer själva logistiken kring att tanka biogas, och att biogasen måste vara renad (uppgraderad) till fordonskvalitet (personlig kommunikation, Pettersson O., december 2019).

Torkning och lagring

Torkning och lagring kan göras fossilfri på olika sätt. Det första man kan fundera på är om torkning kan undvikas, där blöta grödor kan ensileras eller lagras kallt/lufttätt, fram för allt är detta aktuellt för foder. Andra grödor måste torkas för att vara lagringsdugliga, och här finns flera alternativ. Vanligt är att torka med varmluftspanna, och här finns möjlighet att använda biobränslen som exempelvis flis, RME eller biogas. Kalluftstorkning med eller utan tillsatsvärme är ett annat energieffektivt alternativ (Jonasson och Neuman, 2014). Att ge generella råd kring minskad användning av fossila bränslen till torkning är svårt då fukthalten vid skörd varierar mellan olika delar av landet och olika år liksom varierande kvalitetskrav. Även typ av tork som redan finns på gården, tillgång och prisbild på biobränslen, och hur mycket arbetstid som kan läggas är faktorer att ta hänsyn till.

---

[3] RME = rapsmetylester
[4] HVO = hydrerad vegetabilisk olja
[5] https://www.atl.nu/teknik/ska-new-holland-lyckas-dar-andra-har-misslyckats/

© RISE Research Institutes of Sweden

I förstudien intervjuades Nils Jonsson, forskare på RISE. Han uppskattar att det av 7000 varmluftstorkar i Sverige är några 100-tal, kanske upp till 500, som använder biobränsle. Han bedömer möjligheten att byta till biobränsle som god, och om det inte är lönsamt kan man söka investeringsstöd. Det gäller främst vid nyinvesteringar.

RME och biooljor kan användas i befintliga oljebrännare utan större investeringar, vissa justeringar måste dock göras. Erfarenheter finns bland annat från Östergötland (Energikontoret Östra Götaland, u.å.). I vissa fall kan befintliga oljebrännare även ersättas med en pelletsbrännare eller stokermatad förugn, så kallad multistoker. Multi kommer av att det är möjligt att elda olika bränslen, i första hand avses flis, pellets eller spannmål. Behållarens utformning måste anpassas till bränslets egenskaper, det krävs till exempel en omrörare för att det ska fungera med flis (Jonasson och Neuman, 2014).

Avgörande är också gårdens övriga uppvärmningsbehov. En tork behöver vara dimensionerad för att klara effektbehovet vid skörden. Ofta är torkningen avslutad innan uppvärmningssäsongen börjar. Man kan då tänka att dimensionering och investering i ny panna kan fördelas över fler användningsområden (Jonasson och Neuman, 2014).

Kostnaden för att byta till biobränsle kan också beräknas som investeringsutrymme; oljepannan har en relativt låg investeringskostnad, men bränslet är dyrt jämfört med biobränslen. Skillnaden mellan fossila oljans pris och ett biobränsles pris ger en skillnad i årlig energikostnad, som kan bekosta en investering vid ett bränslebyte (Jonasson och Neuman, 2014).

Sammantaget kan sägas att det finns flera olika tekniska lösningar, för flertalet olika biobränslen och att det inte vore orimligt att ha fossilfri torkning som ett krav.

Det bör dock tilläggas att många odlare inte har egen tork, utan levererar direkt till uppköpare som har central torkning. Hur stor andel det rör sig om har vi inte hittat några uppdaterade data kring, men år 2005 torkades uppskattningsvis 40 procent av allt spannmål i centrala anläggningar (Ahlgren, 2011). Flera av de centrala anläggningarna för torkning drivs av Lantmännen Lantbruk, som har som mål att vara helt fossilfria år 2025. Johan Medin på Lantmännen (personlig kommunikation, december 2019.) uppskattar att nästan alla anläggningar bytt ut eller konverterat till fossilfria alternativ, dock återstår några mindre anläggningar som ligger i startgroparna för konvertering.

Även den indirekta fossila energianvändningen kan minskas på flera sätt:

Indirekt energianvändning via inköpta insatsvaror

Kvävegödsel ger det största bidraget till den indirekta energianvändningen i jordbruket (Figur 3). Användning av kvävegödsel kan minskas genom olika åtgärder, men vi kommer ha ett behov av mineralgödsel även i framtiden. Produktionen av mineralkväve sker i stor industriell skala och använder stora mänger fossil energi, både till råvara och till processenergi. Forskning kring småskalig produktion baserad på förnybar energi pågår, och flera pilotanläggningar byggs runt om i världen (Ammonia Energy, 2018). Även Lantmännen och Yara har startat ett projekt kring fossilfri kvävegödsel (Lantmännen, 2019).

© RISE Research Institutes of Sweden

Ett alternativ till konventionellt mineralkväve är att med hjälp av en plasmareaktor fixera kväve från luften, som sedan kan lösas i flytgödsel eller rötrest. Ett norskt företag har kommit långt med tekniken, med ett flertal demoanläggningar runt om i världen[6].

Andra insatsvaror som inköpt foder, utsäde, bekämpningsmedel och kalk är det svårare att få som fossilfria.

Transporter

Transporter till/från gård kan göras med fossilfria drivmedel. Gårdarna i Östergötland som jobbar med fossilfritt jordbruk har detta som ett krav, och det har fungerat (Energikontoret Östra Götaland, u.å.). Numera kör flera transportfirmor redan på biodrivmedel eller kan erbjuda den tjänsten. Sveriges Åkeriföretag har tagit fram en färdplan för fossilfritt 2045 till regeringsinitiativet Fossilfritt Sverige.

Plast används till flera saker som ensilage, förpackningar och emballage. Ensilageplast med viss andel förnybar råvara (sockerrör eller majs) finns på marknaden. Det finns även plast av förnybart material godkända för livsmedel.

5.2.3 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar

Mot konsument kan ett koncept om fossilfri produktion vara lätt att kommunicera. Att uppnå 100 procent fossilfritt blir dock svårt, då produktion av insatsmedlen ligger utanför producentens kontroll. Frågan är hur pass mycket som krävs för att kunna kalla sig fossilfri. Måste precis alla insatsmedel ha en fossilfri produktionskedja?

Om vi tittar på den fossila energianvändningen i jordbruket, är diesel till arbetsmaskiner en stor post. Biodrivmedel finns redan att köpa, och här finns politiska mål, styrmedel, lagar och regler kring hållbarhet som driver på utvecklingen. Om regler kring biodrivmedel ska införas är det alltså till stor del en avvägning mellan den extra kostnaden och klimatnyttan. Klimatavtrycket för höstvete skulle minska med cirka 5 procent vid övergång från diesel till biodrivmedel, medan klimatavtrycket för griskött skulle minska cirka 4 procent (beräkningar baserat på Moberg, 2019). Övergång till fossilfri torkning skulle minska klimatavtrycket med ungefär motsvarande siffra medan övergång till förnybar el har väldigt liten betydelse för klimatavtrycket eftersom elen som produceras i Sverige redan till väsentlig del är producerad med lågt klimatavtryck.

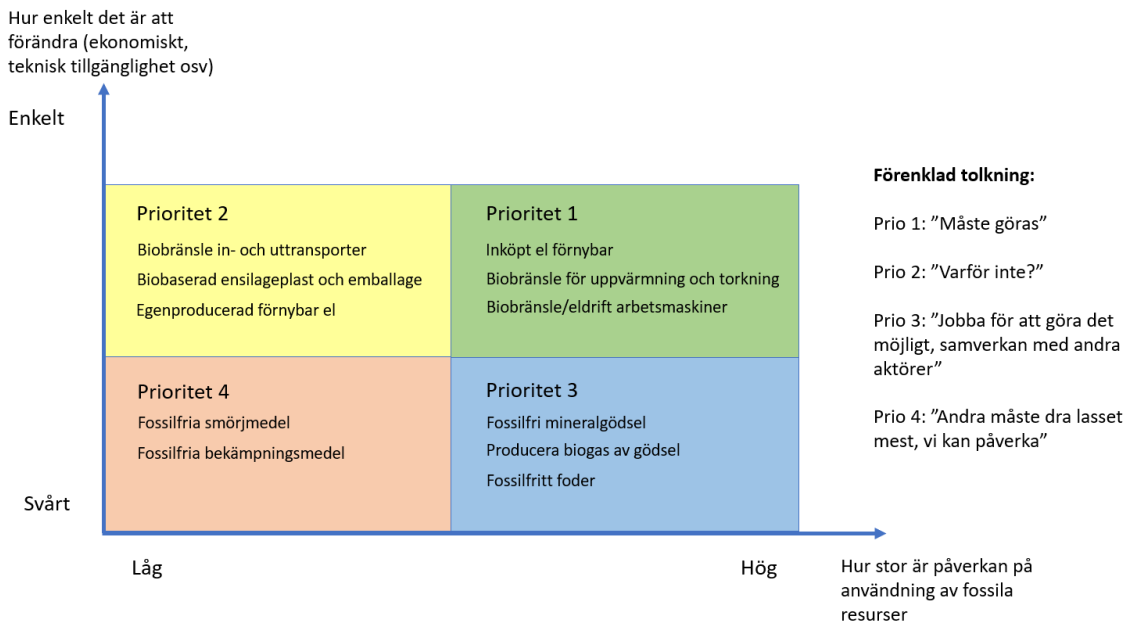
Den andra stora fossilanvändaren är tillverkning av kvävegödsel. På gödselsidan finns dock inga politiska mål, och hur och när fossilfri kvävegödsel kan komma ut på markna den är helt upp till de enskilda företagen som tillverkar gödsel. Så även om företagen börjar signalera att det fossila ska fasas ut, kan det dröja innan vi får se grönt kväve på marknaden. Sigill bör dock bevaka området noga, och så fort fossilfritt kväve kommer till försäljning bör man överväga att införa regler kring detta, eftersom kvävegödsel ofta har en stor inverkan på klimatavtrycket. Klimatavtrycket för höstvete skulle minska cirka 10 procent med fossilfri mineralkvävegödsel medan klimatavtrycket för griskött skulle minska cirka 7 procent (beräkningar baserat på Moberg, 2019).

[6] https://n2.no/

© RISE Research Institutes of Sweden

När det gäller egenproducerad energi, kan det vara svårt att ställa specifika krav då förutsättningarna kan se så olika ut på olika lantbruk. Ur ett samhällsperspektiv måste någon producera den förnybara elen som efterfrågas på marknaden och det har man möjlighet till på många lantbruk eftersom man ofta har tillgång till lämpliga byggnader eller mark att placera solceller eller vindkraftverk på. För klimatberäkningar för en enskild gård eller för enskilda produkter innebär detta dock ingen skillnad jämfört med om inköpt el är förnybar (vilket redan är ett krav), men det tillför klimatnytta till samhället i stort. Ett sätt att för Sigill att driva denna fråga skulle kunna vara att sätta upp mål kring energi, till exempel att alla klimatcertifierade gårdar ska vara ”elneutrala” (det vill säga producerar lika mycket egen el som förbrukas) eller ”energiplussare” (producerar mer el än som förbrukas) till exempelvis år 2030, och att alla anslutna ska ha en plan för hur detta ska uppnås. Vi rekommenderar att hålla det till el, att inkludera andra energislag kan bli knepigare, exempelvis om en producent levererar spannmål till etanol eller levererar grödor som används till produktion av biogas till bussar. Är de då energiplussare, jämfört med att leverera samma råvara till foder?

Ett projekt drivet av LRF Gotland undersöker möjligheterna till fossilfritt kött, och på vilken nivå som är lämplig att ställa för att få kalla sig fossilfri producent. Där har flera workshops arrangerats, en utkomst av detta är ett diagram med prioriterade åtgärder utifrån dess påverkan och hur lätta de är att åtgärda. Vi har inspirerats av detta med vissa modifikationer, och tagit fram en prioritering (Figur 4). De åtgärder som ligger i övre högra hörnet kan Sigill med en gång ta tag i, som de första stegen mot en fossilfri produktion. Övriga områden kan bevakas och utvärderas när det blir aktuellt.



Figur 4. Ett försök att prioritera olika åtgärder för att fasa ut fossila bränslen i förhållande till hur enkelt det är och hur stor påverkan det får på användningen av fossila resurser.

© RISE Research Institutes of Sweden

5.3 Kolinlagring

5.3.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul

IP-standardens klimatmodul har idag inga riktade regler för att öka kolinlagringen i åker- eller betesmark.

5.3.2 Kunskapssammanfattning

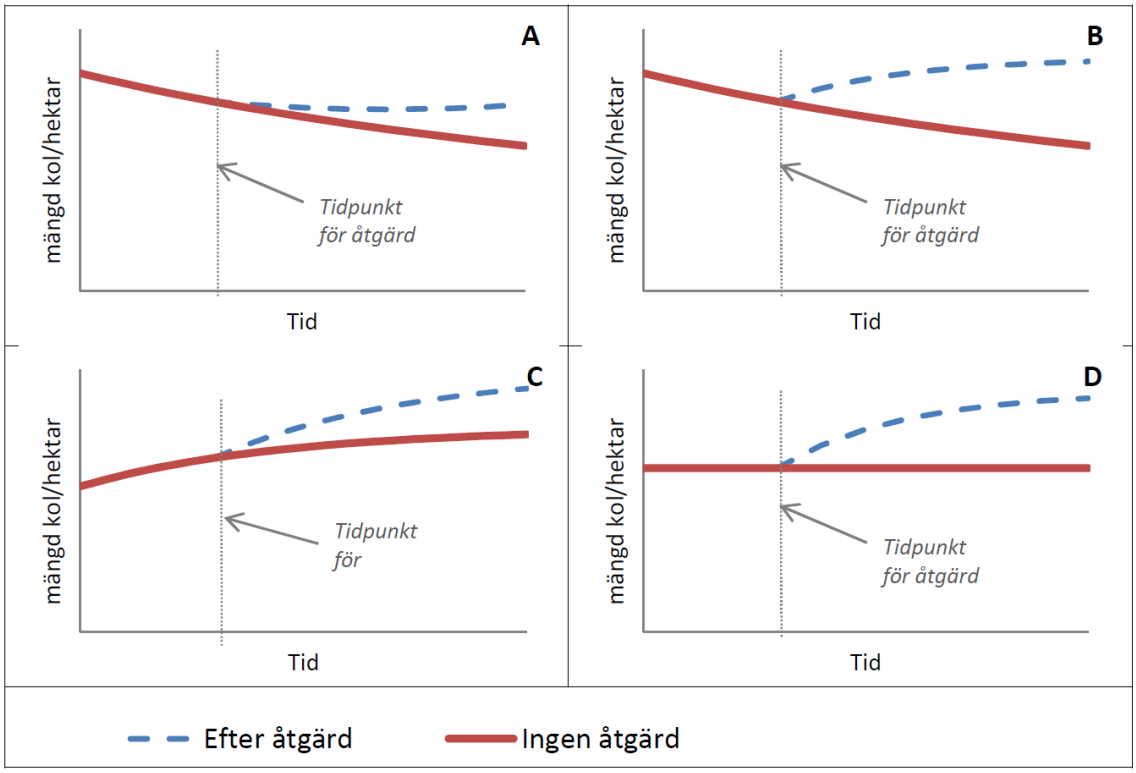
Inbindning av kol i mark kan ha stor betydelse för jordbruksprodukters klimatavtryck och det är något som en enskild producent kan påverka på sina marker genom olika åtgärder.

Kol i svensk åkermark (mineraljordar) ökar och det uppskattas att matjorden idag innehåller i genomsnitt ca 2,7 procent kol vilket motsvarar cirka 4 procent mullhalt (Poeplau m.fl., 2015b). Det uppskattas att den svenska jordbruksmarken idag lagrar in 2,4 miljoner ton koldioxid per år, vilket motsvarar 20 procent av de totala utsläppen från jordbruket (Röös, 2019). Siffran är dock omdiskuterad och kan vara överskattad. Att vi har stigande halter av markkol finns det dock enighet kring. En viktig anledning till att vi idag binder in kol är att andelen vall ökar i Sverige, vilket beror på det ökade antalet hästar och ökad andel grovfoder i mjölk/köttproduktion.

En åkermark kan befinna sig i olika status avseende kolinnehåll; den kan vara en kolkälla eller en kolsänka och den kan även vara i jämvikt. En mark som odlas så att kolhalten sjunker är en kolkälla. En mark som odlas så att kolhalten ökar är en kolsänka. Om en mark odlas så att kolhalten bibehålls är den i jämvikt. Oavsett status kan man uppnå positiva effekter av en åtgärd om kolinlagringen i mark ökar och/eller om utsläpp undviks men efter en tid med samma åtgärder når marken så småningom sin mättnadsnivå avseende kolhalt.

Diagrammen i Figur 5 beskriver exempel på förändring av markens kolförråd över tid, dels om ingen åtgärd vidtas (röd linje) och dels efter att en åtgärd genomförts (blå linje). I situationerna A och B minskar markens kolförråd över tid med den brukningsmetod som används, men om åtgärder sätts in reduceras minskningstakten (situation A) eller så byggs kolförrådet upp igen (situation B). Ett exempel på detta är mineraljordar där mullhalten minskar exempelvis till följd av liten eller ingen odling av fleråriga grödor, stor bortförsel av halm eller liten eller ingen tillförsel av organiska gödselmedel, men där åtgärder som återinförsel av fleråriga grödor i växtföljden eller ökad gödsling med organiska gödselmedel bidrar till att bryta den nedåtgående trenden. I situation A utgörs åtgärdspotentialen av undvikna utsläpp, medan potentialen i situation B utgörs av undvikna utsläpp såväl som ökat kolförråd. I situation C och D utgörs åtgärdspotentialen av ökat kolförråd i marken. Skillnaden ligger i att exemplet i bild C ökar kolförrådet redan med de brukningsmetoder som används, men med ytterligare åtgärder som till exempel utökad odling av fleråriga grödor kommer kolförrådet att öka ytterligare, medan marken i bild D är i jämvikt innan ytterligare åtgärder sätts in som ökar kolinlagringen (Cederberg m.fl., 2012).

© RISE Research Institutes of Sweden



Figur 5. Illustration över situationer där en åtgärd ger positiva effekter på markens kolförråd (Cederberg m.fl., 2012).

Skörderester ovan och under jord bidrar till markkolsuppbyggnad. Kol i rötter kan ha upp emot dubbel potential jämfört med kol i ovanjordiska skörderester att bindas in långsiktigt i humusföreningar i marken (Baker m.fl., 2007; Kätterer m.fl., 2011). Vid en skördenivå på 6 ton vete/ha där halm lämnas kvar finns runt en tredjedel av kolet i skörderester under mark (Gyldenkærne m.fl., 2007).

I det följande går vi igenom ett antal åtgärder som ökar innehållet av kol i åkermark.

Att odla flerårig vall är ett säkert sätt att höja innehållet av markkol jämfört med en växtföljd med enbart ettåriga grödor, eftersom fleråriga grödor utvecklar mycket rötter och dessutom förhindrar erosion.

Hög skörd. Generellt sett har grödor med hög avkastning mycket rötter vilket bidrar till uppbyggnad av markkol. Att sträva efter hög skörd är därför bra för markkolet; både nordamerikanska och europeiska långliggande fältförsök har visat att för varje kg kväve som tillförs per ha och år (jämfört med ogödslad jordbruksmark) så ökar kolinlagringen i storleksordningen med drygt 1 till 2 kg kol per ha och år (Bolinder m.fl., 2017).

Samtidigt innebär en ökad mullhalt ofta högre avkastning, det blir win-win. En mullhalt under 3,4 procent begränsar skörden. Detta kan inte fullt ut kompenseras med ökade kvävegivor, eftersom skördebegränsningar vid låg mullhalt inte enbart beror på tillgången på växttillgängligt kväve. I stora delar av Sveriges viktigaste jordbruksområden som Skåne, Östergötland och Västergötland är mullhalten idag under 3,4 procent. Åtgärder som höjer mullhalten i dessa områden har alltså en skördehöjande verkan (Haldén, 2019).

© RISE Research Institutes of Sweden

Reducerad bearbetning har en positiv effekt på mängden markkol i det övre matjordsskiktet men den effekten annulleras eftersom det blir en motsvarande minskning i skikten under (Etana m.fl., 1999; Haddaway m.fl., 2017). Direktsådd leder också under svenska förhållanden ofta till lägre skördar (Arvidsson, 2014) och ökad risk för lustgasavgång. Se även mer om reducerad jordbearbetning i Kapitel 6.3.1.

Ogle m.fl., (2019) har använt ett globalt dataset med 178 försök med olika bearbetning i olika klimat och jordar. Försöken delades in i *No-till*, (direktsådd, mer än 30 procent av markytan täckt med skörderester) och *Fully tilled* (innebär plöjning eller jordbearbetning ner till minst 15 cm och markytan täckt med skörderester till mindre än 30 procent). Två resultat var tydliga: *No-till* hade högre mullhalt i markytan ner till 20 cm, medan *Fully tilled* hade högre mullhalt i djupare lager (under 20 cm). Slutsatsen från studien är att reducerad jordbearbetning kan ses som en metod att minska erosion och anpassa till nytt klimat. Vad gäller kolinlagring är emellertid osäkerheterna så stora att det mer får ses som en sidovinst när och om det inträffar.

Bolinder m.fl. (2017) understryker att effekterna av grund jordbearbetning och direktsådd på kolinlagring i mark borde studeras närmare under svenska förhållanden då många av fältförsöken är gjorda i Nordamerika.

Vi har intervjuat Åsa Myrbeck på RISE som är markforskare. Åsas slutsats är att det råder enighet inom forskarvärlden; det finns inte bevis för att reducerad bearbetning i Sverige leder till högre innehåll av markkol. Detta stöds av Haddaway m.fl. (2017), och även försök där man mätt respiration som ett sätt att fastställa kolomsättning pekar åt samma håll (Kainiemi m.fl., 2015). Åsa påpekar att det kan se annorlunda ut i andra länder.

Biokol har av flera pekats ut som ett lovande alternativ för att fastlägga kol i mark, och även som en tillsats i foder och gödsellager. Biokol tillverkas genom att biomassa genomgår en pyrolysprocess, inte helt olik tillverkning av grillkol. Processen kan ske vid olika tryck och temperatur och med olika typer av biomassa som råmaterial, vilket resulterar i biokol med olika egenskaper (EBC, 2019).

Hur länge biokolen ligger kvar i marken beror alltså på råmaterialet och tillverkningsprocessen. Från gamla skogsbränder, kolmilor och gamla jordbruksmarker i Amazonas och Afrika kan man med kol-14-metoden konstatera att biokol kan ligga kvar i marken i tusentals år. De lättomsättbara delarna av biokolet kan dock försvinna mycket snabbare om biokolen tillsätts i pulverform i en jordbruksmark som aktivt brukas. I en litteraturstudie av Ennis m.fl. (2012) beskrivs det att upp till 70 procent kan försvinna under de första 30 åren, och på längre sikt kan runt 30 procent av biokolet ligga kvar. Denna siffra ska tas med en nypa salt; det skulle behövas ytterligare fältförsök och utveckling av modeller för att verifiera värdena. Klimatpotentialen per hektar beror också av givan, det går att lägga så mycket som 30–60 ton per hektar enligt Smith (2016) som en engångsgiva.

Tillsats av biokol kan också påverka utsläpp av lustgas, krukodlingsförsök har visat på både mer, oförändrade och minskade utsläpp. Metanbildning kan också påverkas vid tillsats av biokol i våtmarker. Mängden tillsatt biokol verkar kunna ha stor betydelse men mekanismerna bakom bildning av lustgas och metan kopplade till biokol är till stor del okända. En bra genomgång av kunskapsläget finns i Kammann m.fl. (2017). Tillsats av biokol kan även öka omsättningen av kol i marken, så att den kol som redan finns i

© RISE Research Institutes of Sweden

marken försvinner (så kallad *priming effect*) men resultaten pekar åt olika håll (Zimmerman m.fl., 2011).

I tropiska länder har biokolinblandning ökat skördar, förmodligen främst genom förbättrad vattentillgång (Kätterer m.fl. 2019). Hur biokol av olika kvalitet beter sig i svensk jordbruksmark, såväl ur ett bördighets- som ett klimatperspektiv, är till stor del okänt. Ett svenskt försök är utfört av Skånefrö AB på Ejlertslund, Simrishamn, med biokol tillverkad av spannmålsavrens. Försöken genomfördes på en lätt sandjord, ett visst resultat på skördenivån i korn kunde noteras men resultaten varierade och det är svårt att dra slutsatser kring påverkan på skördenivåerna (Laxmar, 2017).

Vår bedömning är att kunskapen idag för liten för att beräkna klimateffekten av användning av biokol på åkermark i Sverige.

Mellangrödor kan lagra in stora mängder kol i rötter och bidra till mullinlagring. I långliggande försök i södra delarna av Sverige har man uppmätt i genomsnitt på olika jordarter en inlagring 0.32 ± 0.28 ton kol per hektar och år med rajgräs som mellangröda då den odlades som fånggröda (Poeplau m.fl., 2015a). Växtföljderna som ingick i studien bestod till största del av spannmål, med inslag av raps, potatis och ärtor i vissa led. Rajgräset såddes antingen in i vårsådden eller på hösten. Hur länge inbindningen kan pågå i samma takt är svårt att säga, det beror på initial kolhalt i marken och klimat etc. när systemet kommer i jämnvikt, men försöken har pågått 16–24 år och det är så långt vi kan säga i dagsläget. Det ska också tilläggas att kapaciteten att lagra in kol är lägre ju längre norrut i Sverige man kommer eftersom perioden mellan insådd och vinterns ankomst blir kortare och grödan därför inte hinner utveckla lika mycket biomassa som i södra Sverige. Den mesta forskningen som är gjord på mellangrödor har varit inriktade på andra positiva egenskaper som minskad kväveutlakning. Läs om mellangrödor även i Kapitel 6.5.

Att lämna halmen i fält är positivt för uppbyggandet av markkol, särskilt i lerjordar enligt de långliggande försök som gjort i Sverige (Bolinder m.fl., 2017). Men effekten är relativt liten i jämförelse med andra material (Kätterer m.fl. 2011; Poeplau m.fl., 2015c). Halmen omsätts i regel snabbt och bara 5–10 procent av biomassan uppskattas bidra till en mer stabil humuspol (Mattsson and Larsson, 2005).

Eftersom det blivit allt mer vanligt att växtrester som annars lämnas i fält kan säljas som bioenergi finns det en ganska omfattande vetenskaplig litteratur på hur kolinlagring påverkas när man skördar halm. Sammanfattningsvis tyder den på att en viss mängd halm skulle kunna bortföras till energi från stora delar av den svenska åkermarken utan betydande risk för en sänkning av mullhalten. På jordar med en mullhalt under 3,4 procent (kolhalt 2 procent) bör dock halm inte bortföras, då det kan ge negativa effekter på skörden. På jordar över 3,4 procents mullhalt ger bortförsel av halm ingen effekt på skörden men om halmen lämnas kvar kan mullhalten öka. En fältspecifik bedömning innan uttag av halm för energi är därför viktig.

Effekten av halmbortförsel kan lätt kompenseras av andra åtgärder som att till exempel lägga in vall i växtföljden eller odla mellangrödor. Ett år med väl etablerad mellangröda motsvarar ungefär bortförseln av halm tre år av sex i en sexårig stråsädesdominerad växtföljd[7].

[7] Beräkningar enligt Greppa Näringens beräkningsverktyg Odlingsperspektiv (2019)

© RISE Research Institutes of Sweden

Andra skörderester, till exempel blast från sockerbeta, morötter eller andra grönsaker kan potentiellt också bidra till uppbyggnad av markkol men data saknas. Det finns data på gröngödsel (gräsklipp etc.) som liknar blast från betor och grönsaker. Jämfört med halm bygger gröngödsel något lite mindre kol (Kätterer m.fl., 2011). En studie där majsensilage spridits på mark visar även på sjunkande halter av kol i mark, då omsättningen i marken ökar (Béghin-Tanneau m.fl., 2019). Effekterna av dessa skörderester är alltså oklar och beror av markens ursprungliga status.

Stallgödsel innehåller kol och kan vara viktig för kolbalansen där den tillförs. Kolet i stallgödseln har en hög humifieringskoefficient, det vill säga bidrar i hög utsträckning till en stabil humuspol, detta gäller framför allt fastgödsel. Det finns mycket få studier av flytgödsel (Kätterer, T., personlig kommunikation, juni 2019). De få studier som finns pekar tvärtemot på ingen eller negativ effekt på kolinlagring (Bolinder m.fl., 2017). Anledningen till detta är inte utredd, men flytgödsel har lägre torrsubstans och kan nog därför innehålla mindre kol. Men som sagt saknas här kunskap och det är svår att dra några slutsatser. Rötad gödsel saknas det kunskap om (Bolinder m.fl., 2017).

Viktigt att tänka på är att stallgödsel inte tillför något nytt kol i systemet utan kolet förflyttas bara runt i landskapet (Röös, 2019). Den totala klimateffekten av att flytta runt gödsel i landskapet är alltså bara positiv om gödseln hamnar på marker som ökar markkolet mer än ”business as usual”.

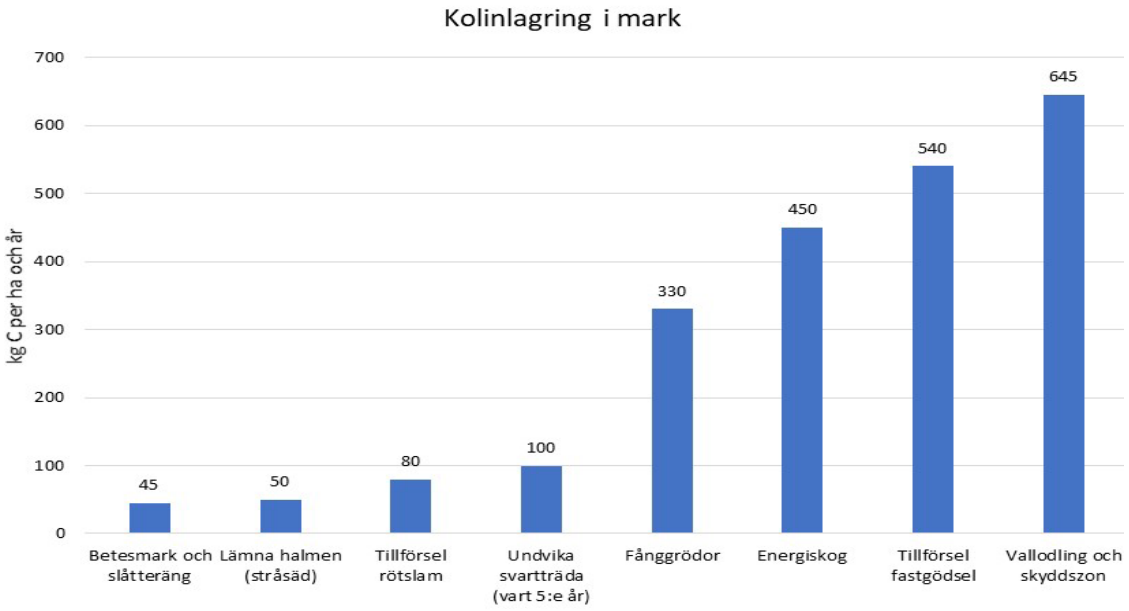
Rötslam som annars skulle gått som anläggningsjord eller på deponi kan bidra till markkol i svensk åkermark om den sprids. Rötslam är relativt svårnedbrytbart och humifieras i hög grad. Mängden rötslam som får spridas i Sverige är begränsad till 700 kg torrsubstans per ha och år. Med detta i beaktande kan ca 80 kg kol per ha och år kunna bindas in via rötslam. Om allt slam i Sverige spreds skulle det motsvara en ökning på 8 kg kol per hektar och år (Bolinder m.fl., 2017).

Energiskog höjer effektivt mullhalten om den odlas där tidigare öppen odling har bedrivits (Bolinder m.fl., 2017). Eftersom den är mer att betrakta som förändrad markanvändning då den inte ingår i traditionella växtföljder står den lite för sig själv.

Anläggning av våtmarker kan eventuellt påverka kolbalansen i marken positivt eftersom den höga grundvattennivån i våtmarker skapar en anaerob miljö där nedbrytningen av det organiska materialet stannar upp. Våtmarken förhindrar också kolförluster genom erosion. Det saknas dock studier och kvantifieringar av kolinlagringseffekten av våtmarker som anläggs på åker- eller betesmark (Bolinder m.fl., 2017).

I Figur 6 visas en sammanställning från Bolinder m.fl. (2017) hur stor potentialen är för ett antal olika åtgärder. Sifforna i diagrammet bygger på en sammanställning av många olika studier, och är uttryckta i ökad inlagring kol i marken, kg kol per hektar och år. Medelvärden är uträknade över ungefär en 10–25 års period i genomsnitt, men med mycket stor variation mellan studier (däribland fanns också studier för kortare tidsperioder). Det betyder däremot inte nödvändigtvis att kolinlagringen gäller för en sådan tidsram, den kan gälla för kortare eller eventuellt också längre tidsperioder beroende på många faktorer exempelvis, initial kolhalt i marken, klimat, textur, o.s.v. (Bolinder, M., personlig kommunikation, augusti 2019).

© RISE Research Institutes of Sweden



Figur 6. Sammanställning av potential för kolinlagring i jordbruksmark, rådata från flera länder men bearbetade för att representera svenska förhållanden (Bolinder m.fl., 2017).

Betesmark har potential att binda in kol om den sköts rätt. Effekten av bete styrs av bortförsel av biomassa (bete), tillförsel av kol via gödsel från de betande djuren, samt trampandet av djuren som påverkar markens fysikaliska egenskaper (EIP-AGRI, 2018). För hårt bete leder i värsta fall till skadad och upptrampad mark och gräset får svårt att återväxa. För lågt betestryck påverkar gräsets kvalitet och kan sänka produktiviteten. Lagom hårt betestryck, där betet stimulerar gräsets tillväxt och foderkvalitet är bäst (Röös, 2019).

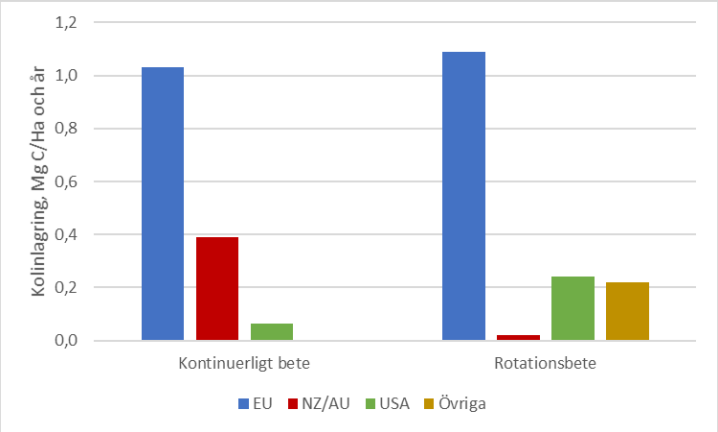
Den svenska betesmarken ingår i Markinventeringen[8], som utgörs av cirka 20 000 provytor spridda över hela landet. Varje år tar man prover på 10 procent av provytorna så att samma yta mäts var tionde år. Mätningarna visar på en inlagring av kol i betesmarkerna mellan 55–190 kg kol per hektar och år (Röös, 2019).

Något som på senare tid fått uppmärksamhet är rotationsbete, eller så kallat holistiskt bete. Det går ut på att dela upp betesmarken i flera mindre fållor, och varje fålla betas väldigt kort ca en halv till tre dagar så att betet får chans att växa till sig. En studie för några år sedan blev en hajp, då man antog stora inbindningspotentialer och skalade upp på global nivå, men debatten har nyanserats (Nordborg och Röös, 2016). Det finns begränsat med studier om rotationsbete, men en studie av EIP-AGRI (2018) visar på stora skillnader i potentialer och till och med förluster av markkol mellan olika kontinenter, där det för EU är en väldigt liten potential att öka kolinnehållet med rotationsbete, se Figur 7. Skillnaderna i potential kan förklaras av olika initiala halter markkol, markstruktur, vegetationstyp och klimat.

Tvärtemot utländska studier har svenska naturbetesmarker visat sig ha en relativt liten potential att binda in kol, runt 30 kg kol per hektar och år. Den låga ackumuleringen av kol i svenska naturbetesmarker kan förklaras med att naturbetesmarkerna i huvudsak sköts extensivt utan att gödslas (Karltun m.fl., 2010).

[8] https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/markinventeringen/

© RISE Research Institutes of Sweden



Figur 7. Skillnad mellan kontinuerlig och rotationsbete på olika kontinenter. Dataunderlaget är litet och det råder stora osäkerheter. (EIP-AGRI, 2018).

Trädplantering på gården skulle kunna tänkas att i en liten omfattning kompensera för utsläpp från övrig produktion men vi har inte hittat någon uppgift hur stor den skulle kunna vara. Trädplantering kan ha andra positiva effekter som att gynna den biologiska mångfalden.

Ekologisk fokusareal: En del av de åtgärder som är tillåtna som ekologisk fokusareal är även positiva för kolinlagring, exempelvis att hålla trädan beväxt med olika grödor, att odla mellangrödor, att så in vall, att lämna obrukade fältkanter. Obevuxen träda bör undvikas.

Övriga tankar kring markkol. Cederberg m. fl. (2012) kom till slutsatsen att om man avsevärt vill öka kolinlagringen i det svenska jordbruket krävs stora förändringar i odlingssystem och markanvändning mot större odling av fleråriga vallar med långa liggtider och fleråriga bioenergigrödor. Odlingsåtgärder för högre skördar, mer kantzoner och fältkanter, återskapade av våtmarker från mulljordar samt mer perenna grödor i växtodlingen bedömdes också som relevanta åtgärder men med relativt liten effekt.

Det finns idag verktyg för att bedöma olika åtgärders påverkan på markkol och på skörd, till exempel i Greppa Näringens Odlingsperspektiv, där de senaste markkolsmodellerna finns inlagda. Ett alternativ skulle därför kunna vara att ha ett krav på att genomföra Odlingsperspektiv eller liknande markkol/mull-kartläggning tillsammans med rådgivare. Det skulle till exempel också kunna vara obligatoriskt att upprätta en ”kolinlagringsplan” i samma anda som för energiplaner. Men eftersom denna rådgivning inte erbjuds i hela landet bedöms det inte vara en rimlig åtgärd för Sigill att utveckla en regel kring.

Ett annat sätt skulle vara att sätta krav på mätning av markkol. Detta är till exempel infört som ett krav i Förnybartdirektivet för biodrivmedel, där ett biodrivmedel kan få räkna med minskade växthusgasutsläpp från inbindning av markkol men bara om mätning av markkolhalten utförs med ett visst intervall. Erfarenheter från markkartering visar dock att det är mycket viktigt att man mäter på exakt samma ställe, då variationerna inom ett fält kan vara stora. Det kan också vara stora skillnader mellan olika år och säsonger. Det krävs alltså ganska många mätningar för att kunna bestämma om markkolet följer en uppåtgående eller neråtgående trend. Det totala innehållet av markkol är också mycket stor i jämförelse med de ändringar vi pratar om för olika

© RISE Research Institutes of Sweden

odlingsåtgärder, vi tittar alltså egentligen bara på marginella ändringar av den totala poolen, och risken är att mätosäkerheterna är så pass stora att de det blir svårt att statistiskt säkerställa marginella ändringar i markkol av olika åtgärder (Paustian m.fl., 2019).

I flera länder har införts system för att få jordbrukare att öka mängden kol i jordbruksmark, i till exempel Frankrike (Label Bas Carbon) och Canada (Alberta-Based Greenhouse Gas Reduction Program and Offset Credit System). I Australien finns sedan några år tillbaka så kallade Emission Reduction Fund, där jordbrukare kan få betalt för olika åtgärder (inte bränna halm, ökad intensitet, omläggning till betesmark) och utifrån vilket område i landet man befinner sig i, och vissa åtgärder ska verifieras med jordprover[9].

5.3.3 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar

Ett spår för ökad kolinlagring skulle kunna vara att utforma regler för olika typer av produktion. Till exempel för spannmålsodling, gris- och kycklingproduktion kan det vara relevant att lämna halm eller att odla mellangrödor. Vi kan anta att de flesta mjölkgårdar redan odlar mycket vall och därmed har relativt högt innehåll av markkol i sina jordar så där blir det svårare att ställa krav på ökad inlagring, utan här handlar det snarare om att bibehålla de höga nivåerna.

Biokol av rätt kvalitet har potential att lagra kol i mark under längre tid. Tillgången på biokol är dock begränsad och det saknas certifieringssystem som kan garantera ursprung och kvalitet. Det saknas också kunskap kring den praktiska hanteringen genom hela kedjan och på gården kring lagring och spridning. Kostnaderna för biokol är också höga, och med tanke på att det handlar om en stor engångsgiva blir kostnaden per hektar mycket hög. Kort sagt verkar det vara för tidigt att införa som regel, men området bör bevakas noga då detta kan ge stor klimatnytta.

Det finns flera länder som har system för att uppmuntra till ökat markkol, dessa kan studeras mer noggrant för att få inspiration till hur ett regelverk skulle kunna se ut för Sigill. Den vetenskapliga bakgrunden som ges i denna rapport pekar dock på ett antal begränsningar som bör övervägas och som gör det besvärligt att inkludera markkol i en certifiering:

- Osäkerheterna kring vissa åtgärders effekt är väldigt stora (till exempel rotationsbete), medan andra är mer välbelagda (till exempel odling av flerårig vall).
- Åtgärdernas betydelse beror till stor del på det initiala tillståndet där redan välskötta marker har liten potential att binda in mer kol medan dåligt skötta marker har en större potential.
- Det är även viktigt att kolförrådet kan bevaras på marker som redan har hög mullhalt samt att erhållen kolförrådsökning kommer att bestå.
- Det är komplicerat att verifiera ökad markkol med mätningar.
- Effekterna avtar över tid, att införa en åtgärd kan initialt innebära mer kol i marken men när marken nått en ny jämnvikt avtar inlagringen.

[9] http://www.environment.gov.au/climate-change/government/emissions-reduction-fund

© RISE Research Institutes of Sweden

- Effekterna är reversibla, det vill säga kolet kan släppas ut till atmosfären igen om åtgärden avbryts. Undantag biokol som fastläggs i marken mer permanent.

Som tidigare beskrivits är det vanskligt att generellt kvantifiera hur stor effekt en viss åtgärd har på kolförrådet i mark eftersom effekten är så beroende av utgångsläget, det vill säga nuvarande mullhalt, växtföljd, gödslingsstrategi etc. Effekten av en åtgärd (kg kol/ha och år) kommer generellt sett vara bättre på en jord med låg mullhalt än på en jord med redan hög mullhalt. Mjölk- eller nötköttsgårdar som redan odlar mycket vall och använder egen stallgödsel har inte någon eller lika stor nytta av ytterligare vallodling eller tillförsel av organiska gödselmedel som en gård som saknar dessa aspekter.

Man behöver även beakta effektens beständighet, och hur ofta återkommande den är. Det gäller till exempel mellangrödor som kan odlas vissa år i växtföljden, och att man därmed behöver beakta vilken effekt åtgärden har sett över hela växtföljden och inte bara ett enskilt år där mellangrödan odlats. Det gäller även att höjningen av kolförrådet blir beständig. Vissa åtgärder, som till exempel ökad vallodling, kommer dessutom att göras på bekostnad av odling av andra grödor. Det innebär en förändrad mix av grödor från växtodlingen, vilket lägger till ytterligare en dimension i jämförelsen.

Vår bedömning är att åtgärder för ökad kolinlagring har störst betydelse på växtodlingsgårdar som har problem med låga mullhalter (mindre än 3,4 procent mull). Där finns även ekonomiska incitament att arbeta med frågan eftersom en höjd mullhalt även har goda effekter på skörd och bördighet. Förändringar av kolförrådet i mark har även större betydelse för klimatavtrycket per kg gröda än för avtrycket per kg animalieprodukt, särskilt för mjölk och för kött från idisslare eftersom växtodlingen (foderproduktionen) står för en begränsad del i idisslarnas klimatpåverkan.

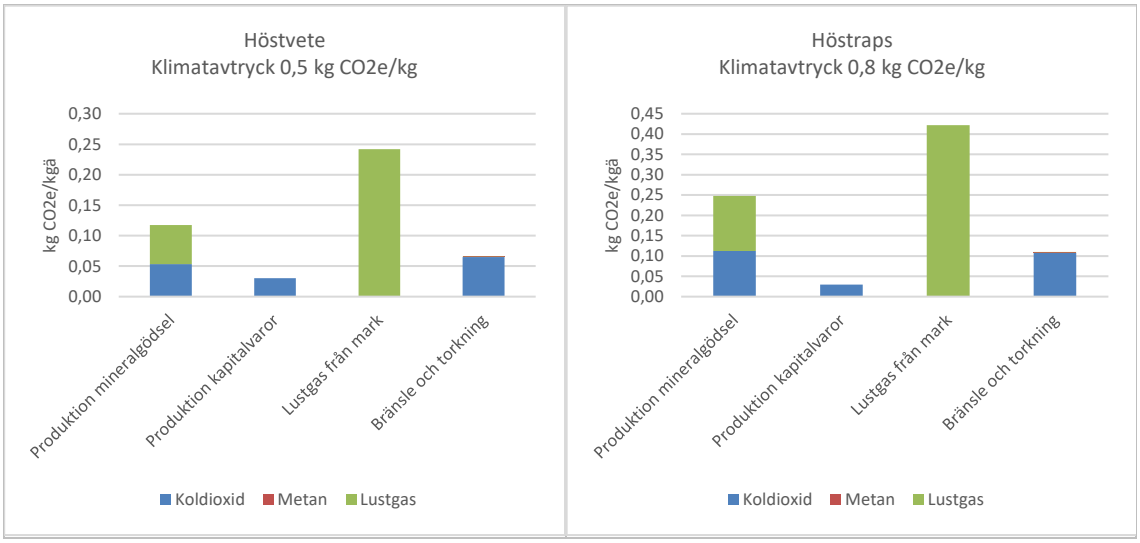
Vi gjorde ett enkelt räkneexempel i Greppa Näringens verktyg Odlingsperspektiv med en femårig växtföljd med höstraps, maltkorn och höstvete i Götalands södra slättbygder, med låg kolhalt i mark (2 procent). Mellangröda ett år eller tillförsel av 35 ton flytgödsel ett år gav en merskörd i växtföljden på ca 1 procent och extra kolinlagring om ca 40–60 kg C/ha och år som medel för hela växtföljden. I dessa beräkningar ingår även förändringar i skördenivå. Långsiktig inlagring av 1 kg kol motsvarar -3,6 kg koldioxid.

Ett annat räkneexempel kan få illustrera effekten från kolinlagring på klimatavtrycket för höstvete. Vi utför en odlingsåtgärd som lagrar in 100 kg kol/ha beständigt i marken. Detta motsvarar 367 kg koldioxid/ha. Med ett antagande att skörden av vete är 7 000 kg/ha innebär det att inlagringen är 0,05 kg koldioxid per kg höstvete, vilket motsvarar cirka 10 procent av klimatavtrycket för höstvete (som antas vara 0,5 kg CO_2e/kg vete). Nästa gång spannmål odlas måste odlingsåtgärden genomföras igen för att effekten även ska gälla för denna gröda. I denna beräkning ingår inte eventuella effekter av ökad skörd på grund av ökad mullhalt och därmed ökad bördighet (vilket kan vara effekt på jordar med låga mullhalter som utgångsläge) eller minskade lustgasutsläpp (som det inte finns underlag för att kvantifiera, se Kapitel 6).

© RISE Research Institutes of Sweden

6 Åtgärder inom växtodling

Klimatavtrycket för höstvete och höstraps uppdelat på olika åtgärder och deras utsläpp av växthusgaser visas i Figur 8 (Moberg m.fl., 2019). Inom växtodlingen dominerar lustgasutsläppen från mark, utsläppen från produktion av kvävemineralgödsel (både lustgas och koldioxid) samt koldioxid från användningen av fossila bränslen till fältarbete och torkning. Klimatavtrycket för ett kg raps är nästan dubbelt så högt som för ett kg höstvete, vilket främst beror på en lägre skördenivå. Fördelningen mellan vilka åtgärder som orsakar utsläppen är ungefär desamma.



Figur 8. Klimatavtryck för höstvete och höstraps (Moberg m.fl., 2019).

Viktiga åtgärder på gården är att arbeta med kväveeffektiviteten för att minska utsläppen av lustgas samt övergång från fossila till förnybara bränslen. Utsläppen från tillverkningen av mineralgödsel är också viktiga (både vilken typ av energi som använts och hur stora lustgasutsläppen är), och här kan odlaren idag påverka genom att välja gödselmedel producerade med låga utsläpp. Övergång till förnybara bränslen diskuteras i Kapitel 5.2, övriga möjligheter inom växtodling följer här.

6.1 Minska utsläppen av lustgas från mark

I underlagsrapporten om Utsläpp av växthusgaser i växtodling (Berglund och Wallman, 2011) beskrevs då gällande kunskap om lustgasutsläppen från mark. Denna kunskap är i stort giltig än idag.

Lustgasbildningen är en naturlig process som inte går att undvika helt. Det är en mycket komplex process, som styrs av många olika faktorer där syretillgång, fuktighet och pH är några. Lustgas bildas när kväve omsätts i olika processer av mikroorganismer i marken; dels vid *nitrifikation* när ammonium omvandlas till nitrat, dels vid *denitrifikation* när nitrat omvandlas till gasformiga kväveföreningar. Den mesta lustgasen kommer från denitrifikationsprocessen.

Henriksson m.fl. (2015) har gjort en grundlig genomgång och identifierat åtgärder som kan påverka risken för lustgasbildning genom denitrifikation. Tillförsel av kväve genom

© RISE Research Institutes of Sweden

gödsling eller nedbrukning av stora mängder kväverika skörderester ökar risken, och detta lyftes redan i underlagsrapporten (Berglund och Wallman, 2011). Andra påverkbara faktorer är pH (minskad risk för lustgasbildning vid högre pH), markpackning (minskad risk vid bra markstruktur) och dränering (minskad risk vid bra dränering). Vissa påverkbara faktorer kan slå åt båda hållen. Ett exempel på detta är reducerad jordbearbetning, som kan minska risken för lustgasbildning på jordar med bra markstruktur, men kan försämra syretillgången i marken och därmed öka risken för lustgasbildning om jordarna är struktursvaga eller packade. Av icke påverkbara faktorer nämns även jordart (ökad risk vid hög mullhalt och organogena jordar) och marktemperatur (ökad risk vid höga temperaturer).

I en nyligen publicerad studie redogör Webb m.fl. (2019) för att små anlagda dammar och våtmarker i jordbrukslandskap i många fall fungerar som lustgassänkor. Författarna diskuterar främst vilken roll detta kan ha för de beräkningar som görs av klimatutsläppen av IPCC, då sådana små dammar och våtmarker normalt inte ingår eller betraktas vara källor till utsläpp av lustgas. Slutsatsen är att det kräver mer undersökningar och mätningar för att bekräfta deras resultat innan de kan användas i praktiken.

Resultaten från ny forskning bekräftar och förstärker bilden av att kvantifiering av lustgasavgång från mark är vanskligt. Det räcker inte att beskriva vilken åtgärd som genomförs, man även behöver information om de faktiska odlingsförhållandena och vad som varit jämförelseläget för att kunna göra en bedömning av hur en regel slår. I beräkningar av klimatavtryck beräknas lustgasavgången från mark som en schablon på mängden tillfört kväve med mineralgödsel, organiska gödselmedel och skörderester. Det har kommit allt fler exempel på att kvävetillförseln bara är en många faktorer som påverkar lustgasbildningen i fält, och att det finns många andra klimat-, odlings- och platsbundna faktorer som påverkar minst lika mycket. Dessutom har dessa enskilda faktorer olika stor betydelse på olika platser eftersom betingelserna kan skilja mycket från plats till plats.

6.2 Gödsling med mineralkväve

6.2.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul

Den nuvarande IP-standarderna omfattar följande regler för kvävegödsling:

- Mineralgödsel som har tillverkats med en metod med låg klimatpåverkan ska väljas (maximal gräns för utsläpp 4 kg CO_2e/kg kväve).
- En kvävebalans ska beräknas årligen.
- Nyckeltal för kväveutnyttjande ska beräknas årligen.
- Teknik för att mäta grödans aktuella behov av kväve ska användas minst en gång under växtsäsongen, gödslingen ska anpassas efter uppmätt behov (ny regel).
- Företaget bör visa att hänsyn tagits till att stora mängder näring frigörs vid vallbrott.

Regler för användning av organiska gödselmedel diskuteras i Kapitel 9.

6.2.2 Kunskapssammanfattning

I förstudien (Landquist, 2017) gjordes bedömningen att reglerna i stort sett var heltäckande och kunde vara kvar, med några förslag till förändringar:

© RISE Research Institutes of Sweden

- Regeln för maximal nivå lustgasutsläpp vid tillverkning av mineralgödselkväve kan finnas kvar som den är.
- Reglerna för kväveflöden i växtodling borde ses över och förenklas, vilket är gjort i och med den nya versionen från 2019 där några regler utgått.
- Regeln kring skiftesvis gödslingsplan föreslogs finnas kvar, men har tagits bort i de nya reglerna eftersom den ingår i de grundläggande IP-reglerna.
- Utveckling av en ny regel rörande kvävegödslingsstrategi för att uppnå så effektiv kvävegödsling som möjligt, där en palett av åtgärder baserade på Jordbruksverkets gödslingsrekommendationer skulle kunna införas med någon typ av poängsystem.
- Ny regel om att någon typ av kvävesensorteknik bör införas i de grödor där det är möjligt. Denna regel har införts i den nya versionen för Spannmål och oljeväxter.
- En ny regel att urea inte får användas (dock efter utredning om detta får någon betydelse för trädgårds- och växthusnäringen).

Regeln att mineralgödsel som används ska vara tillverkad med låg klimatpåverkan kan finnas kvar och med samma maxgräns. Det är inte möjligt att ställa krav på en lägre gräns för närvarande (Erlingson, M., personlig kommunikation, 2019). Yara har 65 procent av marknaden i Sverige och är enligt dem själva den enda gödseltillverkaren som kan visa en klimatgaranti för de produkter som de själva tillverkar. De har dessutom en tredjepartsverifikation av sina utsläppsberäkningar. Enligt Erlingson uppfyller troligen all mineralgödsel tillverkad inom EU denna regel, under förutsättning att den salpetersyra man använt är tillverkad i EU. Importerad gödsel från exempelvis Ryssland och Nordamerika har däremot enligt Erlingson dubbelt så högt klimatavtryck, medan gödsel från Kina har tre gånger högre klimatavtryck. Vad gäller klimatgaranti för näringsprodukter som används i växthus, se Kapitel 8.

Redan i underlagsrapporten beskrevs att tillförsel av kväve, både vad gäller mängd, tidpunkt och teknik, har stor betydelse för utsläppen av växthusgaser (Berglund och Wallman, 2011). Att planera för och tillföra rätt mängd kväve är även fortsättningsvis en mycket viktig åtgärd. Detta bekräftas av mätningar i ett fältförsök i Sverige 2015–2016, där lustgasavgången från kvävegivor mellan 0–180 kg N/ha till vårkorn mättes (Wallman, M., personlig kommunikation, september 2019). Kvävetillförsel med mineralgödsel upp till gällande rekommendationer från Jordbruksverket, i detta fall 120 kg N/ha, gav likartade lustgasutsläpp per hektar som ogödslat, medan en giva högre än rekommendationen gav högre utsläpp. Räknat per kilo skördad gröda var lustgasutsläppen som lägst för rekommenderad giva med mineralgödsel. I samma försök mättes lustgasavgången från tillförsel av rekommenderad mängd kväve med svinflytgödsel samt en något högre giva med rötgasrester. Båda dessa gav minst lika höga utsläpp som den högsta mineralgödselgivan per hektar. Ett norskt försök i vårvete gav liknande resultat (Lundon Russeness, m.fl., 2019).

Greppa Näringen har analyserat över 17 000 växtnäringsbalanser genomförda mellan åren 2000 och 2013 (Nilsson och Olofsson, 2015). Med fokuserad rådgivning och anpassning av kväveflöden har kväveöverskotten minskat, med 17 procent på växtodlingsgårdarna, 13 procent på grisgårdarna och 6 procent på mjölkgårdarna. De främsta anledningarna till de minskade överskotten var på växtodlingsgårdarna en ökad bortförsel av kväve med försålda skördeprodukter, med endast en liten ökning av kvävetillförseln. På grisgårdarna hade bortförseln med försålda skördeprodukter ökat, medan införseln med

© RISE Research Institutes of Sweden

inköpt foder och mineralgödsel hade minskat. På mjölkgårdarna hade kväveöverskottet minskat främst på grund av mindre tillförsel av kväve till gårdarna via mineralgödsel samt mindre inköp av foder och därmed effektivare utfodring. Författarna antog orsaken till att mindre kväve användes berodde dels på en ökad andel grovfoder i växtföljden och dels på att stallgödselns kväveinnehåll utnyttjas bättre eftersom en större andel hanteras som flytgödsel, spridningen har förbättrats, en större andel sprids på våren och att bandspridning i växande gröda har ökat. Allt detta tillsammans visar att ett fokus på kväveflöden minskar kväveöverskotten och därmed även risken för lustgasutsläpp.

Henriksson m.fl. (2015) föreslår flera åtgärder för att minska risken för lustgasutsläpp som har med tidpunkt och årsmån att göra, till exempel att undvika tillförsel av lättillgängligt kväve (särskilt nitrat) och växtrester vid känsliga tidpunkter när vattenhalten i marken är hög (sen höst, regn, snösmältning, tjällossning) samt att undvika tillförsel av kväve när växtupptaget är litet (till exempel tidigt före sådd). Detta är inget nytt sedan underlagsrapporten skrevs.

Användning av olika typer av kvävesensorer under säsong för att styra gödslingsnivå har utvecklats sedan underlagsrapporten skrevs, vilket redan är infört som regel i IP-standardens klimatmodul.

6.2.3 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar

Åtgärder för att kvävegödsla optimalt är fortsatt ett viktigt område, där regelverket redan innehåller ett antal krav som täcker in det som är viktigt och som går att styra. Ett förslag på en ny regel inom detta är att en uppföljning/ utvärdering/efterkalkyl av tillförd mängd kväve jämfört med Jordbruksverkets rekommendationer ska göras efter växtodlingsåret eller inför nästa säsong. Redan i förra underlagsrapporten nämnes en studie av Stenberg, m.fl. (2009), som visade att tillförseln av kväve per hektar i medeltal var 30 kg högre jämfört med Jordbruksverkets rekommendationer. Undersökningen har i och för sig några år på nacken och gjordes i spannmålssorter av vete och korn som inte odlas idag, men visar på att en efterkalkyl kan vara värdefull och tillföra kunskap. Som indata användes en databas med uppgifter från över 10 000 skiften i Sverige avseende platsspecifika förutsättningar som mullhalt och jordart, faktiska kvävegivor i form av mineralgödsel, stallgödselgivor baserat på antal djurenheter, gödslingsgiva med uppnådd skörd och proteinhalt med mera. Optimal kvävegiva beräknades bland annat utifrån respektive sorts proteinhalt. En sådan efterkalkyl kompletterar den kunskap man får fram genom att beräkna en kvävebalans. Om man till exempel efter tre års efterkalkyler kommer fram till att man varje år har gödslat med för mycket kväve i förhållande till det slutliga skörderesultatets kvantitet och kvalitet, finns det stor anledning att minska kvävegödslingen framöver. Om 10 kg mindre kväve tillförs med bibehållen skörd och kvalitet, betyder det en minskning av klimatavtrycket för vete med cirka 3 procent, allt annat lika (beräknat med hjälp av modell enligt Moberg m.fl., 2019).

Baserat på den forskning som tillkommit sedan de förra underlagsrapporterna skrevs bedöms att regelverket i övrigt kring kväveflöden och kvävegödsling inte behöver ändras.

© RISE Research Institutes of Sweden

6.3 Precisionsodling

6.3.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul

Den nuvarande IP-standardens klimatmodul för Spannmål och oljeväxter (version 2019:1, gällande från 2019-03-01) omfattar endast en regel inom området precisionsodling/tekniker. Det är följande regel som sorteras under regler inom området ”Användning av organiska gödselmedel och mineralgödsel”:

- Teknik för att mäta spannmål och oljeväxters behov av kväve ska användas minst en gång under växtsäsongen. Kvävegivan ska anpassas efter det aktuella behovet.

6.3.2 Kunskapssammanfattning

I förstudien (Landquist, 2017) gjordes en genomgång av olika möjliga tekniker för precisionsodling i växtodling. Följande områden diskuterades: Användning av kvävesensor, skördekartering och autostyrning. Användning av kvävesensor är redan infört som en regel i IP-standardens klimatmodul (se ovan). Skördekartering bedöms i dagsläget inte som en lämplig regel då det inte går att påvisa några direkta fördelar med detta (Gilbertsson, M., personlig kommunikation, oktober 2019).

Vad gäller autostyrning menar Baky (2015) att det är svårt att praktiskt kvantifiera minskningen av diesel och växtnäring m.m. eftersom det saknas bra mätmetoder. Lantbrukarna upplever framför allt en tidsvinst och en möjlighet att bättre styra insatsmedel dit de behövs mest. Baky har med hjälp av beräkningar kommit fram till att autostyrning har potential att minska dieselförbrukningen med 5–8 procent jämfört med system utan tekniken, främst genom mindre överlapp och kortare körtid. Dessutom kan skörden öka genom färre mistor och bättre kvalitet i körningen. För att ekonomiskt motivera autostyrning behöver arealen där den användas vara mer än 150 ha. Enligt SEGES (2015) kan autostyrning reducera bränsleförbrukningen med 2–4 procent. De flesta traktorer över 150 hk som säljs idag är utrustade med autostyrning och det är enkelt att sätta sig in i och allmänt använt (Gilbertsson, M., personlig kommunikation, oktober 2019). Olesen m.fl. (2018) uppskattar att en kombination av användning av kvävesensorer för att bestämma kvävebehovet och GPS-styrning har potentialen att minska kväveförbrukningen med storleksordningen 2–4 procent, vilket motsvarar ett minskat utsläpp av växthusgaser om 16–31 kg per hektar, och om man inkluderar även minskad indirekt lustgasbildning genom minskad kväveutlakning 18–38 kg.

En ny teknik som används mer och mer är att logga maskindata (Gilbertsson, M., personlig kommunikation, oktober 2019). Detta är ett bra sätt att mäta effektivitet och arbetstid; som motordata, motorbelastning och positionsdata. Ett exempel är Logmaster som säljs av Dataväxt, men det finns även andra märken på marknaden. Fordon som man vill samla in information från måste ha CAN[10]-buss, vilket enligt uppgift finns på alla moderna traktorer, tröskor och lastare. Enligt Gilbertsson är det enkelt att använda och även lämpligt för inomgårdsarbete, till exempel läsa av hur man kör mellan silo och stall i samband med utfodring eller hur mycket tomgångskörning man har. Även vin- och fruktodlare har visat intresse för att just denna utrustning för att kunna effektivisera sitt

[10] CAN = Controlled Area Network

© RISE Research Institutes of Sweden

arbete. Det har skrivits en del i media på sistone kring detta, men det har inte gått att hitta några praktiska undersökningar på vad det betyder i praktiken för förbrukning av insatsmedel som bränsle och växtnäring.

6.3.3 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar

Autostyrning på gårdar med mer än 150 hektar skulle kunna införas som en regel eftersom det effektiviserar odlingen och minskar bränsleförbrukningen. Fem procents lägre dieselförbrukning plus tre procents lägre användning av kväve minskar klimatavtrycket för höstvete drygt 2 procent (beräknat med hjälp av Moberg m.fl., 2019). Den lägre kväveanvändningen står för merparten av minskningen.

6.4 Reducerad jordbearbetning

Vi har valt lyfta reducerad jordbearbetning i ett eget kapitel eftersom denna åtgärd kan påverka många aspekter som exempelvis utsläppen av lustgas och metan samt minska bränsleförbrukningen. Effekten på kolinlagring i mark diskuteras också.

6.4.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul

Det finns inga regler kring reducerad jordbearbetning i nuvarande regler.

6.4.2 Kunskapssammanfattning

Reducerad jordbearbetning diskuterades i förstudien (Landquist, 2017) som en möjlig metod att minska bränsleförbrukningen. Reducerad jordbearbetning kan även under vissa betingelser öka kolinlagringen i mark, dvs öka mullhalten samt påverka lustgas- och metanavgången.

I Kapitel 5.3 går vi igenom litteratur kring effekter av reducerad jordbearbetning på markkol. Reducerad bearbetning verkar ha en positiv effekt på mängden markkol i det övre matjordsskiktet men effekten kan annulleras då det blir en motsvarande minskning i skikten under. Det är svårt att dra slutsatser, eftersom orsakssambanden mellan markkol, klimat och marktyp inte är klargjorda. Men både internationella och svenska studier pekar åt samma håll; reducerad jordbearbetning kan inte med säkerhet ses som en metod för att öka mängden markkol.

För att minska risken för lustgasutsläpp på väldränerade jordar med bra markstruktur föreslog Henriksson m.fl. (2015) reducerad jordbearbetning eller fasta körspår som åtgärder för att minska lustgasavgången. På täta jordar med dålig luftningskapacitet rekommenderade författarna däremot att reducerad jordbearbetning och direktsådd undviks, särskilt i nederbördsrika områden. Huang m.fl. (2018) gjorde en litteratursammanställning och fann att utebliven jordbearbetning ökade lustgasavgången med 10 procent och minskade avgången av metan med i genomsnitt 15 procent (som lustgas respektive metan, inte omräknat till utsläpp av koldioxidekvivalenter). De drog slutsatsen att reducerad jordbearbetning kan vara en metod att minska utsläppen av växthusgaser men eftersom effekten beror på så många andra faktorer som exempelvis pH, temperatur, gröda, väderlek) var det inte möjligt att dra en generell slutsats. Tullberg, m.fl. (2018) redovisar resultat från ett försök i Australien där avgången av lustgas var

© RISE Research Institutes of Sweden

mer än dubbelt så stor från en yta där vanlig körning tillämpades jämfört med den opåverkade ytan mellan fasta körspår i ett intilliggande system. Samtidigt var markens upptag av metan större i de opåverkade ytorna jämfört med ytorna med vanlig körning. Omräknat till växthusgaser drar författarna slutsatsen att markemissionerna skulle kunna minska med så mycket som 30–50 procent med fast spårsystem. Holm m.fl. (2017) studerade system med fasta körspår i två svenska försök under sex säsongen. Samma skördenivå erhölls i både systemet med fasta körspår och i konventionell slumpvis körning. Inga mätningar av lustgasutsläpp gjordes, däremot konstaterades att försöken indikerade att det krävs någon form av återpackning i spårfria ytor för optimal skörd. En enskild åtgärd som fasta körspår kan alltså ha olika effekt på olika fält beroende på olika utgångsläge och plastspecifika förutsättningar.

Reducerad jordbearbetning kan innebära lägre bränsleförbrukning jämfört med konventionella system, vilket också har betydelse för utsläppen av växthusgaser. Exempelvis visar Jordbruksverket (2008) med ett räkneexempel att direktsådd med en överfart har bränslebehovet 13 l diesel/ha jämfört med 39 l diesel/ha för traditionell sådd (plöjning, sladdning, 2 harvningar, sådd och vältning) på en mellanlera. Mellan dessa ytterligheter finns olika system med reducerad jordbearbetning där plöjning utesluts men en eller flera stubberabetningar eller andra bearbetningar genomförs. För påverkan på klimatavtrycket för en gröda måste även övriga insatta åtgärder inkluderas liksom avkastningsnivån. Övriga åtgärder kan vara ökat behov av ogräsbekämpning vilket medför ökat behov av diesel.

Sammanfattningsvis kan reducerad jordbearbetning minska utsläppen under vissa betingelser, men osäkerheten är stor och sambanden komplicerade. Effekten påverkas många andra faktorer som exempelvis jordart, pH, fuktighet, temperatur, gröda och avkastningsnivå. Försöksresultat visar att plöjningsfri odling fungerar bäst på styvare lerjordar och mjäliga jordar, och sämre på sandjordar. Med det sagt drar vi slutsatsen att forskningen inte visar att reducerad jordbearbetning ska införas som ett generellt krav. Under de förhållanden där reducerad jordbearbetning fungerar utan markpackning och med bibehållna skördar ska det naturligtvis vara tillåtet.

6.5 Organogena jordar

6.5.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul

De nuvarande reglerna för Spannmål och oljeväxter innehåller ett krav att ingen etablering av nyodling får göras på mulljordsmark.

6.5.2 Kunskapssammanfattning

I förstudien (Landquist, 2017) föreslogs att nuvarande regel ska finnas kvar.

Utsläppen från odlade organogena jordar är som nämnts tidigare en betydande del av växthusgasutsläppen från svenskt jordbruk (se Figur 2). Detta beskrevs även i tidigare underlagsrapport (Berglund och Wallman, 2011). Resultat från ny forskning ändrar inte de slutsatser som presenterades där.

Nyare studier lyfter också fram de stora skillnaderna i egenskaper mellan olika organogena jordar, och hur växthusgasavgången också skiftar kraftigt mellan platser, inom

© RISE Research Institutes of Sweden

platser och över tid. I en litteratursammanställning över emissionsmätningar som gjorts på dränerad organogen åkermark i Norden kom man fram till att växthusgasutsläpp per hektar och år i genomsnitt var 22 ton koldioxid (intervall 2,9 till 30 ton), 19 kg lustgas (intervall 1 till 105 kg, vilket motsvarar 0,3 till 31 ton CO_2e) samt 0 kg metan (intervall -2 till +55 kg, vilket motsvarar -0,070 till 1,9 ton CO_2e). Dessutom räknar man med vissa metanemissioner från dräneringsdiken, vilket motsvarar 58 kg metan (1,9 ton CO_2e) per hektar organogen åkermark och år (Lindgren och Lundblad, 2014). Totalt motsvarar detta knappt 31 ton koldioxidekvivalenter per hektar och år, men man kan även förvänta sig en mycket stor skillnad mellan fält och mellan år.

Utsläppen från organogena jordar är höga jämfört med utsläppen från mineraljordar. I den svenska klimatrapporteringen har utsläppen legat på knappt 3 kg lustgas respektive 130 kg koldioxid (variation mellan cirka -1200 till +1400 kg koldioxid mellan 1990 och 2017) per hektar åkermark på mineraljordar. Det motsvarar knappt 1 ton koldioxid-ekvivalenter per hektar mineraljord och år.

Hur mycket står då utsläppen från mulljordarna för av de totala växthusgasutsläppen på en växtodlingsgård? Anta som ett räkneexempel att växthusgasutsläpp från mark på växtodlingsgården motsvarar de genomsnittliga värdena enligt klimatrapporteringen, det vill säga 31 respektive 1 ton koldioxidekvivalenter per hektar organogen respektive mineraljord. Anta vidare att 10 procent av en gårdens åkerareal är organogen. Det kan jämföras med tidigare inventeringar som visat att torvjordar utgör 5,6 procent jordbruksmarken i Sverige. De högsta andelarna, 10–11 procent av arealen, återfanns i Kronoberg och Blekinge län (Berglund m.fl., 2009). Utöver emissioner från mark tillkommer växthusgasutsläpp från drivmedel, torkning, tillverkning av mineralgödsel etc., vilket uppskattas motsvara 1 ton koldioxidekvivalenter per hektar och år. Det motsvarar utsläppen från produktion av cirka 170 kg kväve och användning av cirka 120 liter diesel och fossil olja. Totalt sett kommer emissionerna från de organogena jordarna i detta exempel att stå för tre fjärdedelar av gårdens totala växthusgasutsläpp. Man kan dock som sagt räkna med stora variationer i emissioner från den organogena marken. Om emissionerna från den organogena marken hade varit 50 procent högre eller lägre hade dessa emissioner motsvarat drygt 80 procent respektive drygt 60 procent av gårdens totala utsläpp av växthusgaser. Ett annat antagande för andelen organogena jordar hade också haft betydelse för resultatet.

Ny forskning stärker slutsatsen att val av gröda inte har någon avgörande betydelse för växthusgasavgången från odlade organogena jordar (Norberg, 2017). Det finns ingen entydig bild om förändrat grödval, till exempel en övergång från ettåriga grödor till vall, skulle ha någon generell och entydig effekt på växthusgasavgången från organogena jordar. Det är ofta större skillnad i koldioxidavgång mellan år och fält än vad det är mellan olika grödor som odlas på samma fält (Jordbruksverket, 2018b).

Koldioxid är den klart viktigaste växthusgasen från odlade organogena jordar. Det finns dock inga entydiga och allmängiltiga förslag på vilka odlingsåtgärder som kan vidtas för att minska koldioxidavgången. Vintergrön mark och minskad jordbearbetning skulle kunna ha viss effekt, men forskningsresultaten är inte entydiga (Kekkonen m.fl., 2019) Ur lustgassynpunkt är det extra viktigt att man är återhållsam med kväve och att marken är bevuxen så mycket som möjligt (Henrikson m.fl., 2015). Lustgasavgången påverkas även av pH då lågt pH ger högre lustgasavgång (Norberg, 2017).

© RISE Research Institutes of Sweden

Ett sätt att minska växthusgasavgången från odlad organogen mark är att ändra dess användningsområde helt och att den tas ur jordbruksproduktion, vilket innebär att marken inte längre används för foder- eller livsmedelsproduktion. En sådan åtgärd som beskrivs i flera studier är återvätning. Då höjs grundvattennivån i marken så att den blir vattenmättad, och marken återställs till våtmark. Detta bedöms minska koldioxidavgången kraftigt, speciellt på näringsrika jordar med ett djupt mullskikt där marken till och med kan bli en kolsänka igen. Åtgärden bedöms även minska lustgasavgången (låg eller ingen lustgasavgång från återvätad mark), men öka metanavgången (Kekkonen m.fl., 2019; Lindgren och Lundblad, 2014). Växthusgasutsläppen bedöms dock totalt sett bli betydligt lägre efter återvätning än före. I underlaget till klimatrapporteringen räknar man med att återvätning av organogen åkermark kan minska växthusgasavgången från cirka 30 till 9 ton koldioxidekvivalenter per hektar och år. För den enskilde ägaren av åkermarken innebär återvätning förlorad inkomst och försämrat markvärde.

Återvätning är inte lämplig på alla typer av mulljordar och på alla platser. Dikad åkermark med ett tjockt mullskikt är mest lämplig att återväta. Jordbruksverket har bedömt att den tekniska potentialen för återvätning är 25–50 procent av den organogena åkerarealen.

På de högst avkastande mulljordarna och på högavkastande jordar med tunt torvskikt kvar är sannolikt den bästa strategin att fortsätta att intensivodla spannmål och radgrödor (Jordbruksverket, 2018c).

Återbeskogning kan vara ett alternativ på magrare organogena jordar med tunt mullskikt (Kekkonen m.fl., 2019).

6.5.3 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar

För odling av organogen mark ger inte forskningen underlag för någon ny specifik regel. Det saknas till exempel underlag för att kräva en viss andel mellangrödor på dessa jordar, och i så fall hur stor denna andel skulle vara.

Man skulle emellertid kunna tänka sig en regel att organogen jordbruksmark som tas ur produktion ska återvätas eller beskogas. Att bara överge marken och låta den passivt växa igen är det sämsta alternativet ur växthusgassynpunkt.

Återvätning av dränerad organogen mark bedöms kunna minska växthusgasutsläppen med upp mot 20 till 30 ton koldioxidekvivalenter per hektar och år (Lindgren och Lundblad, 2014). Denna åtgärd innebär dock att marken tas ur livsmedels- och foderproduktion, och det går därmed inte att koppla effekten av en sådan till hur det påverkar klimatavtrycket av foder eller livsmedel. De klimatavtrycksberäkningar som görs av livsmedel och foder brukar dessutom utgå från att odlingen sker på mineraljordar, och därmed ingår sällan växthusgasutsläpp från organogena jordar i dessa klimatavtryck.

© RISE Research Institutes of Sweden

6.6 Mellangrödor

6.6.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul

De nuvarande reglerna innehåller inga regler om mellangrödor.

6.6.2 Kunskapssammanfattning

Mellangrödor har många positiva effekter. Mellangrödor kan ge direkta klimateffekter i form av ökad kolinlagring (Aronsson m.fl., 2012). Mellangrödor kan även ge indirekta effekter genom minskat kväveläckage, vilket främst har betydelse för övergödning (brukar då benämnas fånggrödor), men i och med att det ökar kväveutnyttjandet har det även betydelse för lustgasavgången och därmed klimatavtrycket (Aronsson m.fl., 2012; Hansson m.fl., 2018, Henriksson m.fl. 2015).

Henriksson m.fl. (2015) rekommenderar insådd av mellangrödor, exempelvis rajgräs eller oljerättika, som en åtgärd för att minska lustgasutsläppen, speciellt efter grödor som lämnar kväverika skörderester och i regioner med milda och blöta senhöstar och vintrar. Både senap och oljerättika fångade upp över 100 kg N/ha när de odlades efter konservärt (Olsson m.fl., 2013). På grund av det nordiska klimatet är användningen av mellangrödor som fånggrödor allra mest effektivt när de sås efter huvudgrödor som skördas tidigt, som grönsaker (Aronsson m.fl. 2016). Ju kortare växtsäsong en gröda har desto större är risken att det finns restkväve kvar från gödseln, och desto viktigare är det med en fånggröda. Om lök och morot följdes av höstspannmål verkade en stor mängd kväve förloras i de övre 30 cm av jordlagret mellan höst och vår. Men potatis, råg och havre som följdes av mellangrödan honungsört, insått rajgräs eller oljerättika ökade mängden kväve i det övre jordlagret vilket visar att mindre mängd kväve utlakats (Hansson, 2017).

Litteraturen ger dock inget tydligt budskap vad gäller lustagsavgången och om detta minskar eller ökar vid inkludering av mellangrödor i växtföljden eftersom förhållanden och metoder då mellangrödan brukas ner är avgörande. Om detta sker under blöta förhållanden kan det öka risken för lustgasavgång. Det beror också på när i odlingsfasen man väljer att mäta samt på växtmaterialets kol/kväve-kvot (Aronsson m.fl., 2012).

På den negativa sidan innebär nedbrukning av stora mängder kväverik mellangröda risk för lustgasbildning. Henriksson m.fl. (2015) drar dock slutsatsen att det är klimatsmart att odla mellangrödor, särskilt i regioner med milda och blöta senhöstar och vintrar. Ett alternativ är att skörda mellangrödan, till exempel som råvara till biogas.

Det är olämpligt att mylla ner mellangrödan som gröngödsling på hösten om åkern sedan ligger i träda under vintern (Gunnarsson, 2014; Gunnarsson och Gertsson, 2004), varför myllning rekommenderas att göras på våren. Höstmyllning kan innebära att 20–30 kg kväve per hektar går till spillo eftersom det inte finns någon gröda kan tillgodogöra sig detsamma (Jordbruksverket, 1994; Källander, 2005).

Jordbruksverket har sedan 1992 krav på att de i Götaland och de södra kustlänen med över 5 hektar åkermark måste ha 50–60 procent av sin åkermark bevuxen under höst eller vinter. Detta för att minska läckaget av näringsämnen (Jordbruksverket, 2018b). För trädgårdsodlingen är medelarealen 8,2 ha och medianarealen 1,8 ha. Det betyder att

© RISE Research Institutes of Sweden

en stor andel av trädgårdsodlingen inte omfattas av kravet om bevuxen mark under höst och vinter.

Om mellangrödan inte myllas ner som gröngödsling finns alternativet att använda grödan för produktion av biogas, förutsatt att den genererar tillräckligt mycket biomassa (Gunnarsson, 2014). På så vis finns potential att minska systemets klimatpåverkan (Szerencsits m.fl., 2015), men det kommer inte att påverka enskilda produkters klimatavtryck då det inte fångas in av de systembegränsningar som bruka användas då dessa beräknas. Ett innovativt alternativ är konceptet *Biogasbanken* som innebär att grödan skördas, rötas i biogasanläggning för att sedan låta rötresten återappliceras på huvudgrödan nästkommande år (Hansson m.fl., 2018). Då produceras dels biogas, dels minimeras kväveförlusterna genom mindre läckage på åkern samt produktion av en rötrest där kvävet är mer lättillgängligt för växterna (Hansson m.fl., 2018; Szerencsits m.fl., 2015). Biogasproduktion diskuteras också i Kapitel 9 som handlar om stallgödsel.

Enligt Szerencsits m.fl. (2015) kan en mellangröda minska kväveläckaget med ungefär 25 procent jämfört med svartträda och risken för utsläpp av lustgas minska med upp till 50 procent.[11]

Vad gäller vilken art eller blandning av arter till mellangrödan man ska välja pågår fortfarande mycket försök och forskning för att studera hur väl olika arter och blandningar etableras, hur stor tillväxten är, hur effektivt mellangrödan konkurrerar mot ogräs osv. Det är viktigt att välja arter som inte uppförökar växtsjukdomar eller blir ogräs i efterkommande grödor. Exempelvis är oljerättika inte lämpligt i en växtföljd där raps ingår. Utvecklingen sker snabbt inom detta område och det är därför viktigt att följa vad utsädesbranschen rekommenderar och tillhandahåller.

Möjligheten att så in mellangrödor varierar inom landet. Desto längre växtsäsong desto större möjlighet att etablera en mellangröda som kan ge de positiva effekter man önskar på olika aspekter.

6.6.3 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar

Mellangrödor efter tidig skörd och kväverika skörderester har god potential att minska utsläppen av växthusgaser, främst genom ökad kolinlagring men även minskad risk för lustgasutsläpp. Kolinlagring diskuteras i Kapitel 5.3 och insådd av mellangröda kan ingå som en av flera olika åtgärder för att öka kolinlagringen i mark. Det har inte funnits möjlighet att inom detta projekt ta fram en rekommendation kring vilka grödor som är lämpliga att använda som mellangrödor då det fortfarande pågår mycket försök och praktiska provningar. Istället hänvisas till aktuella rekommendationer från utsädesföretag och växtodlingsrådgivare.

[11] Utifrån fältförsök där majs eller CCM-majs odlats som gröda.

© RISE Research Institutes of Sweden

6.7 Växtföljd

6.7.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul

Det fanns tidigare en regel om växtföljd i klimatmodulen men i den senaste versionen av reglerna för spannmål och oljeväxter har den utgått. Krav på en balanserad växtföljd finns nu enbart i kapitlet Integrerat växtskydd i reglerna för IP-standarden.

6.7.2 Kunskapssammanfattning

Det finns absolut en klimatfördel att ha en regel som styr mot mer varierande växtföljder inte minst eftersom det leder till högre skördar för exempelvis spannmål i växtföljden tack vare avbrottsgrödornas förfruktseffekt. Höga skördar tack vare goda förfrukter innebär ett effektivt användande av befintlig åkermark. En balanserad växtföljd har dessutom stor betydelse för en mängd andra faktorer som ogräsförekomst, skadegörare och markstruktur. Det arbetas ofta alltför mycket på de direkta åtgärderna som krävs när ett problem redan har uppstått, istället för att jobba förebyggande med åtgärder som på längre sikt gör att problemen undviks. (Ögren, E., personlig kommunikation, maj 2019)

Genom växtföljden kan man dessutom lagra in mer eller mindre kol i marken, exempelvis med större andel perenna grödor. Marken blir en kolsänka när det sker en kolinlagring i den, förutsatt att kolet binds in för lång tid. Läs mer om kolinlagring i Kapitel 5.3.

Baljväxter är klimatsmarta grödor i sig tack vare deras symbiotiska kvävefixering men har också en mycket god förfruktseffekt vilket leder till att efterföljande spannmålsgrödor avkastar mer. Jordbruksverket (2017) anger i sina rekommendationer om gödsling att spannmål avkastar mellan 500–1000 kg mer per hektar efter ärt eller bönor. Högst avkastningsökning får man av foderärt följt av höstvete (+1000 kg). En ökad andel svenskodlade ärter och bönor för foderändamål ersätter dessutom importerad soja som har en betydande klimatpåverkan från markanvändning och transport. Ärter, bönor och linser odlas också i allt högre utsträckning för human konsumtion och en ökad andel producerade i Sverige kan ersätta de kvantiteter som idag till stor del importeras. Även baljväxter i form av till exempel klöver är klimatsmart att inkludera i vallen, i första hand för foderproduktion, men på sikt även som biogassubstrat. Baljväxter kan även ingå i gröngödslingsgrödor som plöjs ner. Enligt Jordbruksverket (2017) är det rimligt att räkna med att spannmålsskörden ökar mellan 1–3 ton per hektar efter en klöverrik gröngödslingsvall.

6.7.3 Rekommenderade områden för regelförbättring och möjliga utsläppsminskningar

Inkludera mellangrödor i växtföljden. Gäller även trädgårdsodling. För uppskattning av utsläppsminskningar från mellangrödors kolinlagring se Kapitel 5.3.

© RISE Research Institutes of Sweden

7 Åtgärder inom produktion av grönsaker, bär och frukt och i plantskolor

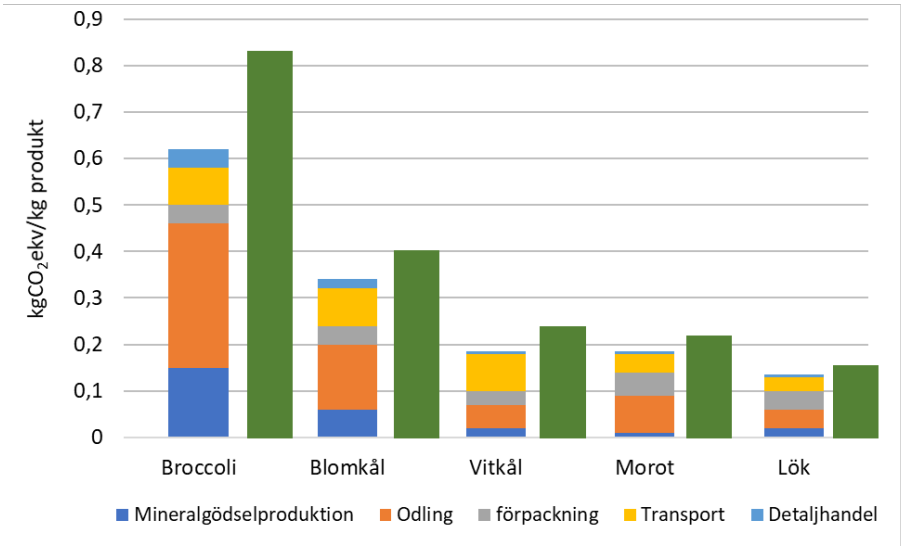
7.1 Frilandsodling av grönsaker

7.1.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul

Nuvarande regler för frilandsodling av grönsaker finns i modulen för Frukt och Grönt, där det finns regler för energi, transporter, kväveflöden och växtföljd. Dessa områden behandlas i andra avsnitt av den här rapporten. I detta kapitel fokuseras på specifika odlingstekniska åtgärder för frilandsodling av grönsaker.

7.1.2 Kunskapssammanfattning

Förutom de områden som innefattas av nuvarande regler är minskat produktionssvinn ett område vi identifierat som viktigast för en minskad klimatpåverkan i frilandsodling av grönsaker. Det togs upp redan i underlagsrapporten men det har inte funnits någon speciell regel kring det. I Figur 9 visas klimatavtrycket för olika grönsaksgrödor och påverkan från olika delar av kedjan från odling fram till detaljhandel, baserat på Davis m.fl., 2011. De gröna staplarna visar klimatavtrycket om detta svinn inkluderats för de olika grödorna.



Figur 9. Klimatavtrycket av olika grönsaksgrödor och påverkan från olika delar av kedjan från odling fram till detaljhandel, baserat på Davis m.fl., 2011. Procentuellt svinn baserat på Franke m.fl., 2013 har adderats och det totala klimatavtrycket med svinn inkluderat blir då enligt de gröna staplarna i diagrammet.

© RISE Research Institutes of Sweden

Svinn i produktionen har en tydlig koppling till klimatpåverkan då det innebär att resursanvändning och utsläpp sker i onödan. Att minimera svinnet är viktigt för alla produktionsgrenar men vi väljer att lyfta det här eftersom undersökningar har visat att av olika orsaker är svinnet stort speciellt i grönsaksproduktion och att de åtgärder som föreslås är relevanta för just grönsaker. 2013 genomfördes en kartläggning över matsvinnet i primärproduktionen (Franke m.fl., 2013). Rapporten visade att svinnet är högt i produktionsledet. En del av svinnet uppstår på åkern till följd av sjukdoms- eller skadedjursangrepp. ”Mer än hälften av isbergssalladen kan bli kvar på fält efter skörd, och bara en tredjedel av broccoliplantan skördas” enligt Olsson (2019)[12], men för exempelvis lök och morot sker en stor del av svinnet när produkten lämnat fältet, det vill säga vid skörd, lagring och sortering av grödan. I kartläggningen av matsvinnet i primärproduktionen framkom det att 26 procent av morötterna som odlas aldrig når tallriken och hos lök och morot var svinnet på fält 13 procent respektive 16 procent. Detta kan jämföras med spannmål och oljeväxter som har svinn på fält runt 2–5 procent (Franke m.fl., 2013). De främsta anledningar till att grönsaker väljs bort och slängs inom primärproduktionen är enligt rapporten fel storlek eller form samt fläckar och avvikelser. Vidare är mekaniska skador orsakade av hanteringen av produkten vid exempelvis skörd en vanlig anledning till att den väljs bort. En ytterligare orsak förutom kundpreferenser är oförutsägbar efterfrågan (Franke m.fl., 2013). Det är slöseri med resurser att så mycket av skörden slängs trots att den är fullt ätbar men samtidigt kan inte producenten ställas ansvarig för svinn kopplat till kundpreferenser. Där krävs åtgärder framför allt i senare delar av kedjan, som grossist, handel och konsument.

Det finns likväl insatser som odlaren kan överväga. Franke m.fl., (2013) föreslår alternativa försäljningskanaler för den frukt och grönt som inte möter grossisternas krav. Förslag på sådana kanaler är direktförsäljning till butiker och restauranger, bondens marknad eller gårdsförsäljning. I Livsmedelsverkets handlingsplan för minskat matsvinn (Livsmedelsverket m.fl., 2018) föreslås ett gemensamt prognosverktyg för hela livsmedelskedjan för att undvika att grödor skördas vid fel tidpunkt och minska risken för överproduktion. Ett sådant verktyg skulle dessutom minska behovet av stora överskottslager. En rekommendation är att följa upp detta förslag och delta i framtagandet av verktyget.

Något som producenterna har större möjlighet att påverka är svinn som uppstår under odling, skörd och lagring av grödan. En god växtföljd som minskar risken för sjukdoms- och skadedjursangrepp är essentiellt. Sortvalet kan också påverka hur stort svinnet blir. För vissa grödor, som potatis, kan sortanpassad odling med en anpassad växtföljd och god jordstruktur vara en viktig åtgärd (Franke m.fl., 2013). Vid skörd och vid hantering av de skördade produkterna kan en högre grad av försiktighet göra att onödigt svinn undviks. Torkning och lagring vid låga temperaturer, att undvika temperaturfluktuationer samt att förvara grödorna i kontrollerad atmosfär är åtgärder som hjälper till att hålla nere svinnet (Nascimento Nunes, 2008; Franke m.fl., 2013).

Olika metoder för precisionsodling kan vara aktuellt för frilandsodling, se Kapitel 6.3.

[12] http://matologi.nu/stort-svinn-pa-faltet/

© RISE Research Institutes of Sweden

7.1.3 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar

Producenten ska ha en plan för att minimera svinnet från sin produktion. En sådan plan ser olika ut för olika produktionsgrenar, men bör innehålla delar som kartläggning av svinn på anläggningen, listning av möjliga åtgärder och genomförande av lämpliga åtgärder. Planen bör följas upp och uppdateras årligen.

Det finns potential för att kunna reglera hur grödan förvaras för att minimera svinnet. Det skulle kunna vara möjligt att sätta krav på att lagringsutrymmen ska hålla en konstant, låg temperatur i ett intervall kring den optimala temperaturen för grödan. Det ska finnas dokumentation på att dessa krav följs genom att exempelvis temperaturmätare som registrerar temperaturen används eller annan klimatmanagement system.

Svinnets påverkan på klimatavtrycket är direkt. Om svinnet för en gröda blir 10 procent ökar klimatavtrycket med lika mycket. I de grönsaksgrödor där svinnet är betydande kan utsläppsminskningarna således bli signifikanta.

7.2 Bärodling

7.2.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul

Nuvarande regler för bärodling finns i modulen för Frukt och Grönt, där det finns regler för energi, transporter, kväveflöden och växtföljd. Det är samma regler som gäller för frilandsodling då bärodling på friland generellt står inför liknande utmaningar som andra frilandsgrödor. Det finns några få åtgärder som specifikt rör bärodling med fokus på jordgubbsodling vilka beskrivs nedan.

7.2.2 Kunskapssammanfattning

Bärodling möter generellt samma utmaningar som annan frilandsodling; att gödsla effektivt, minska läckage och bibehålla hög skörd. För jordgubbar finns det endast två svenska studier på miljöpåverkan från produktion, Hagerman, 2009 och Davies m.fl., 2011. Som för många frilandsgrödor är det också för jordgubbsodling användningen av mineralgödsel som står för den största bidragande delen av klimatavtrycket (27 procent, per kg förpackade jordgubbar) (Hagerman, 2009). Förpackningsmaterialet, plasten som används i odlingen och vid kylförvaring av plantor, bidrog med 20, 19 respektive 18 procent av det totala klimatavtrycket som i Hagermans (2009) studie låg på 0,3 kg CO_2e/kg förpackade jordgubbar. I en annan studie på svenska jordgubbar från 2011 låg klimatavtrycket högre, 0,43 kg CO_2e/kg förpackade jordgubbar (Davies m.fl., 2011). I denna studie stod användningen av mineralgödsel för det största bidraget till klimatavtrycket med 44 procent, följt av förpackningen som stod för 30 procent. Hagerman (2009) jämförde två odlingssystem; täckning med halm eller väv på fält. Att täcka med halm gav en minskning i klimatavtryck med 0,2 kg CO_2e/kg förpackad jordgubbe.

Slutsatser som kan dras från de två svenska studierna på jordgubbsodling på friland är att klimatavtryckets potential att reduceras mest är med en mer effektiv användning av mineralgödsel. Att byta till ett förpackningsmaterial som har bättre klimatavtryck, byta ut plast i fält mot halm samt bli mer effektiv i lagringsfasen kan också minska klimat-

© RISE Research Institutes of Sweden

avtrycket. I studierna var svinn inte kvantifierat men eftersom bär är en färskprodukt med potential för stort svinn i steget efter skörd, som vid lagring och transport till butik/grossist, är svinn en faktor att tänka på. Enligt kartläggningen av Franke m.fl., (2013) som diskuterats tidigare, så kan svinnet i jordgubbsproduktionen ligga på upp till 25 procent.

Det finns i nuläget inga svenska studier på hallon men enligt en studie på hallon från Chile är det användningen av mineralgödsel som står för det största bidraget till klimat-avtrycket (71 procent; Lopez m.fl., 2013).

Något som inte inkluderats i de redovisade studierna är vattenanvändning. Det har tidigare inte varit relevant att diskutera vatten då det inte varit en begränsad resurs men vattenbrist blir ett större och större problem i och med förändringar i klimatet. Kunskapsnivån om bevattning varierar mycket mellan svenska bärodlare och det finns inte lättillgänglig information om hur man kan tänka kring sitt bevattningssystem och sin bevattning0sstrategi, framför allt vad gäller substratodling (Håkansson och Tönnberg, 2018). Enligt rådgivare vi kontaktat är det dock intressant hur olika odlingstekniska alternativ står sig i miljösynpunkt till exempel om bevattning och näringstillförsel med droppslang är mer effektivt än att vattna med spridare eller ramp (Tönnberg, V., personlig kommunikation, juli 2019). Det finns ny teknik på väg som gör det möjligt för frilandsodling att styra bevattning och näringstillförsel med sensorer men denna teknik har inte nått Sverige för tillfället. Det förväntas ta upp till 5 år innan tekniken är etablerad i Sverige. Denna teknik anses dock var mycket intressant för bärodlare och utvecklingen behöver bevakas (Tönnberg, V., personlig kommunikation, juli 2019). Forskning på droppbevattning har visat att den kan ha lägre klimatavtryck än till exempel när man fyller diken i fält med vatten (flooding) (Eranki m.fl., 2017) men droppbevattning kan också få ett högre klimatavtryck än sprinkler och bom-bevattning på grund av att tekniken har kort livstid och behöver bytas ut årligen för de studerade systemen medan bommen för bevattning hade en livstid på 15 år (Guiso., m.fl., 2015). Enligt en sammanställning av forskning på droppbevattningens effektivitet är droppbevattning endast effektivt under specifika situationer och inte effektivt överlag vilket det generellt antas vara (van der Koij m.fl., 2013) och de positiva effekterna av droppbevattning som fås genom fältförsök omsätts sällan praktiskt ute hos producent (Lankford, 2012). Om droppbevattning med näringstillförsel minskar gödsel-användningen eller näringsläckage är inte helt klarlagt men forskning tyder på att potentialen finns (Nachmansohn, 2016).

Förpackningsmaterial

Enligt de två senaste studierna på svenska jordgubbar har förpackningsmaterialet relevans för klimatavtrycket (Hagerman, 2009, Davies m.fl., 2011). Förpackningen består generellt sätt av kartong och för att minska klimatavtrycket av förpackningen behöves det användas mindre av det eller ett annat material med lägre klimatavtryck.

Täckmaterial

Som tidigare nämnts så kan det resultera i ett minskat klimatavtryck om halm används i stället för plast för att minska ogräsuppkomst i jordgubbsbäddarna (Hagerman, 2009). Om halm inte finns tillgängligt har det gjorts försök med att använda biologiskt ned-brytbar plast inom jordbruket och sådan plast kan minska klimatpåverkan jämfört med

© RISE Research Institutes of Sweden

fossil plast med 50 procent[13] men är fortfarande högre än täckning med halm (eftersom man inte räknar med att halmen har något klimatavtryck). Det pågår mycket utveckling av förnybara material men inget som i dagsläget är klart för användning i praktisk odling, till exempel miljövänlig plast av jäst[14]. För planteringar finns det 100 procent nedbrytbara täckvävar på marknaden[15] men det är inte kartlagt om biobaserad plast har ett lägre klimatavtryck än vanlig plast. Om den biobaserade plasten inte behöver återvinning utan bryts ner i jorden är det troligt att klimatavtrycket blir lägre.

Sparsamt körsätt

Det har under tidigare workshops med bär- och fruktodlare framkommit att regeln för sparsam körning anses irrelevant då man bland annat ofta redan kör med låga varvtal vid behandlingar i odlingarna. Dieselanvändning i fältarbete har i och för sig inte framkommit som en hot spot i de två svenska LCA studierna på frukt och bär som hittats (Davies m.fl., 2011 och Hagerman, 2009), men fältarbetet har en påverkan på förbrukningen av fossil energi och klimatavtrycket även om den är liten. Moderna traktorer med steglös växling ger låg bränsleförbrukning, men äldre traktorer har inte samma teknik. Även tomgångskörning, lufttryck och konditionen på luftfilter har betydelse och enligt Hallefält går en traktor på tomgång cirka 30 procent av tiden den används (Hallefält, F., personlig kommunikation, oktober 2019). Alla dessa åtgärder gås igenom vid en kurs i sparsam körning och vad gäller själva körningen får man enligt Hallefält i genomsnitt drygt 7 procent lägre bränsleförbrukning vid samma arbetsmoment före och efter instruktion. Sparsam körning kan ses som en symbolfråga för klimatanpassade produktionsmetoder i stort och kurserna finansieras av Jordbruksverket.

Olika metoder för precisionsodling kan vara aktuellt för bärodling, se Kapitel 6.3.

7.2.3 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar

Specifikt för jordgubbar är ett förslag till ny regel att plastduk inte får användas som täckning i odlingen alternativt att en nedbrytbar miljövänlig plastduk används. Sådan finns på marknaden[16] för plantering av växter men om det finns tillgänglig för större odlingar har inte varit möjligt att få uppgift om. Om plast byts ut mot halm som täckningsmaterial är den potentiella utsläppsminskningen cirka 13 procent baserat på Hagerman, 2009.

Förpackningsmaterial måste vara av återvunnet material eller annan typ av material med lägre klimatavtryck än kartong/wellpapp.

Att med olika åtgärder minimera svinnet är viktigt. Svinnets påverkan på klimatavtrycket är direkt. Om svinnet för en gröda blir 10 procent ökar klimatavtrycket med lika mycket.

---

[13] https://www.ri.se/sv/berattelser/nedbrytbar-odlingsduk-istallet-plast-pa-akern?utm_source=AGFO+weekly&utm_campaign=f18fffd567-EMAIL_CAMPAIGN_8_30_2019_12_57&utm_medium=email&utm_term=0_eca2392023-f18fffd567-83612381

[14] https://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=104&artikel=7286080&utm_source=AGFO+weekly&utm_campaign=f18fffd567-EMAIL_CAMPAIGN_8_30_2019_12_57&utm_medium=email&utm_term=0_eca2392023-f18fffd567-83612381 .

[15] https://www.byggros.com/se/se/biologiskt-nedbrytbar-erosionsskydd-och-ograskontroll/bioweedstop-ogras-och-erosionsduk

[16] https://www.uteprodukter.se/park-och-utemiljo/ograsduk-bio-nedbrytbar-2x100m/6107?gclid=EAIaIQobChMIn9rhmY3E5QIVSMayCh13NQyLEAQYASABEgLwSvD_BwE

© RISE Research Institutes of Sweden

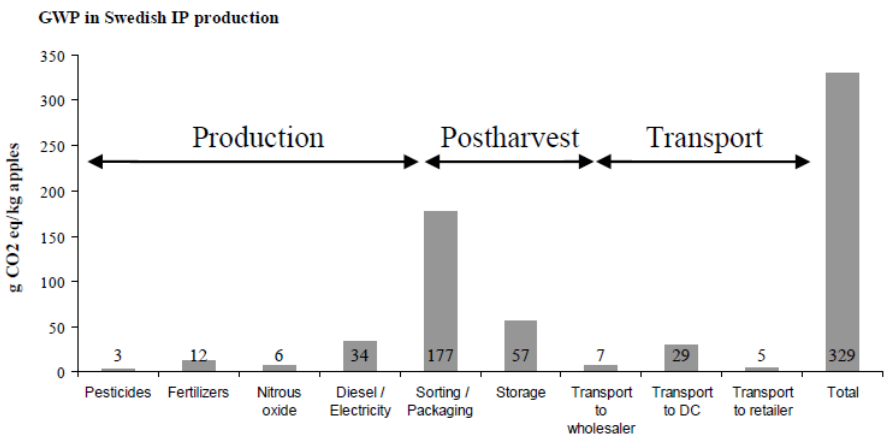
7.3 Fruktodling

7.3.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul

Nuvarande regler för fruktodling finns i modulen för Frukt och Grönt, med regler för energi, transporter, kväveflöden och växtföljd. Det är samma regler som gäller för frilandsodling då fruktodling på friland generellt står inför liknande utmaningar som andra frilandsgrödor.

7.3.2 Kunskapssammanfattning

Det finns två LCA studier av svenska äpplen som publicerats efter 2010; Davies m.fl., 2011 och Johansson, 2015. I studierna är uppdelningen av de bidragande orsakerna till klimatavtrycket inte gjorda på samma sätt men från resultaten framgår att dieselanvändning i fält samt energianvändning vid lagring och packning är de steg i kedjan som mest bidrar till klimatavtrycket, se Figur 10 för klimatavtrycket ur Johansson, 2015. Det totala klimatavtrycket för äpplen redovisades som 0,2 kg CO_2e/kg i Davies m.fl. (2011) och 0,35 CO_2e/kg i Johansson (2015). Skillnaderna i resultat beror på olika antaganden om mängden insatser i odlingen.



Figur 10. Klimatavtryck för integrerad produktion (IP) av svenska äpplen i CO_2e/kg äpple.

LCA-studierna visar på att fokus för att minska klimatavtrycket av äpple bör läggas på hanteringen efter skörd men att ett mer effektivt fältarbete också skulle kunna minska klimatavtrycket. I Johanssons studie bidrog elanvändningen vid mekanisk sortering och packning med 55 procent till det totala klimatavtrycket (Johansson, 2015), vilket tyder på att regeln om förnybar el är relevant att bibehålla.

Utifrån de LCA studier som hittats på svensk äppelodling ger fältarbetet genomslag i klimatavtrycket och regeln om sparsamt körsätt kan därför vara fördelaktigt att ha kvar. Kanske finns det möjlighet att använda förnybart bränsle, se Kapitel 5.2.

Olika metoder för precisionsodling kan vara aktuellt för fruktodling, se Kapitel 6.3.

© RISE Research Institutes of Sweden

7.3.3 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar

Som föreslås för frilandsodlade grönsaker kan ett förslag vara att lagringsutrymmen ska hålla en konstant, låg temperatur i ett intervall kring den optimala temperaturen för frukten samt att en rotering av frukten med ett visst intervall under lagringstiden bör ske för att förhindra tryckskador och sjukdomsangrepp.

Andra förslag är att optimera luftfuktighet, temperatur och syrehalt i lagret. Detta skulle kunna kontrolleras av klimatmanagementsystem.

Det är dessutom viktigt att välja lagringståliga sorter för att minimera svinnet.

Att med olika åtgärder minimera svinnet är viktigt. Svinnets påverkan på klimatavtrycket är direkt. Om svinnet för en gröda blir 10 procent ökar klimatavtrycket med lika mycket.

7.4 Plantskolor

7.4.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul

Det finns inga regler idag som är specifikt inriktade på plantskolor. Istället följer man de regler som är relevanta under avsnittet Växthusproduktion i Prydnadsväxter och plantskola – Växthus. Vi har inte kunnat identifiera några områden specifika för plantskolor utan en del av de förslag som finns under de andra områdena inom grönsaker, frukt och bär är relevanta också för plantskolor.

7.4.2 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar

Täckduk av nedbrytbar miljövänlig plast eller att täcka med halm istället för plast. Det har inte varit möjligt att ta reda på hur stor användningen av plast är i plantskolor varför det inte går att uppskatta någon utsläppsminskning.

Svinn uppstår i plantskolor till exempel vid övervintring av plantor då en del kan dö bort. Det har inte gjorts mycket forskning på området med bättre övervintring av plantskoleväxter och därför finns det inte heller så många lösningar (Viola, 2014a). Att använda sig av metoden Lean Lantbruk för att förstå sitt företag bättre och därmed öka effektiviteten och minska överproduktion och svinn verkar ha fungerat för flera olika plantskolor (Viola, 2014b). Ett förslag är att utreda vidare om det finns åtgärder inom Lean-metoden som kan implementeras som regler för Sigills klimatcertifiering för plantskolor. Att minska svinnet med exempelvis fem procent med åtgärder som inte innebär ökade utsläpp av växthusgaser minskar klimatavtrycket med fem procent.

© RISE Research Institutes of Sweden

8 Åtgärder inom växthus

8.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul

De nuvarande reglerna i IP-standardens klimatmodul för växthusproduktion har som mål att effektivisera energianvändningen och öka användandet av förnybar energi vilket är av stor vikt då det är energianvändningen som signifikant bidrar till klimatavtrycket för växthusodlade produkter.

De befintliga reglerna omfattar följande:

- En energikartläggning ska göras.
- Även den indirekta energianvändningen ska ingå i kartläggningen.
- Nyckeltal för energi ska finnas.
- Energianvändningen ska effektiviseras (en femårigplan ska upprättas, och åtgärder ska kunna uppvisas).
- Användningen av icke-förnybar energi ska minskas (minst 80 procent ska utgöras av förnybara källor).
- I uppvärmda växthus ska energiväv eller plastfolie användas när odling sker under perioden 15 oktober till 15 april.
- Utbildning i sparsamt körsätt.
- Krav kring köldmedier.

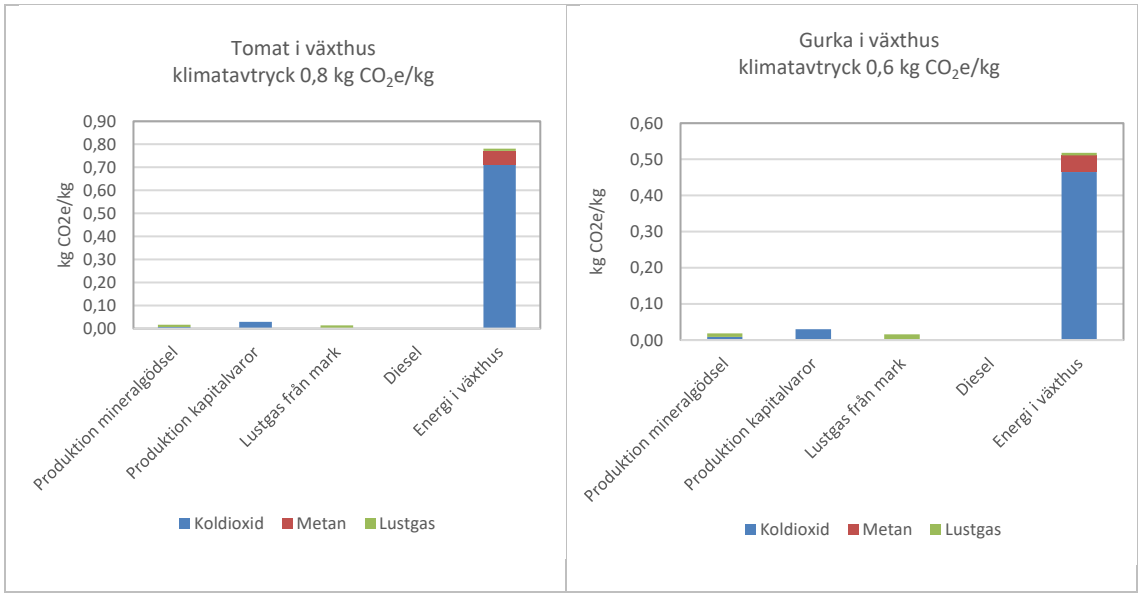
Nedan sammanfattas den information som har hittats inom energianvändning i växthus samt för emballage, substrat och avfallshantering. Kvävegödselfrågan tas upp i Kapitel 6.2 i denna rapport.

8.2 Kunskapssammanfattning

I Figur 11 visas klimatavtrycket för tomat och gurka odlat i växthus baserat på Moberg m.fl., 2019. Moberg har använt energidata från 2014, och eftersom andelen förnybara bränslen i växthusodling ökar (se vidare i texten), innebär detta att andelen fossila bränslen är något överskattade i beräkningarna vilket ger ett något för högt klimatavtryck. I Davis m. fl. 2011 som beräknade LCA för svensk tomat (0,8 kg CO_2e/kg tomat, vilket är på samma nivå som nedanstående figur) var 75 procent av energin förnybar och 25 procent från naturgas och olja. I ett examensarbete från 2010 (Högberg, 2010) jämfördes tomatproduktion som använde olika typer av energi. Den svenska tomatproduktionen som använde spillvärme fick ett klimatavtryck på 0,05 kg CO_2e/kg tomat.

Största påverkan på klimatavtrycket för produktion i växthus har energianvändningen och vilken energi som används för uppvärmningen i växthuset. Mängden mineralgödsel som används samt tomatsortens avkastningsnivå har också betydelse. El till belysning har liten betydelse. Förpackning och resterande steg i kedjan fram till butik har en liten påverkan på klimatavtrycket både för tomat och gurka (Davies m.fl., 2011). Samma slutsatser kan dras för gurka i växthus.

© RISE Research Institutes of Sweden



Figur 11. Klimatavtryck för svensk produktion av tomat och gurka i växthus (Moberg fl., 2019).

Livscykelanalyser visar att klimatavtrycket för tomat ligger mellan 0,05 och 1,6 kg CO_2e/kg tomat beroende på produktionssystem och avkastning, se Tabell 2. Gurka ligger mellan 0,35–0,8 kg CO_2e/kg gurka (Davis m.fl., 2011; Raab m.fl., 2013; Moberg m.fl., 2019).

Tabell 2. Klimatavtryck för tomat från olika länder och produktionssystem.

Produktionstyp	**Klimatavtryck kg CO_2e/kg tomat**	**Land**	**Referens**
Växthus, 100% fossil energi	1,6	Sverige	Högberg, 2010
Växthus, enbart spillvärme	0,05	Sverige	Högberg, 2010
Växthus, 25% fossil energi	0,62	Sverige	Davis m.fl., 2012
Växthus enkel teknologi	0,43	Australien	Page m.fl. 2012
Växthus medel-teknologi	1,71	Australien	Page m.fl. 2012
Tunnelsystem, upphettat	0,92	Spanien	Perez m.fl. 2018
Växthus	0,074	Colombia	Bojaca m.fl., 2014
Tunnel	0,25	Spanien	Torrellas m.fl., 2012
Växthus, spillvärme	0,5	Schweiz	Stoessel m.fl., 2012
Växthus, fossil energi	0,99	Schweiz	Stoessel m.fl., 2012
Växthus, storfrukt	0,82–1,0	Italien	Cellura m.fl., 2012
Växthus, småfrukt	1,20–1,47	Italien	Cellura m.fl., 2012
Växthus	0,78–2	Nederländerna	Antón m.fl., 2012

I förstudien (Landquist, 2017) gjordes en genomgång av alla nuvarande regler för växthus där slutsatsen blev att man behöver utreda vissa regler ytterligare samt förtydliga några, exempelvis de gällande energikartläggning och nyckeltal för mängd energi använd. I förstudien fanns förslag på nya regler:

- Energiplanering vid nyinvesteringar - ta hänsyn till energieffektivitet vid ny- och återinvesteringar
- El ska till 100 procent vara förnybar

© RISE Research Institutes of Sweden

- Kvävegödsel med klimatgaranti - välja mineralgödsel som inte orsakat utsläpp av mer än 4 kg koldioxidekvivalenter per kg kväve vid sin produktion
- Emballage kan ha mindre betydelse för hela klimatavtrycket men behöver utredas ytterligare
- Odlingssubstrat kan ha mindre betydelse för hela klimatavtrycket men behöver utredas ytterligare

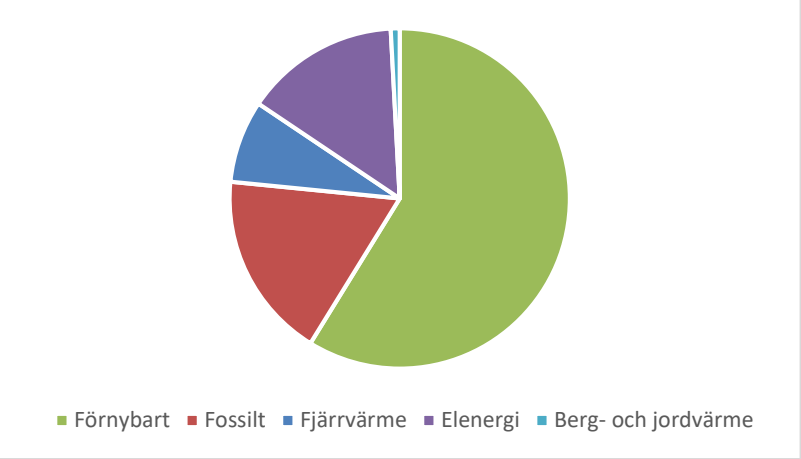
Gödsling

En regel som borde men inte kan införas är att även all kvävegödsel som används i växthus ska ha låga utsläpp av lustgas. Inom växthusodling används i många fall näringsbevattning och många av de produkter som används är tillverkade med låga utsläpp av växthusgaser, dock inte alla. För att få tillgång till en komplett produktportfölj, vilket odlarna behöver, måste det nuvarande undantaget finnas kvar (Erlingson, M., personlig kommunikation, september 2019).

Recirkuleringssystem för näring och vatten är också en åtgärd för att minska användningen av gödselmedel vilket drygt en tredjedel av växthusföretagen hade år 2017, motsvarande 61 procent av den totala växthusytan (SCB, 2018b).

Energianvändning

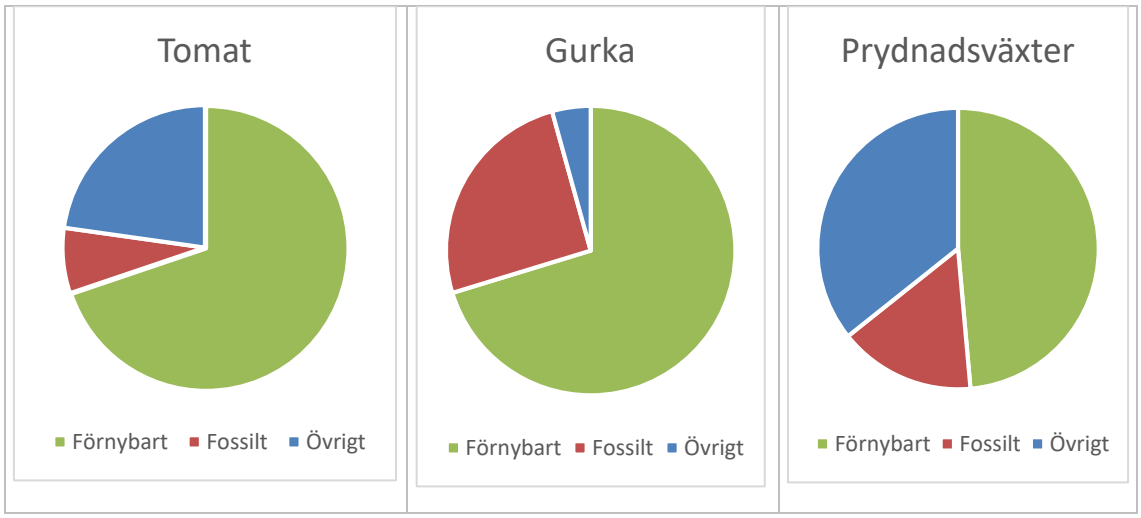
Det största andelen av växthusen i Sverige är uppvärmda (87 procent) och växthusproduktionen har under en lång period uppvisat en kontinuerlig energieffektivisering och övergång till förnybara bränslen. Sedan 2011 har andelen egenproducerad förnybar energi ökat från 37 till 57 procent (SCB, 2018b). År 2017 kom nästan 60 procent av energin från förnybara källor, och knappt 20 procent från fossila bränslen medan 8 procent var fjärrvärme och 15 procent inköpt el, de sistnämnda kan vara producerade från både fossila och förnybara bränslen.



Figur 12. Energianvändning i svensk växthusproduktion 2017 (Jordbruksverket, 2018d).

Sett till odlingsinriktning använde gurk- och tomatodlingen 70 procent egenproducerade förnybara bränslen 2017, medan av den resterande delen energi hade gurkodlingen en större andel egenproducerad från fossila bränslen (Figur 13). Prydnadsväxtodlingen använde cirka 50 procent förnybar energi.

© RISE Research Institutes of Sweden



Figur 13. Energianvändning 2017 i specialiserade odlingar av tomat, gurka resp. prydnadsväxter uppdelat i energislag. Med kategorin Övrigt avses exempelvis inköpt el och fjärrvärme, vilket kan vara producerat både med fossila och förnybara bränslen (Jordbruksverket, 2018d).

Som nämnts tidigare är det energianvändningen i växthusproduktionen som ger det största bidraget till den totala klimatpåverkan (Davis m.fl., 2011; Torrellas m.fl., 2012; Moberg m.fl., 2019), se Figur 11. Det är uppvärmningen som står för den absolut största delen av bidraget från energianvändningen, medan bidraget från elförbrukningen är litet. Ju större andel av energin som kommer från förnybara källor, desto lägre blir klimatavtrycket. För svensk tomatodling står energianvändningen för 80–90 procent beroende på tomatsort och om det är långkultur eller helårskultur (75 procent av energin förnybar och 25 procent från naturgas och olja) (Davis m.fl., 2011). Skörd från långkultur har lägre klimatavtryck beroende på att avkastningen är hög och att det är ett lägre behov av energi och el för uppvärmning och belysning under sommarsäsongen. Under helårskulturen, framför allt under vintermånaderna, krävs både mer uppvärmning och belysning vilket innebär att mer el används samtidigt som skördarna (kg/m^2) är lägre än på sommarhalvåret. Detta medför ett högre klimatavtryck.

Det är också viktigt att fokusera på energieffektiviserande åtgärder. I dagsläget finns det teknik som har potential att minska energianvändningen i växthusproduktion, vilka beskrivs i det följande, men dessa åtgärder är inte direkt tillämpbara i all produktion och resultatet skiljer sig förmodligen mycket mellan odlingar på grund av olika grundförutsättningar. Variationen mellan växthusföretag är dock stor både vad gäller växtval, standard på växthus och värmesystem. Därför är det svårt att sammanfatta energieffektiviseringsåtgärder till hela växthusbranschen men för alla växthus gäller det att bli så effektiv som möjligt när det gäller energianvändning, för att spara på miljön men också minska kostnader.

Energiväv/skuggväv

Rörliga växthusvävar har blivit standard i växthus med produktion under månader med stort värmebehov. Beroende på typ av väv uppgår energibesparingen till 40–60 procent under den tid som väven är fördragen. I många företag finns en besparingspotential på 5–10 procent genom en förbättrad styrning av vävarnas användning antingen genom automatik som känner av solljusets styrka och innertemperatur eller manuell hantering (Christensen och Larsson, 2010). År 2017 hade enligt SCB (SCB, 2018b) 67 procent av alla växthusföretag skuggvävar. Kravet på energiväv ingår också redan i IP-standardens

© RISE Research Institutes of Sweden

klimatmodul. Att isolera också gavlar och sidor bedöms minska energibehovet med 1–5 procent (Christensen och Larsson, 2010).

Vindskydd

Hur utsatt ett växthus är för vind har mycket stor betydelse för energiåtgången enligt Christensen och Larsson (2010) som bedömer att en reducering av medelvinden med 0,5 m/s minskar energianvändningen med 4–5 procent. Vindskydd förhindrar också kostsamma vindskador som kan uppkomma vid till exempel stormar. Att sätta upp vindskydd där vinden ligger på kan vara en prioriterad åtgärd i företag där vind är ett problem som i stora delar av Skåne, längs västkusten och till exempel på västgötaslätten. Där dominerar straka vindar oftast också från en riktning, till exempel västerifrån på västkusten. Enligt en expert på området är det dock inte optimalt med ett krav på vindskydd i Sigillreglerna då det förmodligen skulle leda till att många undantag skulle få göras då det kan vara omöjligt att sätta upp vindskydd även om man vill. Ett vindskydd måste stå på ett visst avstånd från växthuset för att fungera och ibland står växthusen för nära bebyggelse eller det finns inte mer mark av annan anledning vilket omöjliggör uppförandet av ett vindskydd (Möller Nielsen, J. 2019, personlig kommunikation, juni 2019).

Förbättrad värmeproduktion

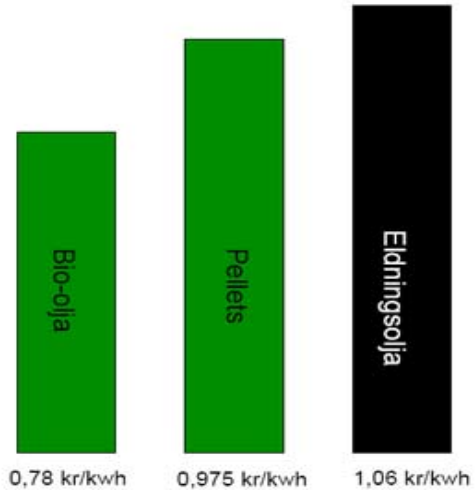
Att systemet för värmeproduktion fungerar optimalt är viktigt för ett bra energiutnyttjande. Väger man ihop olika aspekter, som exempelvis miljö, klimat, ekonomi och enkelhet så är inte en energikälla bäst på allt. Användning av gas och olja är enkelt men inte det mest miljö- och klimatvänliga med undantag för biogas och biooljor. En oljepanna som konverterats till bioolja är cirka 112 000 kr billigare att driva per år och 83 000 kr billigare än om oljepannan konverterats till pellets[17]. Enligt växthusrådgivare inom energianvändning vid växthusproduktion är det inte rimligt att kräva 100 procent förnybar energi för värmeproduktion då det behövs fossilt bränsle som får ut värme snabbt när det blir tillfälliga toppar i växthusets värmebehov, så kallad spetslastkörning (Christensen, I. personlig kommunikation, maj 2019). Det finns dock ackumulatortankar som kan lagra värmeenergi under perioder då det inte behövs lika mycket värmetillförsel som produceras som senare kan användas under kyligare perioder. Den största vinsten ligger i att huvudpannans effekt kan minskas kraftigt.

De förnybara energikällor som på senare tid börjat används för att värma svenska växthus är framför allt bark, flis, spån, pellets och briketter. En del ved och halm används också medan biogas och torv används i liten utsträckning. Torv är dock tveksamt ur klimatsynpunkt då det inte kan betraktas som förnybart. Värmepumpar är intressanta för uppvärmning i en del fall och för elförsörjning kan till exempel solceller eller i speciella fall småskalig vattenkraft vara intressant (Nilsson m.fl., 2015).

Det vanligaste biobränslet är flis då det har ett lågt pris per kWh, se Figur 14. Investeringskostnaden vid installering är dock dyrare för en fastbränslepanna (Nilsson, m.fl., 2015).

[17] Alloljepannor, https://www.alloljepannor.se/sv/bioolja/bioolja-info, Hämtat: 2019-10-29

© RISE Research Institutes of Sweden



Figur 14. Kostnad att använda bioolja istället för pellets och eldningsolja (www.alloljepannor.se).

Vilket typ av värmesystem som är optimalt för en specifik produktion beror på en mängd faktorer som specificeras i Nilsson m.fl., (2015). Isolering av växthuset som skuggväv och/eller dubbelmaterial för att minska värmebehovet menar författarna ska komma först eftersom det kan minska energibehovet.

Anpassade odlingsprogram

I takt med att energin har blivit dyrare har mera fokus lagts på att anpassa odlingsprogrammen så att solens energi tas tillvara maximalt. Det innebär i princip att man tillåter en högre temperatur i växthuset under dagtid när energin är gratis från solen. På grund av detta kan man i stället låta temperaturen sjunka lägre under natten är vad som annars är normalt, vilket minskar värmebehovet under dygnets kallaste tid. Det skiljer mycket mellan hur olika växtslag reagerar, och det är viktigt att en förändring av odlingsprogrammen inte medför negativa konsekvenser i form av förlängd utvecklingstid eller sämre kvalitet på produkterna. Att ändra odlingsprogram är alltid en successiv process, som måste ske i små steg för att inte äventyra produktionen. Enligt danska försök finns möjligheter på upp till 20 procent energibesparing i prydnadsväxtodling genom förändrad temperaturstyrning (Christensen och Larsson, 2010).

Reglering av fuktighet

Luftfuktigheten har stor betydelse i växthusodling då växten behöver ha tillgång till vatten för sin tillväxt. I växthus strävar man ofta efter att hålla den relativa fuktigheten mellan 70 och 85 procent för att gynna växternas behov (Nimmermark och Nielsen, 2014). En vanlig metod för avfuktning är att avlufta och värma alternativt att öppna vävarna. Att öppna vädringsluckor för att ventilera ut fukt skulle sänka koldioxidhalten för mycket och orsaka ojämn temperatur i växthuset. I Nimmermark och Nielsen (2014) listas och beskrivs olika system för avfuktning. Erfarenheter från speciellt tomatodlingar tyder på att det finns en potential att spara 10–15 procent energi genom ändrad strategi för fuktstyrning (Christensen och Larsson, 2010).

Belysning

Traditionellt används HPS-lampor (High Pressure Sodium) i växthusproduktion och de dominerar den svenska marknaden idag (Bergstrand och Schussler, 2012). LED-lampor

© RISE Research Institutes of Sweden

(Light Emitting Diode) finns på marknaden och ska använda 50 procent mindre elanvändning men utstrålar mindre värme än högtrycksnatriumlampor, så därför tillkommer ett ökat värmebehov (Christensen och Larsson, 2010).

Beroende på val av armatur kan kostnaderna för belysningen i ett växthus bli olika höga och studier har visat att per foton är LED dyrare än HPS (Nelson och Bugbee, 2014). HPS-lampor anses fortfarande vara det bästa alternativet, medan LED-lampor är intressant då det gäller belysning för att erhålla en viss dagslängd, belysning inuti växtmassan (”interlighting”) och då det gäller att styra växternas tillväxt (Nimmermark och Nielsen, 2014). Det finns också lamptyper som plasma och fältemission som är obeprövad teknik men som in framtiden kanske kan bli ett alternativ (Bergstrand och Schussler, 2012).

Odlingssubstrat och krukor

Alla typer av plaster genererar växthusgasutsläpp (Zheng och Suh, 2019). Vad råvaran till platsen utgör, typen av energi som används vid tillverkningen av materialet och hur avfallshanteringen sker spelar stor roll för vilken miljöpåverkan en plast får. Det är effektivt att använda plastbaserade behållare för produktion och saluföring av kruk-odlade grödor men plastkrukor från exempelvis krukväxter ska sorteras som hårdplast/brännbart/restavfall eftersom de inte ingår i Förpackningsinsamlingen[18]. Det gör däremot plastkrukor från färska kryddor och sallader och även strutar, tråg eller plastpåsar som sallad kan säljas i, vilka ska sorteras som plastförpackning av konsumenten. År 2018 samlades drygt 42 procent av försålda plastförpackningar på den svenska marknaden in för materialåtervinning[19] och endast cirka hälften av dessa materialåtervinns, resten går till energiåtervinning[20] på grund av olika problem med att sortera ut olika fraktioner.

Det finns begränsat med litteratur över vilka bioplaster som är miljövänliga. Tills nyligen har hållbara alternativ till oljebaserade behållare varit naturfibermaterial som papper, torv, trä, eller kokosnöt till exempel men dessa material kan ofta sakna de funktionella fördelar som de flesta odlare efterfrågar (Evans och Karcher, 2004; Evans m.fl., 2010).

Det pågår arbete med att utveckla nya biobaserade material som kan användas istället för plastbehållare och som har fördelar över de traditionella krukorna. till exempel pågår i USA arbete med att utvärdera olika bioplaster med en inblandning av naturfibermaterial, exempelvis polymjölksyra (PLA) med inblandning av sojastärkelse. Resultaten av odlingsförsök visade att behållaren hade en gödningseffekt och gav förbättrad rotmorfologi under produktionstiden. Behållaren uppfyllde också funktionsbehoven; den bröts inte ner under hantering och användning som vissa fibermaterial kan göra (Schrader m.fl., 2015). Det är dock viktigt att känna till när det gäller biomaterial att produktionsprocessen kan bidra signifikant till miljöpåverkan av materialet; en vanlig plastkruka tillverkad med förnybar el kan vara bättre än ett biomaterial tillverkad med fossil el (Hermansson, 2013).

För odlingssubstrat i gurk- och tomatodling förekommer användandet av pimpsten istället för stenull. Pimpsten har ett mer än 90 procent lägre miljöavtryck än stenull (Wernet m.fl., 2016) och kan användas i upp till 10 odlingssäsonger. Odlingssubstratet

[18] https://www.ftiab.se
[19] https://www.sopor.nu
[20] https://www.ftiab.se

© RISE Research Institutes of Sweden

har dock i livscykelanalys visat sig ha väldigt liten inverkan på det totala klimatavtrycket för odling i uppvärmda växthus.

Emballage

Studier visar att kartongförpackning för tomater kan bidra med upp till 17 procent (Payen, m.fl., 2015) av det totala klimatavtrycket men då beror det på hur produktionen av tomater i helhet ser ut. För svenska tomater har emballaget bidragit till 11 procent av klimatavtrycket (Davies., m.fl. 2011). Det används många typer av emballage och material till dessa inom växthusproduktion och det är för komplext att ge ett generellt råd till alla växthusföretag om emballage. Det är också komplext att utvärdera den möjliga minskade miljöpåverkan som exempelvis emballage gjorda av återvunnet material har jämfört med en nyproducerad kartong men det finns alternativ till traditionellt kartongemballage. Den nederländska producenten av förpackningskartong, Solidus Solutions, har tagit fram en kartongkvalitet för frukt- och grönsaker, tillverkade av returfibrer med innehåll av fibrer från tomatplantor. Förpackningen vann Packaging Europe News hållbarhetspris för biobaserad förpackning 2016[21]. De ekonomiska förutsättningarna för biobaserat material som emballage behöver också utredas.

Avfall

I växthus uppstår det under säsongen två typer av växtavfall. Under växtsäsongen tas överflödiga blad bort från plantor och frukter som har sjukdomar eller på annat sätt är skadade tas bort. När växtsäsongen är slut återstår själva plantan som kasseras. Det kan bli upp till 20 000 kg torrt växtmaterial per ha och år (Stanghellini m.fl., 2003). Det genereras också plastavfall, till exempel kan hydroponiska (jordlösa) system generera upp till 1150 kg per ha och år av plast som används i substratpåsar och andra användningsområden (Stanghellini m.fl., 2003).

Många växthusodlare lägger sitt växtavfall i högar i närområdet till växthuset och låter det torka, vilket ger en signifikant volymminskning. Därefter kan det spridas på åkermark. Tillgång till åkermark att sprida komposten på kan variera kraftigt i landet. Krukväxtodlare kan göra samma sak men här minskar inte komposten i volym på samma sätt då mycket av en krukväxt består av jord/torv.

Det är också viktigt att understryka att varje kommun har sin egen policy gällande avfallshantering och att växthusföretaget måste anpassa sig till denna och därför kan hanteringen av avfall se mycket olika ut beroende på var i landet växthusproduktionen befinner sig.

Ett annat problem är också att växtavfallet kan innehålla plastclips och plastsnören som är svåra att skilja från växtavfallet vilket försvårar användningen av kompostmaterialet om detta inte avlägsnas. Om kompost sprids på fält tas plastdelar bort innan spridning.

Frågan om avfallshantering för växthusföretag är ständig aktuell och frågan lyfts i branschen men ingen lösning har hittills nåtts. Frågan kan behöva lösas på nationell nivå och på grund av de problem som nämnts här så kan ingen rekommendation i dagsläget

[21] https://packsweden.se/2017/01/24/tomatodlare-anvander-forpackningar-tillverkade-av-tomatfibrer/, hämtat 2019-06-05.

© RISE Research Institutes of Sweden

ges om någon lämplig åtgärd utan denna fråga behövs utredas ytterligare (Löfkvist, K, personlig kommunikation, maj 2019).

I Holland komposteras en signifikant del av växtdelarna som blir avfall i tomatodlingen, detta beror på att höga avgifter tas ut om det går till deponi. Därigenom finns det incitament för växthusodlare att kompostera. Det finns intresse i Norden för detta sätt att hantera biologiskt avfall, till exempel projektet ArvoBio som hade till syfte att kartlägga och utveckla nya innovativa lösningar för att minska på svinn och biologiskt avfall inom trädgårdsproduktionen samt att befrämja utnyttjande av biprodukter[22].

Sparsamt körsätt

I växthusproduktion används generellt få maskiner och fordon. Ibland är transporter in med insatser till växthuset och transporter ut med växthusets produkter de enda transporterna i systemet. I förstudien där IP-standardens klimatmodul fick en översyn (Landquist, 2017) skriver man om regeln ”sparsamt körsätt”. ”*Det är tveksamt om detta krav är relevant i ett växthusföretag. Möjligtvis om man har egen lastbil med leverans ut till kunder. Har man inte det kan kravet tas bort. I detta hänseende kan man fundera kring om det inte är transportörerna, både av insatsmaterial och ut till kund, som detta krav skall ställas på men kanske ligger det utanför Klimatcertifieringens omfattning”.*

Tillsatt koldioxid i växthus

I växthusproduktion tillsätts ofta koldioxid för att öka fotosyntesen och därmed tillväxten. Utan tillsatt koldioxid blir koncentrationen ofta lägre än den atmosfäriska nivån då fotosyntesen binder mer koldioxid än vad som hinner komma in i växthuset genom ventilation. Under vintermånaderna tillsätts också koldioxid för att öka fotosyntesen när dagsljuset är kortare och svagare än på sommaren. Att använda återvunnen koldioxid från industri kan vara ett sätt att minska miljöpåverkan från denna del av växthusproduktionen vilket redan idag görs på många håll i landet. Tillgången är dock en kritisk parameter.

8.3 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar

De förslag på nya regler som gavs i förstudien (Landquist, 2017) är relevanta, men frågan om emballage behöver utredas ytterligare. Gällande odlingssubstrat är ett nytt förslag att använda pimpsten. Detta förslag är dock baserat endast utifrån en miljösynpunkt och inte ur odlingsteknik eller ekonomiskt perspektiv. Sammanfattningsvis är förslagen till nya regler följande (varav en del redan påpekades i förstudien):

- El ska vara förnybar.
- Ta speciellt hänsyn till energieffektivitet vid ny-och återinvesteringar.
- För tomat och gurka kan pimpsten ersätta stenull.
- Följa upp och åtgärda svinn.

[22] https://www.lantbrukssallskapet.fi/projekt/arvobio/

© RISE Research Institutes of Sweden

- Att ställa krav vindskydd, isolering eller andra energibesparande åtgärder utöver det som görs idag är inte rimligt, det passar inte överallt. Däremot har det betydelse i många fall, och detta måste identifieras från fall till fall.
- En regel som borde men inte kan införas är att all kvävegödsel som används i växthus ska ha låga utsläpp av lustgas. Det nuvarande undantaget måste dock finnas för att odlarna ska få tillgång till en komplett produktportfölj. Området bör bevakas.
- Koldioxid tillsatt i växthus ska komma från förnybara källor (dock kan tillgången begränsa detta krav).

Den största potentialen för utsläppsminskningar inom växthusproduktion finns hos de producenter som ännu inte ställt om till förnybara bränslen. Utsläppsminskningen kan bli betydande, enligt Högberg (2010) över 95 procent om enbart fossil energi används och en omställning till 100 procent spillvärme kan göras. I verkligenheten ligger förmodligen potentialen någonstans däremellan, potentialen beror på vilket utgångläge man har vad gäller energitillförsel. Enligt Jordbruksverket (Figur 12) är andelen egenproducerad energi från fossila bränslen störst inom gurkodlingen (25 procent) och prydnadsväxter (16 procent) så här finns en stor potential, medan potentialen i tomatodlingen bedöms som mindre då andelen endast utgör 7 procent. Användningen av ”Övrig energi” måste dock också beaktas, den avser inköpt el och fjärrvärme som kan var producerat både med fossila och förnybara bränslen. Andelen ”Övrig energi” är högst i odlingen av prydnadsväxter, 36 procent och 23 procent i tomatodlingen, medan den endast är 4 procent i gurka.

Om man med vindskydd kan minska medelvinden 0,5 m/s finns det en potential att reducera energiåtgången med 4–5 procent. Om energianvändningen är fossil minskas klimatavtrycket med nästan lika mycket, men om energianvändningen är från förnybara bränslen har det inte lika stor betydelse ur klimatsynpunkt.

Pimpsten istället för stenull har marginell betydelse.

Förnybar el kan ha en lite större betydelse om inköpt el är en stor andel av energianvändningen.

Att med olika åtgärder minimera svinnet är viktigt. Svinnets påverkan på klimatavtrycket är direkt. Om svinnet för en gröda blir 10 procent ökar klimatavtrycket med lika mycket.

© RISE Research Institutes of Sweden

9 Åtgärder inom animalieproduktion

9.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul

Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul för animalieproduktion sammanfattas i Tabell 3 och omfattar energi, transporter och maskinanvändning, kväveflöden vid växtodling, foderproduktion samt växtföljd och mulljordar. Reglerna för stallgödselhantering, som har en stor betydelse för klimatutsläppen från animalieproduktion, behandlas separat i Kapitel 9. Reglerna är formulerade utifrån de olika produktionsgrenarnas förutsättningar, och det tillkommer dessutom ett antal djurslagsspecifika regler.

Tabell 3. Gällande regler inom IP-standardens klimatmodul för animalieproduktion. Inom parentes är angivet vilken animalieproduktion som omfattas av respektive regel. G=gris, K=kyckling, M=mjölk, N=nöt och L=Lamm.

Område	Kontrollpunkt
Djurhälsa (G, K, M, N, L)	Gården ska vara ansluten till ett etablerat hälsoredovisningssystem eller ett eget program med förebyggande hälsovård ska tas fram i samråd med veterinär.
Klimatpåverkan inköpt foder (G, K, M, N, L)	Vid inköp av fodermedel ska hänsyn tas till fodrets klimatpåverkan.
Inköpt spannmål (K, M, N, L)	Minst 50 % av inköpt spannmål ska vara gödslad med N-mineralgödsel med låga produktionsutsläpp av växthusgaser (K). Inköpt spannmål bör vara gödslad med N-mineralgödsel med låga produktionsutsläpp av växthusgaser (M, N, L).
Soja- och palmkärneprodukter (G, K, M, N, L)	Sojainblandning i foderstaten får vara högst 5 %, och råvaran ska vara certifierad (G). Soja- och palmkärneprodukter som används i fodret ska vara certifierade och får inte ha sitt ursprung i Sydamerika eller Sydostasien (N, M). Sojainblandningen i foderstaterna får vara högst 15 % och råvaran ska var certifierad (K). Soja- och/eller palmkärneprodukter är inte tillåtet i foderstaten (L).
Näringsinnehåll i foder G, K, M, N, L)	Näringsinnehållet i egenodlade foder ska analyseras (G) Näringsinnehållet i alla foder som används ska analyseras (K). Protein och omsättbar energi ska analyseras minst en gång för varje skörd av grovfoder (M, N, L). För samtliga djurslag krävs årlig uppföljning av utfodringen (G, K, M, N, L)
Närproducerat foder (G, M, N, L)	Andel eget eller närproducerat foder ska vara minst 70 % (G, N, L). För mjölkproducenter gäller 60 % eget eller närproducerat foder, men handlingsplan för att uppnå 70 % ska upprättas (M).
Bete (N, L)	Extra krav på utevistelse under betesperioden.
Grovfoder (N, L)	Regler för andel grovfoder i foderstaten.
Restprodukter (G)	Dokumentation över användande av och möjligheter att öka andelen restprodukter i foderstaten.
Fodermängd per kg djur (K)	Fodermängd per kg levererad kyckling ska dokumenteras, och jämföras med riktvärden.
Täckning flytgödsel (G)	Flytgödsellager bör vara täckta med duk eller tak, svämtäcke ger inte tillräcklig utsläppsminskning.
Kvävebalans (G)	Årlig kvävebalans över djuren (kväve i levererade djur/kväve i foder) med riktvärden.
Slaktålder (N, L)	Högst tillåtna slaktålder för tjurar är 18 månader och för stutar och kvigor 25 månader (N). Högre slaktålder (190 jämfört med 140 dagar) för lamm uppfödda minst 75 % av tiden på bete (L).

© RISE Research Institutes of Sweden

I det här kapitlet sammanfattas hur kunskapen kring möjligheter att minska animalieproduktionens klimatpåverkan har utvecklats sedan underlagsrapporterna skrevs 2009 (Cederberg, 2009b; Cederberg och Berglund, 2009; Sonesson m.fl., 2009a; Sonesson m.fl., 2009b; Sonesson m.fl., 2009c), och om det finns underlag för regelutveckling (se även bilaga 1 för sammanfattning av underlagsrapporterna).

9.2 Kunskapssammanfattning gällande samtliga djurslag

9.2.1 Djurhälsa

Generellt kom man i projektet Hållbara matvägar fram till att det är viktigt med åtgärder inom produktionseffektivitet och djurhälsa (Sonesson m.fl., 2014. Djurhälsan är grunden i en lönsam produktion, ett friskt djur producerar bättre och man undviker karenstider för exempelvis djur till slakt och leverering av mjölk. Sjukdomsspridning hos djur försämrar djurens välbefinnande och produktionskapacitet, vilket resulterar i merarbete, längre uppfödningstid och ökade veterinärkostnader. Längre uppfödningstid har negativ påverkan på klimatet. Därför är alla åtgärder för att upprätthålla god djurhälsa och hög produktionseffektivitet viktiga även för klimatavtrycket. Detta beskrevs även vid utvecklingen av IP-standardens Klimatmodul (Cederberg, 2009b; Cederberg och Berglund, 2009; Sonesson m.fl., 2009a; Sonesson m.fl., 2009b; Sonesson m.fl., 2009c), och regeln om att producenten ska vara ansluten till ett etablerat hälsoredovisningssystem eller ha ett eget program med förebyggande hälsovård som tagits fram i samråd med veterinär är fortfarande relevant och bör finnas kvar.

9.2.2 Foder

När det gäller foderberedning och utfodring, är det främst val av råvaror, fodereffektivitet och foderspill som är avgörande för klimatavtrycket. I Underlagsrapporten för foderproduktion (Cederberg, 2009b) redovisades klimatavtryck för olika fodermedel som spannmål, grovfoder (ensilage och hö), ärter/åkerbönor, rapsfrö, rapsmjöl och betfiber. Dessa klimatavtryck överensstämmer väl med senare data sammanställda från litteraturen (Woodhouse, 2019) varför de inte upprepas här.

Eftersom användningen av soja- och oljepalmprodukter driver på avskogning och uppodling av mulljordar och gräsmarker i andra delar av världen presenteras nedan en kort uppdatering av kunskapsläget inom detta område.

Sojaprodukter

Sojamjöl är ett proteinfoder som har ett högt näringsvärde för alla djurslag och har använts under lång tid (Heimer, 2010). Soja är särskilt värdefullt eftersom det till viss del består av aminosyran lysin, som är en livsnödvändig aminosyra som djur måste få i sig via fodret. Historiskt sett har sojan även varit prisvärd jämfört med andra proteinkällor som raps, ärtor och bönor.

Under marknadsåret 2018/2019 importerades ca 33 miljoner ton sojaprodukter till Europa varav knappt 18 miljoner ton i form av sojamjöl. År 2018 var den svenska importen av sojamjöl drygt 200 000 ton, varav nästan 70 procent var certifierad enligt

© RISE Research Institutes of Sweden

Proterra, drygt 10 procent importerad från Kanada (och verifierad avseende förändrad markanvändning) samt 20 procent ekologisk (Hartman, E., personlig kommunikation, december 2019). Cirka 40 procent av sojan används till nötkreatur, 40 procent till fjäderfä och 10–15 procent till grisar medan resten, ca 5 procent används till övriga husdjur (hästar, hundar och katter)[23]. Enligt Gustafsson (2017) har användningen av både soja- och palmprodukter som foder till nötkreatur minskat rejält mellan åren 2012–2015 på grund av etiska och miljömässiga tveksamheter i odlingen. Rapsprodukter, som tidigare underskattats som foder, har ersatt sojan.

I en del sojaproducerande länder har historiskt sett skog avverkats och gräsmarker plöjts upp i syfte att odla soja, vilket har gjort att kol från mullen i marken har frigjorts så det har blivit en ökning av koldioxidhalten i atmosfären. Sojaprodukter kan ha ett högt klimatavtryck, speciellt om utsläpp från förändrad markanvändning inkluderas. I underlagsrapporten för foder (Cederberg, 2009) angavs ett klimatavtryck exklusive förändrad markanvändning för sojamjöl om drygt 0,8 kg CO_2e/kg sojamjöl varav knappt 30 procent utgjordes av transporter. Om förändrad markanvändning inkluderades ökade klimatavtryckt till 1,5 kg CO_2e/kg sojamjöl. Woodhouse (2019) sammanställde klimatavtryck på sojamjöl från litteraturen publicerade fr o m 2010 och visade att det fanns en stor variation mellan resultaten beroende på om förändrad markanvändning räknades med eller ej. Woodhouse definierade därför tre olika nivåer på klimatavtrycket per kg sojamjöl beroende på om förändrad markanvändning skulle medräknas eller ej, och om den förändrade markanvändningen orsakar stor eller medelstor inverkan på utsläppen av växthusgas:

- **Låg**: Utsläpp från förändrad markanvändning inte inkluderad: 1 kg CO_2e/kg
- **Mellan**: Inkluderar låga utsläpp för förändrad markanvändning: 4 kg CO_2e/kg
- **Hög**: Inkluderar höga utsläpp för förändrad markanvändning: 9 kg CO_2e/kg

De olika nivåerna låg, mellan och hög är tänkta att visa på den stora spridning som finns när det gäller beräknade klimatavtryck av soja, men tar inte hänsyn till vilken typ av förändrad markanvändning som ligger till grund för angivet värde. Begränsad spårbarhet av den soja som importeras till Europa, och därmed brist på tillförlitliga data medför svårigheter att beräkna jämförbara värden för förändrad markanvändning för soja som kommer från olika områden. I en nyligen publicerad studie av Moberg m.fl. (2019) redovisas 1.1 kg CO_2e/kg sojaprodukt som ett globalt medelvärde för hur mycket utsläpp av växthusgaser som uppskattas bero på förändrad markanvändning. Moberg m.fl. ger i anslutning till publikationen även tillgång till en omfattande databas med data och beräkningar av klimatavtryck från olika delar av livsmedelskedjan. Se Tabell 4 för exempel från denna databas på globalt medelvärde för klimatavtryck från gris- kycklingoch nötkött med och utan förändrad markanvändning. Som exemplet visar bidrar förändrad markanvändning mest (ca 15 procent) till klimatavtrycket från kycklingproduktionen, vilket beror på att detta djurslag har störst andel soja i sin foderstat.

Bidraget från förändrad markanvändning verkar ha fått större betydelse med de modeller och beräkningar som gjorts de senare åren, och det har därför blivit än viktigare att säkerställa att sojaprodukter, i de fall de används, är producerade på ett ansvarsfullt sätt.

[23] https://www.slu.se/institutioner/husdjurens-utfodring-vard/nyheter-huv/soja-till-husdjur/

© RISE Research Institutes of Sweden

Tabell 4 Globalt medeltal för klimatavtryck (kg CO_2e/kg slaktvikt) för gris-, kyckling- och nötkött enligt Moberg m.fl. (2019).

	Klimatavtryck **exklusive** förändrad markanvändning (LUC) kg CO_2e/kg slaktvikt	Klimatavtryck **inklusive** förändrad markanvändning (LUC) kg CO_2e/kg slaktvikt
Griskött	3,31	3,36
Kyckling	2,07	2,43
Nötkött	22,7	22,8

År 2014 bildades det branschöverskridande nätverket *"Sojadialogen"* där medlemmarna genom ett frivilligt ansvarstagande bidrar till utvecklingen av och en ökad efterfrågan på mer ansvarsfullt producerad soja. Medlemmarna i Sojadialogen består av svenska foderföretag, livsmedelsproducenter, intresseorganisationer och handelsföretag i hela kedjan från jord till bord. Man har enats om att 100 procent av den soja som använts i den egna produktionen ska vara ansvarsfullt producerad. För svenska foderföretag uppfylls åtagandet genom att de sojaimporterande företagen enbart köper soja som uppfyller Sojadialogens kriterier för ansvarsfullt producerad soja, som är:

1. Certifiering enligt ett trovärdigt certifieringssystem
2. Sojan kommer från spårbart odlingsområde som av sojadialogen värderats uppfylla kriterierna och bedömningen verifierats av oberoende tredje part, till exempel soja från sydöstra Kanada.

Enligt flera studier skulle det vara möjligt att ersätta sojan med inhemskt producerat proteinfoder, men ett problem är att det odlas för lite av alternativen i Sverige[24]. En kraftig ökning av rapsodlingen skulle kunna täcka nötkreaturens behov men den skulle inte räcka till att även försörja grisar och fjäderfä. Dessutom är odlingen av ärtor och bönor i Sverige begränsad.

Raps och åkerbönor är två av de proteingrödor som är odlingsbara i Sverige och det finns stora möjligheter att öka användningen av dessa i fodret. Dock finns det ett litet gissel med i stort sett alla inhemska proteingrödor och det är att de innehåller en del ämnen, s.k. antinutritionella substanser (ANS), som kan störa näringsupptaget. I raps är det framför allt glukosinolater och dess nedbrytningsprodukter som utgör ett problem och när det gäller åkerböna är det framför allt tanniner, lektiner och trypsininhibitorer, som har negativ inverkan på smältbarheten av protein vilket leder till försämrat foderutnyttjande. Det finns dock möjlighet att förbättra proteinets egenskaper genom rostning eller annan värmebehandling, eftersom både myrosin och trypsininhibitorer är värmeinstabila. Trypsininhibitorer och lektiner kan dock ställa till problem (Ivarsson, 2014). Lupinarter kan också vara en realistisk hållbar alternativ användning av lupinarter i fodret har många fördelar i förhållande till ekonomisk och miljöpåverkan (Abraham m.fl., 2016).

Se fortsatt resonemang kring soja i foder och alternativ till detta under respektive djurslag nedan.

[24] https://www.slu.se/fakulteter/vh/forskning/forskningsprojekt/not/forbattrat-utnyttjande-av-regionalt-odlade-proteinfoder/

© RISE Research Institutes of Sweden

Produkter från oljepalm

Produkter från oljepalm till foder har minskat mellan åren 2012 och 2015 från omkring 55 000 ton till cirka 34 000 ton (Gustafsson, 2017) vilket är mer än en tredjedels minskning. I mars 2014 beslutade Livsmedelsföretagens styrelse om ett gemensamt åtagande som innebär att den palmolja som används i svenskproducerade livsmedel ska vara certifierad senast 2015 (Livsmedelsföretagen, 2019).

Palmolja produceras framför allt i Sydostasien, där Malaysia och Indonesien är de två största producentländerna som producerar cirka 87 procent av den globala produktionen. Palmolja produceras även på andra kontinenter, framför allt i Afrika och Sydamerika. Den intensiva palmoljeproduktionen är behäftad med flera problem, som avskogning, förlust av biologisk mångfald, svedjebruk och brott mot mänskliga rättigheter. Odlingen av oljepalm orsakar också förändrad markanvändning eftersom skog avverkas och mulljordar dikas ut för att utöka odlingen. För palmkärneexpeller har Woodhouse (2019) hittat klimatavtryck från 2008 resp. 2018 i litteraturen, 0,8 resp. 0,7 kg CO_2e/kg palmkärneexpell. Ingen studie har hittats där förändrad markanvändning inkluderats.

Fodersvinn

Med fodersvinn menas det foder som är skördat men som inte används i produktionen till exempel på grund av dålig hygienisk kvalitet eller spill vid foderborden. I projektet Hållbara Matvägar framkom att svinnet av grovfoder är stort, upp mot 25 procent, och kan man minska detta sparas miljöpåverkan (Sonesson m.fl., 2014). Svinnet av kraftfoder är inte lika stort eftersom det finns en ekonomisk drivkraft att hushålla med detta. Det är svårt att sätta upp kriterier för åtgärder som kan minska fodersvinnet. Däremot kan en enskild gård uppmuntras att fokusera på sitt eget fodersvinn, och arbeta för att minska det.

Fodersammansättning

För att hålla nere klimatpåverkan av foder krävs effektiv odling, hantering och lagring samt optimering av foderstater. Inom mjölk- och nötköttsproduktionen kan utsläpp av metan från djurens foderomsättning påverkas genom ändringar av foderstaten. Ökad andel kraftfoder, fett och lättsmält grovfoder i foderstaten kan reducera mängden metanutsläpp per kg fodermedel. Dock ska man vara medveten om vikten av en välbalanserad foderstat då sammansättningen även påverkar djurhälsa, produktivitet och i vissa fall även produktkvaliteten (Olesen m.fl. 2018).

Även om metanutsläpp från djurens foderomsättning kan påverkas genom val av råvaror, ska hänsyn tas till att foderstatens sammansättning även påverkar metanpotentialen i gödseln, och att produktionen av olika fodergrödor ger upphov till emissioner som ska räknas med vid överväganden att ändra foderstater för att uppnå lägre klimatpåverkan (Olesen m.fl. 2018).

Att ta hänsyn till klimatpåverkan vid inköp av foder är fortfarande ett relevant krav att ställa.

Restprodukter från livsmedelsindustrin till foder ger ett foder med lågt klimatavtryck och därför är den befintliga regeln kring detta relevant för gris. Biprodukter till kor har studerats av Henriksson m. fl., 2019. Användningen av biprodukter, som i denna studie

© RISE Research Institutes of Sweden

utgjordes av torra produkter från livsmedelsindustrin, minskade behovet av mark och gav mindre bidrag till övergödning. För utsläppen av växthusgaser såg man ingen skillnad jämfört med vanligt kraftfoder baserat på spannmål och soja, men resultatet här berodde till stor del på vilken energikälla som används för torkningen.

Fodertillsatser för att minska metanutsläppen från idisslare

Metan från fodersmältning står för en avsevärd andel av utsläpp av växthusgaser från mjölkkor och andra nötkreatur. Flertalet studier har gjorts för att studera möjligheten att minska dessa utsläpp genom olika fodertillsatser, vilket redan beskrevs i underlagsrapporterna. Idag känner forskarna till vilka mikroorganismer som står för metanbildningen i vå̊mmen, men mycket är fortfarande okänt kring kopplingen mellan de olika grupperna och hur olika substrat påverkar hela mikroorganismsamhället. Det finns några kända samband mellan foder och metanbildning, exempelvis användning av fett eller tanninrika fodermedel i foderstaten och betydelsen av förhållandet mellan grovfoder och kraftfoder. Vad gäller tillsatser till foder för att hämma metanbildningen pågår studier, exempelvis med rödalger, men dessa är fortfarande på försöksstadiet och mer forskning behövs innan någon tillsats kan rekommenderas som en åtgärd för att minska klimatutsläppen. Många försök visar också större skillnader mellan individer än mellan foderstater, så det genetiska urvalet har också betydelse. Även här behövs mer forskning. (Danielsson, R., personlig kommunikation, oktober 2019).

9.2.3 Användning av energi

Inom djurhållningen används energi till foderberedning, utfodring, utgödsling, belysning, uppvärmning och ventilation, men beroende på produktionsinriktning skiljer det sig åt hur mycket energi som går åt, vilka energikällor som används och vilka möjligheter till förbättringsåtgärder som finns (Energimyndigheten, 2018, Elmquist, 2015 och Neuman, 2008). Bidraget från energiförbrukningen till animalieprodukters klimatavtryck är förhållandevis litet, så en minskning får enbart marginellt genomslag i klimatavtrycket. Se vidare avsnitt 9.3–9.7 nedan, som behandlar energiåtgång inom respektive djurslagsproduktion, samt i förekommande fall rekommendationer för regelutveckling. Se även Kapitel 5.1 som diskuterar energieffektivisering i stort samt Kapitel 5.2 som går igenom möjligheter till övergång till helt fossilfritt jordbruk.

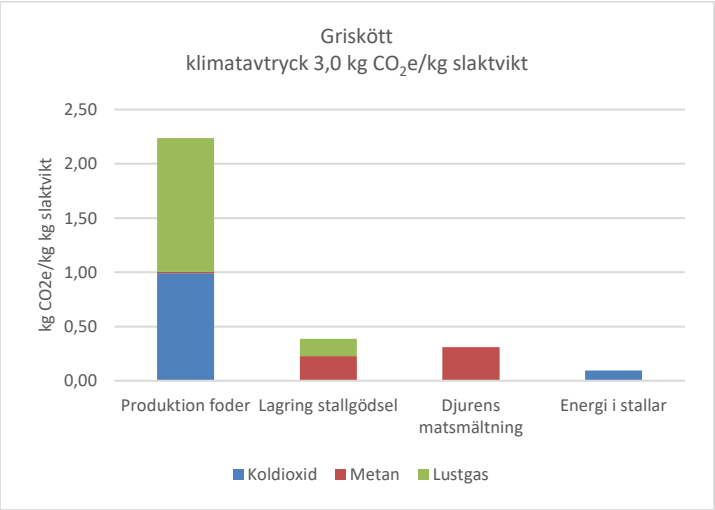
© RISE Research Institutes of Sweden

9.3 Åtgärder inom grisproduktion

9.3.1 Kunskapssammanfattning – gris

Beskrivningarna i underlagsrapporten för grisproduktion som skrevs vid framtagandet av IP standardens klimatmodul är i stort sett gällande än idag (Sonesson m.fl. 2009b).

Inom grisproduktionen dominerar utsläppen från foderproduktion samt hantering och användning av stallgödsel. I Figur 8 visas klimatavtrycket för svenskt griskött uppdelat på olika bidrag och växthusgaser enligt Moberg, m.fl., 2019.



Figur 15. Klimatavtryck för griskött (slaktvikt) producerat i Sverige (Moberg m.fl., 2019).

Inom grisproduktion är lutsgasemissioner från foderodlingen den enskilt största utsläppsposten av växthusgaser, vilket gör att den totala kväveeffektiviteten är en avgörande faktor för nivån av klimatpåverkan (Sonesson m.fl. 2009b). Dessutom är utsläppen av koldioxid i foderodlingen också stor, vilket gör att valet av foder har stor betydelse.

Djurhälsa

En hög produktionseffektivitet är viktigt för ett minimerat klimatavtryck från grisproduktion och möjliggörs i besättningar med god djurhälsa. Hög dräktighetsgrad, låg dödlighet, låg rekryteringsprocent för suggor och fler avvanda kultingar per sugga är nyckeltal som sammantaget gör att produktionen av griskött ökar med samma antal suggor. Därmed fördelas suggornas (inklusive rekryteringens) klimatavtryck på fler kilo kött. Detta även om hänsyn tas till ett ökat foderbehov för suggor som producerar fler kultingar (Sonesson m.fl., 2014; Göransson m.fl., 2014).

Foder

Eftersom foder står för den dominerande delen av grisens miljöpåverkan är det viktigt att sträva efter användande av klimateffektiva foderråvaror och att begränsa foderspill och överutfodring. Grisar klarar sig i allmänhet utmärkt på enbart närproducerade råvaror som spannmål, rapsmjöl, trindsäd och biprodukter från etanoltillverkning (drank) under förutsättning att fodret kan kompletteras med rena aminosyror (industriellt fram-

© RISE Research Institutes of Sweden

ställda), framför allt lysin. Användning av renframställda aminosyror minskar behovet av proteinfoder, som har högre klimatavtryck än spannmål. Det innebär också att kvävehalten i gödseln blir lägre vilket ger lägre emissioner av ammoniak. Foderstaten bör bygga på åkerböna och ärter i första hand, vid behov kompletterat med drank och raps. Användning av biprodukter från livsmedelsindustri kan sänka klimatpåverkan (Sonesson m.fl., 2014; Göransson m.fl., 2014). Tidig skörd av vallfoder kan bidra till proteinförsörjningen inom grisproduktionen dock med en lägre produktion som följd och förluster av kväve till omgivande miljö ökar jämfört med dagens konventionella produktion[25]. Det pågår också intressant forskning att utvinna proteiner ur fleråriga grödor, proteiner som kan användas som foder till lantbruksdjur[26]. Fleråriga grödor har betydelse för potentialen till kolinlagring, se Kapitel 5.3.

Soja

I en rapport från Greppa Näringen har man slagit fast att en låg proteinhalt i fodret skonar båda grisarna och miljön. En onödigt hög proteinhalt i fodret ökar risken för exempelvis diarré. Även grisarnas andningsvägar kan påverkas negativt av en hög proteinhalt i fodret, då grisarna via urinen utsöndrar större delen av överskottsproteinet vilket påverkar ammoniakhalten i luften i stallarna (Göransson, 2011). Enligt data från ett pågående forskningsprojekt vid RISE är andelen sojamjöl i grisfoder i Sverige knappt 4 procent (av ts). Mer specifikt innehåller foder till smågris ingen soja medan innehållet i foder till suggor och tillväxtgrisar är drygt 6–7 procent, och till slaktgris knappt 3 procent. (B. Landquist, Pers. meddelande, november 2019).

Användning av energi

Medelvärdet för energiåtgången inom smågrisproduktion ligger på 51 kWh per smågris, och inom slaktsvinsproduktion uppgår energiförbrukningen till 0,4 kWh per kg slaktvikt. Inom smågrisproduktionen går mesta energiförbrukningen till uppvärmning, medan det inom slaktsvinsproduktion är ventilation som är största posten (Elmquist m. fl., 2015). Enligt Neuman (2008) utgörs energin inom både smågris- och slaktsvinsproduktion av en blandning av olika energislag som elenergi, eldningsolja och biobränsle. Dieselanvändningen uppgavs till endast omkring 1,5 procent. För att sänka energiåtgången inom smågrisproduktion föreslår Neuman (2009) regelbunden uppföljning och reglering av användandet av värmelampor och installation av tilläggstak ovanför kultingarnas liggplats för att hålla kvar värmen. Gällande åtgärder inom slaktsvinsproduktionen nämner Neuman (2009) vidare vikten av rengöring och översyn av fläktar, luftkanaler och tilluftsdon.

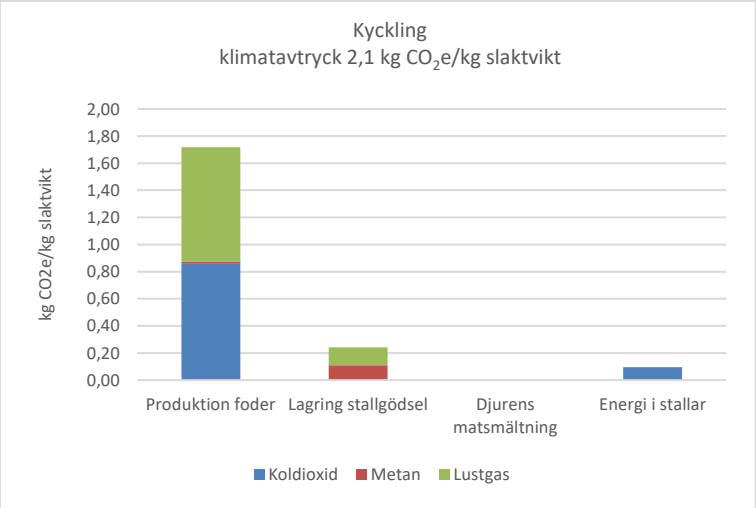
9.4 Åtgärder inom kycklingproduktion

9.4.1 Kunskapssammanfattning - Kyckling

Inom kycklingproduktionen dominerar utsläppen från foderproduktionen. I Figur 16 visas klimatavtrycket för svensk kyckling uppdelat på olika bidrag och växthusgaser.

[25] https://www.slu.se/institutioner/husdjurens-utfodring-vard/nyheter-huv/soja-till-husdjur/
[26] https://www.vgregion.se/f/naturbruk/kompetenscentrum/projekt/pagaende/green-valleys/

© RISE Research Institutes of Sweden



Figur 16. Klimatavtryck för kycklingkött producerat i Sverige, slaktvikt (Moberg m.fl., 2019)

Djurhälsa

God miljö i stallar, rätt strömedel och en väl balanserad foderstat skapar förutsättningar för god kvalitet (fukt, pH-värde) på ströbädden, vilket ger bättre djurhälsa och färre kassationer på grund av fotskador vid slakt. Torv eller annat absorberande strömedel minskar ammoniakavgången och bidrar till bättre djurhälsa. En nackdel är att kvävet kan blir mindre tillgängligt i stallgödseln.

Foder

Växthusgaser från kycklingproduktion domineras av utsläpp från odling av foder. Förutom en allmän effektivisering av foderproduktionen ligger den största möjligheten till sänkt miljöpåverkan i val av proteinfoder, där mindre soja och mer raps, åkerböna och drank kan ge ett lägre klimatavtryck (Sonesson m.fl., 2014, Wall m.fl., 2014). Användning av renframställda, syntetiska, aminosyror (ej tillåtet inom ekologisk produktion[27]) minskar behovet av proteinfoder, som har högre klimatavtryck än spannmål, och ger minskad kvävehalt i gödsel vilket ger lägre ammoniakemissioner. Användning av biprodukter från livsmedelsindustri kan sänka klimatpåverkan. Foderspill kan minskas genom effektivare foderstyrning och bättre teknik (Sonesson m.fl., 2014; Göransson m.fl., 2014).

En genomsnittlig foderstat till kyckling består av 15 procent sojabaserade produkter (Landquist och Nordborg, 2019). Inom kycklingproduktion är det jämfört med grisproduktion en större utmaning att ersätta soja med inhemska proteinrika grödor, eftersom de ofta innehåller antinutritionella substanser (ANS) som kan störa djurens upptag av näring. Dock har studier visat att det går att blanda in relativt höga nivåer av både rapsfrö och vitblommig åkerböna i pelleterade foderblandningar och därigenom minska sojaanvändningen. Tillgången på åkerböna har dock varit begränsad (Ivarsson m.fl., 2014).

[27] Se (EG) nr 834/2007 art. 14.1 d v https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:02007R0834-20130701&qid=1565600243378&from=SV

© RISE Research Institutes of Sweden

Musslor är en intressant proteinkälla till kyckling, eftersom de innehåller höga nivåer av aminosyran metionin men tillgången är i dagsläget begränsad[28].

Ventilation och inomhusklimat

Rening av ventilationsluften genom teknisk frånskiljning av ammoniak ger lägre indirekt lustgasbildning. Om kvävet kan användas minskar behovet av mineralgödsel (Sonesson m.fl., 2014; Göransson m.fl., 2014).

Användning av energi

De flesta kycklingproducenter har egna pannor, och majoriteten av dem eldas med flis eller halm (beroende på tillgång på lokala råvaror). Snittförbrukning hos medeluppfödaren i Sverige: 0,35 kWh/kg slaktvikt. Uppvärmning av stallarna är den post som står för största delen, drygt 80 procent, av energiåtgången (L. Waldenstedt, Svensk Fågel, pers. kommunikation, nov 2019). Slutsats är att det borde gå att införa krav på 100 procent förnybart.

9.5 Åtgärder inom mjölk- och nötkötts-produktion

9.5.1 Kunskapssammanfattning

Resultaten från underlagsrapporterna om växthusgasutsläpp från mjölk- och nötkötts-produktion (Cederberg och Berglund, 2009, Sonesson m.fl. 2009c), som skrevs vid framtagandet av IP-standardens klimatmoduler är i stort gällande än idag. I Figur 17 visas klimatavtrycket för nötkött och mjölk uppdelat på vilka aktiviteter som orsakar utsläppen och vilka växthusgaser de består av. Mjölk- och nötköttsproduktionens klimatpåverkan domineras av utsläppen av metan från foderomsättning i djuren, produktionen av foder samt hantering och användning av stallgödsel.

Djurhälsa och avel

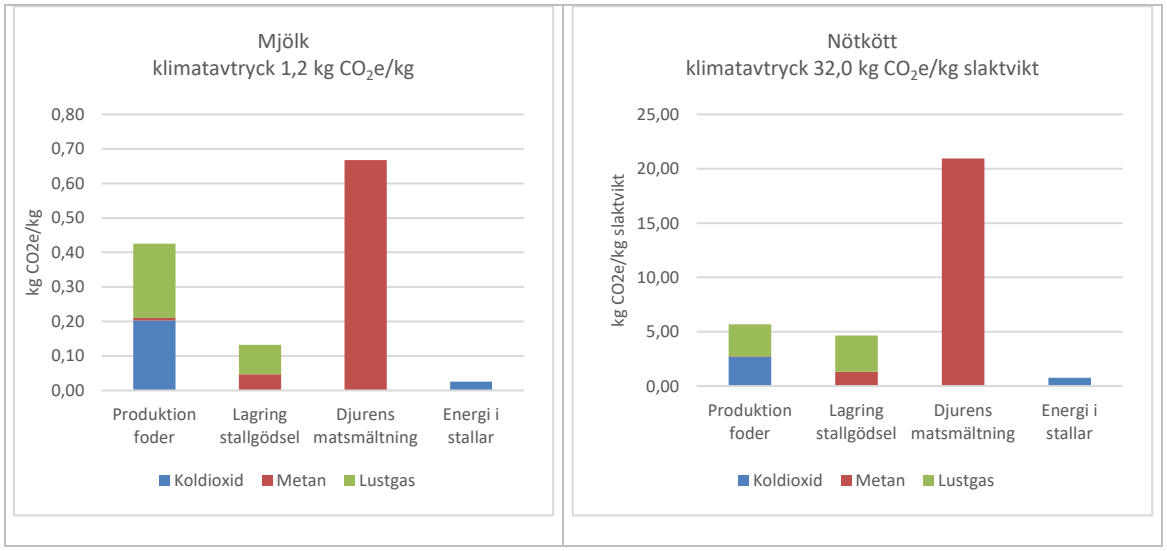
Att hålla en hög produktionseffektivitet är av vikt för att hålla nere miljöpåverkan. Ökad avkastning per ko genom avel, noggrann tillsyn och ”djuröga” är viktigt men får inte ske på bekostnad av djurhälsa. Låg inkalvningsålder och dödlighet hos kalvarna är positivt ur miljösynpunkt för att moderdjurets klimatbelastning ska kunna fördelas på fler kilo kött eller mjölk. Väl genomtänkt stalldesign, val av strömedel och noggrann tillsyn skapar goda förutsättningar för friska djur. Frånvaro av sjukdomar leder i sin tur till låg användning av antibiotika och mindre mängd karensmjölk. (Sonesson m.fl., 2014; Göransson m.fl., 2014, Hessle m.fl., 2014).

Inom mjölkproduktionen finns möjlighet att använda könssorterad sperma, vilket garanterar en kvigkalv vid varje inseminering. Antalet rekryteringsinseminationer minskar därmed, då ungefär hälften av inseminerningarna kan täcka behovet för nyrekryteringar i mjölkproduktionen. Därmed blir det lättare för producenten att styra aveln och kan på ett bättre sätt välja ut de kor som ska ingå i aveln och inseminera dem med

[28] https://www.slu.se/institutioner/husdjurens-utfodring-vard/nyheter-huv/soja-till-husdjur

© RISE Research Institutes of Sweden

könssorterad sperma. Dock är kostnaden för könssorterad sperma högre än för vanliga spermiedoser. Att producenten är garanterad en kvigkalv gör det möjligt att använda köttrasspermie på resterande kor i besättningen för att öka tillväxten på kalven och få högre slaktvikt jämfört med inseminering med spermie från mjölkraser (Sonesson m.fl., 2014; Göransson m.fl., 2014, Hessle m.fl., 2014).



Figur 17. Klimatavtryck för svenskt nötkött (slaktvikt) samt svensk mjölk (Moberg m.fl., 2019).

Foder

Nötköttsproduktionens klimatpåverkan domineras av utsläpp från fodersmältningen samt foderproduktionen och stallgödselhantering. Även om man räknar bort metanets klimatpåverkan så har 1 kg nötkött högre klimattal än 1 kg griskött. Att välja rätt foderråvaror och jobba för effektiv foderodling, minskat svinn och bra fodereffektivitet är alltså viktigt (Sonesson m.fl., 2014; Göransson m.fl., 2014, Hessle m.fl., 2014).

Bland nötkreaturen är det mjölkkorna som konsumerar de stora mängderna proteinfoder. Ändå utgör soja bara knappt 2,5 procent av deras genomsnittliga foderstat. Enligt flera försök är det möjligt att ersätta sojaprodukter med svenskproducerat proteinfoder. Vallbaljväxter (till exempel klöver och lusern), raps, ärter och åkerbönor är de proteinfoder som främst går att ersätta sojan med, men det går även att använda biprodukter från tillverkning av alkoholhaltiga drycker (drank från etanol och drav från öl)[29].

I Sverige har forskningen visat att det går att ersätta sojan med egenodlade åkerbönor och uppnå en positiv effekt på lönsamheten, inte bara i utfodringen utan även i växtodlingen (Greppa Näringen, 2019; Gustafsson, 2017). Även flera internationella studier har visat att det går att ersätta soja med andra proteinkällor, till exempel genom tillsats av urea i fodret till köttdjur (Benedeti m.fl., 2014). Jordnötskaka (Dias m.fl., 2018) och bomullsmjöl (Martins m.fl., 2017) kan ersätta sojamjöl i foderstat till mjölkkor utan att påverka produktionen. Enligt rapporter från SLU är praktiska frågor kring foderhanteringen på gården, oro för sänkt mjölkproduktion och hygieniska problem med salmonella främsta orsaker till att de inhemska proteinfodren inte har slagit igenom

[29] https://www.slu.se/institutioner/husdjurens-utfodring-vard/nyheter-huv/soja-till-husdjur/ och https://www.slu.se/fakulteter/vh/forskning/forskningsprojekt/not/forbattrat-utnyttjande-av-regionalt-odlade-proteinfoder/

© RISE Research Institutes of Sweden

inom svensk mjölkproduktion (Eriksson, 2019; Carlsson och Gustafsson, 2019; Elving, 2019; Jonsson, 2019).

Oron för att inhemska proteinfoder som raps skulle leda till sänkt mjölkproduktion jämfört med soja verkar dock obefogad enligt flera forskningsrapporter. En större utmaning är att hålla jämn proteinhalt i egenproducerat foder. Det finns bättre förutsättningar för industripelleterat proteinkraftfoder att hålla en jämn kvalitet jämfört med foder processat på den egna gården. Det finns därför behov av uppföljning och styrning av utfodringen av proteinfoder processat på egna gården för att undvika underutfodring med sänkt avkastning som följd, eller kostsam överutfodring med risk för kväveförluster till omgivningen[30].

Det finns sammantaget belägg för att det är en både ekonomiskt och miljömässigt lönsam omställning att använda inhemskt proteinfoder inom mjölkproduktionen.

Utsläpp av metangas

En stor utmaning när det gäller att minska nötköttsproduktionens klimatpåverkan ligger i utsläpp av metan från djurens foderomsättning. Då metanemissionerna per dag ökar relativt lite med snabbare tillväxt så innebär en mer intensiv uppfödning lägre klimatavtryck per kg kött. På samma sätt innebär lägre inkalvningsålder och lägre dödlighet att mindre metan släpps ut då varje enskild ko under sitt liv hinner producera fler kalvar som når slaktålder, vilket då ger lägre klimatavtryck per kg kött.

Detsamma gäller för mjölkproduktionen, där lägre inkalvningsålder, lägre dödlighet, högre avkastning och lägre rekryteringsprocent, som vi nämnt ovan ger totalt sett färre djur som föds upp. Vilket ger mindre foderbehov, mindre gödsel och mindre metanutsläpp för hela systemet och därmed lägre klimatavtryck per kg mjölk. Oavsett produktionsgren kräver dessa åtgärder mycket skickliga djurskötare och sannolikt även tekniska hjälpmedel. Se även Kapitel 9.2.2 för diskussion kring möjligheten att sänka metanutsläpp från djurens foderomsättning genom tillsatser i fodret.

Slaktålder

Inga nya fakta kring slaktålderns påverkan på miljön har framkommit sedan underlagsrapporterna skrevs 2009, och därför ser vi inga skäl till att ändra gällande regler inom IP-standardens klimatmodul.

Betesgång

Det finns en konflikt mellan klimatavtryck och biologisk mångfald (hävd av naturbetesmarker). Att utnyttja nötkreatur för att hävda naturbetesmarker på ett bra sätt innebär lägre tillväxthastighet vilket ger högre klimatavtryck. Om man vill maximera arealen väl hävdad naturbetesmark måste tjurkalvarna kastreras vilket minskar tillväxthastighet och fodereffektivitet. Fler djur på bete innebär också minskade möjligheter att utnyttja stallgödseln som gödselmedel eller som substrat till biogas. Dessutom högre kväveförluster i form av ammoniak. Se även Kapitel 5.3 för diskussion kring möjligheter för kolinlagring i mark kopplat till betesgång.

[30] https://www.slu.se/fakulteter/vh/forskning/forskningsprojekt/not/forbattrat-utnyttjande-av-regionalt-odlade-proteinfoder/

© RISE Research Institutes of Sweden

Användning av energi

Inom mjölkproduktion uppgår energianvändningen till i snitt 0,17 kWh/kg producerad mjölk. Medeltalet för ekologisk produktion är 0,18 kWh/kg mjölk och för konventionell mjölk 0,16 kWh/kg mjölk. Det något högre medeltalet i den ekologiska mjölkproduktionen är troligen en följd av att genomsnittliga avkastningen per ko är lägre än i den konventionella produktionen (Elmquist m.fl., 2015). Inom mjölkproduktionen går mycket energi åt till mjölkning. Elen används främst till kylning av mjölk i mjölktanken, vakuumpumpar och uppvärmning av diskvatten (Energimyndigheten, 2018).

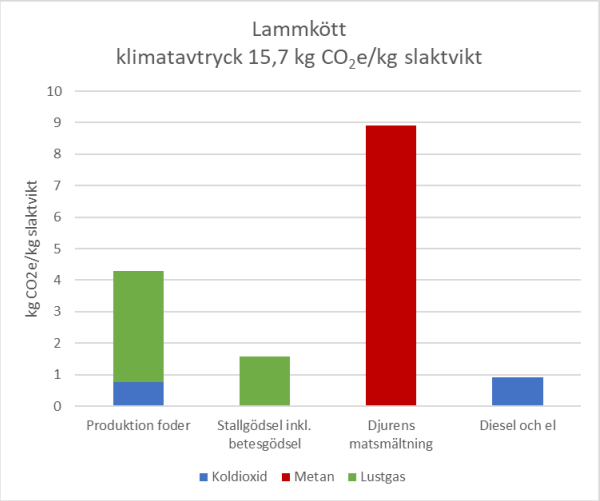
Många mjölkgårdar använder mycket diesel för utfodring. Orsaker till hög förbrukning är långa transporter, mindre bra foderlogistik, gamla traktorer och okunskap om sparsam körning. De som har högst energianvändning per kg mjölk kännetecknas ofta av att de har en traktordriven mixervagn, vilken har mycket låg verkningsgrad jämfört med elmotorn (Elmquist m.fl., 2015).

Vi har inte hittat data för medelförbrukning av energi inom nötköttsproduktion. Enligt Elmquist m. fl. (2015) är det svårt att beräkna ett enhetligt nyckeltal för energiförbrukning på grund av att produktionen av nötkött ser så olika ut. Det är stor skillnad mellan köttras- och mjölkrasuppfödning, där köttrasdjur har betydligt högre slaktutbyte än mjölkrasdjur. Insättningsåldern är olika mellan olika företag och det har stor betydelse om man föder upp tjurar, stutar eller kvigor.

9.6 Åtgärder inom får- och lammkötts-produktionen

9.6.1 Kunskapssammanfattning

För får- och lammproduktion är det mycket begränsat med litteratur kring åtgärder som undersöker möjliga utsläppsminskningar. En livscykelanalys som gjordes 2012 är den senaste och i Figur 18 visas klimatutsläppen (Wallman m. fl, 2012). Liksom för nötkött domineras utsläppen av metan från fodersmältningen, foderproduktion och stallgödsel.



Figur 18. Klimatavtryck för svenskt lammkött (slaktvikt). Sammanställt efter Wallman m.fl., 2012.

© RISE Research Institutes of Sweden

Som för övriga djurslag är det viktigt med en god djurhälsa och bra produktionseffektivitet. Det finns inga undersökningar som visar på skillnader mellan olika uppfödningssystem som exempelvis höst-, vinter- och vårlamning.

Vår bedömning är att åtgärderna som är relevanta för nötköttsproduktion även är relevanta för lammproduktion.

9.7 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar

Baserat på aktuell forskning dras slutsatsen i den här rapporten att materialet i de underlagsrapporter som togs fram vid skapandet av nuvarande regler för IP-standardens klimatmodul gällande animalieproduktion fortsatt är aktuella och relevanta. Nedan följer förslag och rekommendationer för möjlig regelutveckling baserat på aktuell forskning och kunskapsnivå. Åtgärder inom lagring och spridning av stallgödsel diskuteras i Kapitel 9.

Foderproduktionen står för stora delar av miljöpåverkan inom animalieproduktionen och här följer några förslag till ytterligare krav för att skärpa reglerna.

Som reglerna är utformade idag ska foder som odlas på gården vara klimatcertifierat. Det ultimata kravet att ställa är att allt foder ska vara klimatcertifierat enligt Sigill. Då säkerställer man att odlingen skett med minsta möjliga klimatpåverkan. Mot detta talar att det troligen inte finns så många klimatcertifierade varor på marknaden, men det skulle kunna vara ett övergående problem om klimatcertifieringen får genomslag och blir en ännu mer efterfrågad märkning. Ett annat problem är att klimatcertifieringen är ett svenskt regelverk, så det går inte i dagsläget att ställa detta krav på importerade foderprodukter. Ett undantag från regeln för importerade produkter kan riskera att svenskproducerade produkter väljs bort om det exempelvis blir billigare att importera, vilket är kontraproduktivt både för svenskt lantbruk och för klimatpåverkan.

Det finns redan en regel för mjölk, nöt och kyckling att inköpt spannmål bör vara gödslad med N-mineralgödsel med låga produktionsutsläpp av växthusgaser. Detta bör ändras till ett skall-krav och dessutom gälla även för gris.

För grovfoder finns ett krav på mätning och uppföljning av fodersvinn och detta bör införas även för kraftfoder. Det borde redan finnas tillräckliga ekonomiska incitament hos lantbrukarna att hålla nere förbrukningen, och därmed kostnaderna för kraftfoder inom produktionen, men det kan poängteras att det är viktigt även ur klimatsynpunkt.

Det är ett klimatsmart alternativ att använda biprodukter som foderråvaror och detta skulle kunna premieras på något lämpligt sätt. Det finns redan krav på att användning av biprodukter ska övervägas inom IP-standardens klimatmodul för grisproduktion, men forskningen visar på möjligheten att inkludera rest- och biprodukter i foderstaten till flera djurslag. Användning av biprodukter förutsätter dock att det finns en livsmedelsindustri som levererar biprodukter inom rimligt avstånd från animalieproduktionen.

© RISE Research Institutes of Sweden

Användningen av soja- och oljepalmprodukter bör regleras för att säkerställa omställning till hållbar produktion. Ursprungsland bör väljas med omsorg med tanke på risken för avskogning i känsliga områden. Den regel som Sigill nyligen infört rörande soja i foder inom nöt- och mjölkproduktion (kontrollpunkt 7.7K), innebär att den soja som används inte får härstamma från Sydamerika och Sydostasien, vilket är ett viktigt steg mot en mer ansvarsfull användning. Vi kommer sannolikt (förhoppningsvis) att se en utveckling mot mer hållbar produktion av soja i områden som lämpar sig för detta. Soja är dock ett känsligt ämne som tål att diskuteras och regelverk bör hållas uppdaterade allteftersom kunskapen ökar och förutsättningar ändras. Som förslag kan det vara lämpligt att se över formuleringen av kravpunkter inom IP Sigill Klimat rörande soja i foder till samtliga djurslag, så dess innebörd i mesta möjliga mån stämmer överens.

I nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul för gris-, mjölk-, nötkött- och lammproduktion finns det krav på att en viss andel av fodret ska vara producerat på den egna gården eller i samverkan med närliggande växtodlingsgård. Det har dock kommit frågor kring hur regeln ska tolkas och om regeln ska finnas kvar. Frågan diskuteras närmare i Kapitel 10.2.2.

Olika metoder för precisionsodling kan vara aktuellt för animalieproduktionen, exempelvis att logga maskindata för traktorer som används för foderhantering (se Kapitel 6.3).

Möjliga utsläppsminskningar med de föreslagna åtgärderna för foder är komplext att beräkna framför allt eftersom det är svårt att definiera ett utgångsläge. När klimatcertifieringen infördes uppskattades att odling enligt det nya konceptet skulle minska klimatavtrycket för höstvete av kvarnkvalitet, höstraps och matpotatis med 10–15 procent jämfört med normalproduktion där klimatavtrycket för mineralkvävegödsel var ett viktat genomsnitt av klimatavtrycket för gödsel på den dåvarande svenska marknaden. Detta kan antas gälla även foderproduktion. Som en tumregel kan man räkna med att om klimatavtrycket för foder minskar med 10 procent, minskar klimatavtrycket för gris och kyckling med 8–9 procent och för nöt med 2 procent (beräkningar baserat på Moberg m. fl. 2019).

© RISE Research Institutes of Sweden

10 Åtgärder inom lagring och spridning av stallgödsel och andra organiska gödselmedel

I detta kapitel diskuterar vi lagring och spridning av stallgödsel och andra organiska gödselmedel samt biogasproduktion från stallgödsel. Fokus ligger på lagring av flytgödsel från gris och nöt (även rötad) samt spridning av gödselmedlen eftersom den mesta forskningen sker inom dessa områden, och det därmed är inom dessa områden vi kan hitta mest kunskap och förslag på åtgärder. Vi har också valt att göra en djupare beskrivning av mekanismerna som styr emissioner av växthusgaser med fokus på lagring av flytgödsel och rötrester, eftersom detta var tunt beskrivet i underlagsrapporterna.

I genomgången ingår inte fraktioner av avloppsslam eftersom de inte får användas i växtodlingen enligt IP-standarden.

10.1 Nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul

De nuvarande reglerna för stallgödsel skiljer sig något åt mellan de olika produktionsgrenarna men omfattar:

- Urin och flytgödsel får inte höstspridas till höstsådd spannmål.
- Ingen bredspridning av flytgödsel i växande spannmål och oljeväxt.
- Nedbrukning alternativt myllning inom 4 timmar (ej för djupströ).
- Krav på analys av innehåll av lättillgängligt kväve.
- Torkad stallgödsel får bara användas om energikällan är 100 procent förnybar.
- Vad gäller lagring av gödsel, finns i nuläget bara regler för gris: Flytgödsellager bör täckas med duk eller tak.

I IP-standardens grundmoduler finns det också regler för spridning och lagring av gödselmedel, exempelvis för Spannmål och oljeväxter och för Gris. Dessa regler analyseras inte denna rapport.

I förstudien (Landquist 2017) gjordes en genomgång av alla nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul. Där fastslås att regeln kring höstspridning av urin och flytgödsel kan vara kvar, likaså regeln kring nedbrukning/myllning av stallgödsel. Vissa modifikationer i formuleringar gavs som förslag, samt förslag om en ny regel kring myllning av stallgödsel i vall.

Även regel kring analys av stallgödsel föreslås vara kvar av Landquist, dock behöver provtagningsrutiner ses över. Det finns andra organiska gödselmedel, exempelvis biogödsel (rötrest från biogasproduktion). Det behöver utredas hur man säkerställer växtnäringsinnehållet i dessa. Regeln bör eventuellt omformuleras till att gälla även dem.

© RISE Research Institutes of Sweden

Även regeln att torkad stallgödsel ska vara torkad med 100 procent förnybar energi rekommenderas vara kvar, med rekommendation att regeln skulle utvidgas till att omfatta även andra torkade produkter, till exempel animaliska biprodukter.

10.2 Kunskapssammanfattning

10.2.1 Emissioner från lagring av stallgödsel och andra organiska gödselmedel

Vid lagring av stallgödsel och andra organiska gödselmedel kan det ske utsläpp av växthusgaserna metan och lustgas, samt utsläpp av ammoniak som i sin tur kan omsättas till lustgas. Metan står oftast för merparten av växthusgasutsläppen (metan och lustgas) vid lagring av flytgödsel (läs mer i bilaga 2). Emissionerna av dessa tre gaser samspelar, och de påverkas till stor del av samma miljöfaktorer och egenskaper hos gödseln, kopplade till fysik, kemi och mikrobiologi.

Det som står i de tidigare underlagsrapporterna stämmer i stort fortfarande, men kunskapsmassan har ökat och detaljeringsgraden förbättrats vilket till viss del påverkar synen på åtgärder och vilka rekommendationer som kan ges. Det har också kommit nya rapporter där man belyser hur olika åtgärder påverkar hela gödselkedjan, från foder/djur till spridning, och deras samlade effekter på emissionerna av alla tre gaser.

Metan: Metan bildas när organiskt material bryts ner av mikroorganismer anaerobt, det vill säga utan tillgång till syre. Metan kan därmed bildas i flytgödsel som i princip är syrefri, och även när syretillförseln i fast- och djupströgödsel är begränsad till följd av dålig struktur och/eller snabb kompostering som förbrukar mycket syre.

Temperatur i gödsellagret är en faktor som har stor inverkan på metanbildningen vid lagring av gödsel; ju högre temperatur desto större metanbildning (exponentiellt samband) (Berglund, 2014; Rodhe m.fl., 2018). Metanavgången är generellt låg vid låga temperaturer, men någon absolut temperaturgräns för när metanproduktionen upphör har inte påträffats. Mätningar som gjorts av metanavgången från flytgödsellager i kalla klimat tyder på lägre metanavgång under den kalla delen av året än under den varma årstiden (Rodhe m.fl., 2012; Wood, 2013).

Metanbildningen är en relativt långsam process, så ju längre lagringstid desto mer organiskt material bryts ner och desto mer metan bildas. Långa lagringstider innebär även att mer gödsel och mer organiskt material kommer att finnas i lagren varje given tidpunkt, vilket kan ge mer metan.

De metanbildande mikroorganismerna växer långsamt, vilket innebär att metanproduktionen kan vara högre i ett lager där färsk gödsel blandas med och därmed ympas med lagrad gödsel än från ett lager med färsk gödsel som inte blandats med mikroorganismer från lagrad gödsel. I praktiken kommer det dock alltid finnas en ymp i flytgödsellager eftersom de aldrig töms helt. Ympens betydelse har också börjat diskuteras mer när det gäller metanemissioner från lagring av rötad gödsel. Rötningsprocessen innebär en stor uppförökning av metanbildande mikroorganismer, men de är anpassade till temperaturen i rötkammaren (ofta cirka 37–42 °C) och frågan är vilken betydelse de har för metanbildningen i lagret.

© RISE Research Institutes of Sweden

Det organiska materialets kvalitet har också betydelse för hur mycket metan som kan bildas i gödsellagren. Lättomsättbart material bryts ner relativt snabbt, medan lignin och andra svårnedbrytbara organiska ämnen knappt bryts ner anaerobt. Fett ger mer metan per kg än vad proteiner och kolhydrater gör. Gödselns sammansättning styrs av djurslag och vilket foder djuren får, mer om det senare.

De metanbildande mikroorganismerna är känsliga för lågt pH, och vid låga pH-värden avstannar metanproduktionen.

Allt metan som bildas i gödsellagren kommer dock inte nå atmosfären. Metan som bildats i ett lager med flytgödsel kan oxideras (brytas ner) när metanet passerar genom svämtäcket. Detta har uppmärksammats och undersökts mer de senaste åren. Svämtäckenas egenskaper varierar dock, vilket även påverkar deras förmåga att oxidera metan. Det måste finnas syre i svämtäcket för att metanet ska kunna oxideras, och därför skulle ett tjockare svämtäcke som är lagom fuktigt kunna vara fördelaktigt. Höga halter nitrit och ammoniak i svämtäcket kan dock hämma de metanoxiderande bakterierna (Duan m.fl., 2017). Danska laboratoriestudier med svinflytgödsel tyder även på att ett äldre svämtäcke har bättre oxiderande förmåga än ett färskt svämtäcke (Nielsen m.fl., 2013).

Slutsats metan: Ur metansynpunkt är det alltså fördelaktigt att flytgödsel lagras vid låg temperatur och under kort tid. I Sverige har vi fördelar av låga utomhustemperaturer vintertid och av att frekvent utgödsling är standard. Ur metansynpunkt är det också fördelaktigt om mängden gödsel i lagren sommartid är liten. Ett exempel på att temperatur och mängd gödsel i lager fått mer uppmärksamhet är IPCC:s uppdaterade riktlinjer för klimatrapportering. Där finns det nu en Excelmodell som man kan använda för att anpassa beräkningarna av metanemissioner från flytgödsel utifrån hur temperaturen och mängden gödsel i lagret varierar över året (IPCC, 2019).

Lustgas: Lustgas bildas när kväve omsätts av mikroorganismer, dels vid nitrifikation, dels vid denitrifikation. Vid nitrifikation omvandlas ammonium till nitrat, och processen förutsätter tillgång till syre samt ammoniak/ammonium. Vid denitrifikation omvandlas nitrat till olika gasformiga kväveföreningar. Processen sker i flera steg där lustgas är en av mellanprodukterna och kvävgas är slutprodukten. Denitrifikation sker om syretillgången är begränsad. Om det är helt syrefritt går processen hela vägen till kvävgas, men om det finns viss tillgång på syre kan en del av lustgasen som bildats avgå till atmosfären. Denitrifikation kräver tillgång till nitrat och därmed att det först skett en nitrifikation. Är det helt syrefritt kan det inte ske någon nitrifikation och därmed inte heller någon denitrifikation.

Lustgasbildningen styrs av tillgången till kväve (ammoniumkväve), syre och organiskt material. Lustgasbildningen gynnas om det både finns syrerika zoner, vilket är en förutsättning för att nitrifikation ska kunna ske, och syrefattiga zoner, vilket är en förutsättning för denitrifikationen. Sådana förhållanden kan finnas i svämtäcket på flytgödsel och i fastgödsellager. Flytgödsel utan svämtäcke har inte dessa syrerika zoner, och lustgasavgången från flytgödsel utan svämtäcke är normalt försumbar (Chadwick m.fl., 2011).

Vattenhalten i svämtäcket och dess karaktär påverkar lustgasbildningen. Om ytan är torr kan det bli relativt höga emissioner (Berg m.fl., 2006; Chadwick m.fl., 2011; Wood, 2013). Hög torrsubstanshalt kan ge en snabbare bildning av svämtäcket och att det blir torrare i ytan, vilket skulle kunna ge högre lustgasemissioner (Wood, 2013). Torr-

© RISE Research Institutes of Sweden

substanshalt och kväveinnehåll följs dessutom ofta åt så att flytgödsel med hög torrsubstanshalt kan innehålla mer kväve som potentiellt kan omvandlas till lustgas.

Temperaturen har mindre betydelse för lustgasavgången från lagring av stallgödsel än vad den har för metanavgången (Clemens m.fl., 2006). Lustgasavgången kan vara något högre när temperaturen stiger, men blir det för varmt är lustgasbildningen låg. Detta har bland annat visats i mätningar av lustgasemissioner från djupströgödsel, där lustgasavgången är låg i början av komposteringsprocessen, för att sedan öka när temperaturen sjunker (Chadwick m.fl., 2011).

Slutsats lustgas: Det sker alltså viss lustgasavgång från gödsel- och rötresthantering, och då framför allt från svämtäcken på flytande gödselslag och från lagring av fasta gödselslag. Den mesta lustgasen från gödselhanteringen kommer dock oftast från mark som tillförts gödseln (Rodhe m.fl., 2005; Montes m.fl., 2013). I de mätningar som gjorts i Sverige har man generellt sett mycket låga lustgasemissioner från lagring av rötad och orötad gris- och nötflytgödsel. Emissionerna var många gånger knappt mätbara, emissionstoppar sågs bland annat från gödsel med svämtäcke i samband med regn (Rodhe m.fl., 2018). I dessa försök var de kumulativa lustgasemissionerna betydligt lägre än vad de skulle varit om de hade beräknats enligt IPCC:s guidelines och i Sveriges klimatrapportering.

Ammoniak: En stor del av kväveförluster från stallgödsellager sker som ammoniakförluster. Dessa förluster har betydelse för klimatet ur två perspektiv, i) en del av ammoniaken som förloras kan senare omvandlas till lustgas, vilket kallas indirekta lustgasemissioner i klimatrapporteringen, och ii) stora ammoniakförluster innebär att mindre kväve finns tillgängligt för grödorna och om detta kompenseras genom högre givor mineralgödsel medför det ökade växthusgasutsläpp från tillverkning av mineralgödsel. I praktiken är det dock svårt att avgöra vilken betydelse ammoniakförlusterna har för mineralgödselsgivan eftersom det är svårt att uppskatta hur stora de faktiska förlusterna vid spridning är och för mineralgödselgivan finns det även andra faktorer som styr.

Kvävet i stallgödsel och rötrest förekommer dels som organiskt bundet kväve, dels lösligt som ammoniak (NH_3) eller ammonium (NH_4^+). Det är ammoniak som kan avgå till atmosfären. Det råder en kemisk jämvikt mellan ammonium och ammoniak i gödseln. Jämvikten förskjuts om pH-värdet ändras. Vid sänkt pH-värde föreligger en större andel av kvävet som ammoniumkväve, vilket innebär att tillsats av syra och därmed sänkt pH minskar ammoniakförlusterna eftersom den kemiska jämvikten förskjuts från ammoniak mot mer ammonium (Berg m.fl., 2006).

Det råder även en jämvikt mellan ammoniakkoncentrationen i luften ovanför gödselytan och i gödseln. Vid stora luftväxlingar över gödselytan kan stora mängder ammoniak avdunsta, vilket även driver att ammonium löst i vätskan övergår till ammoniak. Åtgärder för att minska luftväxlingen över gödseln, till exempel med tak, minskar risken för ammoniakemissioner.

Ammoniakavgången är också lägre om det finns ett svämtäcke än om ytan är blank. Svämtäcket fungerar som en fysisk barriär mellan gödseln och atmosfären, och hindrar därmed diffusion av ammoniak från gödseln till atmosfären (Wood, 2013). Ny forskning visar även att mikroorganismer i svämtäcket dessutom kan oxidera ammoniak (Nielsen m.fl., 2010).

© RISE Research Institutes of Sweden

Temperaturen påverkar också ammoniakemissionerna. Sänkt temperatur minskar ammoniakförlusterna.

Riskerna för ammoniakförluster kan vara högre från rötad gödsel än från orötad gödsel eftersom organiskt bundet kväve omvandlas till ammonium i rötningsprocessen och därmed ökar mängden ammoniumkväve, att pH stiger i rötningsprocessen och att svämtäcket kan vara sämre på rötad gödsel än orötad gödsel.

Emissioner vid spridning

Det finns risk för lustgasbildning i mark i samband med gödsling eftersom koncentrationen av kväve blir hög. Efter kvävegödsling uppstår ofta en kortvarig förhöjning av lustgasavgången. Omfattningen påverkas av en rad faktorer som markförhållanden, mängd tillfört kväve och hur snabbt kvävet kan tas upp av en gröda. (Henriksson m.fl., 2015)

Snabb nedbrukning vid spridning av organiska gödselmedel är fördelaktigt för att minska ammoniakemissionerna och då även de indirekta lustgasemissionerna. Nedbrukning och myllning av flytgödsel kan dock ha olika effekt på lustgasbildningen i mark beroende på markförhållanden. Vid djup nedbrukning eller spridning med exempelvis myllningsaggregat finns det risk att gödseln hamnar i mer syrefattiga miljöer vilket kan gynna lustgasbildningen. Myllning ger dock väsentligt minskade ammoniakemissioner och därmed indirekta lustgasemissioner, vilket gör att den sammanlagda effekten av myllning av gödsel kan vara fördelaktig ur emissionssynpunkt. (Henriksson m.fl., 2015)

Några fältförsök tyder på att lustgasavgången från mark kan vara lägre efter spridning av rötad gödsel än av obehandlad gödsel, vilket bland annat skulle kunna bero på att det finns mindre lättomsättbart organiskt material i den rötade gödsel (Chadwick m.fl., 2011). De denitrifierande mikroorganismerna behöver organiska materialet som energikälla. I rötningsprocessen bryts mycket av det lättomsättbara organiska materialet ner, och är därmed inte längre tillgängligt för mikroorganismerna. I andra försök syns ingen skillnad i lustgasavgång mellan led som gödslats med olika typer av organiska gödselmedel (Clemens m.fl., 2006).

10.2.2 Åtgärder

I följande kapitel går vi igenom olika åtgärder som har betydelse för utsläppen för lagring av stallgödsel och annan organisk gödsel. En del av dessa åtgärder beskrivs även i de så kallade BAT-slutsatserna, och vi kommenterar då detta. Stora fjäderfä- och grisproducenter som är tillståndspliktiga omfattas av krav i Industriutsläppsförordningen (ett EU-direktiv). Det innebär bland annat att de årligen ska redovisa hur deras verksamhet förhåller sig till de så kallade BAT-slutsatserna för gris- och fjäderfä (BAT = Bästa Tillgängliga Teknik). BAT-slutsatser är en sammanställning över de tekniker som bedömts vara bäst med tanke på att minimera de miljöpåverkande utsläppen från verksamheten (Giner Santonja m.fl., 2017). Vissa av dessa slutsatser har direkt eller indirekt betydelse för verksamhetens växthusgasutsläpp. BAT-slutsatserna har dock fokus på annan miljöpåverkan än klimat som ammoniakutsläpp och lukt, och därför är inte alla BAT-slutsatser direkt relevanta ur klimatsynpunkt.

© RISE Research Institutes of Sweden

Låg temperatur på gödseln

Att hålla så lite gödsel som möjligt i lager under de varma månaderna är avgörande för att hålla nere emissioner från gödsellagren. En förutsättning för att lyckas är att det finns goda möjligheter att sprida gödseln i samband med vårbruket utan att det ger negativ markpackning. Ur klimatsynpunkt är det även viktigt att gödseln sprids så att kväveförlusterna är små och att gödselns kväveinnehåll kan utnyttjas.

Frekvent (daglig) utgödsling är också ett sätt att snabbare sänka temperaturen i flytgödseln och minska emissioner av både ammoniak, metan och lustgas (Sajeev m.fl., 2018b). Det är dock redan den klart dominerande metoden i Sverige.

Beräkningar visar att värmeinstrålningen från solljus till gödsellager kan förklara största delen av gödselns uppvärmning på våren (Rodhe m.fl., 2018). Beskuggning av gödselytan, täckning av flytgödsellager med vitt tak eller att gräva ner gödselbehållare är åtgärder som reducerar emissionerna genom minskad uppvärmning av gödseln på våren och sommaren då majoriteten av utsläppen sker.

Täckning av gödsellager

Täckning av gödsellager påverkar emissionerna på flera olika sätt. Den kan vara ett fysiskt hinder för emissioner. Ett svämtäcke kan även fungera som ett biologiskt filter och bryta ner emissioner. Ett tak kan skugga lagret och därmed minska uppvärmningen av gödseln.

För ***flytgödsel*** är svämtäcke den vanligaste täckningsmetoden. Nyare forskning tyder på att svämtäckets egenskaper påverkar dess förmåga att oxidera metan, men även hur mycket lustgas som bildas. Erfarenheter från RISE försök är att porösa svämtäcken bör undvikas eftersom risken är stor att lustgas bildas (Rodhe m fl., 2018).

Svämtäcke bildas naturligt, men bildningen kan även behöva stimuleras genom att tillsätta till exempel halm eller fastgödsel i lagret.

Valet av strömedel har också betydelse för svämtäckets egenskaper, även om denna fråga inte är tillräckligt beforskad. Användning av finhackat halmströ som strömedel i stall med mjölkkor har i försök visat sig vara en åtgärd som kan skapa ett slätt och tätt svämtäcke på nötflytgödsel (Rodhe m fl., 2018). Detta förhindrar penetration av luft och därmed förhindras lustgasbildning. Än så länge saknas det undersökningar om hur finhackad halmströ i grisproduktion påverkar lustgasbildningen i svämtäcket. Det vore dock en relevant fråga att undersöka närmare eftersom grisflytgödsel med svämtäcke var ett av de gödselslag som gett betydande lustgasemission i försöken som gjorts i Uppsala (Rodhe m fl, 2018). Valet av strömedel måste dock styras av djurvälfärd och utgödslingssystem.

Etablering av svämtäcke kan vara problematisk i praktiken, exempelvis på gödsellager med stor yta (exempelvis laguner) där vind och nederbörd kan slå sönder svämtäcket. Detta är svårt att åtgärda på befintliga anläggningar, men kan beaktas vid nybyggnation.

Alla gödselslag är inte heller lika benägna att bilda svämtäcke. Rötad gödsel, rötrest och grisgödsel med lågt torrsubstansinnehåll är exempel på gödselmedel som inte bildar lika bra svämtäcke som till exempel nötflytgödsel. En åtgärd på sådana anläggningar skulle kunna vara att det ska finnas rutiner vid påfyllnad och tömning så att det svämtäcke som ändå finns inte bryts sönder. Rutinerna kan exempelvis handla om att omrörningen ska

© RISE Research Institutes of Sweden

ske utan att svämtäcket bryts sönder, och att påfyllning görs med så liten åverkan på svämtäcket som möjligt.

Täckning med tak eller duk är det bästa alternativet för att minska ammoniakemissioner från flytgödsellager, och kan även påverka metan- och lustgasemissionerna. I svenska försök har täckning av flytgödselbehållare med plastduk gett lägre utsläpp av metan än motsvarande behållare med svämtäcke av halm (i detta fall halm tillsatt i lagret, inte använt som strö) eller helt utan täckning (Rodhe, 2014).

I BAT-slutsatserna räknas täckning av flytgödsellager som bästa tillgängliga teknik för att minska ammoniakemissioner från lagring av flytgödsel. Det är då möjligt att välja mellan fast (till exempel tak), flexibel (till exempel duk) eller flytande täckning (till exempel svämtäcke).

Fastgödsel kan ha mycket varierande egenskaper beroende av djurslag, utfodring, stallsystem och strömedel. Studier visar dock att täckning med plastduk av fastgödselhögar effektivt minskar utsläpp av lustgas. Täckning minskar även metanutsläppen från högen, antagligen genom att förhindra den temperaturökning som följer av kompostering (Rodhe, 2014). Det finns även danska studier som visar att lufttät täckning av fiberfraktionen från gödselseparering (se nedan) kraftigt minskar metan- och lustgasemissionerna och även ammoniakemissionerna (Giner Santonja m.fl., 2017).

Täckning av fastgödsel beskrivs i BAT-slutsatserna, dock med fokus på ammoniakförluster och inte växthusgasutsläpp. Täckning av fastgödsel är framför allt tillämplig om gödseln torkas eller förtorkas i stall, och det kan vara svårt att tillämpa om gödselstacken fylls på ofta (Giner Santonja m.fl., 2017).

Utformning av gödsellager

Vid nybyggnation är det viktigt att gödsellagren utformas så att emissionerna minimeras. Viktiga saker att tänka på då är att lagren konstrueras och placeras så att vindhastigheten och luftväxlingen över gödselytan minimeras och att temperaturen i lagret kan hållas nere. Det kan till exempel handla om att lagren ska vara beskuggade och djupa.

Gödselseparering

Att mekaniskt separera flytgödsel (rötad eller obehandlad gödsel) i en fast och flytande fraktion kan ge fördelar, som bättre växtnäringsutnyttjande då den största delen av kvävet hamnar i den flytande fasen, samt lägre transportbehov. Den fasta fraktionen kan användas som strö men kan även rötas i en biogasanläggning, vilket ger klimatvinster i form av minskat behov av annat strö eller produktion av biogas. Det finns gårdar där man separerar rötad gödsel och sedan använder den fasta fasen som strömedel. Biogasutbytet från gödseln kan då öka eftersom fiberfasen kommer passera rötkammaren flera gånger.

En nackdel med att separera gödseln är att det inte bildas något svämtäcke över vätskefasen. Vid lagring av den fasta fraktionen gäller samma som för fastgödsel, att täcka med plast för att minimera lustgasutsläpp.

Än så länge finns det relativt få vetenskapliga studier om hur gödselseparering påverkar växthusgasutsläppen från gödselhanteringen. Själva separeringen verkar inte ge några direkta växthusgasutsläpp (Holly m.fl., 2017), utan effekten beror på fraktionernas egenskaper och hur de lagras. Mätningar visar att växthusgasutsläppen (lustgas plus metan)

© RISE Research Institutes of Sweden

från stallgödselhanteringen kan minska genom gödselseparering (Petersen m.fl., 2013; Holly, m.fl., 2017). Men det finns även indikationer om att emissionerna kan bli högre (Petersen m.fl., 2013). Mekanisk separering av flytgödsel bedöms därför inte vara en direkt klimatåtgärd, utan det är andra ekonomiska och praktiska aspekter som motiverar en investering i gödselseparering.

Surgörning

Internationella studier visar att surgörning av flytgödsel är en av få metoder som minskar emissioner av både ammoniak och metan sett över hela kedjan från djur till spridning av flytgödsel (Sajeev m fl, 2018b), och möjligtvis även lustgas. En fördel med surgörning är att kväveförlusterna minskar och att mer kväve finns tillgängligt för växtodlingen. Det finns olika tekniker för surgörning där syra tillförs gödseln i stallet (bufferttank utanför stallet, returspolning in i stallet), i lagret i samband med omrörning inför spridning eller under spridning (syratank monterad på traktorn). Om syran tillförs i stallet kommer emissionerna från lagringen av gödseln att minska, medan tillförsel av syra inför eller under spridning bara påverkar spridningsförlusterna.

Surgörning av stallgödsel i lager och vid spridning var även en av de åtgärder som identifierades för både mjölk- och nötproduktion i projektet Hållbara Matvägar (Sonesson m.fl., 2014; Göransson m.fl., 2014; Hessle m.fl., 2014). Olesen m.fl. (2018) har också valt ut surgörning av flytgödsel i stall som en av fem åtgärder som kan minska utsläppen av växthusgaser från danskt lantbruk.

Surgörning av flytgödsel med svavelsyra kan reducera metanemissionerna med mer än 90 procent från lagring av både orötad och för rötad gödsel (Rodhe m.fl., 2018). Surgörning är också en metod för att minska ammoniakavgången till nästan noll (Rodhe m.fl., 2019). För gödselslag där det inte bildas naturligt svämtäcke, vilket ofta är fallet för rötad gödsel och ibland för svinflytgödsel, kan surgörning vara en alternativ metod till tak eller skapade svämtäcken. Denna åtgärd förutsätter att syra tillsätts före gödsellagret.

En annan metod för att hämma lustgasbildningen i svämtäcke eller från fastgödsel kan vara att surgöra ytan med exempelvis svavelsyra. Det finns dock ingen utvecklad teknik för detta idag och det kan vara svårt att avgöra svämtäckets potential för lustgasbildning för att bedöma om åtgärden är motiverad eller ej (Rodhe m.fl., 2018).

Surgörning kan även ske i samband med spridning. Det har gjorts fältförsök i Sverige med surgjord nötgödsel och surgjord rötad gödsel, resultaten visade att ammoniakförlusterna minskade med 50–70 procent för orötad gödsel respektive med cirka 90 procent för rötad gödsel (Rodhe m.fl., 2016). Ammoniakförlusterna vid spridning av surgjord gödsel med släpslang var i samma storleksordning som vid spridning av icke surgjord gödsel med myllningsaggregat.

Surgörning av flytgödsel är än så länge ovanligt i Sverige. Investeringskostnaden är ganska stor och därför är det bara större gårdar eller maskinstationer som är aktuella för tekniken. Enligt Erik Sindhöj (Personlig kommunikation, november 2019) finns det bara en entreprenör som investerat i tekniken. Denna entreprenör finns i Skåne och har haft svårt att få kunder som vill använda tekniken. Eftersom efterfrågan varit liten är kostnaden för att använda den ännu hög jämfört med hur mycket kväve som sparas. Skulle fler börja använda tekniken kommer kostnaderna att sjunka.

© RISE Research Institutes of Sweden

När det gäller praktiska och ekonomiska aspekter är det enklast och billigast att surgöra gödseln i lagret inför spridning eller i samband med spridning. Det innebär dock att man inte har någon effekt på emissionerna från lagringen av gödseln eftersom syran tillförs först när gödseln ska spridas eller i samband med spridningen Surgörning före gödsellagret har störst potential att minska emissionerna från gödselhanteringen eftersom det även minskar emissionerna från lagringen av gödseln, men en relativt hög åtgång av syra kan ändå göra tekniken kostsam i förhållande till mängden sparat kväve (Berglund, 2017). Hanteringen av svavelsyra innebär även arbetsmiljörisker, men det går att hantera säkert om man gör det på rätt sätt.

Rötning av stallgödsel

Rötning är ett sätt att producera biogas från stallgödsel. I en internationell sammanställning av åtgärder för att minska växthusgas- och ammoniakutsläpp från hela gödselhanteringskedjan (från djur till fält) omnämns rötning av stallgödsel som en av få åtgärder som har potential att minska alla dessa emissioner sett över hela kedjan (Sajeev m.fl., 2018b).

De slutsatser som finns i tidigare underlagsrapporter kring biogas gäller fortfarande.

Sedan underlagsrapporterna skrevs har dock frågan om de faktiska metanförlusterna från biogassystemen fått mer utrymme och det har gjorts fler mätningar på området. Det finns internationella studier där man sett att metanutsläppen från gödselhanteringen minskar om gödseln rötas (Wagner-Riddle m.fl., 2014; Sajeev m.fl., 2018b), men det finns även studier som visar motsatta resultat. Studier som gjorts på rötad och orötad nöt- respektive grisflytgödsel i Uppsala visar att metanemissionerna från gödsellagren var signifikant högre från rötad gödsel än orötad gödsel (Rodhe m.fl., 2018). Metanemissionerna var högre sommartid än vintertid, och vintertid var emissionerna låga både för rötad och orötad gödsel (Rodhe m.fl., 2013). Emissionerna var också högre för gödsel som rötats i ett steg (24 dagars uppehållstid) än i två steg (total 48 dagars uppehållstid) (Sajeev m.fl., 2018). Några förklaringar till de högre metanemissionerna från rötad gödsel är att den rötade gödseln initialt var varmare och att det finns fler metanbildande mikroorganismer i den rötade gödseln. Utrötningsgraden har också betydelse, vilket visar sig i att metanemissionerna var lägre från gödsel som rötats i två steg (högre utrötningsgrad) än ett steg.

När man gör en jämförelse av metanemissioner mellan rötad och orötad gödsel behöver man även reflektera över emissionsnivåerna från den orötade gödseln. I Sverige har vi fördel av att det kalla klimatet som bidrar till förhållandevis låga metanemissioner från traditionell lagring av flytgödsel. Det innebär att även små skillnader i absoluta emissionsnivåer mellan rötad och orötad gödsel får ett större genomslag när skillnaderna uttrycks som procent. Ett sätt att bedöma metanemissionernas betydelse är att uppskatta hur stora metanförluster som skulle kunna accepteras från biogassystemet innan rötning av gödsel där biogasen ersätter andra energislag ger större klimatpåverkan än traditionell lagring av gödsel. Vår bedömning är att klimatvinsterna med att röta gödseln och att använda biogasen för elproduktion skulle uppväga växthusgasutsläppen från biogassystemet även om metanemissionerna från lagringen av rötresten skulle vara så höga som mätningarna i Uppsala visar.

En viktig åtgärd för att få lägre metanemissioner från den rötade gödseln är att öka utrötningsgraden i anläggningen, till exempel genom att förlänga uppehållstiden i röt-

© RISE Research Institutes of Sweden

kammaren. Andra åtgärder som ökar utrötningsgraden är förbättrad omrörning i blandningsbrunnen för att säkerställa jämn substratinmatning, ökad järntillförsel för att minska risken för brist på mikronäringsämnen samt sönderdelning av djupströgödsel inför rötning (Bergström Nilsson m.fl., 2015). Det är också en fördel att få ner temperaturen på den rötade gödseln när den kommer till gödsellagret eftersom metanbildningen är starkt temperaturberoende. En annan åtgärd är att ha gastätt tak på lagret så att biogasen kan samlas upp, vilket också totalt ökar effektiviteten hos anläggningen.

Det kan även ske utsläpp av metan från andra delar av biogassystemet. Läcksökning och rutiner för att snabbt åtgärda brister är två viktiga redskap. Öppning av rötkammaren för reparation innebär emissioner av metan och lägre produktion av biogas. En effektiv störningsfri produktion med få driftstörningar, rätt dimensionering av omrörare, korta stopp för underhåll är bra för ekonomi och troligtvis också för läckagesynpunkt. I takt med allt fler gårdsbaserade biogasanläggningar byggts och varit igång flera år börjar vi också samla på oss allt mer praktiska erfarenheter av var de svaga punkterna är och vad som kan göras för att få en bra biogasproduktion.

I övrigt gäller samma åtgärder som för orötad gödsel för att minska ammoniakavgång, det vill säga minska direkt solstrålning, täcka lager, och mylla gödseln vid spridning. Surgörning är ett alternativ. Risken för ammoniakförluster är större från lagring av rötad gödsel eftersom pH är högre, svämtäcket ofta sämre och andelen ammoniumkväve högre. Den rötade gödseln kan dock vara ett bättre och enklare gödselmedel än orötad gödsel eftersom den luktar mindre vid spridning, kan innehålla mer växttillgängligt kväve, samt är tunnare och mer homogen vilket gör att den lättare går ner i marken efter spridning.

För att det ska vara en klimatnytta med rötningen måste biogasen ha avsättning, det vill säga användas som fordonsbränsle, eller för att producera el och värme.

Spridning och myllning

De slutsatser som finns i tidigare underlagsrapporter kring spridning och myllning gäller fortfarande:

- Gödsla till en gröda som kan utnyttja kvävet och när grödan behöver det. Undvik lättlösligt kväve i marken på hösten.
- Bandspridning i växande gröda reducerar ammoniakavgången, och ökar därmed kväveeffektiviteten och de indirekta lustgasutsläppen.
- Att senarelägga spridning av stallgödsel, det vill säga sprida stallgödsel i växande gröda istället för i vårbruket, är särskilt gynnsamt på lerjordar eftersom vårspridning av stallgödsel kan leda till markpackning och därmed skördesänkningar.
- Nedbrukning av gödsel spridd med släpslang minskar ammoniakförlusterna, men det är viktigt att det inte dröjer för länge mellan spridning och nedbrukning – helst inom 4 timmar.

Att använda myllningsaggregat kan minska ammoniakavgången men det kan däremot gynna lustgasbildningen något. Lustgasbildningen i samband med myllning styrs av en rad faktorer som syretillgång och markfukt (syrebrist kan gynna denitrifikation), mängd kväve i marken och hur djupt gödseln myllas (Sajeev m.fl., 2018b). Ytterligare nackdelar

© RISE Research Institutes of Sweden

är höga spridningskostnader, högre energiåtgång och risk för mekaniska skador på grödan, det senare kan motverka skördeökningar. Ser man till helheten visar de svenska studierna att det är fördelaktigt att mylla ur klimatsynpunkt (Salomon m.fl., 2015). En sammanställning av internationella studier tyder på att grund myllning minskar ammoniakemissioner (-71 procent ±21 procent), men oftast ökar lustgasavgången i samband med spridning (259 procent ±416 procent) (Sajeev m.fl., 2018b). Användning av myllningsaggregat är i dagsläget dock rätt ovanlig, spridningsmetoder för gödsel fördelar sig mellan släpslang (68 procent), bredspridning (28 procent) och myllningsaggregat (4 procent) (SCB, 2017).

När det gäller senareläggning av spridning av stallgödsel kan det finnas en potentiell konflikt när det gäller metanemissioner från lagringen av stallgödsel. På våren finns det som mest gödsel och därmed organiskt material i lagren, och det organiska materialet börjar brytas ner till metan när temperaturen stiger. Senareläggning av spridningen skulle då kunna medföra att gödseln hinner värmas upp mer och under en längre period, vilket kan medföra att metanavgången blir högre. Man kan se ett exponentiellt samband mellan temperatur i gödseln och metanbildningen. Det är dock en fördröjning i metanbildningen när temperaturen stiger, vilket den gör på våren, vilket kan begränsa effekten av senarelagd spridning. Hur stor effekt senarelagd spridning har på metanbildningen beror på hur mycket och snabbt temperaturen i lagren stiger, vad de alternativa spridningstidpunkterna är och hur mycket gödsel som sprids vid ett senare tillfälle.

Spridningsareal och egenproducerat foder

I nuvarande regler i IP-standardens klimatmodul för gris-, mjölk-, nötkött- och lammproduktion finns det krav på att en viss andel av fodret ska vara producerat på den egna gården eller i samverkan med närliggande växtodlingsgård. Syftena med denna regel beskrevs i de första underlagsrapporterna och var att stallgödseln ska kunna fördelas på en större areal och till fler grödor vilket leder till bättre kväveutnyttjande (Cederberg och Berglund, 2009; Sonesson m.fl., 2009b). Tanken är att animalieproducenter som behöver köpa in foder från närliggande växtodlingsgård kan avyttra stallgödsel till växtodlingsgården vilket därmed ger större spridningsareal och möjlighet att stallgödseln sprids optimalt avseende tidpunkt och giva anpassat till väder, jordart, gröda etc. Ökad användning och efterfrågan på lokalt odlade proteinfodermedel skulle också kunna driva på förbättrade växtföljder med fler och andra typer av grödor i exempelvis spannmålsdominerade områden. Syftet var även minskade fodertransporter, men det bedömdes ha mindre betydelse ur klimatsynpunkt.

Det har dock kommit frågor kring hur regeln ska tolkas och om regeln ska finnas kvar. Ändamålen med regeln som beskrevs i de första underlagsrapporterna bedöms fortfarande vara relevanta, men det skulle även vara möjligt att nå dessa med annan regelutformning. Vi bedömer här att de viktigaste aspekterna med denna regel handlar om stallgödselanvändningen och möjligheten till avbrottsgrödor speciellt i spannmålsdominerade växtföljder. Av dessa kan animalieproducenten i första hand påverka spridningen stallgödsel, och därför lyfts den fram här.

God tillgång till spridningsareal för stallgödseln har flera potentiella fördelar ur klimatsynpunkt. Det ger fler möjlighet att bättre utnyttja kvävet om stallgödseln kan spridas när grödor har kvävebehov och utifrån deras kvävebehov. Det är en fördel om man kan tömma lagren tidigt på våren utan att behöva köra på fält där det är risk för negativ markpackning, och om man kan hålla gödselnivåerna i lagren låga under sommaren.

© RISE Research Institutes of Sweden

Detta i syfte att minska metanemissionerna, och även ammoniakemissionerna, från lagring av gödseln. Det finns även fördelar med att fördela stallgödsel jämnare i landskapet så att inte vissa fält får mycket stallgödsel och andra ingen stallgödsel. Sammanfattningsvis är det viktigt att stallgödseln ses som en resurs i växtodlingen och inte som ett kvittblivningsproblem.

Vi bedömer att essensen i regeln fortfarande är viktig och behöver ingå i kraven i en klimatmärkning. En möjlig utveckling av regeln skulle vara att godkänna kvittning om animalieproducenten säljer grödor, exempelvis ett ton TS såld gröda mot ett ton TS foder. Det skulle även vara möjligt att se över kraven på tillgång till spridningsareal eller krav på viss andel vårspridning. Det skulle dock kräva övervägningar kring lokala förhållanden vad gäller klimat, jordart, grödfördelning, avstånd till och förekomst av närliggande växtodlingsgårdar etc.

Koppling utfodring – stallgödsel

Genom att optimera utfodringen med proteinfoder kan kväveinnehållet i gödseln minskas vilket innebär även att risken för lustgas- och ammoniakemissionerna kan minska. I tidigare underlagsrapporter finns en del skrivet om detta. En sammanställning av internationella studier visar även på detta samband, för varje procentenhet mindre råprotein i foderstaten till grisar och nötkreatur minskade ammoniakavgången med 11 respektive 17 procent (Sajeev m.fl., 2018a).

Lägre råproteinhalt i fodret kan dock ge mer metan från gödselhanteringen eftersom fiberns smältbarhet också blir lägre och därmed hamnar mer organiskt material i stallgödseln (Sajeev m.fl., 2018b).

Foderstaten påverkar metanavgången från stallgödseln på fler sätt. Kreutzer och Hindrichsen (2006) gjorde en litteratursammanställning över försök som undersökt hur olika foderstater till nötkreatur påverkade metanavgången från stallgödseln. De fann att ökad andel kraftfoder eller fett i foderstaten, i några fall mycket kraftigt ökad andel, även ökade metanavgången per kg organiskt material i stallgödseln. Ett miljöargument för att öka andelen kraftfoder och/eller fett i foderstaten till mjölkkor är att det kan minska metanproduktionen i vommen. Men denna klimatfördel kan alltså reduceras om det samtidigt leder till att metanemissionerna från stallgödsel stiger.

I ett danskt försök jämfördes stallgödsel från mjölkkor som fått foder med olika smältbarhet och fettinnehåll; majsensilage + kraftfoder med extra mycket fett, majsensilage + kraftfoder med lågt fettinnehåll respektive klövergräsensilage (låg smältbarhet) + kraftfoder med lågt fettinnehåll (Møller m.fl., 2012). Metanemissionerna från lagring av stallgödsel var lägre när korna som fått majsensilage även fått extra fettrikt kraftfoder (uttryckt som g metan per kg organiskt material i gödseln). Detta verkar vara en annan slutsats än i Kreutzer och Hindrichsen (2006). Møller m.fl. (2012) gav ingen förklaring till varför mer fett i foderstaten gav lägre metanemissioner från lagring av stallgödsel.

© RISE Research Institutes of Sweden

10.3 Rekommenderade områden för regelutveckling och möjliga utsläppsminskningar

Det är viktigt att värdera hela hanteringskedjor ur klimatsynpunkt för att hitta den bästa kombination av lagrings- och spridningsmetoder, till exempel så att inte metan-reducerande åtgärder ger förhöjda utsläpp av lustgas eller ökad energiförbrukning.

Under föregående rubrik beskrevs en rad möjliga åtgärder. Här föreslås områden som borde tas upp inom regelutvecklingen. I några fall rekommenderar vi inte att åtgärder tas upp som krav i klimatcertifieringen, och vi beskriver då motiveringen till detta. Områden som redan finns med i reglerna belyses inte ytterligare.

Lagring och spridning av stallgödsel

I samband med regelutveckling bör man beakta att regler kring spridning av gödseln har betydelse för emissionerna från stallgödsellagringen och mark. I och med att metan-bildningen, och till viss del även ammoniakemissionerna, är temperaturberoende är det en fördel om gödseln sprids på våren innan temperaturen i lagren börjar stiga och att nivån i gödsellagren är så låg som möjligt sommartid genom att gödseln kan spridas vid flera tillfällen under sommaren. När det gäller lustgas från mark är det även viktigt att stallgödseln sprids så att det finns grödor som kan ta upp kvävet i gödseln. Det är även viktigt att gödseln kan spridas utan risk för negativ markpackning, till exempel bör spridning tidig vår på blöta lerjordar undvikas.

Förstudien tog även upp myllning av stallgödsel i vall. Rekommendationen var att avvakta med krav på myllning av stallgödsel i vall. Ett alternativ kan vara att inte tillåta bredspridning av flytgödsel till vall.

Regler för lagring av stallgödsel bör omfatta alla djurslag och alla delar av landet.

När det gäller flytgödsel bör det finnas regler om täckning av lagren, exempelvis samma som i BAT-slutsatserna. I BAT-slutsatserna för flytgödsellager ingår fast täckning (tak eller lock), flexibel täckning (duk), flytande täckning (svämtäcke, lättklinkerkulor, plastkulor, geometriska plastelement etc.) eller surgörning av gödseln. Flexibel och flytande täckning tas upp i BAT-slutsatserna för laguner.

Etablering av ett beständigt och heltäckande svämtäcke kan vara problematiskt för exempelvis rötad gödsel eller svinflytgödsel. I de fall svämtäcke valts som täcknings-alternativ bör det därför finnas någon form av kontrollfunktion för att säkerställa att det verkligen finns ett etablerat svämtäcke och att åtgärder vidtas för att korrigera brister.

Vi har inte funnit tillräckligt stöd i litteraturen för att kräva investeringar i tak, duk eller liknande konstruktioner i syfte att kostnadseffektivt minska utsläppen av lustgas och metan. Dessa täckningsalternativ har större betydelse för ammoniakemissioner, men ammoniak har inte lika stor betydelse som metan och lustgas ur klimatsynpunkt.

Det bör finnas krav på täckning av fastgödsel. Det finns dock inte lika många studier om fastgödsel som om flytgödsel. I BREF-dokumentet beskrivs täckning med tak/gödselhus, duk, halm, torv, flis (Santjona m fl, 2017), och något av dessa alternativ bör användas.

© RISE Research Institutes of Sweden

Syftet med täckningen är då att minska ammoniakemissionerna genom att täckningen fungerar som en fysisk barriär men kan även i vissa fall begränsa lufttillförsel vilket hindrar kompostering och därmed temperaturhöjning i gödseln. Effekten på växthusgasutsläpp beskrivs inte explicit i BREF-dokumentet. Ur metansynpunkt är låg temperatur fördelaktigt, men helt syrefria förhållanden är dock inte eftersträvansvärda eftersom metanbildning förutsätter att det är syrefritt.

I samband med att nya gödsellager byggs bör lagren utformas och placeras så att luftväxling och temperatur hålls nere. Detta i syfte att minska emissionerna. Lagren bör placeras och utformas så att luftväxlingen ovanför gödselytan minimeras. Det minskar ammoniakemissionerna, och minskar också risken för att vinden bryter sönder eller förflyttar en flytande täckning (till exempel ett svämtäcke). Beskuggning och djupa lager är sätt att hålla nere temperaturen i lagren och därmed även emissioner av metan och ammoniak. Nedgrävda lager bör kunna hålla gödseltemperaturen låg.

Det är även viktigt att lagren utformas så att de kan tömmas effektivt. Ju mindre gödsel som finns i lagren under sommartid desto större är fördelen ur metansynpunkt. Om lagren kan tömmas väl blir det även mindre gödsel kvar som kan ympa in färsk gödsel, vilket kan ha betydelse för metanbildningen.

Behandling av stallgödsel

Vår slutsats är att det idag inte ska finnas något generellt krav på att stallgödseln ska behandlas genom surgörning, rötning eller separering.

Det finns tekniska och arbetsmiljömässiga utmaningar med surgörning av gödsel, och kostnaderna för surgörning i samband med lagring är förhållandevis höga jämfört med besparingen på kvävet. Surgörning av gödsel har dock klara klimatfördelar, och det ska vara möjligt att surgöra gödsel i klimatcertifierad produktion.

Rötning av gödsel kan antingen ske i gårdsanläggningar eller centrala biogasanläggningar. Även om det byggts allt fler gårdsbaserad biogasanläggningar och kommer nya koncept för mindre gårdar kräver de fortfarande stora investeringar. Det behövs även ett stort engagemang för biogasproduktionen för att produktion ska fungera väl. Ur klimatsynpunkt är en välfungerande process med hög utrötningsgrad, låga förluster och avsättning för biogasen grundförutsättningar för bra klimatprestanda. Möjligheter till samrötning av gödsel är ofta begränsade till de områden där det finns en central biogasanläggning.

Rötning av gödseln har klimatfördelar, och det ska var möjligt att röta gödsel och/eller använda rötad gödsel eller biogödsel i klimatcertifierad produktion. När detta förekommer bör det finnas krav på lagring av den rötade gödseln/biogödseln (samma som för lagring av stallgödsel ovan). Vid biogasproduktion inom verksamheten bör det finnas krav på systematiskt arbete för att minimera metanläckaget från produktionen, till exempel genom läckagemätningar, planerat underhåll och arbete för hög utrötningsgrad på det rötade materialet. Det är även viktigt att det finns teknik för att ta hand om eventuell överskottsgas.

Kunskapen om metanemissioner från lagring av rötad gödsel byggs hela tiden upp, och det är därför viktigt att hålla koll på de forskningsframsteg som görs. En farhåga är till exempel att inblandning av fjäderfägödsel eller andra lättomsättbara substrat i varm

© RISE Research Institutes of Sweden

rötad gödsel skulle kunna leda till förhöjda emissioner. Det saknas dock emissionsmätningar på området.

Vi föreslår även att det ska vara godkänt i klimatmärkningen att separera flytgödsel och att använda separerade fraktioner. I dessa fall ska de separerade fraktionerna (flytande fraktion respektive fiber- eller fast fraktion) lagras så att emissionerna från lagringen hålls nere (se ovan).

10.3.1 Möjliga utsläppsminskningar från de föreslagna åtgärderna

Effekter av åtgärder inom stallgödselhanteringen har beskrivits i tidigare kvantifieringar av klimatmärkningens effekter. Det gäller förbättrat utnyttjande av kväve i stallgödsel (gris, nötkött), täckning av flytgödsel (gris), minskade ammoniakförluster i stallgödselkedjan (nötkött), minskat foderspill (nötkött) samt förändrade utfodrings- och uppfödningsstrategier samt betesdrift (nötkött) (Berglund m.fl., 2010; Berglund m.fl., 2012). Slutsatserna bedöms fortfarande vara giltiga. I den tidigare rapporten om nötkött togs även ett helhetsgrepp från foderbehov utifrån foderstat, tillväxt, slaktålder etc. till och med spridning av stallgödseln, och hur förändringar av flera regler samverkar och påverkar växthusgasutsläppen i slutändan. Det resonemanget är värt att läsas igen, och slutsatserna bedöms fortfarande vara giltiga. Det har inte funnits utrymme i denna studie att ha ett så brett perspektiv.

Emissioner från stallgödselhanteringen, det vill säga från stall och lagring av gödsel samt från betesgödsel, står för cirka 10 till 15 procent av det totala klimatavtrycket från animalieprodukter fram t o m gårdsgrind (se Kapitel 9). Detta gäller för genomsnittlig svensk animalieproduktion, och exklusive förändrad markanvändning och koldioxid från markanvändning. På den enskilda gården kan gödselhanteringens andel av animalieproduktionens klimatpåverkan vara en annan. Genomsnittsvärdet representerar den genomsnittliga fördelningen av stallgödselsystem i Sverige, medan uppdelningen är distinkt på enskilda gårdar. Det är skillnad i växthusgasavgång mellan olika typ av stallgödselsystem. Exempelvis beräknas växthusgasutsläppen från djupströgödsel vara cirka 3 gånger högre per djurplats från djupströgödsel än från flytgödsel (se Bilaga 2). Det är också olika åtgärder som är aktuella för olika typer av stallgödselsystem, och i de fall en viss åtgärd redan är implementerad kommer inte en regel att ha ytterligare effekt på växthusgasutsläppen.

Åtgärder för att minska temperaturen i flytgödsellager, exempelvis genom att lagret är beskuggat eller nedgrävt, minskar metanemissionerna och kan även minska ammoniakemissionerna. En temperatursänkning med i genomsnitt 1°C under sommarhalvåret beräknas minska metanförlusterna med 9 procent och en temperatursänkning på 2°C med 17 procent (beräknat enligt IPCC riktlinjer 2006). Det skulle motsvara cirka 5 procent respektive 9 procent av växthusgasemissionerna från flytgödselhanteringen, eller cirka 1 procent av de totala växthusgasutsläppen från animalieproduktion.

© RISE Research Institutes of Sweden

Referenser

Abraham, E.M., Ganopoulos, I., Madesis, P., Mavromatis, A., Mylona, P., Nianiou-Obeidat, I., Parissi, Z., Polidoros, A., Tani, El., Vlachostergios. D. 2016. The Use of Lupin as a Source of Protein in Animal Feeding: Genomic Tools and Breeding Approaches. International Journal of Molecular Sciences, 20(4), 851: 1-27.

Ammonia Energy. 2018. Green Ammonia Plants, Commercially Available Today. Hämtad 2019-11-03 från: https://www.ammoniaenergy.org/green-ammonia-plants-commercially-available-today/

Antón, A., Torrellas, M., Montero, J.I., Ruijs, M., Vermeulen , P., Stanghellini, C. 2012. Environmental impact assessment of Dutch tomato crop production I a Venlo glasshouse, Acta Horticulturae. 927: 781–791

Aronsson, A., Wallman, M., Berglund, M. 2012. Kvantifiering av klimatcertifieringens effekter – kyckling och ägg. SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik. Klimatmärkning för mat.

Aronsson, H., Thomsen I. K., Øgaard A. F., Känkänen H., Ulén B., Liu, J. 2016. *The ability of cover crops to reduce nitrogen and phosphorus losses from arable land in southern Scandinavia and Finland – a review*. Journal of Soil and water Conservation 71 (1): 41–55.

Arvidsson, J., Etana, A., & Rydberg, T. 2014. Crop yield in Swedish experiments with shallow tillage and no-tillage 1983–2012. European Journal of Agronomy, 52, 307-315.

Baker, J. M., E. Ochsner, T. E., Venterea R.J., Griffis, T.J. 2007. Tillage and soil carbon sequestration—What do we really know? Agriculture, Ecosystems and Environment 118, 1–5.

Baky, A., Sundberg, M., Brown, N. 2010. Kartläggning av jordbrukets energianvändning. JTI-uppdragsrapport. Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.

Béghin-Tanneau, R., Guérin, F., Guiresse, M., Kleiber, D., Scheiner, J. D. 2019. Carbon sequestration in soil amended with anaerobic digested matter. Soil and Tillage Research, 192, 87-94.

Benedeti, P.D.B., Paulino, P.V.R., Marcondes, M.I., Valadares Filho, S.C., Martins, T.S., Lisboa, E.F., Silva, L.H.P., Teixeira, C.R.V., Duarte, M.S. 2014. Soybean meal replaced by slow release urea in finishing diets for beef cattle. Livestock Science 165, 51–60.

Berg, W., Brunsch, R., Pazsiczki, I. 2006. Greenhouse gas emissions from covered slurry compared with uncovered during storage. Agriculture, Ecosystems and Environment 112, 129–134.

Berglund, M. 2014. Utsläpp från lagring av gödselbaserad rötrest - Rapport i projektet ”Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå”. Hushållningssällskapens Förbund.

Berglund, M. 2017. Emissionsfaktorer för utvärdering av klimateffekter av vissa insatser i landsbygdsprogrammet. Hushållningssällskapet Halland.

© RISE Research Institutes of Sweden

Berglund, M. och Wallman, M. 2011. Utsläpp av växthusgaser i växtodling. Underlag till klimatcertifiering. Rapport 2011:1. Klimatmärkning för mat.

Berglund, M., Clason, C., Wallman, M., Cederberg, C. 2012. Kvantifiering av klimatcertifieringens effekter – nötkött. SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik. Klimatmärkning för mat.

Berglund, M., Sonesson, U., Cederberg, C. 2010. Kvantifiering av möjliga utsläpps-minskningar av klimatcertifieringsreglerna för gris. SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik. Klimatmärkning för mat.

Berglund, Ö., Berglund, K., Sohlenius, G. 2009. Organogen jordbruksmark i Sverige 1999–2008. Rapport 12, Institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet.

Bergstrand, K., Schussler, H.K. 2012. Nya tekniker inom växthusbelysning, LTJ-fakultetens faktablad, 2012:26. Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap.

Bergström Nilsson, S., Eliasson, K, Halldorf, S., Broberg, A. 2015. Utvärdering av gårdsbaserad biogasproduktion – Uppföljning av teknik och metanemissionsfrågor i etablerade anläggningar. Hushållningssällskapet.

Blomqvist, P., Unger, T. 2018. Teknisk-ekonomisk kostnadsbedömning av solceller i Sverige. Rapport av Profu. http://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/solenergi/ovriga-rapporter/teknisk-ekonomisk-kostnadsbedomning-avsolceller-i-sverige.pdf

Bojaca C, R., Wyckhuys, K.A.G., Schrevens, E. 2014. Life cycle assessment of Colombian greenhouse tomato production based on farmer-level survey data, Journal of Cleaner Production, 69: 26-33

Bolinder, M. A., Freeman, M., Kätterer, T. 2017. Sammanställning av underlag för skattning av effekter på kolinlagring genom insatser i Landsbygdsprogrammet. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för ekologi, enheten för Systemekologi. Hämtad 2019-11-04 från: http://www.jordbruksverket.se/download/18.3421fb8e1634d8e3920b1d48/1526305320843/Rapport_kolinlagring.pdf

Carlsson, M.P., Gustafsson, A.H. 2019. Tekniklösningar för egenproducerat kraftfoder i besättningar med mjölkkor - en exempelsamling. Rapport 299. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för husdjurens utfodring och vård. Uppsala, Sverige.

Casimir, J., Jamieson, M, Elmquist, H., Persson, I., Bergman, N. 2018. Färdplan för effektivisering och egenförsörjning av energi i lantbruket. RISE Rapport 2018:60. RISE Research Institutes of Sweden

Cederberg, C. 2009a. Kvantifiering av möjliga utsläppsminskningar från kriterier för klimatcertifiering mjölk. SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik. Klimatmärkning för mat.

Cederberg, C. 2009b.Usläpp av växthusgaser i foderproduktionen. Underlag till klimat-certifiering av animaliska livsmedel. Rapport 2009:2. Klimatmärkning för mat.

© RISE Research Institutes of Sweden

Cederberg, C., Berglund, M. 2009. Utsläpp av växthusgaser i mjölkproduktionen. Underlag till klimatcertifiering. Rapport 2009:3. Klimatmärkning för mat.

Cederberg, C., Landquist, B., Berglund, M. 2012. Potentialer för jordbruket som kolsänka. SIK-Rapport Nr 850 2012. SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik.

Chadwick D, Sommer S, Thorman R, Fanguerio D, Cardenas L, Amon B m.fl. 2011. Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. Animal Feed Science and Technology 116–167:514–531

Christensen, I., Larsson, G. 2010. Energianvändningen i trädgårdsnäringen, Avsnitt ur Energikartläggning av de areella näringarna. Jordbruksverket, Jo 2009/1596, Rapport 2010:16

Clemens J., Trimborn M., Weiland P. & Amon B. 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. Agriculture, Ecosystems and Environment 112: 171–177.

Davis J., Wallman, M., Sund, V., Emanuelsson, A., Cederberg, C., Sonesson, U. 2011. Emissions of Greenhouse Gases from Production of Horticultural Products – Analysis of 17 products cultivated in Sweden, SR 828, SIK-Institute for food and Biotechnology

Dias, C. A. S., Bagaldo, A.R., Cerutti W.G., Barbosa, A.M., Pinto, G.G. 2018. Peanut cake can replace soybean meal in supplements for lactating cows without affecting production. Tropical Animal Health and Production. 50:651–657

Duan, Y. F., Reinsch, S., Ambus, P., Elsgaard, L., & Petersen, S. O. 2017. Activity of Type I Methanotrophs Dominates under High Methane Concentration: Methanotrophic Activity in Slurry Surface Crusts as Influenced by Methane, Oxygen, and Inorganic Nitrogen. Journal of Environmental Quality. 46:767–775.

EBC. 2019. European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar. 2019. European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. Version 8E of 1st January 2019, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043. Hämtad 2019-11-02 från: http://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/ebc-guidelines.pdf

EIP-AGRI. 2018. Grazing for carbon. EIP-AGRI Focus Group. Final Report. Hämtad 2019-11-03 från: https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/focus-groups/grazing-carbon.

Elmquist H., Neuman L., Hårsmar D., Helmersson N. 2015. Energinyckeltal inom lantbruket och potentialen att spara energi utifrån energikartläggningar, Rapport från: Odling i Balans, LRF-Konsult, HIR Skåne och Rådgivarna i Sjuhärad och Greppa Näringen

Elving, J. 2019. Grundläggande foderhygien - med fokus på mikrobiologiska faror i lokalproducerat foder till mjölkkor. Rapport 300. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för husdjurens utfodring och vård. Uppsala, Sverige.

Energikontoret Östra Götaland. u.å. Fossilfritt lantbruk NU! Handbok i minskat fossilberoende med Östgötamodellen. Hämtad 2019-11-03 från: https://www.energifabriken.se/files/files/Handbok-Fossilfria-lantbruk.pdf

© RISE Research Institutes of Sweden

Energimyndigheten. 2014. Energianvändning inom jordbruket 2013. Rapport ES 2014:07.

Energimyndigheten. 2018. Energihushållning i jordbruk – En vägledning för bästa teknik. Rapport ET 2018:9. ISSN 1404–3343.

Energimyndigheten. 2019. Nätanslutna solcellsanläggningar. Hämtad 2019-11-03 från: https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/natanslutna-solcellsanlaggningar/

Ennis, C. J., Evans A. G., Islam, M., Ralebitso-Senior T. K., Senior, E. 2012. Biochar: carbon sequestration, land remediation, and impacts on soil microbiology. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 42(22): 2311-2364.

Eranki., P.L., El-Shikha, D., Hunsaker, D.J., Bronson, K.F., Landis, A.E. 2017. A comparative life cycle assessment of flood and drip irrigation forguayule rubber production using experimental field data, Industrial Crops and Products, 99:97-108

Eriksson, T. 2019. Förbättrat utnyttjande av regionalt odlade proteinfoder. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för husdjurens utfodring och vård. Uppsala, Sverige.

Etana, A., Håkansson, I., Zagal, E., Bucas, S. 1999. Effects of tillage depth on organic carbon content and physical properties in five Swedish soils. Soil Till. Res. 52:3-4, 129-139.

Evans, M.R., Karcher, D. 2004. Properties of plastic, peat, and processed poultry feather fiber growing containers. HortScience 39:1008-1011.

Evans, M.R., M. Taylor., Kuehny, J. 2010. Physical properties of biocontainers for greenhouse crops production. HortTechnology 20:549–555.

Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D.W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D.C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M., & Van Dorland, R. Miller, H.L. (Ed.). 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing Chapter 2. United Kingdom: Cambridge University Press.

Franke, U., Einarson, U., Andrésen, N., Svanes, E., Hartikainen, H., Mogensen., L., 2013. Kartläggning av matsvinnet i primärproduktionen, Nordiska Ministerrådet, TemaNord 2013:581

Giner Santonja, G., Georgitzikis, K., Maria Scalet, B., Montobbio, P., Roudier, S., Delgado Sancho, L. 2017. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs - Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control).

Greppa näringen. 2019. Ersätt sojan med eget proteinfoder. Hämtat 2019-11-03 från: http://greppa.nu/atgarder/ersatt-sojan-med-eget-proteinfoder.html

Guiso, A., Ghinassi, G., Spugnoli, P. 2015. Carbon footprint of three different irrigation systems, abstract at 26th Euro-mediterranean Regional Conference and Workshops. Innovate to improve Irrigation performances. 12-15 October 2015, Montpellier, France. Hämtat 2019-11-03 från: https://icid2015.sciencesconf.org/65622/document

© RISE Research Institutes of Sweden

Gunnarsson, M. 2014. *Gödslade eller ogödslade mellangrödor som biogassubstrat?* Självständigt arbete 15 hp. Trädgårdsingenjör: odling – kandidatprogram. Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.

Gunnarsson, A., Gertsson, U. 2004. *Växtnäringsstyrning i energi- och näringseffektiva ekologiska odlingssystem*. Årsrapport, 2003/2004. Institutionen för växtvetenskap, avdelningen för hortikultur. Sveriges lantbruksuniversitet.

Gustafsson, A.H. 2017. Import av soja och oljepalm minskar kraftigt. Husdjur 4/2017: 43.

Gyldenkærne S, Petersen BM, Olesen, JE. 2007. Konsekvenser og muligheder ved Danmarks deltagelse I Kyoto-protokollens artikel 3.4 på landbrugsområdet. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 5, Copenhagen, Denmark. Hämtad 2019-11-03 från: www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2007/978-87-7052-380-6/pdf/978-87-7052-381-3.pdf

Göransson, L. 2011. Effektiv grisproduktion ökar lönsamheten och minskar klimatpåverkan. Nr 17.1 Greppa näringen. Praktiska råd. Hämtad 2019-11-03 från: http://greppa.nu/download/18.37e9ac46144f41921cd1a55f/1402315661439/Praktiska_R%C3%A5d_Nr_17_Effektiv_Grisproduktion.pdf

Göransson, Leif., Barr, U.-K., Borch, E., Brunius, C., Florén, B., Gunnarsson, S., Hamberg, L., Lindbom, I., Lorentzon, K., Nielsen, T., Normann, A., Salomon, E., Sindhöj, E., Sonesson, U., Sundberg, M., Åström, A., Östergren, K. 2014. Hållbara matvägar – referens- och lösningsscenarier för grisproduktion och framställning av rökt skinka. SIK-rapport 887, december 2014. SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik

Haddaway, N.R., Hedlund, K., Jackson, L.E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I.K., Jørgensen, H.B., Isberg, P-E. 2017. How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. Environmental Evidence, 6:30.

Hagerman, T., 2009. Klimatpåverkan av svensk jordgubbsproduktion – livscykelanalys (LCA) av svenska jordgubbsodlingar. Examensarbete, Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap, LTJ, SLU – Sveriges lantbruksuniversitet.

Haldén, P. 2019. Gynna mångfalden i marken. Jordbruksinformation 6 - 2019. Jordbruksverket. Hämtad 2019-11-03 från: https://www2.jordbruksverket.se/download/18.ba9742616aa4b5df73c74cc/1557727342580/jo19_6.pdf.

Hansson, D., Prade, T., Tufvesson, L., Svensson, S-E. 2018. *Sommarmellangrödors ogräsbekämpande egenskaper – resultat från ett fältförsök 2017*. Inst. för biosystem och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.

Hansson, D., Svensson, S-E., Nilsson, A., Andersson, L. 2017. *Bekämpningsstrategier med miniträda och avbrottsgrödor mot nattskatta och bägarnattskatta i en ekologisk växtföljd* – Slutrapport till SLF för projekt H1356158. Inst. för biosystem och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp

© RISE Research Institutes of Sweden

Heimer, A. 2010. Soja som foder och livsmedel i Sverige – konsekvenser lokalt och globalt. Naturskyddsföreningen. Hämtad 2019-11-03 från: https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/2009_jordbruk_mat_sojarapport.pdf

Henriksson, M., Stenberg, M., Berglund, M. 2015. Lustgas från jordbruksmark. Konkreta råd för att minska lustgasavgången på gårdsnivå. Hushållningssällskapet Halland.

Henriksson, M., Bååth Jacobsson, S., Lindberg, M., Berglund Lundberg M. 2019 Mjölk på gräs och biprodukter - miljö och ekonomi. Rapport från Hushållningssällskapet Halland

Henryson, K., Hansson, P-A., Kätterer, T., Tidåker, P., Sundberg C. Environmental performance of crop cultivation at different sites and nitrogen rates in Sweden**.** Nutrient Cycling in Agroecosystems, Volume 114 (2) – May 8, 2019.

Hermansson. F. 2013. Environmental evaluation of bio-composites using LCA. Master's thesis within the Industrial Ecology programme, Department of Energy and Environment, Division of Environmental Systems Analysis, Chalmers University of Technology.

Hessle, A., Barr, U.-K., Borch, E., Brunius, C., Florén, B., Gunnarsson, S., Hamberg, L., Lindbom, I., Lorentzon, K., Nielsen, T., Normann, A., Salomon, E., Sindhöj, E., Sonesson, U., Sundberg, M., Åström, A., Östergren, K. 2014. Hållbara matvägar – referens- och lösningsscenarier för nötköttsproduktion och framställning av ryggbiff. SIK-rapport 885, december 2014. SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik

Holly, M A., Larson, R A., Powell, M., Ruark, M.D., Aguirre-Villegas, H. 2017. Greenhouse gas and ammonia emissions from digested and separated dairy manure during storage and after land application. Agriculture, Ecosystems and Environment 239:410-419

Holm, L., Etana, A., Arvidsson, J., Lejon, L., Andersson, M., Lindesson, A. 2017. Fasta körspår – skördepotential och effekt på markstruktur. Rapport 2017:13. Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap, Sveriges lantbruks-universitet.

Huang, Y., Ren, W., Wanf, L., Hui, D., Grove, J.H., Yang, X., Tao. B. 2018. Greenhouse gas emissions and crop yield in no-tillage systems: A meta-analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment 268 (144–153).

Håkansson, T., Tönnberg, V. 2018. Droppbevattning i bärodling-tekniska tips och trix för din bevattning, Hushållningssällskapet Skåne. Hämtat 2019-11-03 från: https://hushallningssallskapet.se/wp-content/uploads/2019/02/droppbevattning-i-barodling-nov-2018-1.pdf

Högberg, J. 2010. European Tomatoes - Comparing global warming potential, energy use and water consumption from growing tomatoes in Sweden, the Netherlands and the Canary Islands using life cycle assessment. Report - Division of Environmental Systems Analysis, Chalmers University of Technology; 2010:2

© RISE Research Institutes of Sweden

IPCC. 2019. Emissions from Livestock and Manure Management, Chapter 10, Volume 4 (AFOLU), .2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventor

Ivarsson, E., Wall, H., Tauson, R., Jönsson, L., Elwinger, K. 2014. Ökat utnyttjande av raps och åkerböna i slaktkycklingfoder. Institutionen för husdjurens utfodring och vård. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Johansson, D. 2015. Life cycle assessment (LCA) of apples – A comparison between apples produced in Sweden, Italy and Argentina. Master´s thesis (15 hec). Faculty of Landscape Architecture, Horticulture and Crop Production Science Department of Biosystems and Technology. Swedish University of Agricultural Sciences (SLU).

Jonasson, S., Neuman, L. 2014. Alternativ till spannmåstorkning med fossil energi. LRF.

Jonsson, N. 2019. Konservering och gårdsberedning av kraftfoder till kor. Rapport 303. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för husdjurens utfodring och vård. Uppsala, Sverige.

Jordbruksverket. 1994. Grön mark - ett sätt att minska kväveläckaget. Jordbruksinformation. Nr 1.

Jordbruksverket. 2008. Reducerad jordbearbetning. Jordbruksinformation 28–2008.

Jordbruksverket. 2012. Ett klimatvänligt jordbruk 2050. Jordbruksverket 2012:35.

Jordbruksverket. 2017. Rekommendationer för gödsling och kalkning 2018. Jordbruksinformation 4.

Jordbruksverket. 2018a. Hur kan den svenska jordbrukssektorn bidra till att vi nå det nationella klimatmålet? Jordbruksverket. Rapport 2018:1

Jordbruksverket. 2018b. Höst- och vinterbevuxen mark. Hämtad 2019-05-28 från http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/vaxtnaring/hostochvinterbevuxenmark.4.5abb9acc11c89b20e9e8000574.html

Jordbruksverket. 2018c. Återvätning av organogen jordbruksmark som klimatåtgärd. Rapport 2018:30

Jordbruksverket. 2018d. Energianvändning i växthus 2017. Tomat, gurka och prydnadsväxter. Statistikrapport 2018:05.

Jordbruksverket, 2019. Gödselgasstöd. Hämtad 2019-11-03 från: http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/stod/andrastod/godselgasstod.4.ac526c214a28250ac23333e.html

Kainiemi, V., Arvidsson, J., Kätterer, T. 2015. Effects of autumn tillage and residue management on soil respiration in a long-term field experiment in Sweden. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 178(2), 189-198.

Kammann, C., Ippolito, J., Hagemann, N., Borchard, N., Cayuela, M. L., Estavillo, J. M., Fuertes-Mendizabal, T., Jeffery, S., Kern, J., Novak, J., Rasse, D., Saarnio, S., Schmidt, H.-P., Spokas, K., Wrage-Mönnig, N. 2017. Biochar as a tool to reduce the

© RISE Research Institutes of Sweden

agricultural greenhouse-gas burden – knowns, unknowns and future research needs. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management 25(2): 114-139.

Karltun, E., Jacobson, A., Lennartsson, T. 2010. Inlagring av kol i betesmark. Rapport 2010:25. Jordbruksverket, Jönköping.

Kasimir Klemedtsson, Å. 2010. Hur mycket lustgas blir det vid odling av biobränslen på åkermark i Sverige? ER 2010:16, Energimyndigheten

Kekkonen, H., Ojanen, H., Haakana, M., Latukka, A. och Regina, K. 2019. Mapping of cultivated organic soils for targeting greenhouse gas mitigation. Carbon Management 10: 115–126

Källander, I., Ögren, E., Stendahl. 2005. Ekologiskt lantbruk: odling och djurhållning. Stockholm: Natur och Kultur.

Kätterer, T., Bolinder, M.A., Andrén, O., Kirchmann, H., Menichetti, L. 2011. Roots contribute more refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by long-term field experiment. Agriculture, Ecosystems and Environment 141, 184-192.

Kätterer, T., D. Roobroeck, O. Andrén, G. Kimutai, E. Karltun, H. Kirchmann, G. Nyberg, B. Vanlauwe, de Nowina, K. R. 2019. Biochar addition persistently increased soil fertility and yields in maize-soybean rotations over 10 years in sub-humid regions of Kenya.Field Crops Research 235: 18-26.

Landquist, B. 2017. Förstudie: Uppdatering av klimatregler för växthus och växtodling inklusive stallgödsel. RISE Rapport. December 2017. RISE-Research Institutes of Sweden

Lankford, B. 2012. Fictions fractions, factorials and fractures; on the framing of irrigation efficiency. Agricultural water management, 108:27–38

Lantmännen. 2019. Pressmeddelande 2019-09-13. Lantmännen och Yara banar vägen för världens första fossilfria livsmedelskedja. Hämtad 2019-11-03 från: https://www.lantmannen.se/press-och-nyheter/pressmeddelanden/lantmannen-och-yara-banar-vagen-for-varldens-forsta-fossilfria-livsmedelskedja/

Laxmar, E. 2017. Skördeeffekter av biokolstillsats och kompletterande gödsling i två fältförsök. Examensarbete 2017:03, Institutionen för mark och miljö, SLU Uppsala.

Lindgren, A., Lundblad, M. 2014. Towards new reporting of drained organic soils under the UNFCCC – assessment of emission factors and areas in Sweden. Rapport 14, Institutionen för mark och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Livsmedelsföretagen, 2019. Vi tar initiativ för hållbar palmolja. Hämtad 2019-11-08 från: https://www.livsmedelsforetagen.se/livsmedelsforetagen-tar-initaitiv-hallbar-palmolja/

Livsmedelsverket, Jordbruksverket och Naturvårdsverket. 2018. *Fler gör mer. Handlingsplan för minskat matsvinn 2030*.

Lopez, K., Iriarte, A., Yanez, P. 2013. Carbon footprint of the Chilean raspberry production, Conference paper, 5th International Conference on Life Cycle Assessment, CILCA 2013, Mendoza, Argentina.

© RISE Research Institutes of Sweden

LRF. 2013. Handbok i energieffektivisering. Lars Neuman, LRF Konsult.

LRF. 2015. Solel för lantbruk. Hämtat 2019-11-03 från: https://www.lrf.se/globalassets/dokument/foretagande/de-grona-naringarna/fornybar-energi/goda-affarer-pa-fornybar-energi/solel-for-lantbruk-maj-2015.pdf

Lundon Russenes, A., Korsaeth, A., Bakken L., Dörsch, O. 2019. Effects of nitrogen split application on seasonal N2O emissions in southeast Norway. Nutrient Cycling in Agroecosystems, Vol 115 – June 28, 2019.

Martins, L.S., Paulino, M.F., Marcondes, M.I., Rennó, l.N., de Almeida, D.M., Lopes, S.A., Marquez, D.E.M., Manso, M.R., da Silva, A.G., Valente, E.E.L. 2017. Cottonseed meal is a suitable replacement for soybean meal in supplements fed to Nellore heifers grazing Brachiaria decumbens. Animal Production Science, 57, 1893–1898.

Mattsson, L., Larsson, H. 2005. Att föra bort eller bruka ner halmen påverkar mullhalt, daggmaskar och skadedjur. Rapport 210. Institutionen för markvetenskap Avd. för växtnäringslära, SLU.

Moberg, E., Walker Andersson, M., Säll, S., Hansson, P-A., Röös, E. 2019. Determining the climate impact of food for use in a climate tax – design of a consistent and transparent model The International Journal of Life Cycle Assessment, Volume 24, Issue 9, pp 1715–1728. Supplementary material.

Montes, F., Meinen, R., Dell, C., Rotz, A., Hristov, A. N., Oh, J., et al. 2013. SPECIAL TOPICS-Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options 1. J. Anim. Sci, 91, 5070–5094.

Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F. M., Collins, W., Fuglestvedt, J., Huang, J., .. & Nakajima, T. S. 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Møller H B, Sarker S, Hellwin, A L F., Weisbjerg M R. 2012. Quantification of methane production and emission from anaerobic digestion of cattle manure derived from different feeding. In 3rd International Conference CIGR, July: 8-12

Nachmansohn, J. 2016. Minimized nutrient leaching through fertilizer management – An evaluation of fertilization strategies, Master's Thesis in Soil Science Agriculture Programme – Soil and Plant SciencesochSoil and Water Management – Master's Programme, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Nascimento Nunes, do. M. C. 2008. Impact of environmental conditions on fruit and vegetable quality. Stewart Post harvest Review, 4(4), 1-14.

Naturvårdsverket. 2018. National Inventory Report Sweden 2018. Greenhouse Gas Emission Inventories 1990–2016. Naturvårdsverket. Hämtad 2019-11-03 från: https://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/internationellt-miljoarbete/miljokonventioner/FN/national-inventory-report-2018.pdf

© RISE Research Institutes of Sweden

Nelson JA, Bugbee B (2014) Economic Analysis of Greenhouse Lighting: Light Emitting Diodes vs. High Intensity Discharge Fixtures. PLoS ONE 9, 1-10

Neuman, L. 2008. Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008, Rapport från LRF Konsult.

Nielsen, D A., Nielsen, L P., Schramm, A., Revsbech, N P. 2010. Oxygen distribution and potential ammonia exidation in floating, liquid crusts. Journal of Environmental Quality 39(5), 1813-20Nielsen, D A., Schramm, A., Nielsen, L P., Revsbech, N P. 2013. Seasonal methane oxidation potential in manure crusts. Applied and Environmental Microbiology 79, 407–410.

Nilsson, H., Olofsson, S. 2015. Miljöeffekter av Greppa Näringens gårdar – resultat från rådgivningen 2001 – 2013. Greppa Näringen. Hämtad 2019-11-04 från: http://greppa.nu/download/18.7cd3513714fefa9305a42f36/1442866978897/Milj%C3%B6effekter+p%C3%A5+Greppa+N%C3%A4ringens+g%C3%A5rdar+-+resultat+fr%C3%A5n+r%C3%A5dgivningen+2001-2013.pdf

Nilsson, U., Möller Nielsen, J., Christensen, I., Nimmermark, S. 2015. Förnybar energi i svensk växthusodling-kunskapsunderlag för fortbildning. Sveriges Lantbruksuniversitet, Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap, Rapport 2015:28.

Nimmermark, S., och Nielsen Möller, J. 2014. Klimatisering, belysning, bevattning och mekanisering i växthus - Aktuellt kunskapsläge. Landskapsarkitektur, trädgård, växtproduktionsvetenskap, Rapportserie, Rapport 2014:19.

Norberg, L. 2017. Greenhouse Gas Emissions from Cultivated Organic Soils - Effect of Cropping System, Soil Type and Drainage. Doctoral thesis. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Department of Soil and Environment, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Nordborg, M., Röös, E. 2016. Holistic management–a critical review of Allan Savory's grazing method. SLU/EPOK, SLU. http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/244566/local_244566.pdf.– Centrum för ekologisk produktion och konsumtion och Chalmers. Sveriges lantbruksuniversitet och Chalmers.

Ogle, S.M., Alsaker, C. Baldock, J., Bernoux, M., Breidt, F., J., McConkey, B., Regina, K., Vazquez-Amabile, G. 2019. Climate and Soil Characteristics Determine Where No-Till Management Can Store Carbon in Soils and Mitigate Greenhouse GasEmissions. Scientific Reports, Nature research. (2019) 9:11665. https://doi.org/10.1038/s41598-019-47861-7

Olesen, J.E, Petersen, S.O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P., Lassen, J. 2018. Virkemidler till reduktion av klimagasser i landbruget. Aarhus universitet. DCA Rapport nr 130.

Olsson, Å., Persson, L., Wikström, M. 2013. *Effekt av senap och oljerättika som mellangrödor för sanering av rotröta i ärter, spenat och sockerbetor samt betcyst-nematoden*. Rapport 2013–416. Nordic beet research.

© RISE Research Institutes of Sweden

Page, G., Ridoutt, B., Bellotti, B. 2012. Carbon and water footprint tradeoffs in fresh tomato production, Journal of Cleaner Production, 32: 219-226

Paustian, K., Collier, S., Baldock, J., Burgess, R., Creque, J., DeLonge, M., .. & Govaerts, B. 2019. Quantifying carbon for agricultural soil management: from the current status toward a global soil information system. Carbon Management: 1–21.

Payen, S., Basset-Mens, C., & Perret, S. 2015. LCA of local and imported tomato: an energy and water trade-off. Journal of Cleaner Production, 87, 139–148.

Perez, D., Niera, M., Soler, Montiel, S., Delgado Cabeza, M., Reigada, A. 2018. Energy use and carbon footprint of the tomato production in heated multi-tunnel greenhouses in Almeria within an exporting agri-food system context, Science of The Total Environment, 628–629: 1627-1636

Petersen, S. O., Blanchard, M., Chadwick, D., Del Prado, A., Edouard, N., Mosquera, J., & Sommer, S. G. 2013. Manure management for greenhouse gas mitigation. Animal 7:s2: 266-282.

Poeplau, C., Aronsson, H., Myrbeck, Å, Kätterer, T. 2015a. Effect of perennial ryegrass cover crop on soil organic carbon stocks in southern Sweden. Geoderma Regional, 4, 126–133.

Poeplau, C., Bolinder, M. A., Eriksson, J., Lundblad, M., Kätterer, T. 2015b. Positive trends in organic carbon storage in Swedish agricultural soils due to unexpected socio-economic drivers. *Biogeosciences*, *12*(11), 3241–3251.

Poeplau, C., Kätterer, T., Bilinder, M.A., Börjesson, G., Berti, A., Lugato, E. 2015c. Low stabilization of aboveground crop residue carbon in sandy soils of Swedish long-term experiments. Geoderma 237–238, 246–255.

Raab, M. Brunklaus, B. Pöchtrager, S. 2013. Comparison of imported organic cucumbers from Spain and local conventional cucumbers in winter season on the basis of Carbon Footprint. Gegenüberstellung von importierten Biogurken aus Spanien und heimischen konventionellen Gurken in der Winterzeit anhand des CO2- Fußabdruckes. Journal of the Austrian Society of Agricultural Economics. Volume 23, 2013, Pages 171-180

Razza, F., Cerutti, A.K. 2017. Life Cycle and Environmental Cycle Assessment of Biodegradable Plastics for Agriculture In book: Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture

Rodhe, L., Ascue, J., Tersmeden, M., Willén, A., Nordberg, Å., Salomon, E., Sundberg, M. 2013. Växthusgas från rötad och rötad nötflytgödsel vid lagring och efter spridning – samt bestämning av ammoniakavgång och skörd i vårkorn. JTI-rapport 2013, Lantbruk och Industri nr 413. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Rodhe, L., Baky, A., Olsson, J., Nordberg, Å. 2012. Växthusgaser från stallgödsel - Litteraturgenomgång och modellberäkningar. Lantbruk och Industri no 402. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik.

Rodhe, L. 2014. Minska utsläppen av växthusgaser från stallgödsel. Praktiska Råd Nr. 22, oktober 2014. Greppa.nu

© RISE Research Institutes of Sweden

Rodhe, L., Alverbäck, A., Ascue, J., Edström, M., Nordberg, Å., Pizzul, L., Tersmeden, M. 2018. Åtgärder för att minimera växthusgasutsläpp från lager med rötad och orötad gödsel. RISE Rapport 2018:18. RISE-Research Institutes of Sweden

Rodhe, L., Delin, S., Gustafsson, K. 2016. Surgörning av nötflytgödsel - effekt på ammoniak-avgången vid spridning av rötad respektive icke-rötad gödsel i vall. Slutrapport till SLF Stiftelsen Lantbruksforskning (H1333101).

Rodhe, L., Ascue, J., Tersmeden, M., Pizzul, L. 2019. Ammonia emissions from storage - non-digested and digested cattle slurry, with and without acid. Baltic Slurry Acidification. RISE Research Institutes of Sweden. RISE Rapport 2019:51.

Röös, E. 2019. Kor och klimat. Sveriges lantbruksuniversitet, EPOK – Centrum för ekologisk produktion och konsumtion. Hämtad 2019-11-03 från. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/epok/dokument/koroklimat_web.pdf

Sajeev, E. P. M., Amon, B., Ammon, C., Zollitsch, V., Winiwarter, W. 2018a. Evaluating the potential of dietary crude protein manipulation in reducing ammonia emissions from cattle and pig manure: A meta-analysis. Nutrient Cycling in Agroecosystems 110(1): 161-175.

Sajeev, E. P. M., Winiwarter, W., Amon, B. 2018b. Greenhouse gas and ammonia emissions from different stages of liquid manure management chains: Abatement options and emission interactions. Journal of Environmental Quality 47:30-41

Salomon, E., Rodhe, L., Wivstad, M. 2015. Myllad flytgödsel i vall sparar kväve. EPOK – Centrum för ekologisk produktion och konsumtion. Faktablad. Sveriges lantbruksuniversitet.

SCB, 2017. Gödselmedel i jordbruket 2015/16. Mineral- och stallgödsel till olika grödor samt hantering och lagring av stallgödsel. Rapport MI 30 SM 1702.

SCB. 2018a. Skörd av trädgårdsväxter 2018, Statistiska meddelanden, JO37SM1901

SCB. 2018b. Trädgårdsproduktion 2017. Statistiska meddelanden, JO 33 SM 1801

SCB. 2019. Utsläpp och upptag av växthusgaser. Hämtat 2019-11-04 från: http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107

Schrader, J.A., McCabe, K.G., Srinivasan, G., Haubrich, K., Grewell, D., Madbouly, S., Graves, WR. 2015. Development and evaluation of bioplastic containers for sustainable greenhouse and nursery production, Acta Horticulturae, 1104, 79-88

SEGES. 2015. Reduktion i brændstofforbrug med RTK-GPS. Hämtat (kräver prenumeration) 2019-11-04 från: https://www.landbrugsinfo.dk/Maskinermarkteknik/Traktorer/Sider/reduktion-af-braendsstofforbruget-med-rtk-gps_pl_15_2194_2439.aspx

Smith, P. 2016. Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies. Global Change Biology, 22(3): 1315-1324.

Sonesson, U., Berglund, M., Cederberg, C. 2009a. Utsläpp av växthusgaser vid produktion av kycklingkött. Underlag till klimatcertifiering. Rapport 2009:6. Klimatmärkning för mat.

© RISE Research Institutes of Sweden

Sonesson, U., Berglund, M., Cederberg, C. 2009b. Utsläpp av växthusgaser vid produktion av griskött. Underlag till klimatcertifiering. Rapport 2009:5. Klimatmärkning för mat.

Sonesson, U., Cederberg, C., Berglund, M. 2009c. Utsläpp av växthusgaser vid produktion av nötkött. Underlag till klimatcertifiering. Rapport 2009:4. Klimatmärkning för mat.

Sonesson, U., Lorentzon, K., Florén, B., Krewer, C., Kumm, K-I., Nilsson, K. och Woodhouse, A. 2014. Hållbara matvägar – resultat och analys. SIK-rapport 891

Stanghellini, C., Kempkes, F.L.K., Knies, P. 2003. Enhancing Environmental Quality in Agricultural Systems. Proc. Proceedings of the International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environment. International Society Horticultural Science. Acta Horticulturae. Pisa. Italy. 609: 277-283.

Stenberg, M., Söderström, M., Gruvaeus, I., Bjurling, E., Gustafsson, K., Krijger, A-K., Stenberg, B. och Pettersson, S.G. 2009. Orsaker till skillnader mellan rekommenderade kvävegivor och de verkliga eller beräknat optimala i praktisk spannmålsodling– kan vi öka kväveeffektiviteten? HS Skaraborg rapport nr 5/09

Szerencsits, M., Weinberger, C., Kuderna, M., Feichtinger, F., Erhart, E., Maier, S. 2015. Biogas from Cover Crops and Field Residues: Effects on Soil, Water, Climate and Ecological Footprint. International Scholarly and Scientific Research & Innovation, 9(4), 413-416.

Torrellas, M., Anton, A., Lopez, J.C., Baeza, E.J., Parra, J.P., Mu~noz, P., Montero, J.I. 2012a. LCA of a tomato crop in a multi-tunnel greenhouse in Almeria. Int. J. Life Cycle Assess. 17, 863e875.

Tullberg, J., Antille, D. L., Bluett, C., Eberhard, J., Scheer, C. 2018. Controlled traffic farming effects on soil emissions of nitrous oxide and methane. Soil and Tillage Research, Volume 176 – Mar 1, 2018.

v. Eekeren N, Chabbi A, Dean MD, Hutchings N, Klumpp K, Koncz P, et al. EIP-AGRI Focus Group – Grazing for carbon. Mini-paper – Effects and trade-offs. https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/fg25_01_minipaper_effects_and_tradeoffs.pdf

Wagner-Riddle, C., Gordon, R. 2014. Reducing Emissions During the Storage and Application of Manure. FarmSmart Conference, January 18 2014. http://farmsmartconference.com/ Hämtat 2019-11-03 från: https://farmsmartconference.files.wordpress.com/2013/11/62reducing_emissions_riddlegordon.pdf

Wall, H., Barr, U.-K., Borch, E., Brunius, C., Gunnarsson, S., Hamberg, L., Lindbom, I., Lorentzon, K., Nielsen, T., Nilsson, K., Normann, A., Salomon, E., Sindhöj, E., Sonesson, U., Sundberg, M., Åström, A., Östergren, K. 2014. Hållbara matvägar – referens- och lösningsscenarier för kycklingproduktion och framställning av fryst kycklingfilé. SIK-rapport 888, december 2014

Wallman, M., Cederberg, C & Sonesson, U. 2011. Life Cycle Assessment of Swedish Lamb Production. SIK-rapport nr 831.

© RISE Research Institutes of Sweden

Van der Koij, S., Zwarteveen, M., Boesveld, H., Kuper, M. 2013. The efficiency of drip irrigation unpacked, Agricultural water management, 123:103-110

Webb, J.R., Hayes, N.M., Simpson, G.S., Leavitt, P.R., Baulch, H.M., Finlay, K. 2019. Widespread nitrous oxide undersaturation in farm waterbodies creates an unexpected greenhouse gas sink. Proceedings of the National Academy of Sciences. May 14, 2019, vol. 116, no. 20 116 (20) 9814-9819

Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., Weidema, B. 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, 21(9), 1218–1230. Hämtad 2019-07-01 från: http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8

Viola. 2014a. Nr3, Övervintring ett ständigt gissel Hämtad 2019-11-04 från: http://194.47.52.113/janlars/tillvaxttradgard.slu.se_ltj/uploads/dokument/Viola2014_3%20Oevervintring%20ett%20staendint%20gissel.pdf

Viola. 2014b. Lean ger resultat i plantskolor. No 8:2014, s. 21.

Wood J D. 2013. Mitigating Gas Emissions from Liquid Manure Storage Systems: Management Practices, Measurements and Modelling. Thesis, The University of Guelph. Ontario, Canada.

Woodhouse, A. 2019. Foderdatabas: Deluppdrag 6 – Uppdaterade klimatavtryck av fodermedel. Rapport 2019:35. RISE-Research Institutes of Sweden, Jordbruk och livsmedel.

Zheng, J., Suh, S. 2019. Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics, Nature Climate Change, 9:374–378

Zimmerman, A. R., Gao, B., Ahn, M. Y. (2011). Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. Soil biology and biochemistry, 43(6), 1169-1179.

Zimmermann, J., Carolan, R., forrestral, P., Harty, M., Lanigan, G., Richards, K.G., Riche, L. Whitfield, M.G., Jones, M.B. 2018. Assessing the performance of three frequently used biogeochemical models when simulating N2O emissions from a range of soil types and fertiliser. Geoderma. Volume 331, 1 December 2018, Pages 53-69

© RISE Research Institutes of Sweden

Personlig kommunikation

Bolinder, Martin. Sveriges lantbruksuniversitet. Augusti 2019

Christensen, Inger. Grön Kompetens. Maj 2019

Danielsson, Rebecca. Sveriges lantbruksuniversitet. Oktober 2019

Erlingson, Mogens. Yara. September 2019

Gilbertsson, Mikael. RISE - Research institutes of Sweden. Oktober 2019

Hallefält Fredrik. Hushållningssällskapet Skåne. Oktober 2019

Hartman, Erik. Föreningen Foder och Spannmål. December 2019

Kätterer, Thomas. Sveriges lantbruksuniversitet. Juni 2019

Landquist, Birgit. RISE. November 2019

Löfkvist, Klara. Hushållningssällskapet Skåne. Maj 2019

Medin, Johan. Lantmännen Lantbruk. December 2019

Möller Nielsen, Jonas. Cascada AB. Juni 2019

Pettersson, Ola. RISE - Research institutes of Sweden. December 2019

Sindhöj, Erik. RISE - Research institutes of Sweden. November 2019

Tönnberg, Victoria. Hushållningssällskapet Skåne. Juli 2019

Wallman, Magdalena. Göteborgs Universitet. September 2019

Ögren, Elisabeth. Jordbruksverket. Maj 2019

© RISE Research Institutes of Sweden

Bilaga 1. Underlagsrapporterna 2009–2011

Underlagsrapporterna som togs fram 2009–2011 inom växtodling, foderproduktion, mjölk, nötkött, griskött och kycklingkött följde i stort sett ett gemensamt upplägg. De inleddes med en kunskapssammanfattning avseende klimatpåverkan från de olika produktionsgrenarna. Därefter följde en genomgång av olika möjligheter att minska utsläppen och till sist listades ett antal förslag till kriterier för resp. produktionsgren.

I det följande görs en kortfattad sammanfattning av de olika underlagsrapporterna och de kriterier som föreslogs i dem. Sigill använde kriterierna för att i ett nästa steg fastslå vilka regler som skulle införas för olika produktionsgrenar i Klimatcertifieringen. Alla kriterieförslag utmynnade inte i regler och ytterligare regler har också utvecklats efterhand, regler som inte direkt föreslogs i underlagsrapporterna. Ett exempel på en sådan regel är den om utbildning i sparsam körning som inte fanns som ett direkt förslag. Följande rapporter har gåtts igenom:

- Växtodling: Berglund och Wallman, 2011
- Kyckling: Sonesson m.fl., 2009a
- Gris: Sonesson m.fl., 2009b
- Nöt: Sonesson m.fl., 2009c
- Mjölk: Cederberg och Berglund, 2009

Vidare sammanfattas kort under varje avsnitt av de förväntade effekterna på klimatavtrycket av att genomföra de regler som beslutades i den första versionen av Klimatmärkningen.

Växtodling

I växtodlingen är koldioxid och lustgas de helt dominerade växthusgaserna. Koldioxiden kommer framför allt från användning av fossil energi till traktorer, transporter, torkar samt tillverkning av mineralgödselkväve. Koldioxid avgår även från marken, speciellt från mulljordar. Lustgas bildas främst när kväve omsätts i marken och vid tillverkning av mineralgödselkväve.

De föreslagna kriterierna omfattade följande områden:

- Gödsling och växtföljd
    - Skiftesvis gödslingsplan för att minska risken för överskottskväve
    - Åtgärder för ett högt utnyttjande av kvävet i stallgödsel
    - Förslag till regler om torkade och pelleterade stallgödselprodukter
    - Använd mineralgödselkväve ska vara tillverkat i anläggningar med låga lustgasutsläpp
- Organogena jordar
    - Ingen nyetablering av jordbruksmark på organogena jordar
- Energianvändning på gården
    - Energikartläggning och åtgärdsplan
    - Förnybar el
    - Utbildning i sparsam körning (föreslogs inte direkt men lyftes senare av Sigill som en regel och tas därför med i denna sammanställning)

© RISE Research Institutes of Sweden

Effekt på klimatavtrycket

Klimateffekten av de fastställda reglerna utvärderades för höstvete av kvarnkvalitet, höstraps och matpotatis och beräknades innebära minska utsläppen av växthusgaser med 10–15 procent jämfört med utgångsläget. Byte till mineralkvävegödsel producerad med lustgasrening stod för det törsta bidraget till minskningen medan effektivare energianvändning stod för en mindre del (Wallman och Aronsson, 2012).

Frilandsodling av grönsaker, frukt och bär

I underlagsrapporten för växtodling konstaterades att ett viktigt område för trädgårdsgrödor på friland var kväveeffektivitet där man föreslog samma regler som för växtodling generellt. Det andra området som lyftes fram var minimering av svinn, där man bedömde att det var svårt att föreslå fungerande regler, och rekommendationer om sortval och hantering kan vara lämpliga. Eventuellt skulle man kunna kräva dokumentation av svinn och en åtgärdsplan för att minska det.

Foderproduktion

Utsläppen av växthusgaser i foderproduktionen är desamma som i växtodling. Dessutom tillkommer energiåtgång för exempelvis torkning av spannmål och för transporter. En del foder består av restprodukter från livsmedelsindustrier och då tillkommer de utsläpp av växthusgaser som uppstått i denna produktion. Förutom de kriterier som redan nämnts under Växtodling föreslogs också kriterier inom följande områden:

- Omväxlingsgrödor i växtföljden för att bland annat stimulera en ökad odling av inhemska proteingrödor som raps, ärter och åkerbönor
- Sojamjöl och palmkärneexpeller ska vara miljöcertifierade

Animalieproduktion

Utsläppen av växthusgaser från animalieproduktion uppstår i foderproduktionen samt från stallgödselhantering, främst lagring. För idisslare som nötkreatur och får uppstår även växthusgaser från matsmältningen. Energianvändning i stallar orsakar också utsläpp men är oftast av mindre betydelse.

För animalieproduktionen föreslogs ett antal kriterier som var desamma för samtliga djurslag:

- Utfodring
    - Regler för växtodling och foderproduktion ska följas för egen foderodling (dvs foder som produceras på egna gården ska vara klimatcertifierat)
    - Växtnäringsbalans för hela gården ska göras och följas upp årligen (ej nötkött)
    - Inköpt foder ska vara klimatberäknat och analys av näringsinnehållet i allt foder ska göras
    - Analyser av grovfodrets (vallfoder) näringsinnehåll (gäller mjölk, nöt och lamm)

© RISE Research Institutes of Sweden

- Stallgödsel
    - Provtagning av växtnäringsinnehåll av stallgödsel (för kyckling ska den vara anpassad för fjäderfägödsel, både ammonium och urinsyra ska analyseras, för nöt ska gödseln analyseras avseende kväveinnehåll)
    - Regler om täckning av gödsellager
    - Ingen stallgödsel till spannmål på hösten
- Energi på gården
    - Kriterier kring fossila bränslen till uppvärmning av stallar (specifika för olika djurslag) (ej nötkött)
    - Miljömärkt el ska användas (ej nötkött och mjölk)
    - Energikartläggning och åtgärdsplan
    - Energieffektivitet vid nyinvesteringar
    - Låginblandning av RME i diesel som används på gården (ej mjölk)
- Djurhälsa
    - Produktionen ska ingå i ett etablerat hälsoprogram för djurhälsovård, olika beroende på djurslag. Eller så ska ett eget hälsoprogram utarbetas i samråd med veterinär. (sistnämnda gäller lamm)

Gris

Lustgas svarar för närmare hälften av de totala växthusgasutsläppen och metan och koldioxid för lika stora delar av den andra hälften. De åtgärder som bedömdes som mest effektiva var ökad fodereffektivitet, ökad kväveeffektivitet och minskad användning av soja.

Förutom de generella kriterierna föreslogs även följande för griskött:

- Utfodring:
    - Fasutfodring för att undvika överutfodring
    - Inblandningen av sojaprodukter till slaktsvin ska understiga 8%, foder till digivande suggor får högt innehålla 5% sojaprodukter och foder till sinsuggor får inte innehålla soja
- Stallgödselhantering
    - Torkning av gödsel får inte ske
- Energi på gården
    - Inga fossila bränslen till uppvärmning av stallar
- Djurhälsa
    - Nivåer för antal avvanda grisar och dödlighet föreslogs

Effekt på klimatavtrycket

Utvärderingen av effekten på klimatavtrycket av reglerna i klimatmärkningen visade en minskning med cirka 10–15 % per kg griskött, jämfört med den genomsnittliga grisproduktionen år 2005. Potentialen varierar dock mellan gårdar beroende på deras utgångsläge och hur stora förändringar de måste göra för att klara enskilda kriterier. Den uppskattade fördelningen av minskningen av cirka 5 procentenheter för utfodring, cirka 5 procentenheter för bättre kväveutnyttjande, mindre än 5 procentenheter för täckning av flytgödsellager och cirka 1 procentenhet för åtgärder inom energieffektivisering (Berglund m.fl., 2010).

© RISE Research Institutes of Sweden

Kyckling

Förutom de generella kriterierna föreslogs även följande för kyckling:

- Utfodring
  - De generella reglerna enligt ovan
  - Maximalt 1,8 kg foder/kg kyckling som levereras får användas
  - Sojainbladning i foder till produktionsdjur skall vara lägre än 20 procent sett till hela uppfödningstiden
- Energi på gården
  - Uppvärmningen ska i huvudsak ske med förnybara bränslen (20% el är tillåtet)
- Djurhälsa
  - Dödligheten i produktionen ska understiga 2,5 procent.

Effekt på klimatavtrycket

En implementering av reglerna beräknades leda till en minskning av klimatavtrycket med 8 procent för slaktkyckling om man bortser från växthusgasutsläpp från soja-odlingens markanvändning. Fodret står för cirka 90 procent av klimatavtrycket för både slaktkyckling (och ägg, som ingick i rapporten om utvärdering av klimatcertifieringens effekter). För båda djurslagen står förändringen av foderstaten (proportionerna mellan olika fodermedel) för omkring halva förbättringen, medan resterande del förklaras framför allt av minskat klimatavtryck för egenodlad och inköpt spannmål. För slaktkyckling bidrar även minskad energianvändning i stall något till minskningen, medan effekten av detta är försumbar i äggproduktionen (Aronsson m.fl., 2012).

Mjölkproduktion

Förutom de generella kriterierna föreslogs följande för mjölk:

- Utfodring
  - Foderspill och överutfodring ska åtgärdas
  - Kraftfoder med deklarerat låga klimatavtryck ska användas.
  - Inom tre år ska max 100 kg soja per ko och år användas och 50 max 50 kg palmkärneexpeller
  - Minst 70 procent av fodret ska vara odlat på gården eller i samverkan med närliggande växtodlingsgård
- Stallgödselhantering
  - Uppföljning av överutfodring

Effekt på klimatavtrycket

Bedömningen av effekterna då reglerna i IP-standardens klimatmodul infördes var att det kunde leda till leda till minskningar av utsläppen om 10–15 procent fördelat mellan förändrad foderstat (5–10 procent), förändrad kvävegödsling (cirka 5 procent), minskad överutfodring och spill, sparad energi, förbättrad djurhälsa mm (1 procent) (Cederberg, 2009a).

© RISE Research Institutes of Sweden

Nötkött

Slutsatsen i underlagsrapporten var att en förenklad bild av växthusgasutsläppen från nötköttsproduktion är att för mer extensiva betesbaserade produktionssystem domineras utsläppen av metan. Från mer intensiva och spannmålsbaserade produktionssystem orsakas klimatpåverkan till större del av koldioxid och lustgas. För båda systemen är dock metan det enskilt största bidraget. En generell slutsats var också att ett bra system ska ha god tillväxt per dag för att minska metanutsläppen per kg samtidigt som foderproduktionen ska vara klimateffektiv. Vidare påpekades att nötkött är den köttproduktion som är mest komplex och därmed svårast att identifiera kriterier för.

Förutom de generella kriterierna föreslogs även följande för nötkött:

- Utfodring
    - Årlig uppföljning av utfodringen ska göras tillsammans med foderrådgivare
    - Soja och palmkärneexpeller tillåts inte
    - Djuren ska hållas på produktiva beten (ej rastfållor) under betessäsongen
- Produktionseffektivitet
    - Högst tillåtna slaktålder för tjurar är 18 månader och för stutar och kvigor 24 månader
    - För specialiserad nötköttsproduktion är högsta tillåtna inkalvningsålder för kvigor 26 månader, som ett besättningsmedelvärde
- Djurhälsa
    - För specialiserad nötköttsproduktion ska dödligheten fram till avvänjning vara lägre än 5 %

Effekt på klimatavtrycket

Implementeringen av de slutliga reglerna för klimatcertifieringen beräknades minska klimatavtrycket per kg nötkött med 3–7 procent. Minskningen i klimatavtryck är relativt liten vilket till stor del kan förklaras med att det är svårt att göra något åt de stora källorna till växthusgasutsläpp i nötköttsproduktionen, nämligen metanavgången från fodersmältningen och moderdjurets bidrag. Foderproduktionen står för en förhållandevis liten andel av klimatavtrycket för dessa uppfödningsformer.” (Berglund m.fl., 2012)

Referenser

Aronsson, A., Wallman, M., Berglund, M. 2012. Kvantifiering av klimatcertifieringens effekter – kyckling och ägg. SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik. Klimatmärkning för mat.

Berglund, M., Clason, C., Wallman, M., Cederberg, C. 2012. Kvantifiering av klimatcertifieringens effekter – nötkött. SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik. Klimatmärkning för mat.

© RISE Research Institutes of Sweden

Berglund, M., Sonesson, U., Cederberg, C. 2010. Kvantifiering av möjliga utsläpps-minskningar av klimatcertifieringsreglerna för gris. SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik. Klimatmärkning för mat.

Berglund, M. och Wallman, M. 2011. Utsläpp av växthusgaser i växtodling. Underlag till klimatcertifiering. Rapport 2011:1. Klimatmärkning för mat.

Cederberg, C. 2009a. Kvantifiering av möjliga utsläppsminskningar från kriterier för klimatcertifiering mjölk. SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik. Klimatmärkning för mat.

Cederberg, C., Berglund, M. 2009. Utsläpp av växthusgaser i mjölkproduktionen. Underlag till klimatcertifiering. Rapport 2009:3. Klimatmärkning för mat.

Sonesson, U., Berglund, M., Cederberg, C. 2009a. Utsläpp av växthusgaser vid produktion av kycklingkött. Underlag till klimatcertifiering. Rapport 2009:6. Klimatmärkning för mat.

Sonesson, U., Berglund, M., Cederberg, C. 2009b. Utsläpp av växthusgaser vid produktion av griskött. Underlag till klimatcertifiering. Rapport 2009:5. Klimatmärkning för mat.

Sonesson, U., Cederberg, C., Berglund, M. 2009c. Utsläpp av växthusgaser vid produktion av nötkött. Underlag till klimatcertifiering. Rapport 2009:4. Klimatmärkning för mat.

Wallman, M., Aronsson, A. 2012. Kvantifiering av klimatcertifieringens effekter – växtodling. SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik.

© RISE Research Institutes of Sweden

Bilaga 2. Metoder för att beräkna växthusgasutsläpp från jordbrukssektorn

Det har skett en del kring beräkning av växthusgasutsläpp från jordbrukssektorn sedan underlagsrapporterna till Klimatmärkningen togs fram 2009–2011. I dessa beskrevs, i större eller mindre omfattning, hur utsläppen från mark och djurhållning kunde beräknas. Beskrivningarna baseras i mycket stor utsträckning på metoderna som användes i den svenska klimatrapporteringen. Klimatrapporteringen följer IPCC:s riktlinjer för hur länder ska beräkna sina växthusgasutsläpp. Riktlinjerna ger förslag på hur växthusgasutsläpp från olika processer kan beräknas, men ger även länder möjlighet att utveckla egna modeller.

Det finns även ett antal rapporter (från 2009–2012) där klimatcertifieringens effekter på produkternas klimatavtryck har kvantifierats. Dessa beräkningar har också till stor del baserats på samma modeller som i klimatrapporteringen och IPCC:s riktlinjer.

Här följer en kort sammanfattning av vilka förändringar som skett i den svenska klimatrapporteringen de senaste 10 åren kring jordbrukets växthusgasutsläpp. IPCC:s riktlinjer har också uppdaterats (maj 2019), och de kommer också att beskrivas där så är relevant (IPCC, 2019). Förändringar av beräkningsmodellerna innebär även att klimateffekterna av olika åtgärder kan behöva omvärderas, och det kommer att kommenteras.

Rubrikerna nedan motsvarar den indelning i sektorer och undersektorer som finns i klimatrapporteringen.

Metan från fodersmältningen

Nötkreatur: Det finns många olika modeller för att beräkna metanproduktionen från nötkreaturs fodersmältning. I Sveriges klimatrapportering har man alltid använt egna modeller för att beräkna metanproduktionen från nötkreaturens fodersmältning.

Tidigare användes en modell som togs fram i slutet av 1970-talet (Lindgren, 1980) och som kompletterats på 1990-talet angående foder och utfodring (Bertilsson, 2001). En fördel var att modellen harmonierade med de svenska utfodringsnormerna. Modellen beräknade metanproduktionen utifrån djurens beräknade energibehov, utfodringsnivån samt fodrets smältbarhet, innehåll av protein och andelen grovfoder. Energibehovet beräknades som en funktion av djurens vikt, tillväxt och mjölkproduktion.

Det är alltså många parametrar som påverkar resultatet och som kan samverka. Enligt Lindgrens modell finns det ett visst samband mellan mjölkavkastning och metanproduktion, men det är inte linjärt. Enligt denna modell ökar metanproduktionen något med ökad mjölkavkastning (allt annat lika), men kulminerar så småningom. Ju högre mjölkavkastning desto högre energibehov, men enligt Lindgrens modell kommer en mindre andel av fodrets energiinnehåll att förloras som metan ju mer energi som kon äter.

I klimatrapporteringen har Lindgrens modell nu ersatts av modellen som används i Norfor (Bertilsson, 2016, Naturvårdsverket, 2018). Norfor är det nya nordiska fodervärderingssystemet som används sedan en tid. Där beräknas också metanproduktionen

© RISE Research Institutes of Sweden

som en funktion av djurens energibehov och andelen grovfoder, men även andra parametrar som fodrets fett- och energiinnehåll.

Om man jämför beräkningarna enligt Lindgren och Norfor bedöms Norfor ge högre metanproduktion för mjölkkor, speciellt vid de höga mjölkavkastningsnivåer vi har idag. Sambandet mellan mjölkavkastning och metanproduktion är också starkare med Norfor-beräkningen, ju högre avkastning och därmed ju högre energibehov desto högre metanproduktion per ko och år. Metanproduktionen per ton mjölk är ändå lägre vid högre avkastningsnivåer än lägre nivåer, allt annat lika.

Dessutom är det olika parametrar i fodret som beaktas i modellerna. I Norfor-modellen ger ökat fettinnehåll lägre metanproduktion, medan ökat råproteininnehåll ger något högre metanproduktion enligt Lindgren. I Danmark har man sedan tidigare beräknat metanproduktionen från nötkreatur utifrån modeller som beaktar fodrets fettinnehåll och att högre fettinnehåll ger lägre metanproduktion. Man har då även sagt att högre fettinnehåll i fodret skulle vara en åtgärd för att minska kornas metanproduktion.

Effekter för utvärdering av åtgärder: Skillnaderna mellan Lindgrens och Norfor-modellen har betydelse för klimatmärkningen eftersom metan från fodersmältningen står för en så stor del av mjölken och nötköttets klimatavtryck. Modellerna kan ge något olika resultat om de används för att kvantifiera effekter av åtgärder kopplade till djurens fodersmältning. Dessutom har fodersmältningen fått större betydelse för mjölkens och nötköttets klimatavtryck eftersom GWP-talen för metan har höjts (se Bilaga 3 och Kapitel 3.2).

I Norfor-modellen ger mjölkavkastningen större genomslag än i Lindgrens modell, och högre fett- eller energiinnehåll i fodret beräknas ge lägre metanproduktion.

Övriga djurslag: Metanproduktionen anges som ett schablonvärden, kg CH4/djur och år. Schablonvärdena har inte ändrats för gris, får och fjäderfä.

Gödsellager och betesgödsel

Metan

Metanproduktionen från stallgödsel beräknas utifrån mängd organiskt material (VS) i gödsel, hur mycket metan som potentiellt skulle kunna bildas i gödsel (B_o, uttryckt som kg metan per kg VS) samt hur mycket av denna potential som uppnås beroende på lagringsteknik, temperatur och lagringstid (*methane conversion factor,* MCF, uttrycks som % av B_o). Så det blir olika värden för olika djurslag (mängden VS och B_o skiljer sig åt) och stallgödselslag (olika MCF). För nötkreatur och gris beräknas metanproduktionen specifikt utifrån gödselproduktion och aktuell fördelning mellan olika stallgödselslag, medan schablonvärden (kg metan per djur och år) används för får och fjäderfä.

Den stora förändringen som skett i klimatrapporteringen är att Sverige nu räknar med lägre MCF för flytgödsel och djupströgödsel. Tidigare var MCF för flytgödsel 10 %, men idag är värdet 3,5 %, och MCF för djupströgödsel 39 % medan det idag är 17 % (Naturvårdsverket, 2018). Metanavgången från flytgödsel blir därmed betydligt lägre om den räknas med det nya MCF-värdet. Det tidigare värdet kommer från IPCC:s riktlinjer, och avser flytgödsel (med svämtäcke) som lagras i en region med medeltemperatur under

© RISE Research Institutes of Sweden

10 °C. Det nya värdet är nationellt framtaget och baseras på emissionsmätningar som gjorts på RISE i Uppsala.

Lägre MCF innebär att åtgärder som syftar till att minska metanavgången från flyt- och djupströgödsel inte skulle ges lika stort värde som tidigare. Förändringen av MCF gör relativt stor skillnad för klimatavtrycket av griskött, men även viss skillnad för mjölk och nötkött. Grisgödseln är mer potent att bilda metan än vad nötgödseln är. Stallgödselhanteringen utgör också en större andel av grisköttets klimatavtryck än av nötköttets avtryck.

I IPCC:s uppdatering av riktlinjerna beskrivs även hur MCF för flytgödsel kan förfinas genom att beakta lagringstid (kort lagringstid ger lägre metanbildning) och temperaturvariationen över året (IPCC, 2019). Om detta sätt att modifiera MCF appliceras kan man även utvärdera åtgärder som inriktas på lagringstid och temperatur i lagren. Metanproduktionen i gödsellager är starkt temperaturberoende, så det är en stor fördel om det finns lite gödsel i flytgödsellager sommartid.

Lustgas

Lustgasavgången från stall- och betesgödsel beräknas utifrån mängden kväve i träck och urin (kg kväve per djur och år) och en emissionsfaktor som anger hur stor andel av kvävet som omvandlas till lustgas (EF, % av kväve). Det är olika EF för olika stallgödselslag (flyt med/utan svämtäcke, fastgödsel, djupströ, urin). För nötkreatur och gris beräknas lustgasavgången specifikt utifrån mängd kväve och aktuell fördelning mellan olika stallgödselslag, medan schablonvärden (kg lustgas per djur och år) används för får och fjäderfä.

Emissionsfaktorerna i Sveriges klimatrapporteringen har uppdaterats. EF för fast- och djupströgödsel har sänkts (från 2 % till 0,5 % för fast och 1 % för djup), medan den har höjts för flytgödsel (från 0,1 % till 0,5 %). Emissionsfaktorn för flytgödsel avser lagring med svämtäcke. Enligt IPCC:s riktlinjer (2006) är EF = 0 % för flytgödsel utan svämtäcke. Skillnaden mellan flytgödsel med och utan svämtäcke är att i svämtäcket finns den växling mellan syrefattiga och mer syrerika zoner som är nödvändig för att lustgas ska kunna bildas.

Förändringen gör att lustgasavgången från nöt- och svinflytgödsel blir fem gånger högre om den räknas med de nya emissionsfaktorerna istället för de gamla.

Effekter för utvärdering av åtgärder

Med de förändringar som beskrivits ovan kommer växthusgasutsläppen från lagring av flyt- och djupströgödsel totalt sett bli lägre om de räknas med de nya faktorerna. I Tabell 5 ges räkneexempel för nöt- och grisgödsel. I detta exempel blir minskningen störst för djupströgödsel (ca -55 % jämfört med tidigare beräkningar) tack vare betydligt lägre emissionsfaktorer både för metan och lustgas. För flytgödsel blir minskningen större för grisgödsel (-40 %) än nötgödsel (-20 % till -30 %). Metan står för en större andel av grisgödselns växthusgasutsläpp, och en kraftig sänkning av emissionsfaktorn för metan gynnar då grisgödseln mer.

I klimatrapporteringen ingår även så kallade indirekta lustgasemissioner som orsakas av ammoniak som avdunstat från gödseln. Dessa indirekta lustgasemissioner har inte beaktats i Tabell 5.

© RISE Research Institutes of Sweden

Fördelningen mellan metanets och lustgasens bidrag till flytgödselns växthusgasutsläpp kommer alltså att förskjutas så att metanets andel minskar kraftigt. Det innebär att åtgärder som riktas in mot att minska metanemissioner inte ges fullt lika stor betydelse för klimatavtrycket av mjölk samt nöt- och griskött som tidigare. Risk finns dock för att det ger en missvisande bild av verkligheten. Den gamla fördelningen stämmer bättre överens med de emissionsmätningar som gjorts på flytgödsellager på RISE. En förklaring är att man i försöken so RISE gjort knappt sett några lustgasemissioner, betydligt lägre emissioner än motsvarande de 0,5 % av gödselns kväveinnehåll som dagens emissionsfaktor ger.

Med de nya emissionsfaktorerna kommer också åtgärder som minskar mängden kväve i gödseln att få större betydelse än tidigare, eftersom det beräknas minska lustgasavgången från gödseln.

Tabell 5: Metan- och direkta lustgasemissioner från flyt- och djupströgödsel beräknade med de nuvarande respektive tidigare emissionsfaktorerna enligt Sveriges klimatrapportering.

				Nuvarande beräkning (kg CO_2e /år)[1, 2]			Tidigare beräkning (kg CO_2e /år)[1,3]			Skillnad
	kg VS/år	kg N/år	B_0	Metan	Lustgas	CH4 (% av tot)	Metan	Lustgas	CH4 (% av tot)	
Flytgödsel:										
Mjökkor	1 955	131	0,24	275	308	47%	786	62	93%	-31%
Övriga nötkreatur, genomsnitt	628	42	0,18	66	98	40%	189	20	91%	-21%
Grisar, genomsnitt	112	9	0,45	30	22	58%	85	4	95%	-42%
Djupströgödsel:										
Mjökkor	1 955	131	0,24	1 336	615	68%	3 065	1 231	71%	-55%
Övriga nötkreatur, genomsnitt	628	42	0,18	322	196	62%	739	392	65%	-54%
Grisar, genomsnitt	112	9	0,45	144	44	77%	330	87	79%	-55%

1. Mängden VS och kväve för olika djurslag enligt Naturvårdsverket (2018). Avser mängd utsöndrat per djur och år. *Global Warming Potential*, 100 år enligt IPCC, 2007. 1 kg metan (CH_4) = 25 kg CO_2e, 1 kg lustgas (N2O) = 298 kg CO2e
2. För flytgödsel: MCF = 3,5 %, EF = 0,5 %. För djupströgödsel: MCF = 17 %, EF = 1 %.
3. För flytgödsel: MCF = 10 %, EF = 0,1 %. För djupströgödsel: MCF = 39 %, EF = 2 %.

Lustgas från mark

Beräknas som en funktion av mängden kväve som tillförs marken, det vill säga som kg tillfört kväve gånger en emissionsfaktor (% N_2O av tillfört kväve). Tidigare hade Sverige egna emissionsfaktorer som innebar att lustgasemissioner från fält beräknades vara mycket högre vid gödsling med stallgödsel än med mineralgödsel. Idag använder man samma emissionsfaktorer som i IPCC:s riktlinjer 2006, det vill säga att 1 % av kväve som tillförs via mineralgödsel, stallgödsel, andra organiska gödselmedel och via skörderester omvandlas till lustgas. Man räknar även med en extra bakgrundemission av lustgas från mulljordar.

Effekter för utvärdering av åtgärder: Detta sätt att beräkna lustgasavgången från mark är mycket förenklad och speglar inte alla avgörande faktorer som styr lustgasavgången från mark som klimat, markförhållanden samt kvävets omsättning i mark och upptag i gröda. Metoden ger dock en rimlig nivå på lustgasavgången (kg lustgas per hektar och år) jämfört med resultat från emissionsmätningar och beräkningar i avancerade modeller. Metoden är dock inte lämplig för att utvärdera effekter av åtgärder

© RISE Research Institutes of Sweden

för att minska lustgasavgången från mark eftersom den inte beaktar avgörande faktorer och konsekvenser av åtgärden.

I uppdateringen av IPCC:s riktlinjer 2019 (IPCC, 2019) beskrivs också bristerna med detta förenklade sätt att beräkna lustgasavgången från mark. Ett alternativ som de föreslår är differentierade emissionsfaktorer för olika klimatområden (torrt, nederbördsrikt) och för olika gödselmedel (mineralgödsel respektive organiska gödselmedel).

Kolförråd i mineraljordar

Sverige använder en nationell modell (ICBM) för att beräkna hur mängden kol i mark förändras mellan år beroende på väder, grödfördelning, gödsling etc. Resultaten redovisas som förändringar i kolförrådet i mark. Man kan se en rätt stor mellanårsvariation, ofta inom intervallet -170 till + 100 kg C/ha och år, men även större förändringar (-390 till +350 kg C/ha och år)[31]. Variationen beror främst på att grödfördelning och vädret ändras från år till år (Kätterer, T., personlig kommunikation, maj 2018). Modellen visar i snitt en liten förändring av kolförrådet över åren, (i genomsnitt -36 kg C/ha och år mellan 1990 och 2017).

Dessa resultat skiljer sig mot de inventeringar som gjorts av hur kolförrådet i svensk åkermark har förändrats. Inventeringarna tyder på en nettoökning av kolförrådet i mark, bland annat tack vare ökad vallodling. Det finns vissa brister i ICBM som till exempel gör att vallens positiva effekt på kolförrådet inte beräknas på ett adekvat sätt. Uppdateringar kommer att göras så att skillnaderna mellan inventeringsdata och modellberäkning troligtvis blir mindre (Kätterer, T. Personlig kommunikation, maj 2018).

Effekter för utvärdering av åtgärder: De metoder som används i klimatrapporteringen har inte varit tillgängliga för utvärdering av klimatmärkningens regler.

Mulljordar

Inga förändringar sedan tidigare underlagsrapporter.

Referenser

Bertilsson J. 2016. Updating Swedish emission factors for cattle to be used for calculations of greenhouse gases. Report 292. Department of Animal Nutrition and Management. Swedish University of Agricultural Sciences.

Bertilsson, J. 2001. Utvärdering av beräkningsmetodik för metanavgång från nötkreatur. Internt dokument, Naturvårdsverket. Sverige

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 10 Emissions from Livestock and Manure Management

[31] Avser 1990–2017 enligt ”Utsläpp och upptag av växthusgaser från markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk efter växthusgas, delsektor och år” i SCB:s statistik

© RISE Research Institutes of Sweden

IPCC. 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use.Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use.

Landquist, B. 2017. Förstudie: Uppdatering av klimatregler för växthus och växtodling inklusive stallgödsel. RISE Rapport. December 2017. RISE-Research Institutes of Sweden

Lindgren, E. 1980. Skattning av energiförluster i metan och urin hos idisslare. En litteraturstudie. Rapport 47. Avd. för Husdjurens Näringsfysiologi, Sveriges Lantbruksuniversitet.

Naturvårdsverket. 2018. National Inventory Report Sweden 2018. Greenhouse Gas Emission Inventories 1990-2016 Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol.

Personlig kommunikation

Kätterer, Thomas. Personlig kommunikation, maj 2018.

© RISE Research Institutes of Sweden

Bilaga 3. Värdering av olika växthusgaser

Det finns flera olika växthusgaser och faktorer som påverkar klimatet. Växthusgaserna har vitt skilda egenskaper, och deras klimatpåverkan skiljer sig därmed också åt. I denna bilaga diskuteras två av de för jordbruket centrala växthusgaserna, nämligen metan och koldioxid. Dessa växthusgasers egenskaper skiljer sig markant åt, vilket även påverkar hur de kan värderas tillsammans. Frågan om metanets faktiska påverkan på klimatet har också debatterats mycket på sistone, och det har ifrågasatts om det är rätt att metan tillskrivs så stor betydelse för klimatet. Syftet med denna bilaga är att ge ökad förståelse för skillnaderna mellan metan och koldioxid, och att ge en grund till en rekommendation för hur metan och koldioxid kan värderas mot varandra i klimatcertifieringen.

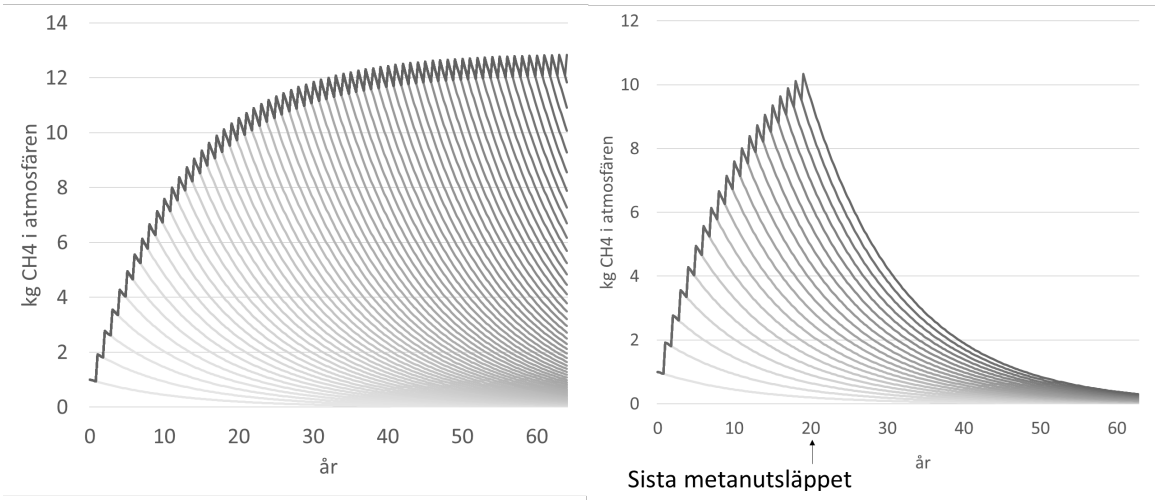
Lustgas diskuteras inte specifikt här trots att det är en viktig växthusgas för jordbruket och den är en mycket kraftig växthusgas. Lustgas har likheter med koldioxid på så sätt att lustgas har relativt lång livslängd i atmosfären. Det innebär att det inte blir lika stora skillnader mellan olika metoder för att vikta lustgasens och koldioxidens klimatpåverkan mot varandra som det blir när man viktar metan och koldioxid mot varandra.

Egenskaper hos metan och koldioxid

Metan bildas vid nedbrytning av organiskt material under syrefria förhållanden, till exempel i vattenmättade myrmarker, i idisslares fodersmältning och vid lagring av stallgödsel. Stora mängder metan kommer även från utvinning av naturgas och vid kolbrytning. Metan kan även bildas vid förbränning både av fossila bränslen och biobränslen. Upptining av permafrost gör också att gamla lager av metan släpps ut till atmosfären.

Metan räknas till de kortlivade växthusgas, i genomsnitt är metanets uppehållstid i atmosfären 12,4 år (Myhre m.fl., 2013a). Metanet som finns i atmosfären idag kommer alltså från de metanutsläpp som skett de senaste decennierna. Mängden metan som finns i atmosfären idag beror alltså på utsläppsnivåerna de senaste decennierna – ju högre utsläpp (ton metan per år) desto högre koncentration. Vid konstanta utsläpp kommer koncentrationen i atmosfären att stabiliseras på sikt eftersom nedbrytningen blir lika stor som nytillskottet (se den vänstra bilden i Figur 19). Men nivån på vilken metanhalten landar bestäms alltså av hur stora utsläppen är per år – höga utsläpp ger höga nivåer, låga utsläpp låga nivåer. Om utsläppen minskar eller upphör kommer mängden metan i atmosfären sjunka relativt snabbt (se den högra bilden i Figur 19).

© RISE Research Institutes of Sweden



Figur 19. Mängd metan i atmosfären till följd av utsläpp om 1 kg metan per år under +60 år (vänstra bilden) respektive om utsläppen upphör efter 20 år (högra bilden).

Nedbrytning av metan ger koldioxid. Fullständig oxidation av 1 kg metan ger 2,75 kg CO_2. Om metanet har fossilt ursprung (till exempel från naturgas) ger det ett nettotillskott av koldioxid till atmosfären. Om det istället rör sig om metan från omsättning av växtmaterial (till exempel från djurens fodersmältning eller från stallgödselhantering) och från kol som ingår i ett kretslopp bidrar inte nedbrytningen av metanet till något nettotillskott av koldioxid till atmosfären.

Metan i sig är en relativt stark växthusgas. Men metanets klimatpåverkan förstärks dessutom ytterligare av vattenångan som bildas vid nedbrytning av metan i atmosfären, och av att metanet påverkar bildningen och nedbrytningen av ozon vid mark och i stratosfär. Totalt sett är klimatpåverkan av ett kg metan i atmosfären cirka 120 gånger högre än för ett kg koldioxid i atmosfären (Myhre m.fl., 2013b). Detta gäller oavsett om metanet har fossilt eller biogent ursprung.

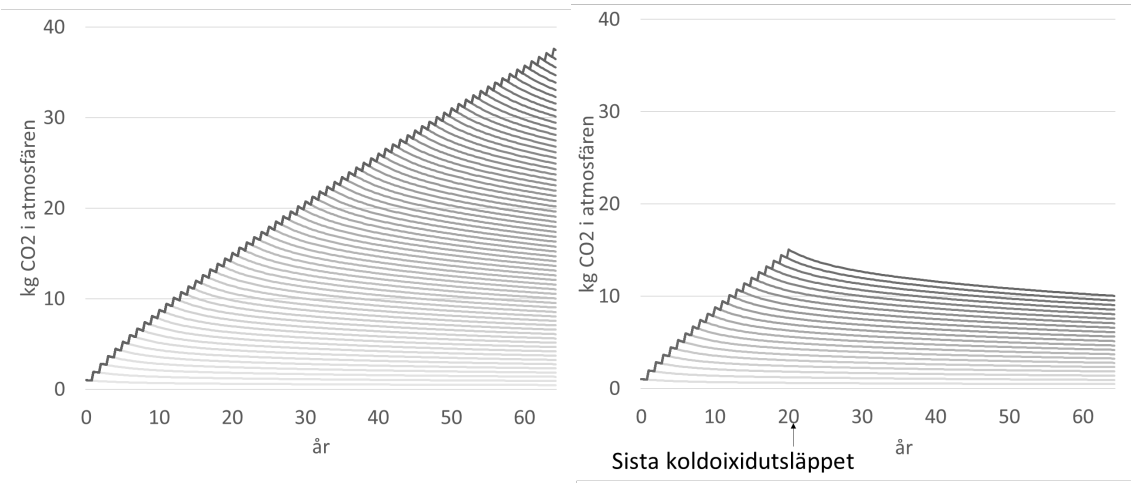
Koldioxid bryts inte ner i atmosfären, vilket gör den unik bland växthusgaserna. Koldioxid tas upp i hav och mark/biosfär. Upptaget i ytvattnet i haven (kemisk jämvikt) påverkas av koldioxidkoncentration i atmosfären, ju högre koncentration desto större upptag. Upptaget styrs även av temperaturen. Koldioxidens löslighet i vatten avtar med ökande temperatur. Den lösta koldioxiden transporteras sedan neråt till djupare vatten, men omsättningen av vatten mellan ytskikt och djuphav är en mycket långsam process och därmed tar även transporten av koldioxid lång tid.

Upptag i biosfären sker via fotosyntesen. Vegetation och mark kan dock bara ses som en varaktig koldioxidsänka om det sker en nettotillväxt av biomassa och om kolförrådet i mark och biomassa varaktigt bibehålls eller ökar. Kolet som bundits in i vegetabilier som vi eller djuren äter räknas därmed inte som en varaktig kolsänka eftersom det mesta organiska materialet snabbt bryts ner och kolet därmed snabbt återgår till atmosfären. En liten del av kolet i vegetabilierna kan dock långsiktigt bindas in mark till exempel om spridning av stallgödsel bidrar till att markens kolförråd ökar.

Med dagens koldioxidkoncentration i atmosfären och temperatur uppskattas cirka 40 % av koldioxiden som släpps ut idag att finnas kvar om 100 år, och cirka 25 % om 1 000 år (beräknat från Myhre m.fl., 2013b). Med andra ord är det en avgörande skillnad mellan

© RISE Research Institutes of Sweden

koldioxid och metan på så sätt att utsläpp av koldioxid ackumuleras i atmosfären (se Figur 20). Så även om vi stryper utsläppen av koldioxid idag kommer vi att se effekterna av hittillsvarande utsläpp under mycket lång tid framöver.



Figur 20. Mängd koldioxid i atmosfären till följd av utsläpp om 1 kg koldioxid per år under +60 år (vänstra bilden) respektive om utsläppen upphör efter 20 år (högra bilden). Observera att det är annan skala på y-axeln än i Figur 19.

Det finns även flera exempel på återkopplingar (*Climate-Carbon feedback*) i klimatsystemet, det vill säga att en förändring leder till ytterligare följdverkningar. Det kan både handla om positiva återkopplingar (alltså att effekten av en förändring förstärks i klimatsystemet) och negativa återkopplingar (det vill säga att effekten av en förändring dämpas). Ett sådant exempel är att de pågående klimatförändringar bedöms försämra upptaget av koldioxid i hav. Visserligen driver den ökande koldioxidkoncentrationen på upptaget av koldioxid i hav, men i takt med att haven blir varmare kan de inte lösa lika mycket koldioxid. Ett annat exempel är att klimatförändringarna även leder till att permafrost tinar och därmed även att gamla lager av metan tinar, vilket ytterligare förstärker klimatpåverkan.

Olika sätt att värdera effekten av flera växthusgaser

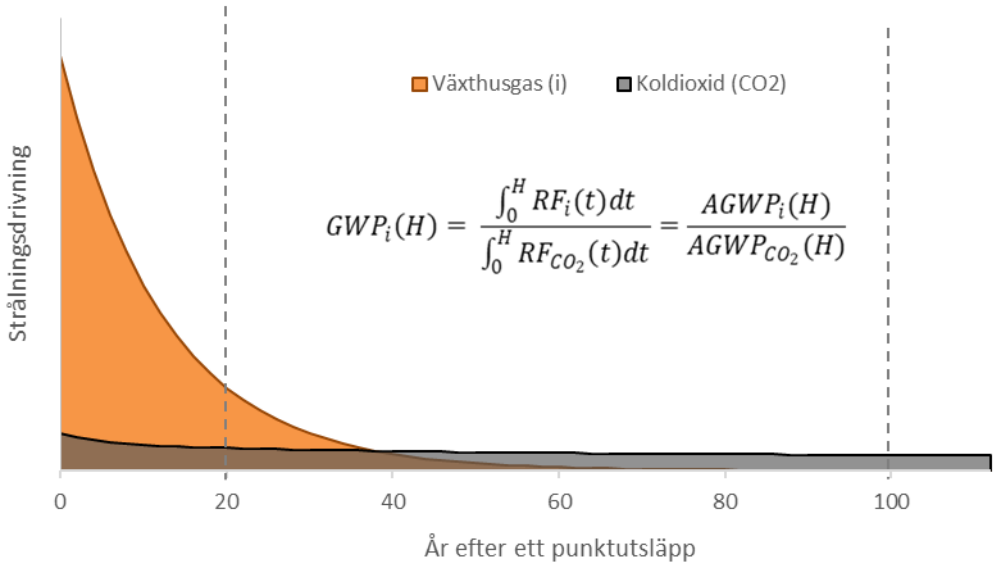
För att kunna värdera klimatpåverkan av flera växthusgaser behöver de kunna jämföras med varandra på en gemensam ”skala”, eller med en gemensam metod (metrik). Det finns flera metriker.

Den vanligaste metriken hittills har varit ***Global Warming Potential*, GWP**. GWP används till exempel inom klimatrapporteringen, i klimatpolitik och livscykelanalyser.

I IPCC:s senaste utvärderingsrapport beskrivs GWP som den uppvärmande effekten (strålningsdrivning) över tid orsakad av ett punktutsläpp av en viss växthusgas relativt effekten orsakad av ett lika stort punktutsläpp av koldioxid (Myhre m.fl., 2013a, Chapter 8.7). GWP beskriver alltså en växthusgas klimatpåverkan relativt klimatpåverkan av koldioxid. Enheten är kg koldioxidekvivalenter (kg CO_2e) per kg växthusgas. Det går även att uttrycka en växthusgas klimatpåverkan i absoluta tal (*Absolute Global Warming Potential*, AGWP), enheten är då W per m², år och kg växthusgas.

© RISE Research Institutes of Sweden

AGWP- och GWP-begreppet illustreras i Figur 21. Bilden visar den uppvärmande effekten av ett punktutsläpp som sker år noll av koldioxid respektive växthusgas *i*, och hur den sjunker över tid i takt med att gaserna försvinner ur atmosfären. AGWP är ytan under en linje. GWP för växthusgas *i* beräknas som AGWP för 1 kg av växthusgas *i* dividerat med AGWP för 1 kg koldioxid. AGWP och GWP beräknas för en given tidsperiod (H). H är oftast 100 år (GWP_{100}, $AGWP_{100}$), och det är då ytan från 0 till 100 år som ska beräknas. Ett annat förekommande alternativ är GWP_{20} och $AGWP_{20}$, det vill säga klimatpåverkan under tjugo år efter punktutsläppet.

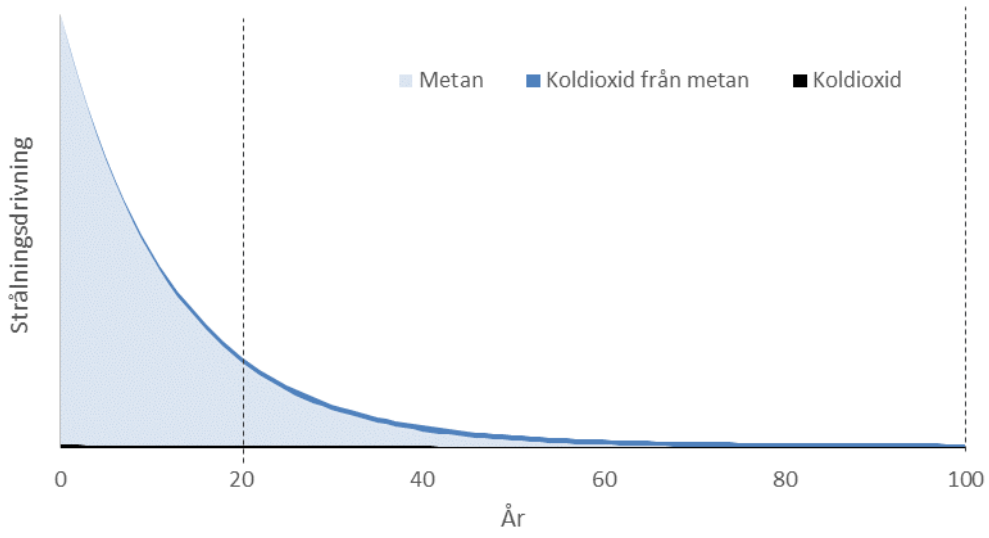


Figur 21. Grafisk beskrivning av konceptet Global Warming Potential, GWP. Punktutsläpp sker år 0 med 1 kg koldioxid och 1 kg växthusgas *i*. RF = strålningsdrivning (*radiative forcing*) för växthusgas *i* respektive koldioxid, och hur den ändras över tid bland annat beroende på nedbrytning eller upptag av växthusgasen. H = den tidsperiod som avses, till exempel 20 eller 100 år. AGWP = Absolute Global Warming Potential.

GWP för metan beror alltså på vilket tidsperspektiv som valts, men även på om metanet har fossilt ursprung och koldioxiden från metanets nedbrytning därmed ska inkluderas. GWP_{100} för metan har beräknats till 28 kg CO_2e/kg metan med biogent ursprung respektive 30,5 kg CO_2e/kg metan med fossilt ursprung när metanets nedbrytning till koldioxid och upptaget av koldioxid beaktats. GWP_{20} för metan är högre och beräknas vara 84 kg CO_2e/kg metan med biogent ursprung respektive 85 kg CO_2e/kg metan med fossilt ursprung (Myhre m.fl., 2013a), se även Figur 22. Anledningen till att GWP_{20} för metan är så mycket högre än GWP_{100} är att metanet bryts ner så snabbt i atmosfären, och därmed kommer metanet framför allt ha stor inverkan på klimatet i närtid efter utsläppet skett.

Om effekter av den positiva återkopplingen i klimatsystemet adderas blir GWP_{100} 34 kg CO_2e och GWP_{20} 86 kg CO_2e per kg metan med biogent ursprung (Myhre m.fl., 2013a; Table 8.7)

© RISE Research Institutes of Sweden



Figur 22. Jämförelse av klimatpåverkan (Strålningsdrivning) av ett punktutsläpp år 0 av samma mängd metan och koldioxid. Ytan "Koldioxid från metan" representerar klimatpåverkan av den koldioxid som bildas vid nedbrytning av metan i atmosfären.

En annan metrik är **Global Temperature change Potential, GTP.** GTP går ett steg längre än GWP, och beskriver vilken effekt utsläpp av växthusgaser har på temperaturen vid markytan. GTP-talet för en växthusgas beskriver hur stor temperaturhöjningen blir jämfört med om samma mängd koldioxid hade släppts ut. En växthusgas GTP-tal är alltså ett relativt mått, och uttrycks också relativt koldioxidens effekt på temperaturen. GTP beskriver hur stor temperaturhöjningen blir vid en viss tidpunkt i framtiden, normalt 20, 50 eller 100 år efter att utsläppet skett. Det är en skillnad mot GWP som beskriver effekten fram t o m en viss tidpunkt (=ytan under en kurva). GTP säger alltså inget om vilken effekt växthusgasen haft på klimatet innan denna tidpunkt, och den säger inget om effekten efter denna tidpunkt.

GWP och GTP har bland annat kritiserats av Allen m.fl. (2018). De traditionella måtten GWP och GTP ger ett fixt omräkningstal för växthusgaser som gäller för en viss tidshorisont, till exempel GWP_{100} eller GTP_{20}. Allen m.fl. (2018) belyser att de traditionella måtten brister när man ska bedöma vilka effekter åtgärder mot växthusgasutsläpp kommer att ha på klimatet och på temperaturen. Denna brist gäller för kortlivade växthusgaser, som metan. Om utsläppen av kortlivade växthusgaser minskar kommer halten av dessa växthusgaser att minska i atmosfären eftersom nytillförseln kommer vara mindre än nedbrytningen av växthusgaserna som redan finns i atmosfären. Det skulle då leda till sänkt temperatur. Om man använder GWP och GTP som metrik kommer man inte kunna fånga in denna effekt på temperaturen - GWP och GTP är statiska på så sätt att de bara beaktar hur stora de aktuella utsläppen är, inget om hur de förhåller sig till historiska eller framtida utsläppsnivåer.

Allen m.fl. (2018) beskriver ett alternativt mått, **GWP***, som ska kunna användas för att bättre beskriva konsekvenserna av ändrade utsläppsnivåer av kortlivade växthusgaser. GWP* för en kortlivad växthusgas, som metan, justeras utifrån hur utsläppsnivåerna har förändrats de senaste 20 åren. GWP* är alltså inte konstant för en kortlivad växthusgas, utan styrs av hur utsläppsnivåerna (ton per år) förändras över tid. Ökande utsläpp ger

© RISE Research Institutes of Sweden

ett positivt värde på GWP*; ju högre takt på utsläppsökning desto högre värde på GWP*. Minskande utsläpp innebär att halten av den kortlivade växthusgasen kommer att minska i atmosfären, och det speglar sig också i att värde på GWP* blir negativt. Vid konstanta utsläppsnivåerna ger utsläppen av kortlivade växthusgas ingen ytterligare påverkan på temperaturen; GWP* är 0 vid konstanta utsläppsnivåer.

GWP* för koldioxid och för växthusgas med livslängd över 100 år (exempelvis lustgas) är det samma som växthusgasens GWP_{100}-tal, det vill säga 1 kg koldioxid = 1 kg CO_2e * och 1 kg lustgas = 265 kg CO_2e *.

GWP* kan användas för att göra bättre utvärderingar av långsiktiga klimateffekter av olika utsläppsscenarion, åtgärder för att kraftigt minska växthusgasutsläpp eller av länders historiska och prognostiserade växthusgasutsläpp. Det är dock viktigt att komma ihåg två saker kring GWP*-talet för metan och andra kortlivade växthusgaser. För det första, GWP* för kortlivade växthusgaser beskriver endast effekter av utsläppsförändringar, och säger alltså inget om de absoluta utsläppsnivåerna och hur stor klimatpåverkan de totala utsläppen av växthusgasen orsaker. Så vid en given utsläppsförändring (säg -1 ton metan per år) skulle man få samma resultat med GWP* oavsett om utsläppen minskade från 100 000 ton metan eller från 100 ton metan. För det andra, GWP*-talet är inte det samma varje år eller för alla regioner, länder eller system, utan styrs av hur utsläppsnivåerna från det studerade systemet förändras över tid. Detta gör att GWP* har sina begränsningar när det gäller att utvärdera mindre produktionssystem eller i klimatavtrycksberäkningar av enskilda produkter. Om till exempel produktionen utökas i ett system och växthusgasutsläppen från systemet ökar i motsvarande takt skulle det också innebära högre GWP* för metan, även om växthusgasutsläppen per kg produkt skulle vara oförändrade.

Rekommendation och värden

I tidigare utvärdering av reglerna i klimatmärkningen har GWP_{100} använts i beräkningarna. Här föreslås att denna metod fortsatt används. Fördelar med GWP_{100} är att metoden är enkel att använda och att den är välkänd tack vare att den är den mest använda metoden för att vikta olika växthusgaser. GWP summerar hur stor uppvärmande effekt en växthusgas har under en given tidsperiod, men en nackdel är att det inte säger något om växthusgasens effekter efter denna tidsperiod.

Det finns dock stora skillnader i egenskaper och livslängd mellan koldioxid och den kortlivade växthusgasen metan som inte kan speglas om man enbart använder GWP_{100} som mått. Det har särskild betydelse för animalieproduktion där metan är en stor växthusgas. Ett sätt att nyansera bilden är använda fler mått än GWP_{100}. Inom LCA-världen börjar det också rekommenderas att man använder någon mer metod än GWP_{100} för att få en bredare bild av en produkts klimatpåverkan. GWP_{100} summerar hur stor uppvärmande effekt en växthusgas har under 100 år. Det finns dock inget entydigt svar på vad som är rätt tidsperiod, utan det beror på vad man värderar. En kortare tidsperiod (20 år) är lämpligt om man lägger stor vikt vid att begränsa klimatförändringar i närtid. Andra alternativ är GTP som beskriver vilken effekt ett växthusgasutsläpp har på temperaturen vid en viss tidpunkt i framtiden (20, 50 eller 100 år).

En annan aspekt är *climate-carbon feedback* och huruvida den ska inkluderas för alla växthusgaser. *Climate-carbon feedback* inkluderas alltid för koldioxid, och i den senaste

© RISE Research Institutes of Sweden

utvärderingsrapporten finns det nu underlag för att även inkludera det för andra växthusgaser. I nyare livscykelanalyser börjar nu C*limate-carbon feedback* tas med för alla växthusgaser, och vi förslår att det även gör här. Det innebär att GWP-talet för metan och lustgas blir högre än om *climate-carbon feedback* inte tagits med.

GWP och GTP för metan och lustgas med olika ursprung och för olika tidpunkter ges i Tabell 6. GWP och GTP för fossil koldioxid är alltid 1 kg CO_2e/kg CO_2, och för koldioxid med biogent ursprung 0 kg CO_2e/kg CO_2. Värdena i tabellen är hämtade från IPCC:s senaste utvärderingsrapport (Myhre m.fl., 2013a)

GWP_{100} för metan är högre i Myhre m.fl. (2013a) än i tidigare utvärderingsrapporter. Det handlar dels om ny kunskap om metanets egenskaper och påverkan i atmosfären, dels om att talet blir högre när återkopplingar i klimatsystemet inkluderas (GWP_{100} = 28 kg CO2e/kg metan (biogent ursprung) utan *climate-carbon feedback*). I föregående utvärderingsrapport IPCC (2007) var GWP_{100} för metan satt till 25 kg CO_2e /kg metan.

Tabell 6. Global Warming Potential (GWP) och Global Temperature change Potential (GTP) för metan och lustgas, med *climate-carbon feedback* (Myhre m.fl., 2013a, Table 8.7)

	GWP_{100}	**GWP_{20}**	**GTP_{20}**	**GTP_{100}**
Metan, biogent ursprung	34	86	70	11
Metan, fossilt ursprung	36	87	71	13
Lustgas	298	268	284	297

Referenser

Allen, M R., Shine, K P., Fuglestvedt, J S., Millar, R J., Cain, M., Frame, D F., Macey, A H. 2018. A solution to the misrepresentations of CO2-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. Climate and Atmospheric Science volume 1, Article number: 16 (2018)

Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F. M., Collins, W., Fuglestvedt, J., Huang, J., ... & Nakajima, T. 2013a. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F. M., Collins, W., Fuglestvedt, J., Huang, J., ... & Nakajima, T. 2013b. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing Supplementary Material. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)].

© RISE Research Institutes of Sweden

© RISE Research Institutes of Sweden

© RISE Research Institutes of Sweden

Through our international collaboration programs with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the futureproofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 200 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.

RISE Research Institutes of Sweden AB
Ideon Science Park, Beta 5, 223 70 LUND
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Jordbruk och livsmedel
RISE Rapport 2019:121
ISBN: 978-91-89049-74-1

© RISE Research Institutes of Sweden