



En fossilfri och mer robust jordbruksproduktion i Skåne

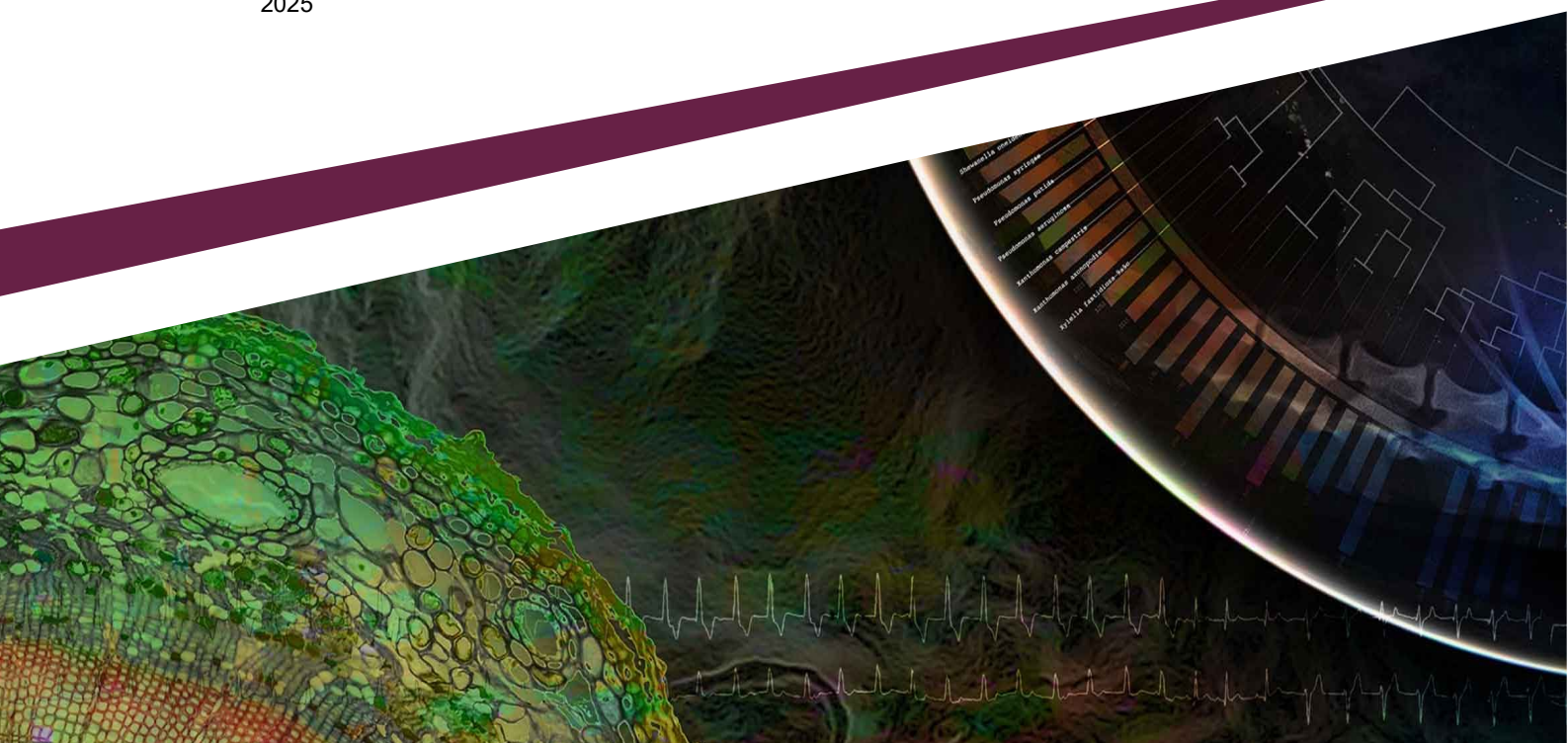
- En kunskapssammanställning

Daniel Nilsson, Marc Puig van Friesen, Sven Bernesson

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap, Institutionen för biosystem och teknologi – Rapport 2025:2

2025



En fossilfri och mer robust jordbruksproduktion i Skåne – En kunskapssammanställning

Daniel Nilsson, <https://orcid.org/0000-0002-0114-2030>, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för biosystem och teknologi.

Marc Puig van Friesen, HIR Skåne.

Sven Bernesson, <https://orcid.org/0000-0001-5314-687X>, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för biosystem och teknologi.

| | |
|------------------------------------|---|
| Utgivare: | Sveriges lantbruksuniversitet, Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap, Institutionen för biosystem och teknologi |
| Utgivningsår: | 2025 |
| Utgivningsort: | Alnarp |
| Upphovsrätt: | Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd. |
| Serietitel: | Landskapsarkitektur, trädgård, växtproduktionsvetenskap: rapportserie |
| Delnummer i serien: | 2025:2 |
| ISBN (elektronisk version): | 978-91-8046-942-5 |
| DOI: | https://doi.org/10.54612/a.6nrm7nonkr |
| Nyckelord: | växthusgaser, koldioxid, fossilfri, robust, jordbruk, Skåne |

© 2025 (Daniel Nilsson, Marc Puig van Friesen, Sven Bernesson)

Detta verk är licenserat under CC BY 4.0, andra licenser eller upphovsrätt kan gälla för illustrationer. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarnas egna.

FÖRORD

Vår livsmedelproduktion svarar för en stor andel av utsläppen av växthusgaser, men denna sektor kommer också att påverkas starkt av de klimatförändringar som orsakas av dessa utsläpp. Det är därför viktigt att minska utsläppen så snabbt som möjligt, även om det kan dröja länge innan jordbruket blir helt ”fossilfritt”.

Skåne kallas ibland för ”Sveriges kornbod”, eftersom detta län svarar för en stor del av landets livsmedelsproduktion. Ett syfte med detta projekt var att översiktligt ta fram ett underlag inför beslut om vilka satsningar man kan göra för att få en mer hållbar och robust livsmedelsproduktion i Skåne.

Denna kunskapssammanställning initierades av Länsstyrelsen i Skåne. Vi vill tacka våra finansiärer, som har varit Länsstyrelsen i Skåne och Partnerskap Alnarp, som är knutet till Sveriges lantbruksuniversitet i Alnarp. Vi vill också tacka Peter Odhner, Länsstyrelsen i Skåne, Nils Helmersson, HIR Skåne och Ulf Jobacker, Energikontor Syd, för värdefulla diskussioner.

Alnarp, den 20 februari 2025.

Daniel Nilsson, Marc Puig van Friesen, Sven Bernesson

SAMMANFATTNING

I Skåne bedrivs ett intensivt jordbruk, och länet har bland de bästa odlingsförutsättningarna i landet när det gäller bördighet, klimat och arrondering. Jordbruket svarar för nästan en fjärdedel av de totala territoriella utsläppen av växthusgaser i länet, och för ungefär en sjättedel av landets totala utsläpp inom jordbrukssektorn. Arbetet med att minska dessa utsläpp behöver därför intensifieras om regionala, nationella och europeiska (EU) utsläppsmål ska kunna nås.

Ett syfte med denna studie var att inventera och analysera lantbrukets utsläpp av växthusgaser i Skåne län, med särskild fokus på utsläpp av koldioxid med fossilt ursprung, för att därigenom kunna beskriva lantbrukets beroende av fossilbaserade produkter. Både direkta (territoriella) och indirekta (via insatsvaror) utsläpp har inventerats. En uppskattning av utsläppen från olika produktionsinriktningar (växtodling, animalieproduktion) har också gjorts för att illustrera hur stora utsläppen är för produktion av olika typer av livsmedel, och för att se vilka specifika möjligheter det finns för att minska dessa utsläpp. Ett annat syfte var att se vilka möjligheter det finns att minska de fossila utsläppen med hjälp av energieffektivisering och en övergång till biodrivmedel och elektrifiering.

Resultaten visade att lustgas, framförallt från kvävet omsättning i marken, och metan, framförallt från djurens matsmältning, var de viktigaste växthusgaserna i det skånska lantbruket under år 2022; 52 % resp. 39 %, uttryckt i CO₂-ekvivalenter. Koldioxid var den tredje största växthusgasen med 9 %. De territoriella utsläppen från användning av fossila bränslen var ca 8 %, eller ca 90 000 ton CO₂-ekv. De insatsvaror som hade de högsta utsläppen var mineralkvävegödsel och sojafoder, med en uppskattad utsläppsnivå på drygt 150 000 ton CO₂-ekv/år resp. 100 000 ton CO₂-ekv/år. Dessa uppskattningar är något osäkra, samtidigt som det sker en snabb utveckling mot ”grönare” tillverkning av kvävegödsel och en ökad inhemsk produktion av alternativa proteingrödor. Det skånska jordbruket har också goda möjligheter att binda in kol i marken genom t.ex. odling av mellangrödor, återförsel av växt- och rötresten och tillförsel av biokol.

Fossila drivmedel till lantbrukets traktorer och maskiner kan på kort sikt ersättas med biodrivmedel. De drivmedel som är aktuella är framförallt HVO (hydrerade vegetabiliska oljor), syntetiska drivmedel, FAME (fettsyrametylestrar), etanol (E85 – inblandning i bensin) och biogas. Det är viktigt att styrmedel införs som ökar de ekonomiska incitamenten för att använda förnybara bränslen.

Framöver förväntas även en ökad elektrifiering inom lantbruket. Egen produktion av el kan ske genom kraftvärmeanläggningar, vindkraftverk och s.k. solbruk (”agrivoltaics”). Denna el kan användas internt för att driva olika fordon, lagras via batterier (och ev. bidra med stödtjänster till elnätet), och för att producera vätgas och ammoniak. På längre sikt kan ammoniak bli kommersiellt intressant för småskalig produktion av kvävegödsel. Tre fallstudier i projektet visade att gårdar som använder biogas, vätgas, ammoniak och batteridrift har stor potential att minska användningen av fossila bränslen. I rapporten förs också en diskussion kring vikten av robusta energisystem, inte minst med tanke på säkerhetsläget i vår omvärld.

ABSTRACT

Skåne is a county with intensive agriculture, and it has some of the best farming conditions in Sweden in terms of soil fertility, climate and farm layout. Agriculture accounts for almost a quarter of the total territorial greenhouse gas emissions in the county, and for approximately one sixth of the country's total emissions in the agricultural sector. Efforts to reduce these emissions therefore need to be intensified if regional, national and European (EU) emission targets are to be achieved.

One aim of this study was to inventory and analyse agricultural greenhouse gas emissions in Skåne (Scania) County, with a particular focus on emissions of carbon dioxide of fossil origin, in order to thereby describe agriculture's dependence on fossil-based products. Both direct (territorial) and indirect (via input goods) emissions have been inventoried. An estimate of emissions from different production branches (crop farming, livestock production) has also been made to illustrate the magnitude of emissions for the production of different types of food, and to see what specific opportunities there are to reduce these emissions. Another aim was to see what opportunities there are to reduce fossil emissions through energy savings and a transition to biofuels and electrification.

The results showed that nitrous oxide, mainly from nitrogen turnover in the soil, and methane, mainly from animal digestion, were the most important greenhouse gases in Skåne (Scania) agriculture in 2022; 52% and 39% respectively, expressed in CO₂ equivalents. Carbon dioxide was the third largest greenhouse gas with 9%. Territorial emissions from the use of fossil fuels were about 8%, or about 90,000 tonnes of CO₂ equivalent. The inputs with the highest emissions were mineral nitrogen fertilizer and soy feed, with an estimated emission level of just over 150,000 tonnes CO₂-eq/year and 100,000 tonnes CO₂-eq/year respectively. These estimates are somewhat uncertain, while there is a rapid development towards “greener” production of nitrogen fertilizer and an increased domestic production of alternative protein crops. The agriculture in Skåne also has good opportunities to sequester carbon in the soil through, for example, the cultivation of intermediate crops, the return of plant residues and digestate and the supply of biochar.

Fossil fuels for agricultural tractors and machinery can be replaced with biofuels in the short term. The fuels that are relevant are primarily HVO (hydrogenated vegetable oils), synthetic fuels, FAME (fatty acid methyl esters), ethanol (E85 – mixed into gasoline) and biogas. It is important that policy instruments are introduced that increase the economic incentives for using renewable fuels.

In the future, increased electrification in agriculture is also expected. Own production of electricity can be done through combined heat and power plants, wind turbines and so-called solar farms (“agrivoltaics”). This electricity can be used internally to power various vehicles, stored via batteries (and possibly contribute support services to the electricity grid), and to produce hydrogen and ammonia. In the longer term, ammonia may become commercially interesting for small-scale production of nitrogen fertilizer. Three case studies in the project showed that farms that use biogas, hydrogen, ammonia and battery operation have great potential to reduce the use of fossil fuels. The report also discusses the importance of robust energy systems, not least in view of the security situation in our world.

INNEHÅLL

| | |
|---|----|
| 1. INLEDNING..... | 6 |
| 1.1. Bakgrund..... | 6 |
| 1.2. Syfte och mål..... | 7 |
| 2. LANTBRUKETS UTSLÄPP I SKÅNE..... | 8 |
| 2.1. Totala territoriella utsläpp av växthusgaser..... | 8 |
| 2.2. Utsläpp av lustgas..... | 9 |
| 2.3. Utsläpp av metan..... | 10 |
| 2.4. Utsläpp av koldioxid..... | 12 |
| 2.5. Utsläpp och bindning av biogent kol..... | 18 |
| 3. ANVÄNDNING AV INSATSVAROR..... | 21 |
| 3.1. Mineralkväve..... | 21 |
| 3.2. Fodermedel..... | 22 |
| 3.3. Ensilageplast..... | 23 |
| 4. REDUKTIONSMÖJLIGHETER INOM OLIKA PRODUKTIONSINRIKTNINGAR..... | 24 |
| 4.1. Djurhållning..... | 24 |
| 4.2. Växtodling..... | 28 |
| 4.3. Beräkningshjälpmedel för utsläpp på gårdsnivå..... | 30 |
| 5. ENERGIEFFEKTIVISERING..... | 32 |
| 5.1. Energieffektivisering inom lantbrukets växtproduktion..... | 32 |
| 5.2. Energieffektivisering inom lantbrukets animalieproduktion..... | 35 |
| 5.3. Energieffektivisering i bostäder och verkstäder..... | 38 |
| 5.4. Energieffektivisering i växthus..... | 38 |
| 6. ANVÄNDNING AV FÖRNYBARA DRIVMEDEL..... | 40 |
| 6.1. HVO och FAME..... | 40 |
| 6.2. Etanol, metanol, biogas..... | 41 |
| 6.3. Syntetiska bränslen..... | 43 |
| 7. OMSTÄLLNING GENOM ELEKTRIFIERING..... | 45 |
| 7.1. Allmänna förutsättningar för elektrifiering..... | 45 |
| 7.2. Elektrifiering inom lantbruket..... | 47 |
| 7.3. Egen lokal elproduktion..... | 49 |
| 7.4. Värdering av elproduktion..... | 50 |
| 8. ELEKTRIFIERING - TRE FALLSTUDIER..... | 56 |
| 8.1. Annelövsgrisen..... | 57 |
| 8.2. Bjärsgård..... | 58 |

| | |
|--|----|
| 8.3. Tosterup..... | 59 |
| 9. ROBUSTHET VID FOSSILFRI PRODUKTION..... | 61 |
| 9.1. Termer och begrepp..... | 61 |
| 9.2. Robusthet och resiliens i praktiken..... | 63 |
| 9.3. Lantbrukets motståndskraft när det gäller energi..... | 67 |
| 10. DISKUSSION OCH SLUTSATSER..... | 70 |
| 10.1. Sammanfattande diskussion..... | 70 |
| 10.2. Slutsatser..... | 74 |
| 11. REFERENSER..... | 76 |

1. INLEDNING

1.1. Bakgrund

Utsläppen av växthusgaser och därmed ett förändrat klimat utgör idag ett allvarligt hot mot våra gemensamma framtida livsbetingelser. Detta gäller inte minst inom livsmedelsproduktionen, som kan påverkas negativt av varmare och mer instabila väderförhållanden. Globalt svarar jordbruket för 21 % av de antropogena utsläppen av växthusgaser, och det är därför av hög prioritet att minska dessa utsläpp (Reisinger m.fl. 2021). Inom EU har man antagit en klimatlag som säger att nettoutsläppen av växthusgaser ska minska med minst 55 % till år 2030 jämfört med utsläppen år 1990 (Naturvårdsverket 2024a). Denna lag anger också att man ska nå klimatneutralitet senast år 2050, och därefter ha nettonegativa utsläpp. Begreppen nettoutsläpp och nettonegativa innebär att både avgång och upptag av koldioxid från skog och mark ingår i målen (Naturvårdsverket 2024a).

I Sverige var de territoriella utsläppen av växthusgaser under år 2022 drygt 45,1 miljoner ton CO₂-ekvivalenter (Nationella emissionsdatabasen 2024a). Sveriges långsiktiga mål är att ha nettonoll utsläpp år 2045, och därefter enbart ha nettonegativa utsläpp (Naturvårdsverket 2024b). Målet innebär att utsläppen från svenskt territorium ska vara minst 85 procent lägre senast år 2045 jämfört med utsläppen år 1990. Resterande utsläppsminskningar ned till noll ska nås med hjälp av s.k. kompletterande åtgärder, som innefattar upptag av koldioxid i skog och mark (som är utöver de åtgärder som redan genomförs), utsläppsminskningar utanför Sveriges gränser samt avskiljning och lagring av CO₂ från förbränning av biobränslen (bio-CCS). Avskiljning och lagring av CO₂ av fossilt ursprung kan också räknas som en åtgärd om rimliga alternativ saknas (Naturvårdsverket 2024b).

I Sverige svarar jordbruket för ca 14 % av de totala territoriella utsläppen (Nationella emissionsdatabasen 2024a). Utsläppen inom jordbruket är till stor del kopplade till biologiska processer inom själva produktionen; utsläpp av metan från husdjurens matsmältning och utsläpp av lustgas vid omsättning av kväve i marken. Det är därför svårt att minska utsläppen av metan och lustgas utan att de producerade volymerna av olika livsmedel påverkas negativt. Utsläpp som härrör från användning av fossila bränslen svarar för ca 5 % av jordbrukets totala utsläpp av växthusgaser (Jordbruksverket 2023). Om man även räknar in indirekta utsläpp för att tillverka insatsvaror blir andelen minst det dubbla. Numera finns teknik för att minska eller t.o.m. eliminera dessa utsläpp, men sådana åtgärder är vanligen kostsamma för lantbrukarna, som idag i många fall är satta under ekonomisk press i sin verksamhet.

Förutom att jordbruket är en viktig utsläppskälla, har denna sektor också stora möjligheter att binda och lagra in kol i marken. Genom ett mer cirkulärt tänkande, där t.ex. växtrester och mellangrödor används för att producera biogas som ersätter fossila bränslen, samtidigt som rötresterna återförs till marken och bidrar till ett ökat innehåll av markkol, kan effekten bli en nettobindning av kol (se t.ex. Barrios Latorre m.fl. 2024).

Ett sätt att snabbt minska utsläppen från fossila bränslen är att energieffektivisera (Bernesson m.fl. 2023) och i högre grad använda befintliga biobränslen, t.ex. HVO (hydrerade vegetabiliska oljor) och FAME (fettsyrametylestrar) (SOU 2021). Biogas och eldrivna fordon är

också alternativ som börjar få ett stort intresse inom lantbruket. Både biogas och el kan produceras på den egna gården från gödsel, växtrester, etc., resp. från kraftvärme, solceller, etc., och därmed bidra till ökad cirkularitet och minskat beroende av inköpta insatsvaror.

Med ett varmare klimat och förändrade väderförhållanden, och genom andra externa störningar i produktionen, är det viktigt att jordbruket har stor motståndskraft, d.v.s. är robust och har förmåga att stå emot både kortvariga och långvariga störningar (Riksdagen 2021; SOU 2024). Ofta används olika begrepp såsom robusthet, sårbarhet och resiliens, och vissa otydligheter i definitionen och särskiljningen av dessa begrepp kan leda till svårigheter vid diskussion och kommunikation kring lantbrukets motståndskraft. Vid en övergång till en mer fossiloberoende produktion, t.ex. vid en ökad elektrifiering, är det viktigt att aspekter som rör både hållbarhet och störningskänslighet beaktas (Meuwissen m.fl. 2019; Rööös m.fl. 2021a; Reidsma m.fl. 2023).

Skåne sägs ibland vara Sveriges ”kornbod”. Här finns landets bästa jordbruksmark och länet består till nästan hälften av åker- och betesmark (Länsstyrelsen Skåne 2018). Enligt Skånes livsmedelsstrategi ska fossil energi och fossila råvaror ersättas med förnybara som gynnar en cirkulär och biobaserad ekonomi, som i sin tur tillgodoser invånarnas behov (Region Skåne 2017). I länet finns goda möjligheter att öka produktionen av förnybara bränslen/energislag såsom biogas, rapsmetylster (RME) och el (inkl. t.ex. vätgas). Potentialen för ökad användning av icke-fossilbaserade kvävegödselmedel från t.ex. rötrester och ”grön” ammoniak är stor, liksom för en ökad bindning av markkol genom smartare brukningsmetoder. Länsstyrelsen Skåne (2018) framhåller att det finns goda möjligheter att göra betydande framsteg inom klimatarbetet genom ett ökat samarbete mellan de producenter, livsmedelsindustrier, konsumenter, myndigheter och högskolor och universitet som finns här.

1.2. Syfte och mål

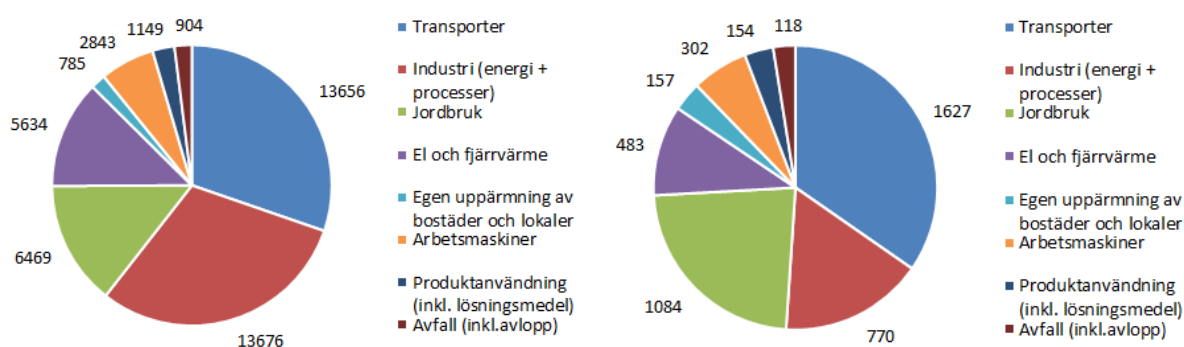
Ett syfte med denna studie är att inventera lantbrukets utsläpp av växthusgaser i Skåne län, med särskild fokus på utsläpp av koldioxid med fossilt ursprung, för att därigenom kunna beskriva lantbrukets beroende av fossilbaserade produkter. Både direkta (territoriella) och indirekta utsläpp (via insatsvaror) kommer att inventeras. En uppskattning av utsläppen från olika produktionsinriktningar (växtodling, animalieproduktion) görs också för att illustrera hur stora utsläppen är för produktion av olika typer av livsmedel, och för att se vilka specifika möjligheter det finns för att minska dessa utsläpp.

Ett annat syfte är att se vilka möjligheter det finns att minska de fossila utsläppen med hjälp av energieffektivisering och en övergång till biodrivmedel och elektrifiering. Slutligen diskuteras robustheten inom lantbruket, med särskild fokus på effekterna av en ökad elektrifiering. Ett mål med projektet har varit att föreslå några konkreta forskningsinsatser med syfte att nå en mer fossiloberoende primärproduktion i länet.

2. LANTBRUKETS UTSLÄPP I SKÅNE

2.1. Totala territoriella utsläpp av växthusgaser

I Sverige var de territoriella utsläppen av växthusgaser drygt 45,1 miljoner ton CO₂-ekv under år 2022 (figur 2.1). De viktigaste sektorskategorierna var transporter (30 %), industri (30 %) och jordbruk (14 %). För Skåne län var de totala utsläppen 4,7 miljoner ton CO₂-ekv (figur 2.1), eller drygt 10 % av landets totala utsläpp. Jordbruket svarade för 23 % av länets totala utsläpp och för närmare 17 % av landets totala utsläpp inom jordbrukssektorn (om även utsläpp från arbetsmaskiner och uppvärmning av lokaler i skogs- och jordbruket räknas med i kategorin "Jordbruk", blir jordbrukets andel i Skåne 25 %, se även bildtexten för figur 2.1).



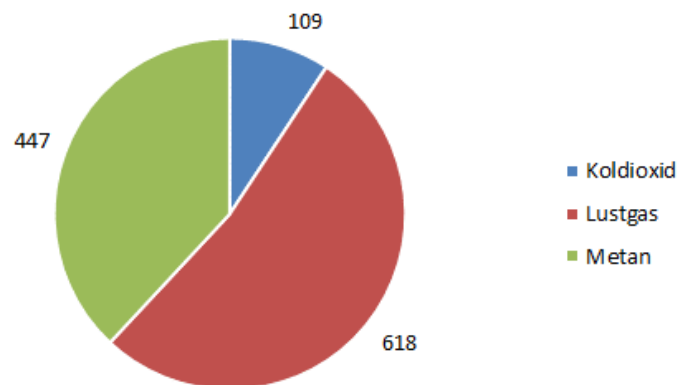
Figur 2.1. Territoriella utsläpp av växthusgaser i Sverige (t.v.) och i Skåne län (t.h.) under år 2022, fördelade på olika samhällssektorer (exkl. utrikes transporter) (tusen ton CO₂-ekv). I kategorin "Jordbruk" ingår ej de utsläpp från jord- och skogsbrukets arbetsmaskiner som finns i kategorin "Arbetsmaskiner" (78 tusen ton CO₂-ekv för Skåne) och de utsläpp från uppvärmning av jord- och skogsbrukets lokaler som finns i kategorin "Egen uppvärmning av bostäder och lokaler" (12 tusen ton CO₂-ekv för Skåne) (data från Nationella emissionsdatabasen 2024a).

De viktigaste växthusgaserna när det gäller landets totala utsläpp är koldioxid (CO₂) (79,9 %), metan (CH₄) (8,9 %) och lustgas (N₂O) (9,1 %) (procentsatserna avser CO₂-ekvivalenter) (Nationella emissionsdatabasen 2024a). Övriga växthusgaser (fluorkolväten (HFC), perfluorkarboner (PFC), svavelhexafluorid (SF₆) och kvävetrifluorid (NF₃)) har en mycket stor klimatpåverkan, men eftersom utsläppsmängderna är små, svarar de för en liten andel av de totala utsläppen, och de kommer därför inte att beröras vidare i rapporten.

Metan (CH₄) är en växthusgas som är relativt kortlivad, men som ändå har en kraftig klimatpåverkan. Momentant är den ca 100 gånger kraftigare än koldioxid, och 34 gånger kraftigare i ett 100-årsperspektiv enligt IPCC:s Fifth Assessment Report från 2013 (Myhre m.fl. 2013; Wikipedia 2024a). I de flesta analyser används en "Global Warming Potential" i ett 100-årsperspektiv (GWP₁₀₀), och ett ton metan ger alltså en påverkan som är lika stor som 34 ton koldioxid. Lustgas (N₂O) är en mycket mer långlivad växthusgas, och i ett 100-årsperspektiv har den ett GWP₁₀₀-värde på 298 (Myhre m.fl. 2013; Wikipedia 2024a). GWP₁₀₀-värdena kan variera något i olika studier beroende vad den senaste forskningen visar.

I Sveriges nationella emissionsdatabas används $GWP_{100} = 25$ för metan och $GWP_{100} = 298$ för lustgas enligt IPCC:s Fourth Assessment Report från 2007 (Nationella emissionsdatabasen 2024b).

Enligt Nationella emissionsdatabasen (2024a) var lustgas den växthusgas som bidrog mest till de totala utsläppen inom jordbruket i Skåne län under år 2022 (figur 2.2). Under detta år var utsläppen av koldioxid, lustgas och metan totalt 1 174 tusen ton CO_2 -ekv. I detta värde ingår utsläpp från arbetsmaskiner och egen uppvärmning av bostäder och lokaler, men ej koldioxid med biogent ursprung, t.ex. koldioxidavgång från organogena jordar, och inte heller indirekta utsläpp vid tillverkning av insatsmedel (t.ex. mineralkvävegödsel).

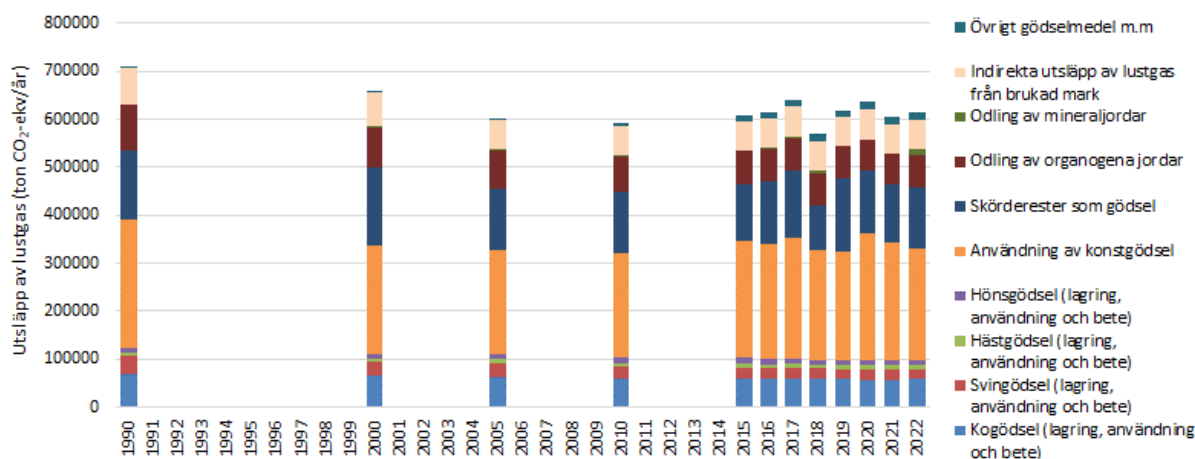


Figur 2.2. Territoriella utsläpp av koldioxid, lustgas och metan (tusen ton CO_2 -ekv) inom jordbruket i Skåne län år 2022 (data från Nationella emissionsdatabasen 2024a).

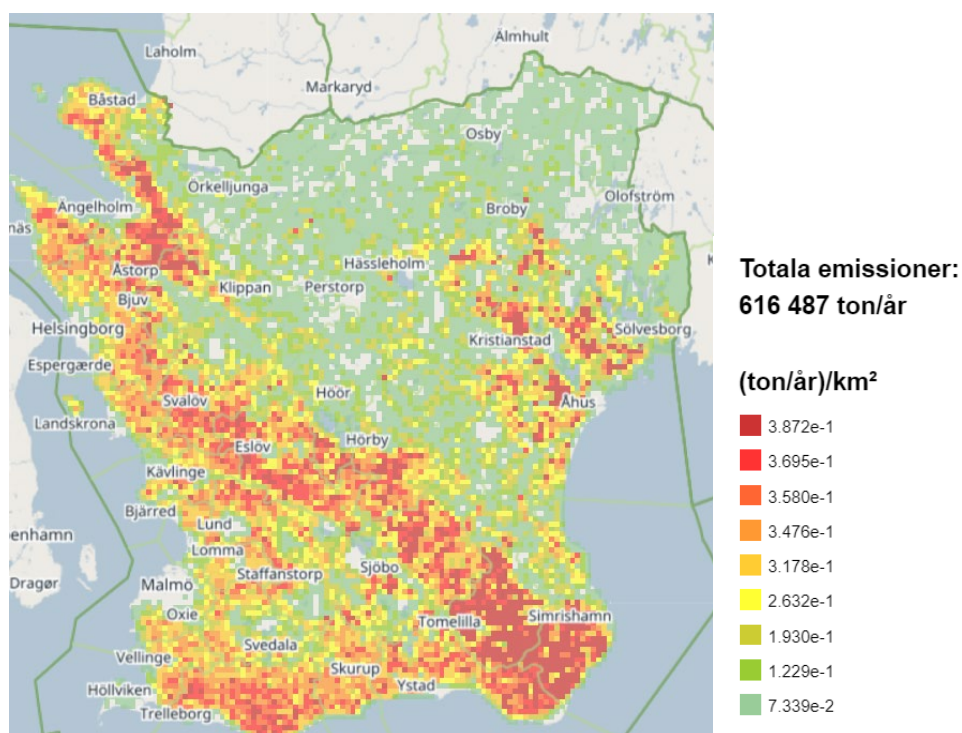
2.2. Utsläpp av lustgas

Lustgas bildas vid kvävet omsättning i marken, dels vid nitrifikation och dels vid denitrifikation (SLU 2023). Vid nitrifikation omvandlas mineraliskt kväve i form ammonium till nitrat, och då bildas N_2O som en slags biprodukt. Vid denitrifikation använder mikroorganismer mineraliskt kväve i form av nitrat istället för syrgas vid andningen när vattenhalten är hög, och då bildas bl.a. kvävgas och lustgas. Mineraliskt kväve (ammonium och nitrat) kommer dels från mineralkvävegödsel och dels från nedbrytning av organiska gödselmedel, t.ex. stallgödsel, och skörderester (SLU 2023).

Utsläpp av lustgas relaterat till användning av mineralkvävegödsel svarar för 38 % av de totala utsläppen, relaterat till skörderester 21 % och relaterat till användning av gödsel 16 % (figur 2.3). Förluster av kväve från åkermarken till omgivningen ger också ganska stora indirekta utsläpp av lustgas (ca 10 % enl figur 2.3). Odling av organogena jordar, särskilt om de är kväverika, kan också ge avsevärda utsläpp av lustgas. Figur 2.4 visar att utsläppen i Skåne har ungefär samma geografiska fördelning som utsläppen av koldioxid (se figur 2.8).



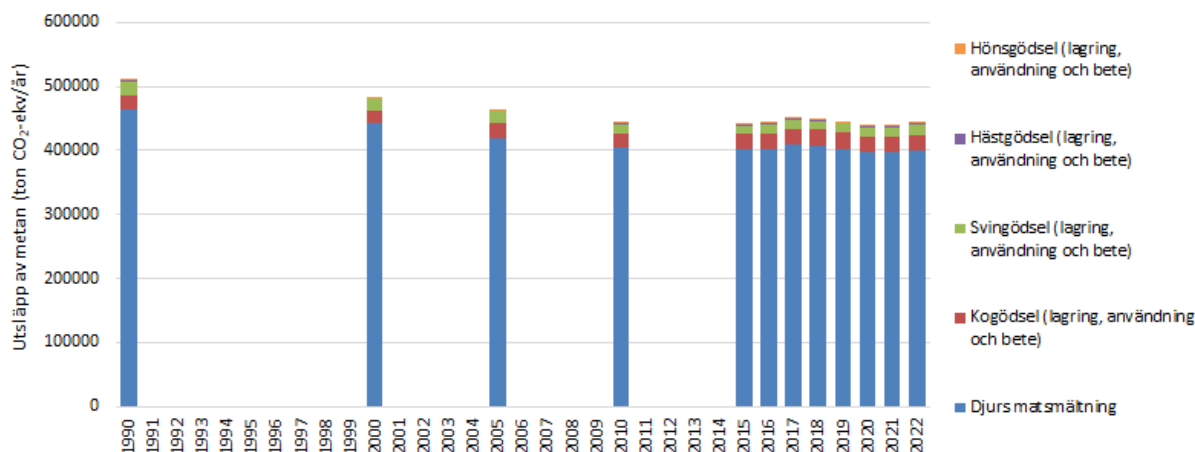
Figur 2.3. Totala utsläpp av lustgas inom jordbruket i Skåne län 1990-2022, uppdelat efter olika utsläppskällor (data från Nationella emissionsdatabasen 2024a).



Figur 2.4. Totala utsläpp av lustgas inom jordbruket i Skåne län år 2022, uppdelat per km². Mörkröd färg - 0,387 ton CO₂-ekv eller mer per km² och år (Nationella emissionsdatabasen 2024a) (bild publicerad med tillstånd från SMHI).

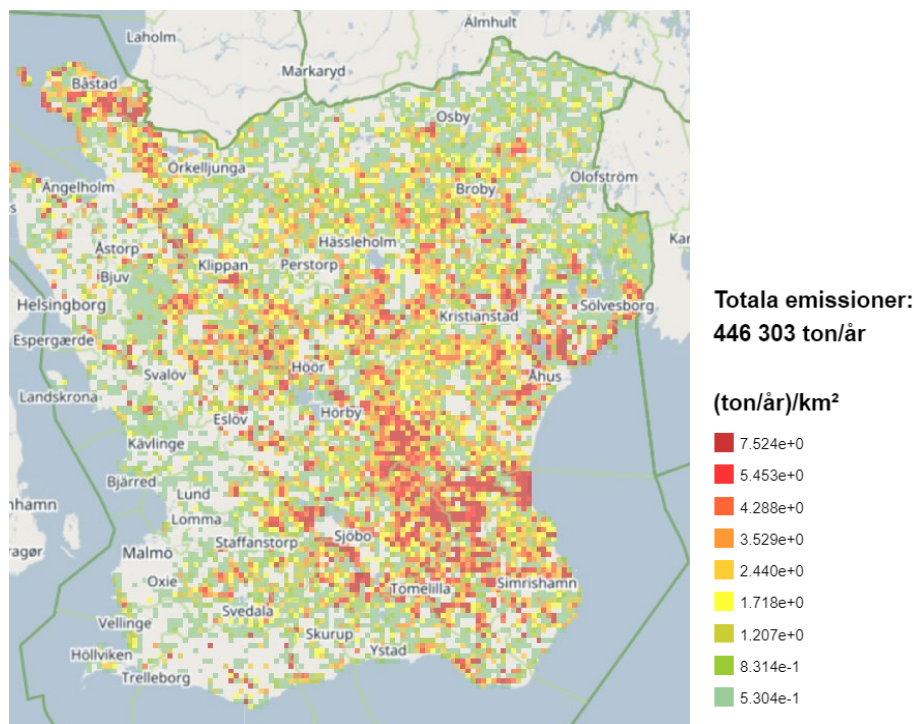
2.3. Utsläpp av metan

Utsläppen av metan inom jordbruket i Skåne län under år 2022 var 447 000 ton CO₂-ekv, varav djurens matsmältning svarade för 89 % och gödsel (lagring, användning, bete) för ca 11 % (figur 2.5). Små mängder kom också från arbetsmaskiner och från egen uppvärmning av lokaler (totalt <0,5 %) (detta visas ej i figur 2.5).



Figur 2.5. Totala utsläpp av metan inom jordbruket i Skåne län 1990-2022, uppdelat efter olika utsläppskällor (data från Nationella emissionsdatabasen 2024a).

I våmmen hos nötkreatur och får bildas stora mängder metan när foderväxterna bryts ned till att så småningom bli upptagbar näring för djuren. Djuren rapar ut metanet, och det är alltså denna fodersmältning som orsakar de största metanutsläppen. Metan bildas också när mikroorganismer bryter ned gödsel i framförallt syrefria miljöer, t.ex. i flytgödsel. Utsläppen från gödsel kan minska genom lämplig hantering, lagring och användning. Av kartan i figur 2.6 framgår att utsläppen i Skåne framförallt sker i de djurtäta områdena. Utsläppen har haft en minskande trend från år 1990 (figur 2.5), framförallt beroende på att antalet djur har minskat.



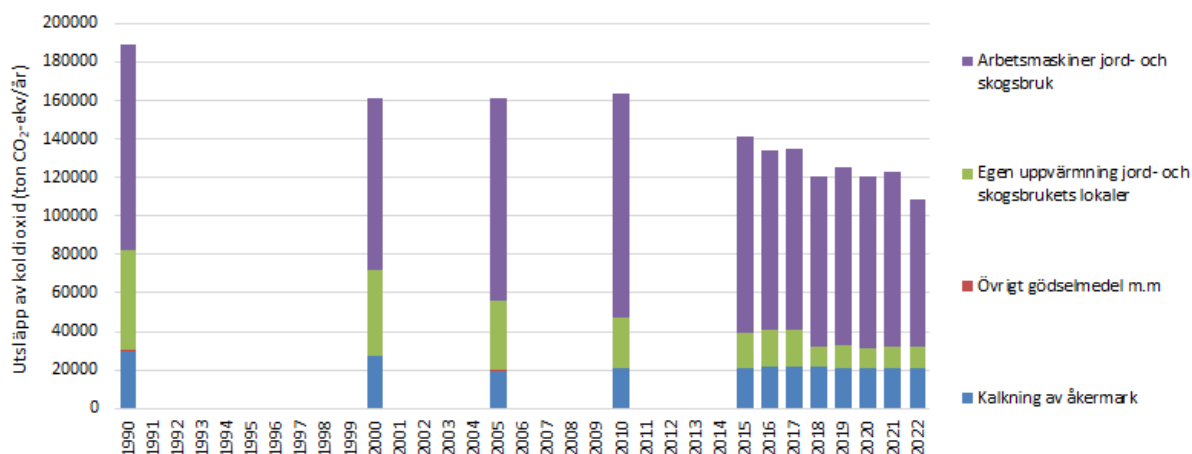
Figur 2.6. Totala utsläpp av metan inom jordbruket i Skåne län år 2022, uppdelat per km². Mörkröd färg – 7,52 ton CO₂-ekv eller mer per km² och år (Nationella emissionsdatabasen 2024a) (bild publicerad med tillstånd från SMHI).

2.4. Utsläpp av koldioxid

Totala territoriella utsläpp av icke-biogen koldioxid

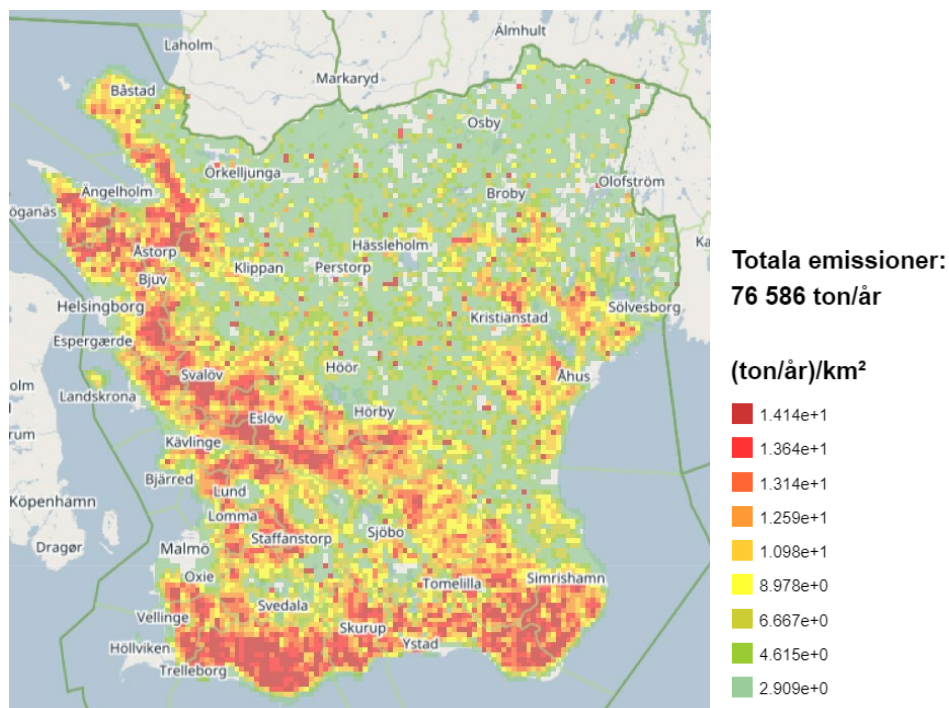
De totala territoriella utsläppen av koldioxid i jordbruket (och skogsbruket) i Skåne var 109 tusen ton (Nationella emissionsdatabasen 2024a), varav utsläppen från arbetsmaskiner i jord- och skogsbruk utgjorde 70 %, från kalkning av åkermark 19 % och egen uppvärmning i jord- och skogsbrukets bostäder och lokaler 11 % (figur 2.7). Dessa värden gäller för icke-biogen koldioxid, d.v.s. direkta utsläpp från nedbrytning, förbränning eller annan kemisk omvandling av biomassa ingår ej. I nationella emissionsdatabasen finns ingen uppdelning mellan jordbruk och skogsbruk, men eftersom Skåne är ett utpräglat jordbrukslän, kan man anta att jordbruket är den helt dominerande utsläppskällan. De största utsläppen av koldioxid per km² återfinns också i slättbygderna i de södra och västra delarna av länet (figur 2.8).

Ca 21 000 ton av koldioxidutsläppen härrör från kalkning av jordbruksmarken. Kalk som sprids i form av CaCO₃ och dolomitlera Mg(CO₃)₂ avger CO₂ när karbonatjonerna omvandlas i marken (Jordbruksverket 2023). Bränd och släckt kalk avger ingen koldioxid efter spridning, men däremot avges koldioxid vid tillverkningen (Jordbruksverket 2023). Kalkning är en viktig åtgärd som höjer markens pH och strukturkalkning på lerjordar ger högre avkastning.



Figur 2.7. Totala utsläpp av koldioxid inom jordbruket i Skåne län 1990-2022, uppdelat efter olika utsläppskällor (Nationella emissionsdatabasen 2024a).

Utsläppen från egen uppvärmning av bostäder och lokaler i jord- och skogsbruket har sjunkit kraftigt i Skåne under de senaste decennierna (figur 2.7). Övergången från fossila till förnybara bränslen (flis, pellets, halm, etc.) och värmepumpar, samt energieffektivisering, är viktiga orsaker till detta. Olja till spannmålstorkar står för en stor del av de återstående koldioxid-emissionerna inom denna utsläppskategori (se mer om detta nedan). När det gäller utsläppen från arbetsmaskiner, som beror på användningen av fossila drivmedel, har ganska små förändringar skett under de senaste decennierna (figur 2.7).



Figur 2.8. Utsläpp av koldioxid inom jordbruket i Skåne län år 2022, uppdelat per km². Mörkröd färg – 14,1 ton CO₂-ekv eller mer per km² och år (Nationella emissionsdatabasen 2024a) (bild publicerad med tillstånd från SMHI).

Användning av drivmedel

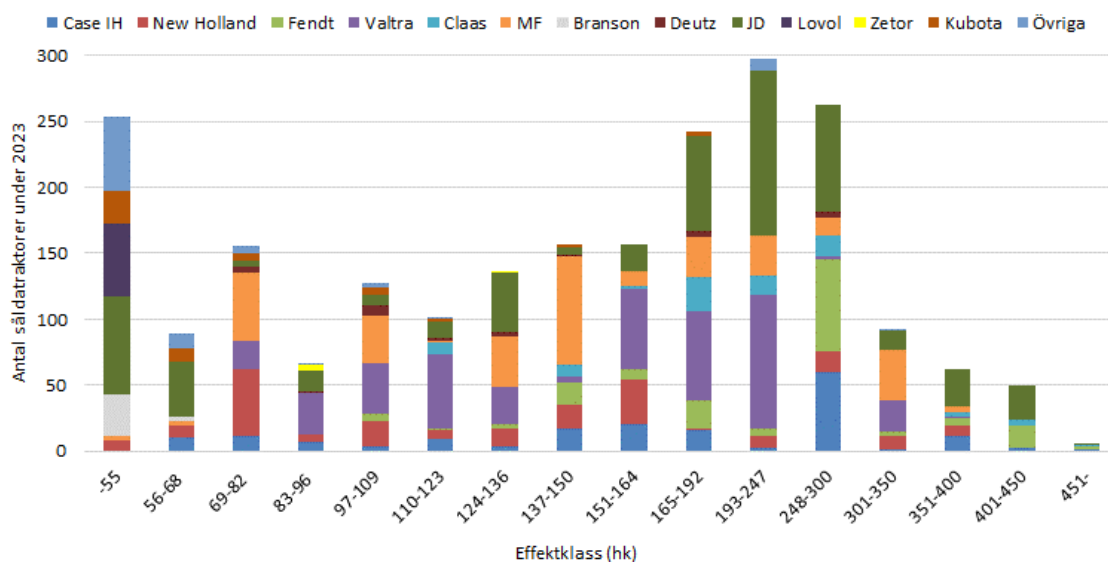
Inom jordbruket används drivmedel som bränsle främst i traktorer, men även i självgående maskiner såsom tröskor och fälthackar. Av alla 390 852 traktorer i trafik i Sverige under år 2023, ägdes 273 361 av s.k. juridiska personer (aktiebolag, handelsbolag, ekonomiska föreningar, m.m.), varav 120 419 inom jordbruket, 75 546 inom skogsbruket och 77 396 inom övriga näringsgrenar (Trafikanalys 2024). Övriga traktorer i trafik (117 491) ägdes av s.k. fysiska personer (t.ex. enskilda firmor och privatpersoner). Antalet nyregistreringar i Sverige under år 2023 var 11 867, antalet avregistreringar 4 455 och antalet avställda traktorer 162 705 (Trafikanalys 2024).

Omsättningen av traktorer är generellt långsam och den tekniska livslängden är ofta mycket lång. Drygt 65 % av alla traktorer i trafik är 20 år eller äldre (tabell 2.1). Andelen med en tjänstevikt under 2 500 kg är också hög (ca 48 %). I statistiken ingår dock även s.k. A-traktorer (36 235 st i trafik enligt Trafikanalys (2024)) och fyrhjulingar. Av ekonomiska och effektivitetsmässiga skäl, är det rimligt att anta att de ca 24 000 traktorer som väger mer än 3 000 kg och som är nyare än 10 år används mest och står för merparten av arbetet inom lantbruket.

Under år 2023 sålde John Deere (573 st) flest traktorer i Sverige, följt av Valtra (439 st) och MF (344 st), se figur 2.9 (Lantbruksnytt 2024). Den effektklass där det såldes flest var i intervallet 193-247 hk, och här var John Deere, Valtra och MF dominerande. I de minsta effektklasserna var Lovol, Branson och Kubota vanliga fabriker.

Tabell 2.1. Antalet traktorer i trafik i Sverige, fördelade efter årsmodell och tjänstevikt (Trafikanalys 2024)

| Årsmodell/ tillverkningsår | Tjänstevikt i kg | | | | | Totalt |
|-------------------------------|------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| | –1 300 | 1 301–2 500 | 2 501–3 000 | 3 001–7 000 | 7 001– | |
| –2004 | 13 193 | 96 890 | 34 814 | 109 422 | 2 958 | 257 277 |
| 2005 | 153 | 2 288 | 73 | 3 337 | 265 | 6 116 |
| 2006 | 207 | 2 873 | 89 | 3 458 | 260 | 6 887 |
| 2007 | 208 | 3 198 | 85 | 3 559 | 441 | 7 491 |
| 2008 | 170 | 2 261 | 63 | 3 151 | 609 | 6 254 |
| 2009 | 219 | 1 309 | 91 | 2 417 | 444 | 4 480 |
| 2010 | 263 | 1 302 | 27 | 2 824 | 460 | 4 876 |
| 2011 | 522 | 1 050 | 53 | 3 222 | 485 | 5 332 |
| 2012 | 468 | 646 | 91 | 2 583 | 505 | 4 293 |
| 2013 | 613 | 466 | 87 | 2 335 | 444 | 3 945 |
| 2014 | 1 057 | 350 | 96 | 2 163 | 539 | 4 205 |
| 2015 | 1 885 | 289 | 158 | 2 075 | 685 | 5 092 |
| 2016 | 4 973 | 362 | 156 | 2 421 | 753 | 8 665 |
| 2017 | 5 374 | 288 | 156 | 2 126 | 852 | 8 796 |
| 2018 | 7 029 | 571 | 112 | 1 975 | 828 | 10 515 |
| 2019 | 7 665 | 302 | 161 | 1 738 | 735 | 10 601 |
| 2020 | 7 283 | 216 | 179 | 1 341 | 783 | 9 802 |
| 2021 | 9 341 | 223 | 140 | 1 528 | 757 | 11 989 |
| 2022 | 8 482 | 229 | 98 | 1 167 | 774 | 10 750 |
| 2023 | 2 101 | 168 | 42 | 662 | 505 | 3 478 |
| Okänd | – | 1 | 2 | 5 | – | 8 |
| Totalt | 71 206 | 115 282 | 36 773 | 153 509 | 14 082 | 390 852 |



Figur 2.9. Försäljning av traktorer till det svenska lantbruket under år 2023. Källa: Lantbruksnytt (2024).

De allra flesta traktorer har dieselmotor, även om det enligt statistiken också finns många som har bensinmotor (tabell 2.2). När det gäller bensinmotorer, återfinns dock dessa till stor del i A-traktorer, fyrhjulingar och andra mindre traktorer enligt vad som nämnts ovan. Antalet traktorer som drivs av el, fordonsgas eller på annat sätt var nästan försumbart under år 2023

(tabell 2.2). Flera tillverkare är dock på gång med ny fossilfri teknik; exempelvis säljer New Holland nu en traktor på 180 hk som drivs av biogas (Miljöfordon Sverige 2021; New Holland 2024a), JCB säljer lastmaskiner och grävmaskiner som drivs av vätgas (Landsbygdens Folk 2023), och John Deere utvecklar traktorer med etanoldrift (ATL 2023a).

Tabell 2.2. Antalet traktorer i trafik i Sverige fördelade efter typ av drivmedel (Trafikanalys 2024)

| Vid slutet av år | Bensin | Diesel | Fotogen | El | Övriga | Totalt |
|------------------|--------|---------|---------|-----|--------|---------|
| 2014 | 22 614 | 296 923 | 4 972 | 226 | 4 | 324 739 |
| 2015 | 24 523 | 296 502 | 4 894 | 251 | 3 | 326 173 |
| 2016 | 27 768 | 296 698 | 4 852 | 276 | 4 | 329 598 |
| 2017 | 32 627 | 296 516 | 4 779 | 314 | 4 | 334 240 |
| 2018 | 36 861 | 296 028 | 4 677 | 341 | 4 | 337 911 |
| 2019 | 44 160 | 297 064 | 4 569 | 422 | 4 | 346 219 |
| 2020 | 54 047 | 298 375 | 4 503 | 462 | 4 | 357 391 |
| 2021 | 68 001 | 301 361 | 4 401 | 531 | 5 | 374 299 |
| 2022 | 78 245 | 300 948 | 4 290 | 601 | 10 | 384 094 |
| 2023 | 86 465 | 299 534 | 4 201 | 638 | 14 | 390 852 |

Antalet registrerade traktorer i trafik har varit relativt konstant i de skånska kommunerna under de senaste femton åren (tabell 2.3). Under år 2023 var antalet nyregistreringar 781, och vid årets slut var antalet traktorer i trafik 38 574 och antalet avställda traktorer 16 920 (Trafikanalys 2024).

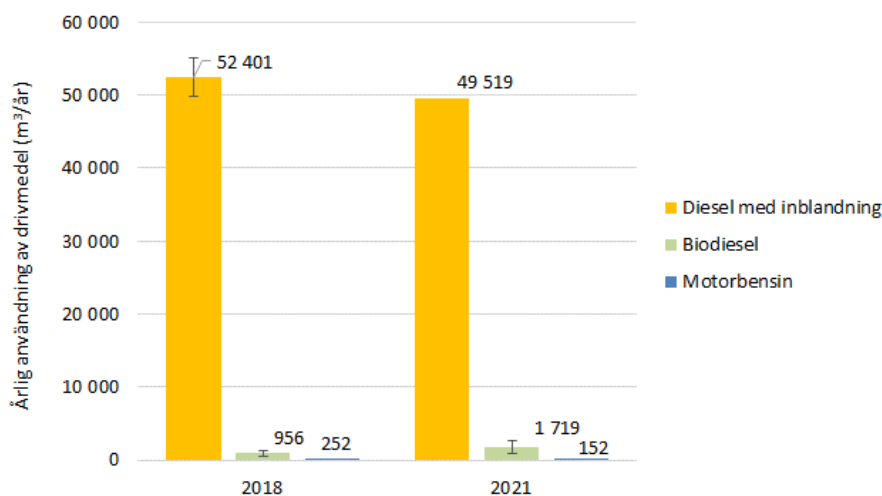
I Skåne är det vanligt att odla sådana grödor som har de högsta dieselbehoven, t.ex. potatis och trädgårdsväxter (ca 140 l/ha), sockerbetar och konservärter (ca 130 l/ha), samt spannmål (ca 70 l/ha) (SOU 2021). För slättervall är förbrukningen ca 50 l/ha. Transporter av insatsmedel, skördade grödor, djur och gödsel till/från och mellan gårdar svarar också för en stor andel av drivmedelsförbrukningen. Enligt Engström m.fl. (2015) förbrukas 52 000 m³ diesel varje år i landet för dessa transporter, vilket enligt samma författare motsvarar ett utsläpp på 145 000 ton CO₂-ekv/år.

Användningen av drivmedel inom det skånska lantbruket domineras helt av dieselbränsle med inblandning av biobaserade bränslen. Under år 2021 var användningen av diesel med inblandning ca 49 500 m³, biodiesel 1 720 m³ och motorbensin 150 m³ (figur 2.10). Övriga drivmedel, t.ex. biogas, utgjorde en försumbar andel (när denna rapport skrevs var år 2021 det senaste året som det fanns regionala data om drivmedelsanvändningen inom lantbruket).

Utsläppen för respektive drivmedel varierar över tid beroende på hur stor inblandningen av biodrivmedel är enligt reglerna för den s.k. reduktionsplikten. Eftersom data om förbrukningen i det skånska lantbruket finns för år 2021, har utsläppsdata för samma år använts (tabell 2.4). Enligt figur 2.10 och tabell 2.4 blev utsläppen från dieselanvändningen, i ett livscykelperspektiv, totalt 49 500 m³ x 35 300 MJ/m³ x 0,073 kg CO₂-ekv/MJ = 127 600 ton CO₂-ekv. För bensin och biodiesel blev utsläppen 420 ton CO₂-ekv resp. 1 710 ton CO₂-ekv, och totalt blev det alltså knappt 130 000 ton CO₂-ekv under år 2021.

Tabell 2.3. Antalet traktorer i trafik i de skånska kommunerna vid årsskiftena 2007/08, 2012/13, 2017/18 och 2022/23. Källa: SCB (2024a)

| Kommun | 2007/08 | 2012/13 | 2017/18 | 2022/23 |
|--------------|---------|---------|---------|---------|
| Bjuv | 372 | 414 | 412 | 470 |
| Bromölla | 510 | 502 | 497 | 569 |
| Burlöv | 77 | 78 | 69 | 64 |
| Båstad | 1 337 | 1 357 | 1 310 | 1 302 |
| Eslöv | 1 559 | 1 540 | 1 618 | 1 648 |
| Helsingborg | 1 328 | 1 282 | 1 335 | 1 379 |
| Hässleholm | 3 524 | 3 588 | 3 618 | 3 633 |
| Höganäs | 707 | 690 | 750 | 724 |
| Hörby | 1 773 | 1 772 | 1 789 | 1 833 |
| Höör | 808 | 806 | 845 | 865 |
| Klippan | 965 | 958 | 1 012 | 1 110 |
| Kristianstad | 3 535 | 3 497 | 3 570 | 3 869 |
| Kävlinge | 672 | 629 | 627 | 674 |
| Landskrona | 541 | 542 | 558 | 617 |
| Lomma | 310 | 275 | 248 | 262 |
| Lund | 1 417 | 1 390 | 1 455 | 1 479 |
| Malmö | 956 | 1 132 | 1 188 | 1 122 |
| Osby | 1 042 | 1 001 | 984 | 1 105 |
| Perstorp | 362 | 373 | 386 | 444 |
| Simrishamn | 1 688 | 1 629 | 1 608 | 1 658 |
| Sjöbo | 1 667 | 1 668 | 1 734 | 1 840 |
| Skurup | 907 | 871 | 873 | 868 |
| Staffanstorp | 532 | 542 | 490 | 446 |
| Svalöv | 1 041 | 1 090 | 1 075 | 1 105 |
| Svedala | 543 | 537 | 574 | 551 |
| Tomelilla | 1 582 | 1 600 | 1 484 | 1 568 |
| Trelleborg | 1 329 | 1 288 | 1 301 | 1 401 |
| Vellinge | 600 | 593 | 582 | 617 |
| Ystad | 1 210 | 1 165 | 1 163 | 1 183 |
| Åstorp | 402 | 454 | 437 | 488 |
| Ängelholm | 1 690 | 1 748 | 1 867 | 1 972 |
| Örkelljunga | 817 | 826 | 820 | 897 |
| Östra Göinge | 894 | 829 | 846 | 910 |
| Summa | 38 673 | 36 666 | 37 125 | 38 673 |



Figur 2.10. Användningen av drivmedel i det skånska lantbruket under åren 2018 och 2021. Källa: Energimyndigheten (2024a).

Tabell 2.4. Data om drivmedel som användes under år 2021. Källa: Energimyndigheten (2022)

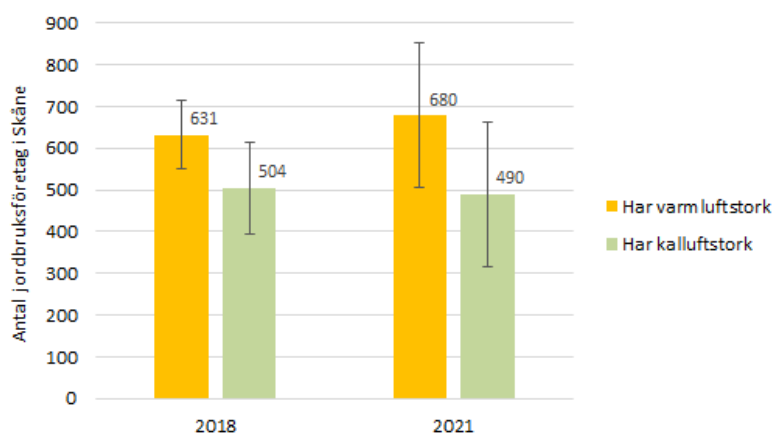
| Bränsle | Förnybar energiandel (%) | Värmevärde (MJ/l) | Växthusgasutsläpp (g CO ₂ -ekv/MJ) |
|------------|--------------------------|-------------------|---|
| Diesel MK1 | 25,7 | 35,3 | 73,0 |
| Bensin MK1 | 5,7 | 31,4 | 88,5 |
| FAME | 100,0 | 33 | 30,2 |
| HVO | 100,0 | 34 | 15,3 |
| Fordonsgas | 98,0 | 49,1 ¹ | 10,0 |

¹ MJ/kg

Användning av olja i spannmålstorkar

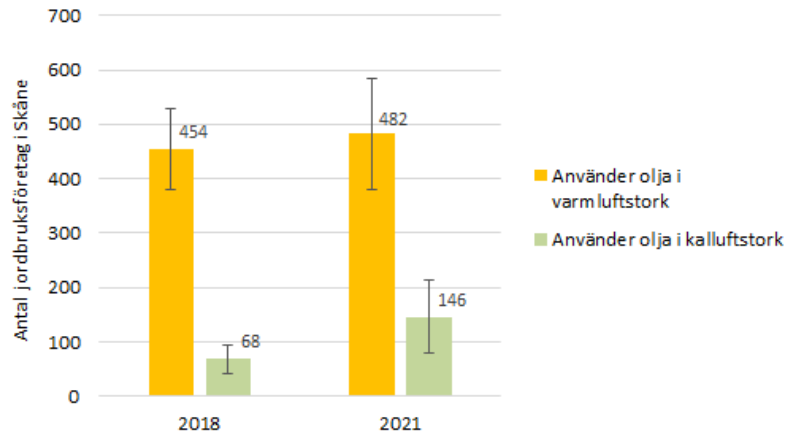
Spannmålstorkar delas upp i två olika typer: varmluftstorkar och kallluftstorkar, där den ingående torkluften normalt värms till 50-60°C resp. max 5-7°C. Tidigare användes enbart eldningsolja för uppvärmningen av torkluften, men fossilfria alternativ som t.ex. flis och pellets har ökat under senare år, främst i större anläggningar. En viktig anledning till denna ökning är beviljade investeringsstöd från det s.k. Klimatklivet (LRF 2025). Torkarnas effektbehov är högt under några veckor under skördesäsongen, medan de inte används alls under resten av året. Energit behovet kan variera ganska kraftigt mellan olika år beroende på hur vädret är under skördesäsongen.

I Skåne finns uppskattningsvis runt 650 jordbruksföretag med varmluftstorkar (figur 2.11). I drygt 70 % av dessa används fossil olja som energikälla (figur 2.12). I de återstående används biobränslen (eller inget bränsle alls, eftersom det inte framgår av statistiken om alla befintliga torkar användes aktivt under åren 2018 och 2021). Den totala mängden olja som användes i dessa torkar under år 2021 var ca 2 500 m³ (figur 2.13), vilket motsvarar ett utsläpp på 6 600 ton CO₂-ekv (om eldningsolja 1 används med utsläpp på 2,66 CO₂-ekv/liter enligt Drivkraft Sverige (2024)).

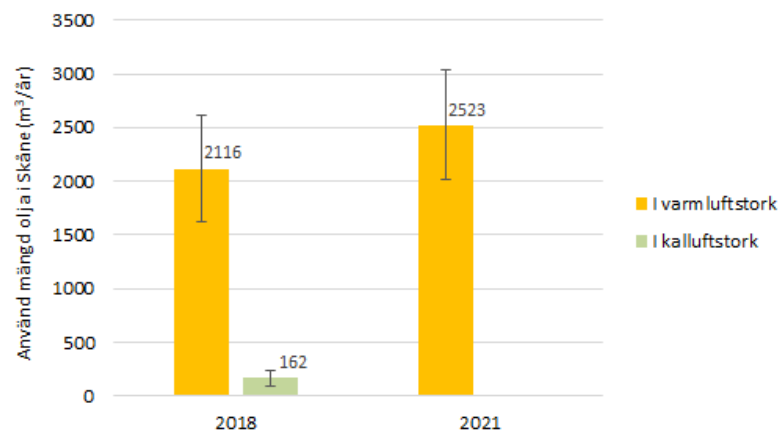


Figur 2.11. Uppskattat antal jordbruksföretag som hade varmlufts- resp. kallluftstorkar i Skåne under 2018 och 2021 (de lodräta linjerna visar felmarginalen vid 95 % konfidensintervall). Källa: Energimyndigheten (2024b).

Antalet jordbruksföretag i Skåne med kallluftstorkar är ca 500 (figur 2.11). I ungefär en femtedel av dessa torkar används olja (figur 2.12), medan man använder uppvärmd torkluft i resten av anläggningarna. Den totala mängden olja som användes i dessa anläggningar under år 2021, och därmed utsläppen av växthusgaser, var praktiskt taget försumbar (figur 2.13).



Figur 2.12. Uppskattat antal jordbruksföretag som använde olja i varmlufts- resp. kallluftstorkar i Skåne under 2018 och 2021 (de lodräta linjerna visar felmarginalen vid 95 % konfidensintervall). Källa: Energimyndigheten (2024c).



Figur 2.13. Uppskattad mängd olja som användes i Skånes varmlufts- och kallluftstorkar under 2018 resp. 2021 (signifikanta värden saknades för kallluftstorkar under 2021) (de lodräta linjerna visar felmarginalen vid 95 % konfidensintervall). Källa: Energimyndigheten (2024d).

2.5. Utsläpp och bindning av biogent kol

Biogent kol ingår, till skillnad från fossilt kol, i det biologiska kretsloppet. Organogena jordar kan ge mycket höga utsläpp av växthusgaser, medan åkermark med mineraljordar och betesmarker kan fungera som kolsänkor, d.v.s. binda kol i marken.

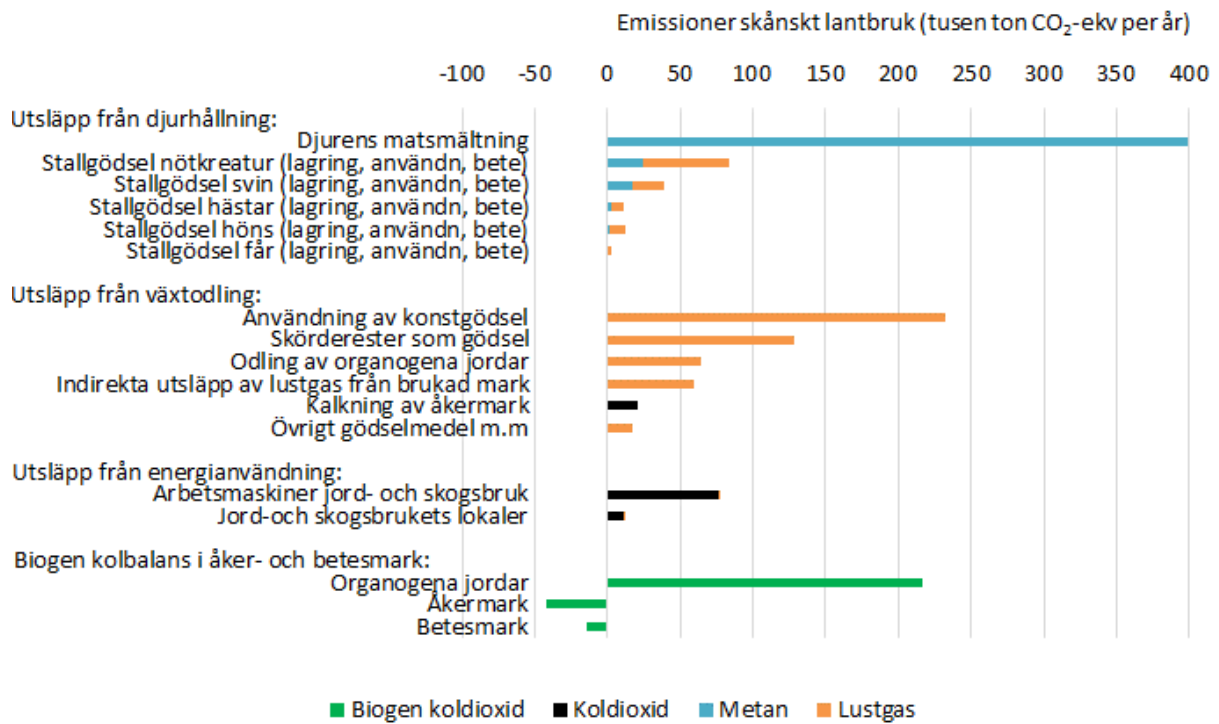
Organogena jordar bildas då död biomassa ackumuleras vid ofullständig nedbrytning i syrefattiga vattendränkta miljöer (Berglund 2008). Härigenom skapas kolrika torvjordar på våtmarker och kolrika gyttjeyordar i sjöar. Torvjordarna kan i sin tur delas upp på karrtorv (närringsrik) och mossetorv (närringsfattig). Vid dränering och uppodling av marken ökar genomluftningen, vilket i sin tur sätter igång nedbrytningen av biologiskt material, varvid stora mängder koldioxid avges. Även lustgas avges, särskilt från gödslade karrtorvjordar. Vissa mängder metan kan också avges vid sämre genomluftning (anaeroba miljöer), men normalt är dessa utsläpp mycket mindre än de var innan våtmarken dikades ut.

I Skåne finns totalt ca 13 700 ha åkermark med organogen jord, vilket utgör 8,5 % av den totala arealen av organogen åkermark i landet (Lindahl & Lundblad 2021). Därutöver finns det stora arealer med organogena jordar som används för bete och skogsproduktion (Lindahl & Lundblad 2021). Nettoutsläppen från organogena jordar på åkermark var 2,55 miljoner ton CO₂-ekv i Sverige under år 2022 (SCB 2024b). Om man för enkelhets skull antar att utsläppen i Skåne var 8,5 % av detta värde, blev utsläppen i länet ca 220 000 ton CO₂-ekv.

För mineraljordar på åkermark finns det i statistiken stora årliga variationer. Under år 2022 var nettoutsläppen i landet 378 000 ton CO₂-ekv, medan det var ett nettoupptag på 941 000 ton CO₂-ekv under 2021 (SCB 2024b). Under åren 2013-2022 var dock mineraljordarna en kolsänka med ett nettoupptag på i genomsnitt 446 000 ton CO₂-ekv/år.

Även för betesmark visar statistiken stora svängningar. Under år 2022 var landets nettoutsläpp av växthusgaser från dessa marker 304 000 ton CO₂-ekv, medan det under t.ex. år 2023 var ett nettoupptag på 325 000 ton CO₂-ekv enligt SCB:s statistik (SCB 2024b). Under det senaste decenniet (2013-2022) har det dock i genomsnitt varit ett nettoupptag på 114 000 ton CO₂-ekv/år på dessa marker.

Nettoupptaget av kol i marken beror på en mängd olika faktorer, t.ex. vilka grödor som odlas, odlingsteknik, klimat, jordart, m.m. Ensidig spannmålsodling med bortförsel av halm leder till ett minskat kolförråd, medan vallodling kan ge en ganska stor nettoinbindning av kol (Bolinder m.fl. 2017). Inga siffror har hittats i litteraturen som beskriver regionala nettoupptag av biogent kol på mineraljordar, och därför antogs att andelen av landets vallodling som finns i Skåne (9,3 %) motsvarar andelen av landets nettoupptag av kol, vilket för Skånes del blir ett nettoupptag på 41 000 ton CO₂-ekv/år. Även om osäkerheterna är mycket stora med denna metod, antogs även att nettoupptaget av biogent kol på Skånes betesmarker motsvarar andelen (12,2 %) av den totala arealen betesmark i landet, d.v.s. 14 000 ton CO₂-ekv/år. Sammanfattningsvis blir det ett nettoutsläpp på drygt 160 000 ton CO₂-ekv/år av biogent kol i det skånska lantbruket (figur 2.14).

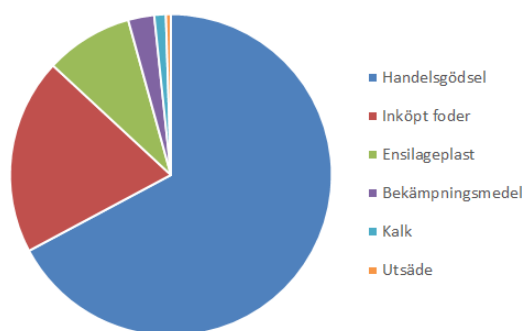


Figur 2.14. Uppskattade territoriella utsläpp av växthusgaser från lantbruket i Skåne län under år 2022.

3. ANVÄNDNING AV INSATSVAROR

Insatsmedel är varor och produkter i form av gödselmedel, foder, bekämpningsmedel, ensilageplast, smörjmedel, etc. som köps in till gårdarna. Många av insatsmedlen har producerats utomlands. Drivmedel och olja är också mycket viktiga insatsvaror, men dessa ingår här i beskrivningen av de territoriella utsläppen ovan. Typ och mängd av olika insatsvaror på den enskilda gården beror bl.a. av produktionsinriktning och om gården har ekologisk eller konventionell produktion.

Energimängden för att tillverka olika insatsvaror framgår av figur 3.1. Även om källan (Baky m.fl. 2010) är från 2010 och vissa förändringar har skett sedan dess, kan man ändå se de olika insatsvarornas inbördes storleksordning. Diagrammet visar energimängden som går åt för tillverkningen, d.v.s. den indirekta energimängden i jordbruksproduktionen, och inte utsläppen av växthusgaser, även om den inbördes fördelningen torde vara ganska likartad. Den dominerande insatsvaran ur energisynpunkt är handelsgödsel (mineralgödsel), följt av inköpt foder och ensilageplast (figur 3.1).

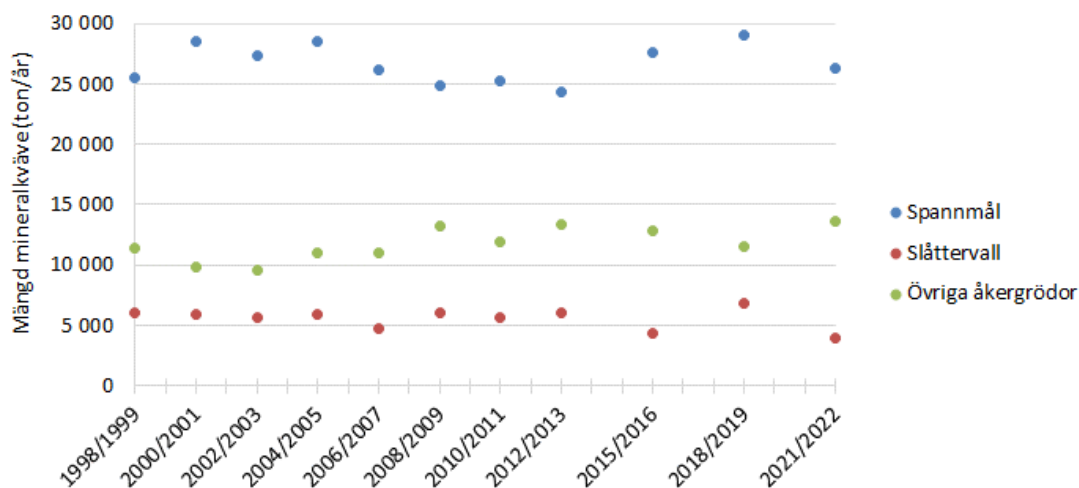


Figur 3.1. Fördelning av energianvändning för att tillverka olika insatsvaror (Baky m.fl. 2010).

3.1. Mineralkväve

Kväve tillförs grödan antingen via organiska gödselmedel, t.ex. stallgödsel, biogödsel (rötresten), slam, grüngödsling, etc., eller som mineralgödsel, då näringsämnen frigörs i mineralform. Tillverkning av mineralkväve är en mycket energikrävande process där man använder fossila bränslen, i Europa främst naturgas, för att bl.a. producera vätgas. Detta leder till höga utsläpp av växthusgaser. I Sverige tillförs ungefär en tredjedel av mineralkvävet via sammansatta gödselmedel bestående av två eller flera näringsämnen (t.ex. NP-, NK- och NPK-gödsel), medan ca två tredjedelar tillförs via enkla gödselmedel som bara innehåller kväve (t.ex. i form av ammoniumnitrat och urea) (SOU 2021).

Användningen av kväve i form av mineralgödsel är i storleksordningen 160 000 – 170 000 ton N per odlingsår (1/7-30/6) i Sverige (SCB 2024c). I Skåne har användningen under de två senaste decennierna i genomsnitt varit knappt 45 000 ton N per odlingsår. I spannmålsodlingen har användningen per odlingsår i genomsnitt varit ca 26 700 ton N, i vallodlingen ca 5 500 ton N och för övriga grödor ca 11 800 ton N (figur 3.2).



Figur 3.2. Använd mängd mineralkväve i Skåne för olika grödtyper, från odlingssäsongen 1998/99 till 2021/22. Källa: SCB (2024c).

Utsläppen av växthusgaser vid tillverkning av mineralkvävegödsel inom Europa uppskattas till 3,52 kg CO₂-ekv per kg N (SOU 2021). EU:s handelssystem för utsläppsrätter och utveckling av nya teknologier (t.ex. en katalytisk process) har lett till en betydande minskning av framförallt lustgasutsläppen vid tillverkning i Europa. Utomeuropeisk mineralkväve är något billigare, men ger ungefär dubbelt så höga utsläpp av växthusgaser per kg N vid tillverkningen (SOU 2021).

En utsläppsnivå på 3,52 kg CO₂-ekv/kg N innebär att utsläppen för Skånes del (44 200 ton N under odlingsäsongen 2021/22) för att tillverka mineralkvävegödsel blev ca 156 000 ton CO₂-ekv. Under 2024 lanserar Yara ett kvävegödselmedel som minskar utsläppen till mindre än en tredjedel av ovanstående värde (Yara 2024). Denna minskning baseras bl.a. på fossilfri produktion av vätgas i tillverkningsprocessen.

3.2. Fodermedel

Det viktigaste fodermedlet inom jordbruket är grovfoder, som kan vara i form av ensilage, hö, bete, majs, helsäd, foderraps, m.m. Grovfodret framställs ofta internt inom jordbruket. Grovfodret kompletteras med kraftfoder för att höja energi- och proteinhalten i djurens näringsintag (SOU 2021). Exempel på råvaror i kraftfodret är spannmål, ärter, bönor, m.m., samt biprodukter från närliggande livsmedelsindustri såsom drank, rapsmjöl och rapskaka. Eftersom det mesta av fodret produceras inom lantbruket kommer utsläppen av växthusgaser att härröra direkt från de territoriella utsläpp som redovisats ovan.

En viss del av kraftfodret, framförallt soja, som används för att höja proteinhalten, importeras dock till Sverige. En viktig anledning till att soja används är att den har ett högt näringsvärde och är lämplig för de flesta djurslag inom lantbruket, samtidigt som priset är lägre än för många andra jämförbara proteinkällor (SLU 2024a). Jordbruksverket (2018a) anger att

importen är 210 000 – 230 000 ton per år, varav ca 60 000 ton används för nötkreatur. Uppskattningsvis används ca 100 000 ton/år till fjäderfä och 35 000 ton/år inom svinproduktionen. De största producenterna är USA, Brasilien och Argentina. Ökad efterfrågan på soja är en viktig orsak till skövling av regnskogen i Amazonas, som leder till s.k. förändrad markanvändning och ökade utsläpp av växthusgaser, och även förlust av biologisk mångfald och ekosystemtjänster. Vid odling av soja används också stora mängder kemiska bekämpningsmedel (Naturskyddsföreningen 2024). Lantmännen (2024) köper numera in enbart certifierad soja och arbetar dessutom för att ersätta importerad soja med inhemska proteingrödor.

Vid beräkning av växthusgasemissioner blir förändrad markanvändning ("Land Use Change") en viktig faktor att ta hänsyn till. Sojafoder uppskattas ha en utsläppsfaktor på 3 kg CO₂-ekv/kg foder (Jordbruksverket 2018a; Poore & Nemecek 2018; Consumer Ecology 2024). Olika studier visar dock att det finns en mycket stor spridning beroende på vilka förutsättningar och antaganden som har gjorts, exempelvis 0,8 kg CO₂-ekv/kg (Flysjö m.fl. 2008), 0,1-17,8 kg CO₂-ekv/kg (Castanheira & Freire 2013), 0,2-4,1 kg CO₂-ekv/kg (Escobar m.fl. 2020) och 0,6-7,5 (LCADDataFoder (2024) - uppdaterad 2010 för sojamjöl).

I Skåne finns 14 % av landets nötkreatur, 30 % av landets grisar och 16 % av landets fjäderfän (Jordbruksverket 2024a). En mycket grov uppskattning ger att de indirekta utsläppen av växthusgaser för användning av sojafoder i Skåne blir drygt 100 000 ton CO₂-ekv/år (3 ton CO₂-ekv/ton x (0,14 x 60 000 + 0,30 x 35 000 + 0,16 x 100 000)).

3.3. Ensilageplast

Under år 2019 samlades det in ca 22 000 ton plast från jordbruket, varav ca 18 000 ton användes för ensileringsändamål, med drygt 15 000 ton i form av rundbalsplast (SOU 2021). Övrig plast var i form av plastdunkar, storsäckar, m.m. Det uppskattas att 90 % av den plast som samlades in år 2020 gick till materialåtervinning (SOU 2021), framförallt till en återvinningsanläggning i Korsberga (Svepretur 2024). Där behandlas den mekaniskt och blir granulär som sedan används för att tillverka nya plastprodukter (Svepretur 2024). Inhemsk tillverkning av sträckfilm (för ensilering av rundbalar), plansilofilm (ensilering i plansilos) och odlingsfilm (bl.a. för att täcka grönsaksodlingar) finns i Smålandsstenar (Trioworld 2024). Ensilageplasterna tillverkas av polyeten (PE), som i sin tur oftast baseras på fossila råvaror. PE är inte biologiskt nedbrytbar i naturen. Trioworld (2024) jobbar på tre olika sätt för att öka klimatprestandan; dels genom ökad andel återvunnen plast, dels genom att minska mängden material (tjockleken) för en viss användning, och dels genom att införa biobaserade plastmaterial. I ett europeiskt samarbetsprojekt har man föreslagit olika vägar för att minska klimatpåverkan från användning av plast i jordbruket (EIP Agri 2021).

Emissionsfaktorn för ensilageplast kan variera stort beroende på vilka förutsättningar och antaganden som har gjorts i beräkningarna. Exempelvis använde Rotz m.fl. (2010) en emissionsfaktor på 2,0 kg CO₂-ekv per kg plast, och i den brittiska klimatrapporteringen används ett värde på 2,6 kg CO₂-ekv per kg plastfilm (Gov.UK 2024). En grov uppskattning ger att de indirekta utsläppen av växthusgaser relaterat till användningen av ensilageplast i Skåne är drygt 6 000 ton CO₂-ekv per år (2,5 ton CO₂-ekv per ton plast x 0,14 (andelen nötkreatur i Skåne i förhållande till totalt antal i riket) x 18 000 ton plast i riket per år).

4. REDUKTIONSMÖJLIGHETER INOM OLIKA PRODUKTIONSINRIKTNINGAR

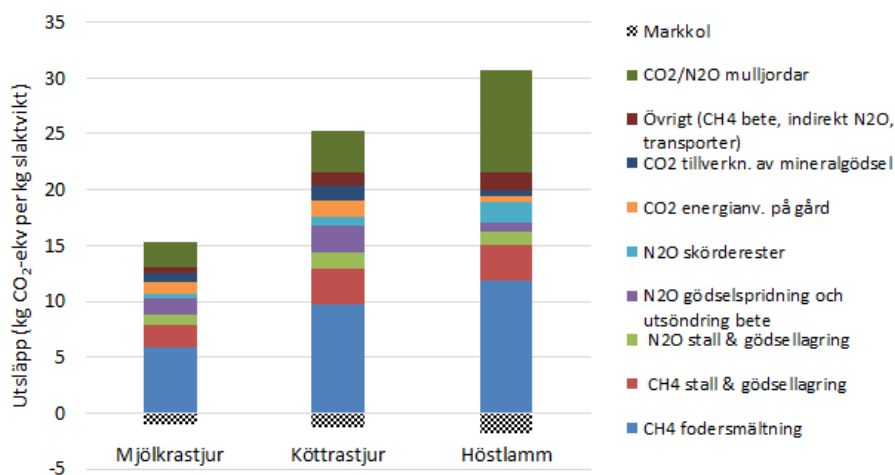
Utsläppsnivåerna för olika livsmedelprodukter varierar mycket kraftigt, beroende på en mängd olika faktorer. Generellt ger animaliebaserade produkter högre utsläpp. Enligt riktvärdena på ”Öppna listan” från RISE (2024a), ger t.ex. nötkött från Sverige ett ungefärligt utsläpp på 28 kg CO₂-ekv per kg benfritt ej tillagat kött, medan nötkött från Brasilien ger 137 kg CO₂-ekv per kg benfritt ej tillagat kött (inkl. LUC-bidrag), mellanmjölk (Sverige) 0,9 kg CO₂-ekv per liter, och ost (Sverige) 5,3 kg CO₂-ekv per kg ost (31 % fett). Växtbaserade produkter såsom potatis (Sverige) ger 0,1 kg CO₂-ekv per kg oskalad potatis, spaghetti (Sverige) 0,8 kg CO₂-ekv per kg okokt spaghetti, jasminris (Thailand) 3,1 kg CO₂-ekv per kg okokt ris samt mjukt bröd, vete, (Sverige) 0,5 kg CO₂-ekv per kg bröd (RISE 2024a).

I detta kapitel redogörs för några möjligheter att minska utsläppen inom primärproduktionen när det gäller djurhållning och växtodling. Här finns också ett avsnitt som handlar om olika rådgivningsinsatser och beräkningshjälpmedel på gårdsnivå. Minskning av de utsläpp som är relaterade till användningen av fossila bränslen tas upp kapitlen 5 och 6.

4.1. Djurhållning

Djurens matsmältning svarar för knappt 400 000 ton CO₂-ekv metan per år i Skåne (figur 2.14). På riksnivå svarar köttdjur för 49 % av landets utsläpp av metan från matsmältning, mjölkkor för 37 %, får och getter för 4 %, svin för 2 % och övriga djur (t.ex. hästar) för 8 % (SCB 2025).

Ett exempel som illustrerar komplexiteten vid beräkning av utsläppen av växthusgaser är en studie av Ahlgren m.fl. (2022), som visade att lammkött från höstlamm ger större utsläpp vid matsmältningen än nötkött från mjölk- och kötttrastjuror räknat per kg slaktvikt (figur 4.1). Resultaten gäller för djur uppfödda på Gotland resp. i Götalands norra slättbygder. Utifrån enstaka siffror, tabeller och figurer, är det svårt att dra slutsatser om vad som är ”bäst”. Författarna påpekar att det t.ex. kan vara stora skillnader i utsläpp mellan olika uppfödningssystem och var i landet uppfödningen sker. Valet av systemgränser kan också ha stor betydelse för resultaten. En annan aspekt som inte syns i figur 4.1 är att lammuppfödning kan vara mycket positivt för den biologiska mångfalden om djuren betar på naturbetesmarker.



Figur 4.1. Utsläpp av växthusgaser per kg slaktvikt för mjölkrastjur och köttkrastjur (Götalands norra slättbygder) och för höstlamm (Gotland). Data från Ahlgren m.fl. (2022).

Metoder för att minska utsläppen från matsmältning

I en litteraturgenomgång av Brady & Nylén (2024) (se också Jordbruksverket 2023) beskrivs fyra olika sätt att minska utsläppen av metan från djurs matsmältning: effektiv djurhållning, avel, förändringar i fodrets sammansättning och tillsatsmedel som hämmar metanbildningen i vommen. Effektiv djurhållning innebär att produktiviteten inom djurhållningen ökar genom att samma mängd produceras av färre djur. Detta kan ske genom att ha längre laktationsperioder och mer ”optimala” åldrar vid första kalvning och utgallring av djur i mjölkproduktionen (Dall-Orsoletta m.fl. 2019), genom att ha hög foderkvalitet (Beauchemin m.fl. 2020) och genom förbättrad djurhälsa (Jordbruksverket 2023). Ökad digitalisering kan också leda till ökad fodereffektivitet och livslängd på mjölkkor (Edman m.fl. 2022). Effekten av en effektiv djurhållning har dock en begränsad potential att minska utsläppen då produktivetskurvan planar ut efterhand som djurhållningen blir alltmer sofistikerad.

Olika individer släpper ut olika mängder metan, och avel har därför föreslagits som en metod för att minska utsläppen från matsmältning (Brady & Nylén 2024; Jordbruksverket 2023). Metoden är permanent och kumulativ över tid (Roques m.fl. 2024), men det finns en risk att man avlar bort andra önskade egenskaper såsom hög produktivitet. Direkta mätningar av metanemissioner på individnivå kan vara osäkra och kostsamma, och indirekt selektion med hjälp av genetisk information är därför ett alternativ som kan bli intressant framöver (Roques m.fl. 2024). Mer forskning behövs för att utreda om avel är en effektiv metod för att minska utsläppen från matsmältning (Jordbruksverket 2023), och det kan ta ganska lång tid innan man når signifikanta utsläppsminskningar. För nederländska förhållanden, visade dock de Haas m.fl. (2021) genom simuleringar att man skulle kunna minska utsläppen med 24 % fram till år 2050 om utsläppsreduktion ingår i avelsmålen.

Förändringar i fodrets sammansättning är ett tredje förslag för att minska utsläppen från djurens matsmältning (Brady & Nylén 2024). Sådana näringsmässiga förändringar påverkar utsläppsintensiteten (t.ex. g CO₂-ekv per kg produkt) snarare än de absoluta utsläppen (t.ex. g CO₂-ekv per dygn) (Roques m.fl. 2024). Ett sätt är att tillsätta lipider i form av t.ex. fetter och

olja i fodret för att minska utsläppen (Gerber m.fl. 2013). Genom att tillsätta lipider med upp till 4 % av intagen torrs substans i fodret, kan utsläppen minska med upp till 20 % (Brady & Nylén 2024). Lipid tillsatser kan dock påverka mjölk- och köttkvaliteten negativt (Beauchemin m.fl. 2020; Roques m.fl. 2024). Ett annat sätt är att öka andelen stärkelserika fodermedel på bekostnad av cellulosa-rika fodermedel. Stärkelse har en snabbare matsmältningsprocess och minskar därmed utsläppen av metan (Beauchemin m.fl. 2020). Det är dock osäkert om de totala utsläppen i ett livscykelperspektiv minskar om djuren utfodras med mer stärkelse (Gerber m.fl., 2013; Garnett & Eckard 2024), och dessutom kan det vara svårt rent praktiskt att genomföra detta när djuren går på bete (Brady & Nylén 2024). Byte av proteinfoder med hög klimatpåverkan (t.ex. soja) till inhemska proteingrödor med lägre klimatavtryck är också ett viktigt steg i strävan att minska utsläppen i ett livscykelperspektiv (Jordbruksverket 2023).

Den metod som bedöms ha störst potential är tillsats av olika medel som hämmar metanogenesen (produktionen av metan) i vommen. Ämnet 3-NOP (nitrooxypropanol) har tilldragit sig ett stort intresse då man har uppnått stora utsläppsminskningar (25-40 % och i vissa fall upp till 80 %) (Kebreab m.fl. 2023; Brady & Nylén 2024), samtidigt som man inte har sett någon större påverkan på varken djurens hälsa eller produktion. Tillsatser av makroalger har också visat sig ha en starkt hämmande effekt på metanogenesen, även om man har noterat vissa produktivtetsminskningar när det t.ex. gäller mjölkavkastningen (Roques m.fl. 2024). Tillsats av nitrat hämmar bildningen av metan, men för höga halter kan ge förgiftningssymptom hos djuren (Gerber m.fl. 2013; Roques m.fl. 2024). Vaccinering och genmodifieringar med hjälp av CRISPR ("gensaxen") är andra metoder, men det kommer troligen att dröja ganska länge innan dessa skulle kunna realiseras (Brady & Nylén 2024). Det finns ett antal kommersiella fodertillsatser, t.ex. Mootral (Mootral SA, Schweiz), Agolin (Agolin Ruminant, Schweiz) och Polygain (Poly Gain, Singapore) med varierande resultat (9-35 % reduktion i CH₄-utsläpp) (Garnett & Eckard 2024).

Kombinationer av olika metoder och tillsatsmedel för att minska utsläppen av metan från djurs matsmältning har undersökts (se t.ex. Moate m.fl. 2014 och Maigaard m.fl. 2024), men mer forskning behövs för att undersöka eventuella synergieffekter och kostnader (Garnett & Eckard 2024). Detta gäller särskilt för djur som går på bete, eftersom det kan vara svårt att ge tillsatsmedel under sådana förhållanden.

Det pågår också forskning om att fånga in och bryta ned utandad metan i stallarna (Jordbruksverket 2023). I ett danskt projekt ska metanet fångas in i luftkåpor och sedan brytas ned i biofilter, i ett internationellt projekt där bl.a. KTH ingår ska man utveckla filter som tar bort metan och i ett svenskt projekt ska man utveckla teknik för direkt luftinfångning (Jordbruksverket 2023). Företaget Ambient Carbon i Danmark har utvecklat en teknik för fotokemisk nedbrytning av metan i stallarna. Under år 2024 kommer tekniken att testas på en gård i USA (Ambient Carbon 2024).

Metoder för att minska utsläppen från lagring och användning av stallgödsel

Metan och lustgas är de viktigaste växthusgaserna när det gäller utsläpp från hantering, lagring och spridning av stallgödsel (se figur 2.14). Stallgödsel avger metan där det finns syrefria (anaeroba) miljöer, t.ex. i flytgödsel, men också från kompakt packad fastgödsel. Metanutsläppen ökar kraftigt med ökande temperatur (Rodhe m.fl. 2018). Lustgas bildas

under förhållanden där det finns både syrerika (via nitrifikation) och syrefattiga (via dentrifikation) miljöer, främst i fast gödsel, men lustgas kan också bildas i svämtäcke på flytgödsel (Jordbruksverket 2023). Lustgas kan också bildas indirekt via den ammoniak som avgår från gödseln. Minskning av utsläppen från en växthusgas kan öka utsläppen från en annan, så man behöver vara uppmärksam på detta för att få ned de totala utsläppen (Garnett & Eckard 2024).

Snabb utslussning ur stallet leder till snabbare nedkylning av gödseln och därmed minskad metan- och ammoniakavgång (Jordbruksverket 2012; Olesen m.fl. 2018). Täckning av flytgödsellager innebär också att ammoniakavgången minskar, och därmed även kväveförlusterna. Lägre ammoniakförluster innebär lägre indirekta utsläpp av lustgas (via ammoniak). Jordbruksverkets regler säger att flytgödselbehållare i Götaland och delar av Svealand ska vara täckta med t.ex. ett stabilt svämtäcke eller med flytande plastduk. Lägre kväveförluster betyder att mindre mineralkvävegödsel behöver användas, vilket i sin tur betyder lägre utsläpp av växthusgaser i ett systemperspektiv. En övergång från fastgödsel till flytgödsel innebär att utsläppen av ammoniak och lustgas minskar. Efter spridning i fält av både flytgödsel och fastgödsel är det ammoniak och lustgas som bildas, och det är därför viktigt att man sprider vid rätt tidpunkt och använder lämplig teknik, t.ex. myllningsaggregat vid spridning av flytgödsel.

Det finns flera fördelar med att röta gödseln och producera biogas. Om man rötar gödseln före lagring blir utsläppen av metan sedan lägre under lagringen (SLU 2024b). Å andra sidan visade en studie av Rodhe m.fl. (2018) att rötad gödsel under vissa förutsättningar kan ge ifrån sig mer metan än orötad.

Rötresten får ett högre växtnäringsvärde än obehandlad gödsel då kvävetillgängligheten ökar (i genomsnitt ca 10 % enligt SLU (2024b)), vilket innebär att mindre mineralkvävegödsel behöver användas. En annan viktig fördel är att renad (uppgraderad) biogas kan användas i förbränningsmotorer och därmed ersätta fossila bränslen.

Studier har visat att man kan minska utsläppen av ammoniak och metan kraftigt genom att sänka pH i stallgödseln genom surgörning (Kavanagh m.fl. 2019; Greppa näringen 2021; Sindhøj m.fl. 2022). Metoden har använts på gårdsnivå under mer än 20 år i Danmark, men används inte i Sverige (Sindhøj m.fl. 2022). Surgörningen kan göras i stall, i samband med lagring och vid spridning. I en studie av Kavanagh m.fl. (2019) minskade utsläppen av ammoniak med 73-96 % och av metan med 94-96 % när järnklorid, svavelsyra, alun och ättiksyra tillsattes i flytgödsel. Svavelsyra var den syra som var mest kostnadseffektiv, även när man tog hänsyn till den besparing av mineralgödsel som görs när stallgödseln får ett högre innehåll av kväve p.g.a. minskad ammoniakavgång. Rodhe m.fl. (2018) surgjorde både rötad och orötad flytgödsel och konstaterade att metangasemissionerna minskade med mer än 90 % för båda gödselkategorierna. Surgörning kan vara kostsamt att införa i befintliga stallar och hantering av starka syror innebär säkerhetsrisker (Jordbruksverket 2023).

N2 Applied är ett norskt företag som har tagit fram en teknik för att minska utsläppen av metan och lustgas från flytgödsel (N2 Applied 2024). I ett första steg (plasma-steget) delas (joniserar) luftens kväve- (N_2) och syrgasmolekyler (O_2) med hjälp av elektricitet, och de

bildar sedan en reaktiv gas bestående av NO-molekyler. I det följande steget (absorptionssteget) absorberas dessa molekyler i flytgödslen, som resulterar i en kväveberikad gödsel med sänkt pH som reducerar ammoniakavgången (Nyvold & Dörsch 2024). Denna process tycks också ha en anti-mikrobiell effekt som leder till att metanavgången kan upphöra nästan helt (Hiis m.fl. 2023; Nyvold & Dörsch 2024). En nackdel med denna metod är dock att den är energikrävande (ATL 2022).

Garnett och Eckard (2024) anger att s.k. flockning, då organiska partiklar sammanförs och sedan avskiljs, skulle kunna vara en metod för att minska utsläppen av metan från flytgödsel. De avskiljda gödselpartiklarna ökar näringskoncentrationen i gödseln, men mer forskning behövs, och dessutom krävs det sannolikt stora investeringar om metoden ska kunna realiseras praktiskt på gårdsnivå.

4.2. Växtodling

Inom växtodlingen svarade utsläppen av lustgas för merparten av de totala utsläppen. Under år 2022 var lustgasutsläppen i Skåne 233 000 ton CO₂-ekv från användning av konstgödsel, 128 000 ton CO₂-ekv från skörderester som gödsel, 64 000 ton CO₂-ekv från odling av organogena jordar, 60 000 ton CO₂-ekv var indirekta utsläpp av lustgas från brukad mark, och övrigt gödselmedel m.m. svarade för 18 000 ton CO₂-ekv (figur 2.14).

En ”låg hängande frukt” när det gäller att minska utsläppen per producerad enhet inom växtodlingen är att se till att produktionen är så resurseffektiv som möjligt. När det gäller förluster och svinn inom primärproduktionen, skriver Jordbruksverket (2023) att 3 % av kvarvetet under år 2020 förstördes i fält, att 17 % av den odlade mängden matpotatis under år 2021 blev kvar i fält, blev foder eller biogassubstrat, att en tredjedel av morötterna som odlades år 2020 blev kvar i fält, blev biogas eller kompost, och att förlusterna vid lagring och sortering av resterande morötter var 26 %.

För att få en hög produktivitet är det viktigt att ha god dränering, att undvika markpackning, att ha ett fungerande integrerat växtskydd och ett effektivt utnyttjande av växtnäring (Jordbruksverket 2023). En annan åtgärd är kalkning, som ger ökat pH och minskar läckaget av näring och avgången av lustgas (Karlsson Potter m.fl. 2023). Med hjälp av precisionsodling kan utsläppen minska ytterligare. Anpassning av kvävegivan till fältspecifika förutsättningar, jämfört med allmänna gödslingsrekommendationer, kan minska utsläppen av lustgas med ca 5 %, och inomfältsanpassningar av givan kan minska utsläppen med ytterligare 1-10 % (Karlsson Potter m.fl. 2022).

Nitrifikationshämmare (NI – *nitrification inhibitors*) har testats i flera försök som ett sätt att minska utsläppen av lustgas inom växtodlingen (för en litteraturgenomgång, se Johansson 2022). NI hämmar tillfälligt de mikroorganismer som omvandlar ammonium till nitrat, och växterna får därmed längre tid på sig för att ta upp kvävet. Syftet var ursprungligen att minska kväveläckaget, men senare studier har visat att NI också kan minska lustgasutsläppen ganska kraftigt (Gilsanz m.fl. 2016; Thapa m.fl. 2016; Guzman-Bustamante m.fl. 2019). Å andra sidan fann Wolf m.fl. (2022) inga utsläppsminskningar, och resultaten är därför inte entydiga

(Johansson 2022). Resultaten tycks påverkas av en mängd olika faktorer (jordart, gröda, brukningsmetoder, temperatur, pH-värde, etc.), och farhågor finns också om att utsläppen av lustgas istället kan öka indirekt genom ökad ammoniakavgång. NI har funnits på marknaden en längre tid, men den praktiska användningen är mycket blygsam, både i Sverige och utomlands. Viktiga skäl till detta är de höga kostnaderna, osäkerheter kring när, var och hur själva appliceringen ska gå till, och osäkerheter kring hur stora riskerna är för långsiktigt försämrad jordhälsa (Olesen m.fl. 2018; Johansson 2022).

Tillsättning av lustgasrespirerande bakterier (NRB - *nitrous oxide respiring bacteria*) i t.ex. rötresten för senare spridning i marken har visat sig minska utsläppen av lustgas (Jonassen m.fl. 2022). Hiis m.fl. (2024) anger att lustgasutsläppen skulle kunna minska med 5-20 % eller mer på europeisk nivå om denna metod används. Mer forskning behövs dock angående både praktiskt genomförande och kostnadsnivåer, och inte minst om denna metodik påverkar andra processer i marken som skulle kunna leda till ökade emissioner av metan istället (Stein & Lidstrom 2024).

Det finns också bakterier som indirekt kan minska lustgasutsläppen genom ett minskat behov av mineralgödselkväve. BlueNTM är en kommersiell produkt som kommer in i växten via dess klyvöppningar och sedan fixerar luftens kväve och omvandlar den till ammonium (Jordbruksverket 2023; Corteva 2025). BlueN är blandbart med flera bekämpningsmedel och kan spridas i samband med olika bekämpningar i grödan. I vissa fall kan det dock finnas risk att kvävefixerande biostimulanter kan öka emissionerna av lustgas (Souza m.fl. 2019). Kvävefixeringen kan också öka genom att tillsätta rhizozombakterier, men dessa behöver skräddarsys för olika grödor och jordar om de ska få någon betydande effekt (Jordbruksverket 2023).

Inom växtodlingen finns det en stor potential att binda in mer kol i marken genom olika åtgärder (Bolinder m.fl. 2017). Jordbruksverket (2023) hänvisar till en uppskattning av Skogsstyrelsen, som anger att potentialen är 0,8 miljoner ton CO₂-ekv per år fram till år 2045 (i beräkningarna ingår ej tillförsel av biokol och ökad vallodling). För att nå denna nivå ingår åtgärder som ökad odling av mellangrödor (480 000 ton CO₂-ekv/år), ökad intensitet i vallodlingen (80 000 ton CO₂-ekv/år), slopad svartträda (45 000 ton CO₂-ekv/år) och ökade skördar i spannmålsodlingen 148 000 ton CO₂-ekv/år (Skogsstyrelsen 2022).

En ökad odling av vall kan leda till en betydande kolinlagring då potentialen i en spannmålsdominerad växtföljd kan vara ca 520 kg kol per ha och år (Kätterer & Bolinder 2022). En annan gröda som har stor kolinlagringspotential är energiskog i form av salix och poppel, med en uppskattad genomsnittlig potential på 450 kg C per ha och år (exkl. inlagring av ovanjordisk biomassa) (Bolinder m.fl. 2017). Ett krav för att kunna realisera dessa potentialer i större skala är dock att det finns avsättning för en ökad odling av vall och energiskog. En tredje framtida gröda med stor potential är perenn vete, men vidare forskning behövs för att man ska kunna göra någorlunda säkra kvantifieringar.

Odling av mellangrödor för produktion av biogas minskar inte bara läckaget av kväve, utan binder också in kol i marken samtidigt som gasen kan ersätta fossila bränslen (Nilsson m.fl. 2024; Svensson m.fl. 2025). I ett klimatperspektiv är det 3-4 gånger bättre att producera biogas som ersätter fossila drivmedel och sedan återföra rötresterna till marken, jämfört med att plöja ned mellangrödornas ovanjordiska växtdelar direkt (Svensson m.fl. 2025). Mellangrödorna

har en stor fördel då de inte konkurrerar med den ordinarie produktionen av livsmedel och inte behöver gödslas.

Biokol kan framställas från en rad olika typer av biomassa, t.ex. ved, trädgårdsrester, matavfall och växtrester (Paulsson (red.) 2020; Hall m.fl. 2022). Genom s.k. pyrolys, då materialet upphettas till 300-800°C i en syrefri miljö, avgår flyktiga ämnen medan återstoden blir en fast del (biokol). Den flyktiga delen (metan, vätgas, kolmonoxid, etc.) kan användas som bränsle och ersätta fossila bränslen eller användas som råvara till produktion av biodrivmedel. Biokol är mer stabilt än ursprungsmaterialet och kan därför lagras i marken under flera hundra år, kanske t.o.m. flera tusen år framåt. Den har därför blivit mycket intressant i diskussionerna kring infångning och inlagring av luftens koldioxid i marken. En annan fördel med biokol är att den kan minska läckaget av näringsämnen (Hall m.fl. 2022). När det gäller användningen av biokol, finns det dock osäkerheter kring dess stora variabilitet när det gäller egenskaper, dess långsiktiga effekter i mark och ekosystem, samt kring den ekonomiska hållbarheten (Wikipedia 2025), och därmed också kring dess (kvantitativa) potential i ett klimatperspektiv (Jordbruksverket 2023).

4.3. Beräkningshjälpmedel för utsläpp på gårdsnivå

Olika åtgärdsprogram och beräkningshjälpmedel har tagits fram för att identifiera och kvantifiera utsläppen av växthusgaser på gårdsnivå. Ett exempel är Klimatkollen, som är ett rådgivningskoncept utvecklat av Greppa Näringen (2024a). Klimatkollen har olika moduler som är anpassade efter vilken produktionsinriktning som gårdarna har (växtodling eller animalieproduktion). Greppa Näringen, som är ett samarbete mellan Jordbruksverket, LRF och länsstyrelserna, har också tagit fram Energikollen för analys av energiflöden. Beräkningsverktyget Vera, som används för stallgödselberäkningar och för att ta fram växtnäringsbalanser och gödselplaner, används också som ett beräkningsverktyg i Energikollen och Klimatkollen (Greppa Näringen 2024b).

Dataväxt har, tillsammans med Lantmännen, tagit fram ett verktyg som heter Klimatkalkylen (Dataväxt 2024). Med hjälp av data som redan samlas in genom Dataväxts tjänster erhålls gårdsspecifika uppgifter om gårdens klimatpåverkan. Ett tredje verktyg är Arla FarmAhead™ Beräkning, som används av Arla sedan 2020 (Arla 2024). Verktöget är ett led i företagets arbete med att minska klimatpåverkan från gårdarna med 30 procent per kg mjölk till år 2030 och för att nå noll nettoutsläpp inom Arla år 2050.

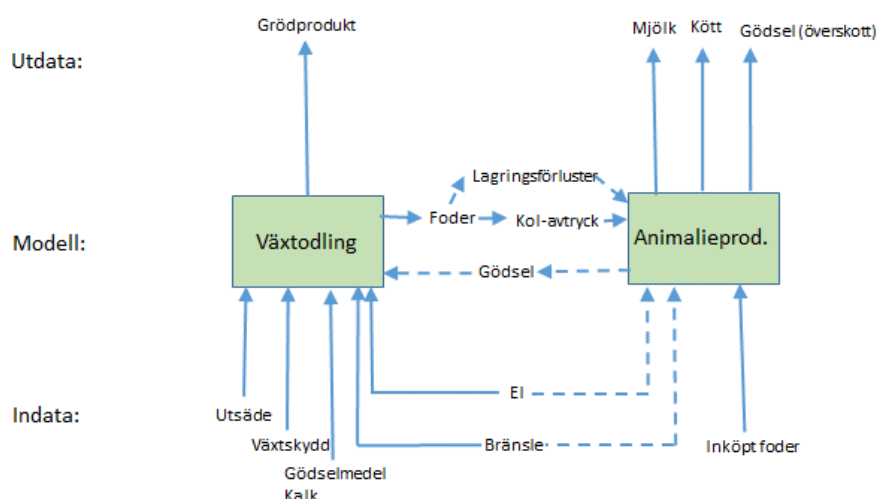
Ovan nämnda verktyg är förenade med rådgivningsinsatser från respektive organisation, men rådgivning kopplat till dessa verktyg, eller till klimat och energi i allmänhet, ges också via Växa, som är en rikstäckande rådgivningsorganisation med inriktning på gårdar med husdjur (Växa 2024), och Hushållningssällskapen (genom Greppa Näringen), som också är en rikstäckande rådgivningsorganisation med kompetens inom bl.a. växtodling, ekonomi, byggnader och energi (Hushållningssällskapet 2024).

Lantmännen, LRF, Hushållningssällskapet, Växa, Arla och Scan Sverige har inlett ett arbete med att utveckla en gemensam digital plattform som heter Agronod och som ska användas för

att samla och dela jordbruksdata till olika applikationer (Agronod 2024a). Inom Agronod har man utvecklat ett verktyg (Agrosfär) för klimatberäkningar på gårdsnivå (Ahlgren m.fl. 2024). Agrosfär ska inte bara användas för att beräkna gårdens totala utsläpp, utan också utsläppen på produktnivå, d.v.s. kg CO₂-ekv per kg eller liter producerad vara och år. Agrosfär innehåller färre schablonsiffror än de tidigare verktygen genom att man utnyttjar data på individnivå, t.ex. för varje enskild ko eller för varje ton vete som odlas (Agronod 2024a). Den första modellversionen togs fram och testades av några lantbrukare under 2022, som följdes av ytterligare modellutveckling och tester under 2023. Ytterligare utveckling av modellen redovisas i rapporten från 2024 ”Description of the Agrosfär model” av Ahlgren m.fl. (2024).

Agrosfär utvecklas med syfte att följa olika internationella standarder för klimatberäkningar (Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR), International Dairy Federation (IDF), FAO Livestock Environmental Assessment and Performance Guidelines (FAO LEAP), Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol), Corporate Standard, GHG Protocol Agricultural Guidance (Scope 1 & 2) och GHG Protocol Corporate value chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard) (Ahlgren m.fl. 2024). Den nuvarande versionen kan beräkna utsläppen för produktion av olika grödor, mjölk och nötkött (figur 4.2). Den framtida utvecklingen av Agrosfär syftar till att ”utveckla moduler för fler djurslag, fördjupa integrationen mellan växt- och nötmodulerna, utöka antalet datakällor för automatisk datainsamling, utveckla en kolinlagringsmodul och justeringar för att säkerställa framtida anpassningar till viktiga klimatrapporteringsstandarder” (Ahlgren m.fl. 2024).

Lantbrukaren kan välja vilka indata som ska kopplas till Agrosfär, och dessa överförs sedan automatiskt till modellen. Exempel på indata är växtodlingsdata från Dataväxt, journaldata om djurindivider från MinGård och Kokontrollen via Växa, markkarteringsdata från Hushållningssällskapet och LM2-data, som ger produktinformation om inköp från Lantmännen (Ahlgren m.fl. 2024).



Figur 4.2. Schematisk skiss över nuvarande Agrosfär-modell. Streckade linjer har ännu inte implementerats i modellen. Ritat efter Ahlgren m.fl. (2024).

5. ENERGIEFFEKTIVISERING

Inom lantbruket finns det en stor mängd åtgärder som kan vidtas för att minska energiåtgången, och därmed i de flesta fall också utsläppen av växthusgaser. Detta gäller alla produktionsgrenar. Åtgärderna kan delas in i tre olika nivåer beroende på hur lätta de är att genomföra samt hur stor insats som krävs för att genomföra dem (Neuman 2013a; Neuman 2013b; Bernesson m.fl. 2023).

Den första nivån handlar om beteende, såsom t.ex. att inte i onödan låta traktorer stå och gå på tomgång, planera sitt transportarbete, underhålla traktorer och andra maskiner enligt rekommendation, släcka belysningen i rum där ingen vistas, rengöra fläktar och ventilationsdon, täta läckor i pneumatiken direkt då de uppstår, ej torka spannmålen mer än nödvändigt m.m.

Den andra nivån handlar om åtgärder som kräver mindre investeringar såsom frekvens/varv-talsreglering till fläktar, mjölkkyllkompressorer och mjölkpumpar, att byta ut de elmotorer som går mycket årligen till modernare elmotorer med högre verkningsgrad, investering i belysning med närvaroavkänning och ljusavkänning, byte av traktordrivna utfodringsvagnar till eldrivna, byte av gamla ineffektiva pannor till moderna med hög effektivitet, installation av värmeåtervinning från mjölkkyllsystem, etc.

Den tredje nivån handlar om större investeringar såsom byte av system, till exempel byte till traktorer med GPS-styrning, vid nybyggnation välja effektiva ventilationssystem där kanalerna är rakare och där skarpa böjar undviks, samt om möjligt välja naturlig (självdrags-) ventilation vid nybyggnation.

Omkring hälften av den energi som används i jordbruket är indirekt energi, som används vid produktion av de förnödenheter som används inom jordbruket, såsom foder (som produceras utanför gården), konstgödsel, drivmedel, ensilageplast, bekämpningsmedel, maskiner, byggnader, kalk och utsäde. Det är därför viktigt att dessa förnödenheter används så effektivt som möjligt och att förluster undviks. Maskiner bör ha en så hög årlig användning som möjligt och under så många år som möjligt. Produktionen bör vara så hög som möjligt för att insatt energi och insatta förnödenheter ska nyttjas så effektivt som möjligt.

5.1. Energieffektivisering inom lantbrukets växtproduktion

Sparsam körning, effektivare maskiner, utveckling av motorer m.m. kan leda till en minskad bränsleförbrukning på mellan 15 % och 45 % för jordbrukets arbetsmaskiner (Jordbruksverket 2012). Utöver detta finns ett stort antal åtgärder som kan vidtas i syfte att minska utsläppen från jordbrukets arbetsmaskiner. Ett exempel är att välja rätt storlek på traktorn. Att använda en stor traktor för lätt last är ineffektivt eftersom extra kraft används för att förflytta den större traktorn. Att använda en mindre traktor för att utföra fältoperationer som kräver mer kraft än den är konstruerad för kan överbelasta en mindre traktor, vilket minskar effektiviteten och kan leda till högre bränsleförbrukning. Reducerad jordbearbetning, såsom plöjningsfri odling eller direktsådd, möjliggör en betydande energibesparing (Andersson m.fl. 2010).

Under senare år har traktorer med nya elektroniskt styrda transmissioner, t.ex. dubbelkopplings transmissioner (DCT), kommit ut på marknaden (Emgardsson 2020). DCT har i flertalet arbetsoperationer visat sig vara bränslesnålare än variabla transmissioner (CVT) och steglöst variabla transmissioner (IVT), särskilt vid snabba vägtransporter och vid tunga fältarbeten (även CVT och IVT är elektroniskt styrda transmissionssystem).

Vid elektrifiering av fältarbeten kan en 160 kW traktor med förare ersättas av två självkörande traktorer på 30 kW vardera som körs dygnet runt och vid behov automatiskt kör till laddning (Engström & Lagnelöv 2018; Lagnelöv m.fl. 2022; Lagnelöv 2023). Dessa blir betydligt lättare än dagens traktorer och orsakar därför mindre packning i djupare liggande jordlager vilket kan vara gynnsamt för markens produktionsförmåga på sikt. På vissa känsliga jordarter undviks då skadlig och skördesänkande jordpackning.

Precisionsodling bygger på insamling av observationer, samt mätningar som tillsammans med annan information kan styra åtgärder inom växtodlingen i syfte att maximera effektivitet och avkastning, samtidigt som behovet av resurser i form av energi och arbete minimeras (AG Precision 2022). Tekniken används för att analysera data och information för att möjliggöra förbättringsåtgärder samt ge en bättre förståelse i de processer som sker (Mondal & Tewair 2007; Pelletier m.fl. 2011; Brennen & Kreiss 2016; Engström & Lagnelöv 2018; Lantmännen 2019; RISE 2022a; RISE 2022b; RISE 2022c; Edman m.fl. 2022; FCCT 2023). Exempel på tekniker är förarlös körning styrd av GPS, utvecklade mekaniska redskap, satellitbilder för att analysera och styra odlingen, teknik som registrerar upptagen kväve i grödan, drönare med kamera som länkar till satellit för bedömningar samt effektivt växtskydd. Med digitaliseringen tas nästa steg efter precisionsjordbruk genom att olika system kopplas ihop med IoT (Internet of things) och data analyseras med AI (Artificiell intelligens) (RISE 2022b). Utvecklingen kan på så sätt ta vidare steg och fördelarna med precisionsodling utvecklas vidare.

Effekterna av ökad precisionsodling och digitalisering inom jordbruket kan vara svår att kvantifiera (Lantmännen 2021). Klart är dock att den ger ett stöd för en optimering av driften där maskiner kan utnyttjas mer optimalt och tillförseln av resurser kan göras mer optimal. Man har uppskattat att precisionsodlingen på kort sikt kan ge skördeökningar på tre procent och att effekten ökar när digitala plattformar och teknik i lantbruksmaskiner finns tillgängliga till överkomliga kostnader (Lantmännen 2021). RISE (2022a) anger att precisionsodling tillsammans med andra åtgärder, såsom t.ex. sortförädling, kan öka avkastningen med upp till 20 %, samtidigt som mängden insatsmedel som diesel, gödsel och utsäde kan reduceras och fördelas där de gör mest nytta.

Bevattnings i jordbruket är en energikrävande verksamhet och åtgärder för energieffektivisering har diskuterats av en mängd författare (Stout 1990; Kitani m.fl. 1999; CIGR 1999; Svensson 2003; Vlek m.fl. 2004; Phocaidis 2007; Pimentel m.fl. 2008; Smil 2008; Abadia m.fl. 2008; Pelletier m.fl. 2011; Rothausen & Conway 2011; Abadia m.fl. 2012; Martin m.fl. 2017; Ramachandran m.fl. 2018; Scherer & Pedersen 2019; Safa 2022; Reardon-Smith m.fl. 2022; Sims 2022a; Sims 2022b; Civil Engineering 2024). Det är därför viktigt att den energi som används för pumpningen kan nyttjas så effektivt som möjligt med undvikande av onödiga förluster. Trycksatta bevattningsystem, särskilt installationer med centralt vridbara spridare

som använder en pump med hög flödes hastighet och som kräver en stor elmotor eller förbränningsmotor använder mycket energi. I Sverige används sådana spridare i bevattningsmaskiner och i rörbevattningsanläggningar.

I bevattningssystem där vattnet sprids från spridare med lägre tryck samt fördelas över fältet med hög precision, har man i en amerikansk studie visat att man kunnat minska energiåtgången för bevattning med 19 %, vilket lett till att utsläppen av växthusgaser kunnat minskas med 15 % (McCarthy m.fl. 2020). Exempel på bevattningssystem där vattnet sprids från spridare med lägre tryck är: bevattningsmaskiner där i ena änden av en lång slang som långsamt rullas in på en stor trumma finns en ramp med många små spridare (rampen med många små spridare ersätter en stor spridare som arbetat med högre tryck), center pivot bevattningssystem (en lång ledning med många små spridare/sprinklers som långsamt vandrar runt ett rör där vattnet pumpas in, ett cirkulärt område bevattnas) och liner bevattningssystem (liknar center pivot, men med den skillnaden att den långa ledningen med många spridare/sprinklers vandrar rakt fram över fältet och släpar slangen genom vilken vattnet tillförs efter sig, ett rektangulärt område bevattnas). Bevattning kan dock leda till ökad mikrobiell aktivitet i marken som leder till ökade utsläpp av växthusgaserna lustgas och koldioxid från marken (Trost m.fl. 2013). Ökad styrning av hur och när bevattningen sker kan minska eller eliminera det här problemet (Trost m.fl. 2013; Maris m.fl. 2015).

I Sverige minskar antalet gårdar, medan deras storlek ökar för att kunna hålla verksamheten konkurrenskraftig på marknaden, och underlätta användningen av allt större och effektivare maskiner (Casimir m.fl. 2019). En vanlig situation är att gården vill expandera snabbare än det finns tillgänglig mark nära gårdscentrum. Detta leder till att gården får längre avstånd till sin åkermark och att arronderingen blir sämre. Detta extra avstånd har en kostnad, både för gårdens lönsamhet och för miljön. Längre transporter leder till ökat energibehov och därmed ökade utsläpp av växthusgaser. Av den energi som åtgår för transporter mellan fält och brukningscentrum, utgörs 55 % av transporter av skörden till gården, 22 % av transport av gödsel till fälten och 23 % av transporter av redskap mellan gården och fälten eller mellan olika fält (Casimir m.fl. 2019).

Casimir m.fl. (2019) menar att man teoretiskt kan spara 33-60 % av det bränsle som åtgår för transporter mellan fälten genom att skifta mark mellan brukningsenheter för att få marken mer samlad nära brukningscentrum. I detta fall skiftar man marken på ett sätt som minimerar transporterna mellan brukningscentrum och fälten. Läger man in att ingen gård ska behöva få sämre mark än de tidigare har haft, så minskar potentialen till mellan 30 % och 52 % lägre bränslebehov för transporterna. Inför man ytterligare restriktioner såsom att varje gård kan byta fält med max två andra gårdar och att ingen ska förlora i form av mark med sämre avkastningspotential, så minskar den teoretiska potentialen till en besparing på 8-17 %. Casimir m.fl. (2019) bedömer att potentialen för energibesparing för transporter mellan brukningscentrum och fält på nationell nivå är upp till ca 50 %, medan den för enskilda gårdar kan vara betydligt högre än så, beroende på de lokala förhållandena.

Spannmålstorkar använder mycket energi under korta perioder av året (Jordbruksverket 2012; Bernesson m.fl. 2023). Fortfarande används en hel del energi med fossilt ursprung för att driva torkarna. Det finns en potential att minska energianvändningen genom regelbundet underhåll, värmeåtervinning m.m. Värmeåtervinning, genom att ta tillvara på den utgående

värmen i torkluften och återföra denna till den ingående torkluften, beräknas kunna leda till energibesparingar på 7-10 % (Jordbruksverket 2012). Kan 10 % värme sparas in leder detta till att energianvändningen till torkning i landet skulle minska med runt 76 GWh. Genom att bara torka den foderspannmål som ska lagras en kort tid under vintern, ner till en vattenhalt på 16 %, kan en gård spara närmare 25 % av energianvändningen till torken (Edström m.fl. 2008; Jordbruksverket 2012). Det går även att spara energi genom att förvärma luften i en solfångare (Gustafsson & Ekström 1980; Foster m.fl. 2015). Solfångare är särskilt lämpliga att använda till kallluftstorkar beroende på att den relativt långsamma torkningsprocessen i dessa påskyndas vid den måttliga uppvärmning som sker i en luftsolångare. Även alternativa sätt att konservera spannmålen kan minska energianvändningen.

En del av torkpannorna är av byggtorktyp som även kallas för dieselvärmare. Dessa är lätt flyttbara, ofta försedda med hjul, lätta och förhållandevis billiga. Ska de användas för torkning eller uppvärmning av lokaler där personer vistas måste de vara försedda med en skorsten eller ett avgasrör som leder ut rökgaserna. Effekten ligger ofta kring något hundratal kilowatt. Dessa pannor skulle utan ombyggnad kunna drivas med HVO, Fischer-Tropsch bränsle eller e-bränsle, och efter enkel ombyggnad (byte av material i slangar, översyn av packningar och bränsletankar) med RME eller FAME, samt efter ombyggnad (samma som för RME och FAME och dessutom byte av spridarmunstycke och eventuellt bränslepump) med obehandlad rapsolja eller annan vegetabilisk olja. Dessa pannor är även efter ombyggnad till gasdrift möjliga att driva med biogas eller vätgas. Då blir det tillåtet att låta rökgaserna passera genom den spannmål som torkas.

Potatis och grönsaker, såsom t.ex. vitkål, måste lagras vid en bestämd temperatur och luftfuktighet för att kunna behålla en så hög kvalitet som möjligt (Bishop & Maunder 1980; Olsson 2004; Spackman 2015; Farm advisory service 2022; Sáenz-Baños m.fl. 2022; Cheboi 2023; Hadad 2025). För potatis gäller 3-5°C samt nära 100 % (96-99,5 %) relativ fuktighet och för många grönsaker, t.ex. vitkål, 0°C och 98-100 % relativ fuktighet. Blir temperaturen lägre försämras kvaliteten eller i värsta fall så förstörs potatisen eller vitkålen. Högre temperatur försämrar hållbarheten. Dessutom avger de inlagrade produkterna värme, t.ex. vid 5°C avger potatis i ett lager ca 9 watt per ton genom respiration (Bishop & Maunder 1980). Det är viktigt att dessa lager är försedda med tillräcklig och välfungerande isolering, korrekt ventilation samt befuktning av luften för en så låg energianvändning som möjligt. Kylanläggningarna måste underhållas och skötas korrekt för att minimera energianvändningen. Läckage av köldmedium måste undvikas för att minimera oönskade utsläpp av potenta växthusgaser. Där så är möjligt, bör återvinning av värme från kylmaskinerna övervägas.

5.2. Energieffektivisering inom lantbrukets animalieproduktion

Inom animalieproduktionen finns det många processer som är bundna till djurens skötsel där mycket energi används, såsom inom utfodring, mjölkning och gödselhantering. Inom animalieproduktionen finns också många processer som är knutna till byggnaderna där djuren inhyses, där mycket energi används till uppvärmning, ventilation och belysning.

Mjölkkor, dikor och suggor ska vara i produktion under många år för att producera så mycket mjölk respektive kalvar eller smågrisar under sin livstid som möjligt. Korna och suggorna bör komma i produktion så fort som möjligt och ha lätt att bli dräktiga. Djurhälsa och välbefinnande är viktigt då sjukdom sänker produktiviteten.

Hanteringen av foder och foderberedning står för en stor del av djurgårdarnas energianvändning inomgårds. Inom mjölkproduktionen står utfodring och foderberedning för mellan 25 % och 30 % av energianvändningen inomgårds (Neuman 2013a; Neuman 2013b).

Energianvändningen vid mjölkning utgör nära 30 % av den totala energianvändningen på mjölkgården (Jordbruksverket 2012). Andelen varierar lite beroende på om korna går i lösdrift eller är uppbundna. I energianvändningen vid mjölkningen ingår energi för mjölkning, mjölkkyllning och diskning. Den största skillnaden mellan systemen är att elanvändningen vid mjölkning blir högre för lösdrift med robotmjölkning än vad den blir för övrig lösdrift eller uppbundna kor (Hörndahl 2007; Hörndahl 2008; Jordbruksverket 2012; Baky m.fl. 2010; Shine m.fl. 2022; Sims 2022a). För att spara energi vid mjölkningen kan mjölken förkylas med vatten från gårdens vattenkälla (Baky m.fl. 2010). Detta vatten kan sedan gå till gårdens varmvattenberedare eller användas som dricksvatten till korna (Hartman & Sims 2006; Neuman 2009; Karlsson m.fl. 2012; Jordbruksverket 2012; Sanford 2019; Bartkowiak 2021; Shine m.fl. 2022; Sims 2022a; FCCT 2023). Varmare vatten till korna innebär lägre foderförbrukning och därmed sparas den energi in som skulle åtgått för att producera detta foder.

Värme kan återvinnas från mjölk tankens kondensator och från diskvattnet. Från mjölkkyllningen kan normalt 25-30 kWh per ton kyld mjölk återvinnas (Neuman 2013a; Energimyndigheten 2018; Bartkowiak 2021; FCCT 2023). Om mjölkvärme kan användas till att värma en bostad beror på bostadens värmebehov, kulvertens längd och hur mycket värme som finns tillgängligt, d.v.s. hur mycket mjölk som ska kylas. Temperaturen som är tillgänglig, 40-50°C innan förluster, passar dock bäst för golvvärme. Annan värmekälla krävs som tillägg om högre temperatur önskas. Värmen kan även nyttjas för att värma personalutrymmen, utrymme för mjölkkningsrobot eller gårdsverkstad m.m.

I en byggnad som värms upp sker värmeförluster till omgivningen genom ventilation, ledningsförluster (transmissionsförluster) genom väggar, golv, tak, fönster och dörrar, avloppsvatten, luftläckage vid främst dörrar och fönster, värmestrålning m.m. Bättre isolering i väggar, tak och golv samt dörrar och fönster som håller kvar värmen bättre bidrar till minskade transmissionsförluster. Tätning av läckage samt styrd och optimerad ventilation bidrar till lägre ventilationsförluster. Isoleringen i byggnader bör kapslas in på ett sådant sätt att den skyddas från skador från insekter, fåglar och gnagare (James 2018; Pedersen & Hellevang 2019; Bartkowiak 2021; Liang 2022; Sims 2022a; Bernesson m.fl. 2023). Djurens foderförbrukning blir högre i uppvärmda och oisolerade stallar då mer foder åtgår för att hålla djuren varma. Produktionen av detta extra foder kräver insats av energi.

Nyfödda smågrisar behöver en temperatur på 32-33°C och då krävs tillskottsvärme, vanligen från värmelampa, värmerör, värmetak eller annan infravärme (Pelletier m.fl. 2010; Neuman 2013a; Neuman 2013b; Pedersen & Hellevang 2019; Bartkowiak 2021; Johnston & Hammers 2022; Sims 2022a). Ett alternativ till värmelampor är infravärmare, som inte är nämnvärt effektivare än lamporna, men medger enklare möjligheten till en avancerad styrning och

automatik (Neuman 2013a; Neuman 2013b). Golvvärme i smågrishörnan möjliggör ytterligare energibesparing. Värms stallet med golvvärme finns möjligheten att shunta värmen så att smågrisarna får en högre temperatur än suggan. Det bästa energimässigt, som idag blir allt vanligare, är om smågrishörnan byggs som ett krypin, med tak och tre väggar samt en gardin som smågrisarna lätt kan passera. Detta krypin kan värmas med golvvärme, värmedynor eller styrd infravärme efter behov.

Slaktkycklingar behöver mycket värme i början av uppfödningssperioden, 33°C vid insättning som sedan successivt sjunker ner till cirka 18°C innan slakt, vilket medför att uppvärmning behövs initialt (Pedersen & Hellevang 2019; FCCT 2023). Ofta används aerotemperar för uppvärmning medan överskottsvärmen ventileras bort. I kyckling- och värphönsstallar, där djuren går på golvet, borde golvvärme precis som till smågrisar vara ett alternativ för att få en energieffektiv uppvärmning. Även värmestrålare borde i vissa fall kunna vara ett alternativ i dessa typer av stallar.

Ökad precisionsstyrning och digitalisering inom animalieproduktionen ger ett stöd för en optimering av driften där man får ökad kontroll över de enskilda djurens prestationsförmåga, behov och hälsoläge. Det finns studier som har visat att traditionell utfodring ger ett spill på ca 10 % som kan minskas till två till fyra procent vid optimal utfodring av mjölkbesättningar. Med hjälp av olika typer av sensorer kan tidig upptäckt göras av avvikelser, med förbättrad djurhälsa som följd, vilket i sin tur leder till fler laktationer och mer mjölk per ko, förkortad uppfödningstid och lägre andel rekryteringsdjur (Lantmännen 2021; Edman m.fl. 2022). Digitaliseringen ger även en förbättrad teknik för att automatisera och effektivisera mjölkning och automatisk hullbedömning. Tillsammans gör detta att energianvändningen, kostnaderna och emissionerna av växthusgaser för att producera en viss mängd animalier minskar (Bartkowiak 2021).

Valet av byggmaterialet har stor betydelse för en byggnads totala klimatprestanda. Trä binder stora mängder kol som under hela byggnadens livslängd hålls borta från atmosfären och då inte kan bidra till den globala uppvärmningen. Vissa typer av betong kan under användningstiden ta upp koldioxid (s.k. karbonatisering) om än i mindre omfattning (Naturvårdsverket & Boverket 2019; Erlandsson 2020). Däremot sker stora utsläpp av koldioxid vid bränning av den kalksten som blir till råvara i cementdelen som ingår i betongen. Den koldioxid som avgår vid bränningen av kalkstenen vid cementtillverkningen skulle med ny teknik gå att fånga in och lagras i berggrunden, eller användas vid tillverkningen av syntetiska drivmedel.

Även vid förädling av det järn som ingår i bl.a. armeringsjärn och balkar m.m. sker stora utsläpp av koldioxid. Den stenkolk som används vid produktionen av det järn som används i armeringsjärn, balkar m.m. kommer om några år att kunna ersättas av vätgas som produceras med förnybar energi. Val av inhemskt producerade material kan vara positivt för utsläppen av klimatgaser, då svenskproducerad el och även transporter vanligen har lägre utsläpp av växthusgaser än vad utländsk el och utländska transporter har.

5.3. Energieffektivisering i bostäder och verkstäder

Bostäderna i lantbruket är ofta förhållandevis stora vilket gör att de har ett stort uppvärmningsbehov. Här kan det därför finnas goda möjligheter till energieffektivisering. En genomgång av bostadens/hemmets energisystem kan ge upplysning om vilka energisparåtgärder som är möjliga utifrån de egna förutsättningarna, samt vilka eventuella investeringar som krävs. Därefter kan man gå vidare med beräkningar av lönsamheten. Enklast att börja med är det som har med betenden att göra, för att sedan följa upp med det som kräver mindre investeringar och avsluta med det som kräver större ingrepp eller ombyggnader.

Gårdsverkstaden är på många gårdar den plats efter bostaden där lantbrukaren/personalen tillbringar mest tid under vintern (Hellevang & Pedersen 2019; Bernesson m.fl. 2023). Det är därför viktigt att denna är välisolerad och värms upp på ett effektivt sätt.

Värmepumpar kan användas för att på ett effektivare sätt ersätta i första hand el som används till uppvärmning (Wikipedia 2023a). Värmepumpen kräver att det finns någon värmekälla som den kan ta värme ifrån såsom uteluft, mark, berg eller sjö. Det viktiga är att värmekällan kan kylas så att den kan lämna ifrån sig värme. Värmen som lämnar värmepumpen har ofta en temperatur på ca 45°C som passar bra till lågtemperaturvärmesystem eller varmvatten. Djurstallar har ofta ett värmeöverskott som måste ventileras bort och denna värme kan återvinnas med hjälp av värmepumpar.

En värmepumps verkningsgrad mäts i dess värmefaktor som anger hur mycket värmeenergi som genereras per tillförd elenergi. Till exempel av 1 kWh el får man ut 4 kWh värmeenergi, alltså med en värmefaktor på 4 (COP 4). Värmefaktorn beror på temperaturen hos den använda värmekällan, t.ex. kan en luftvärmepump ha en värmefaktor på 5 vid en utomhustemperatur på 7°C, men vid -15°C är värmefaktorn bara 2. Ofta krävs en annan värmekälla för de kallaste dagarna samt till varmvattnet om en temperatur överstigande 45-50°C krävs.

5.4. Energieffektivisering i växthus

Odling i växthus är mycket energikrävande då dessa har ett stort behov av värme och ljus, särskilt om odlingen ska pågå under vinterhalvåret. Det är därför viktigt att värmen och ljuset kan användas så effektivt som möjligt, samtidigt som odlingsmiljön för den gröda som odlas måste bli så optimal som möjligt. Även valet av odlingssubstrat, gödselmedel och växtskydd har betydelse för klimatprestandan. Jordbruksverket (2012) anger att det finns en potential att spara 200 GWh genom bättre isolering och hushållning av värmen i växthus. En åtgärd för att minska användningen av naturgas för uppvärmning kan vara att öka användningen av spillvärme från exempelvis industri eller biogasproduktion. Om spillvärme används i växthusen, finns det en potential att spara 330 GWh (Jordbruksverket 2012).

Avancerad elektronisk styrning av ljusstillsförseln och klimatet i växthus leder till ökade skördenivåer per kvadratmeter växthusyta (Tabler 2022; Sims 2022a). Därmed möjliggörs att andra insatta resurser i form av värme och andra produktionsmedel kan nyttjas bättre och därmed minskar utsläppen av växthusgaser per producerad enhet av livsmedlen. LED-

belysning har här fördelar då den är betydligt energieffektivare än annan belysning, lätt kan anpassas vad gäller färgtemperatur/färg/våglängd och med rätt typ av dimrar kan dimras utan att livslängden påverkas negativt. Ljuset kan därmed anpassas till det odlade växtslaget. Att LED-belysningen avger mindre värme än traditionell belysning leder även till minskat ventilationsbehov och minskat bevattningsbehov.

Växthusbranschen står inför en strukturförändring. Redan idag är de flesta växthusen gamla och till 2050 måste de bytas (Christensen & Larsson 2010; Jordbruksverket 2012). Nya växthus har bedömts innebära en 30-procentig besparing av värmeanvändningen jämfört med äldre växthus (Jordbruksverket 2012: muntlig uppgift Inger Christensen, Grön Kompetens AB).

6. ANVÄNDNING AV FÖRNYBARA DRIVMEDEL

6.1. HVO och FAME

Använda drivmedel i Sverige under år 2022, förnybar andel i blandbränslen, samt växthusgasutsläpp enligt hållbarhetsrapporteringen (Energimyndigheten 2023), visas i tabell 6.1. Totalt användes 92,1 TWh drivmedel i landet, varav HVO svarade för 18,6 TWh (20,2 %) och FAME för 3,2 TWh (3,5 %). HVO (hydrotreated vegetable oil) består av hydrerade vegetabiliska oljor, som kan ha ursprung från vegetabiliska oljor, animaliska fetter och avfall, medan FAME (fatty acid methyl esters) består av fettsyrametylestrar, som också kan ha ursprung från vegetabiliska oljor, animaliska fetter och avfall. Både HVO och FAME är biobaserade bränslen som används i dieselmotorer. Rapsmetylestrar (RME), som är vanligt i Sverige, ingår i gruppen FAME.

HVO används dels som inblandning i fossil diesel (enligt reduktionsplikten för år 2022 var inblandningsnivån 30,5 %) och dels i ren form, HVO100. Av råvarorna för att tillverka HVO, utgjorde animaliska fetter 76 %, använd matolja 12 % och råtallolja 7 %. Palmolja inkl. PFAD (palm fatty acid distillate) svarade för 3 %. Animaliska fetter kommer framförallt från avfall inom livsmedelsindustrin (slakterier, fiskberedningsindustri, m.m.). Ocertifierade palmoljebaserade råvaror är inte tillåtna för användning inom reduktionsplikten, då de innebär hög risk för indirekt förändrad markanvändning, och därmed hög klimatpåverkan. Endast 4 % av de råvaror som användes för att tillverka HVO kom från Sverige, resten kom från bl.a. Spanien (11 %), Tyskland (11 %), Storbritannien (10 %) och USA (9 %) (Energimyndigheten 2023). En viss inhemsk produktion av HVO finns i Göteborg. Av den totala globala produktionen av HVO, använder Sverige knappt 20 % (SOU 2021). Energinnehållet i HVO är 34,4 MJ/l och växthusgasutsläppen (enligt hållbarhetsrapporteringen) 7,1 g CO₂-ekv/MJ (Energimyndigheten 2023).

Tabell 6.1. Användning, energiinnehåll, andel förnybart och växthusgasutsläpp för de vanligaste drivmedlen i Sverige under år 2022 (Energimyndigheten 2023)

| Drivmedel | Energimängd (GWh) | Energiinnehåll | Förnybar andel (%) | Växthusgasutsläpp (g CO ₂ -ekv/MJ) |
|---------------|-------------------|----------------|--------------------|---|
| Bensin MK1 | 23 415 | 31,1 MJ/l | 8,9 | 85,5 |
| Diesel MK1 | 55 235 | 35,3 MJ/l | 32,7 | 66,7 |
| Diesel MK3 | 3 824 | 35,5 MJ/l | 19,6 | 77,4 |
| Flygfoto-gen | 7 414 | 34,6 MJ/l | 1,3 | 87,9 |
| HVO100 | 2 263 | 34 MJ/l | 100 | 10,5 |
| FAME100 | 701 | 33 MJ/l | 100 | 33,3 |
| Alkylatbensin | 114 | 32,2 MJ/l | 0 | 93,3 |
| E85 | 156 | 23,2 MJ/l | 71,8 | 49,6 |
| ED95 | 28 | 21,3 MJ/l | 91 | 20,2 |
| Fordonsgas | 1 626 | 48,7 MJ/kg | 96,6 | 2,3 |
| LNG/LBG | 277 | 49,9 MJ/kg | 91,9 | 10,5 |
| Totalt | 92 053 | | | |

FAME (inkl. RME) var det näst mest använda biodrivmedlet i Sverige under år 2022 (3 200 GWh, energiinnehåll 33 MJ/l, växthusgasutsläpp 20,8 g CO₂-ekv/MJ) (Energimyndigheten 2023). Den viktigaste råvaran var raps (75 %), följt av använd matolja (10 %) och animaliska fetter (9 %). Även för FAME var den inhemska råvaruandelen låg (4 %), medan de största importländerna var Australien (16 %), Danmark (15 %) och Tyskland, Frankrike och Lettland (vardera 11 %).

Åren 2015-2023 odlades 93 000 – 127 000 ha raps och rybs i Sverige, av vilka höstraps dominerade helt (Jordbruksverket 2020; Jordbruksverket 2024b). År 2022 kom hälften av den bärgade höstrapskörden i Sverige från Skåne, odlad på 44 % av den totala rapsarealen i landet. De andra oljeväxtyperna, vårraps, höstrybs och vårrybs, odlas endast i mycket liten omfattning eller inte alls i Skåne. Idag används merparten av den rapsolja som produceras i Sverige till livsmedel (Jordbruksverket 2023).

För att producera 1 m³ RME eller HVO behövs 3 ton oljeväxtfrö (Arvidsson m.fl. 2011; Jordbruksverket 2012). Det behövs 1,07 liter RME och 1,05 liter HVO för att ersätta en liter diesel (Arvidsson m.fl. 2011; Pinto m.fl. 2013). Med en framtida skattad avkastning på 1,2 m³ RME eller HVO per hektar, och en odling på 180 000 ha i hela landet, skulle det finnas en potential på 216 000 m³ RME eller HVO från hela den möjliga arealen oljeväxter. Rapsmjöl, som är en restprodukt från utvinningen av rapsoljan, kan användas för att ersätta importerat sojafoder, vilket gör att klimatnyttan ökar.

Raps är en bra gröda i växtföljden då den är en bra förfrukt (leder till ökad avkastning) till efterföljande spannmålsgrödor (Lindén & Engström 2006). Raps har dessutom ett djupt rotsystem som kan dra ner kol i marken till så stora djup att det stannar där länge (Noreen m.fl. 2017). Odling av raps leder därför till att mer kol binds i marken jämfört med spannmål. En nackdel med raps, och även andra oljeväxter och kålväxter, är att de vid alltför frekvent odling på samma fält, kan drabbas av växtföljdssjukdomar, såsom t.ex. klumprotsjuka, som leder till en betydligt lägre avkastning eller i sämsta fall omöjliggör fortsatt odling (Wallenhammar 1997). Det finns därför begränsningar i hur stor areal som oljeväxter kan odlas på.

Adesso Bioproducts tillverkar RME i Stenungssund och Fredriksstad. Företaget Energifabriken har en omförestningsanläggning för tillverkning av RME i Karlshamn.

6.2. Etanol, metanol, biogas

Etanol används idag som fordonsbränsle framförallt i lättare fordon (fordon med ottomotorer, d.v.s. med tändstiftständning) som låginblandning i bensen (5-10 %) eller som bränslet E85 i fordon med anpassade motorer. E85 innehåller 85 % etanol, förutom under vintern, då inblandningen är 75 %. Tidigare har etanol använts i anpassade dieselmotorer efter tillsats av tändförbättrare (gör så att bränslet tänds vid kompressionen i en dieselmotor), eller då motorerna försetts med dubbla insprutningspumpar (en insprutningspump för etanol och en för tändbränslet (dieselolja eller förnybart dieselbränsle)) eller att dieselmotorerna har försetts med tändstift (Bernesson 1991). Idag finns ett dieselbränsle för dieselmotorer som innehåller ca 95 % etanol och tändförbättrare (ED95) på marknaden (Sekab 2022).

Den totala användningen av drivmedelsetanol i Sverige under år 2022 var 1 650 GWh (21 MJ/l, 7,7 g CO₂-ekv/MJ) (Energimyndigheten 2023). Den viktigaste råvaran var majs (53 %), följt av vete (24 %) och sockerrör (18 %). Den största råvaruleverantören var Ukraina (25 %), medan Sverige (23 %) och Peru (13 %) kom på andra resp. tredje plats (Energimyndigheten 2023). I Sverige produceras spannmålsbaserad drivmedelsetanol av Lantmännen Biorefineries i Norrköping, som uppger att de har en årlig produktionskapacitet på 230 000 m³ etanol (Lantmännen Biorefineries 2025). I Skåne produceras etanol från vete av The Absolut Company Aktiebolag i Nöbbelöv. Denna etanol skulle kunna användas som drivmedel istället för till dryckesändamål. Betalningsviljan är dock betydligt högre vid användning som dryckessprit. Tidigare har stärkelsepotatis använts som råvara vid etanolproduktionen i Nöbbelöv.

Produktion av etanol ger upphov till restprodukten drank som kan användas som foder (Bernesson 2004; Bernesson & Strid 2011; Jordbruksverket 2012), vilket ökar klimatnyttan ytterligare eftersom dranken kan ersätta proteinfoder med högre klimatpåverkan. Lantmännen (2019) anger att om alla biprodukter, d.v.s. drank och koldioxid, beaktas, samt att man även samlar in och nyttjar restprodukter från livsmedelsindustrin, så minskar klimatbelastningen med 95 % jämfört med fossila bränslen.

Etanol kan produceras från alla sockerrika och stärkserika växtslag. Produktionen av etanol från cellulosarika växtslag är mer komplicerad då hydrolysen av denna till jäsbara sockerarter är svårare och mer komplicerad samt att utbytet blir osäkrare. Forskning och utveckling pågår dock för att möjliggöra användning av cellulosarika råvaror, t.ex. ved, halm, hampa och andra restprodukter, som råvaror.

Användningen av metanol som drivmedel är försumbar, förutom att den används i vissa tävlingsbilar då den har en hög brinnhastighet. Metanol är giftig för människor och därför har den undvikits i bränslen som behöver hanteras av en bredare allmänhet. I försök har metanol använts på liknande sätt som etanol (se ovan) i dieselmotorer.

Den totala användningen av biogas i gasform var 1 570 GWh under år 2022 (48,8 MJ/kg, växthusgasutsläpp 0,0 g CO₂-ekv/MJ) och i flytande form (LBG) 250 GWh (50 MJ/kg, växthusgasutsläpp 4,9 g CO₂-ekv/MJ) (Energimyndigheten 2023). Matavfall var den viktigaste råvaran (23 %), följt av gödsel (22 %), avloppsslam (17 %) och avfall från djurfodertillverkning och livsmedelsindustrin (10 %). Merparten av råvarorna kom från Sverige (64 %), medan Danmark och Nederländerna svarade för 23 % resp. 5 % (Energimyndigheten 2023).

Biogas används som fordonsbränsle framförallt i stadsbussar, sopbilar, taxibilar och distributionsbilar som körs i städer där utsläppen av föroreningar är ett problem. Användningen av biogas som drivmedel inom lantbruket är nästan försumbar, men biogastraktorer från bl.a. New Holland finns nu på marknaden (New Holland 2024a).

År 2023 producerades 434 GWh biogas i Skåne (Biogas Syd 2025). Även om länet är ledande i landet, finns här fortfarande en mycket stor produktionspotential, vilket speglas i nya beviljade (665 GWh/år) och sökta (144 GWh/år) projekt i Klimatklivet. Om dessa projekt

förverkligas blir den totala produktionskapaciteten i Skåne 1 243 GWh/år. Ett exempel på ett nytt projekt är en anläggning på 50-60 GWh/år i Anderslöv. Här planerar Redobiogas-solutions att använda 200 000 ton gödsel och andra restprodukter från lantbruket, slakteriavfall och andra restprodukter från livsmedelsindustrin för att producera biogas med inmatning på gasnätet (Biogas Syd 2025).

Biogas som kommer direkt från en rötchammare innehåller bara 50-70 % metan och måste därför uppgraderas innan den kan användas som fordonsbränsle (Persson 2003; Svensson 2017). Resten utgörs av koldioxid samt mindre mängder vattenånga, svavelväte, vätgas, och om luft läckt in, även lite syrgas och kvävgas. Fordonsgas måste enligt gällande standard innehålla minst 97 % metan, medan halterna av svavelväte och vattenånga måste vara så låga att de inte orsakar problem vid lagring och användning i förbränningsmotorer. Flera olika tekniker har utvecklats för att uppgradera biogas till fordonsgaskvalitet. Den vanligaste är vattenskrubbern. Andra exempel är uppgradering med hjälp av membran, PSA (Pressure Swing Adsorption) och kryoteknik (Persson 2003).

Det kan vara svårt att få gårdsbaserade biogasanläggningar med teknik för uppgradering lönsamma p.g.a. att investeringskostnaderna är höga (Salomon & Wivstad 2013). Det krävs att anläggningen har en långsiktigt säker kund som behöver en väl definierad mängd drivmedel, t.ex. en kommun som vill få tillgång till fordonsgas för kollektivtrafik och egna bilar.

6.3. Syntetiska bränslen

Exempel på syntetiska bränslen är s.k. Fischer-Tropsch (FT)-bränslen och e-bränslen (vanligen metanol). Syntetiska bränslen kan med hjälp av avancerad kemi anpassas så att sammansättningen passar flera olika motortyper.

Syntetiska bränslen kan framställas från alla råmaterial med en hög kolhalt. Dit hör flera produkter och restprodukter från jordbruket och skogsbruket, t.ex. halm, hampa, energiskog (t.ex. salix), ved, röjningsvirke, grot samt avfall. Även fossila råvaror som kol, olja och naturgas kan användas. Det kolrika materialet kan förgasas. Vid termisk förgasning bryts det kolrika materialet ner vid hög temperatur i närvaro av ett förgasningsmedium (vanligen luft, syre, och/eller ånga). Man vill åstadkomma en ofullständig förbränning, med underskott av syre, som främst ger gaserna kolmonoxid (CO) och vätgas (H₂) som ofta kallas syngas (syntesgas) (Energigas Sverige 2024). Vid luftblåst förgasning bildas rå biosyngas med innehåll av ca 50 % kväve. Den erhållna syngasen kan användas som råvara i en så kallad Fischer-Tropsch-process för att producera flytande kolväten, produktion av metanol eller DME (dimetyleter) (Wikipedia 2023b). Dessa reaktioner sker i närvaro av metallkatalysatorer, vanligtvis vid temperaturer på 150-300°C och tryck på en till flera tiotals atmosfärer. Fischer-Tropsch-processen är en viktig reaktion i både kolvätskebildning och gas till vätskortechnologi för att producera flytande kolväten.

Raffinaderier i Sverige där syngas kan omvandlas till Fischer-Tropsch-bränslen, och där även vegetabilisk olja kan hydreras, och sedan vidareförädlas till önskade diesel-, bensin- och flygbränslen, finns i Göteborg, Lysekil, Stenungsund och Nynäshamn. Ett företag som tillverkar FT-bränslen, och som använder naturgas som råvara, är EcoPar i Göteborg.

E-bränslen är primärt metanol eller dieselbränslen, men kan även vara andra alkoholer och kolhaltiga gaser. Bränslena produceras av råvarorna vätgas och koldioxid. Vätgasen kan produceras genom elektrolys av vatten med förnybar el, vanligen från vindkraft eller solkraft (Wikipedia 2024b). Koldioxiden kan antingen fångas in från rökgaserna vid förbränning av något kolhaltigt bränsle, såsom sopor, träflis, skogsavfall eller liknande, eller infångas direkt från atmosfären. E-bränslena kan i raffinaderier vidareförädlas till kolväten som alkaner, cykloalkaner och aromatiska kolväten, beroende på vilka egenskaper man vill ge dem. Reformering till diesel-, ottomotor- eller flygbränslen är möjligt på samma sätt som för HVO och Fischer-Tropsch-bränslen.

En nackdel med e-bränslen är att verkningsgraden är förhållandevis låg (Städje 2023): 60-70 % för elektrolysen och sedan ca 70 % för bränslesyntesen, tillsammans ca 50 %. Sedan tillkommer 30-40 % vid användningen i förbränningsmotorer, alltså totalt bara 15-20 %, vilket kan jämföras med ca 80 % om elen för produktion av elektrobränslet istället används i elbilar med först mellanlagring i ett batteri. Emellertid är e-bränslen ett bra sätt att långtidslagra energi. Det fungerar bra om produktionen kan anpassas till att bara ske när det finns gott om el, vanligen från väderberoende vind- och solkraft.

Långtgående planer på produktion av vätgas för produktion av metanol finns. Denna metanol skulle främst användas till att driva fartyg (IEA 2023; Kristensson 2023). För lantbrukare kan e-bränslen användas på samma sätt som fossila bränslen i existerande maskiner, och även såsom HVO och Fischer-Tropsch-bränslen.

7. OMSTÄLLNING GENOM ELEKTRIFIERING

De tre fossilbaserade produkter som ger mest klimatavtryck inom svenskt lantbruk är diesel, mineralgödsel och eldningsolja.

Idag används ca 300-400 miljoner liter *diesel* om året, vilket motsvarar ett klimatavtryck på ca 1 miljon ton CO₂ per år. För att ersätta diesel kan man använda biodrivmedel som HVO, RME eller biogas, alternativt elektrifiera genom batteridrift eller genom att producera energibärare som vätgas, ammoniak och andra e-bränslen. Det finns begränsningar i tillgången på råvaror för biodrivmedel som är i konkurrens med andra sektorer. Biodrivmedel kan spela en viktig roll under en övergångsperiod tills det finns utvecklade system för elektrifiering.

Idag används ca 200 000-250 000 ton *mineralkväve* om året i Sverige, vilket motsvarar ett klimatavtryck på ca 1,2-1,7 miljoner ton CO₂ per år. För att ersätta mineralkvävet kan man använda biogödsel från biogasanläggningar (SLU 2024b), kvävefixering genom grödor (Karlsson 2011), minska behovet genom precisionsodling (Karlsson Potter m.fl. 2022), samt genom att producera mineralgödsel genom förnybar el.

Idag används ca 10-20 miljoner liter *eldningsolja*, vilket motsvarar ett klimatavtryck på ca 25 000-50 000 ton CO₂ per år. För att ersätta eldningsolja kan man använda biobränsle som pellets eller flis, värmepumpar, biogas eller producera energibärare som vätgas eller ammoniak av el.

Detta kapitel kommer att fokusera på elektrifiering för att minska beroendet av diesel, fossilbaserad mineralgödsel och eldningsolja.

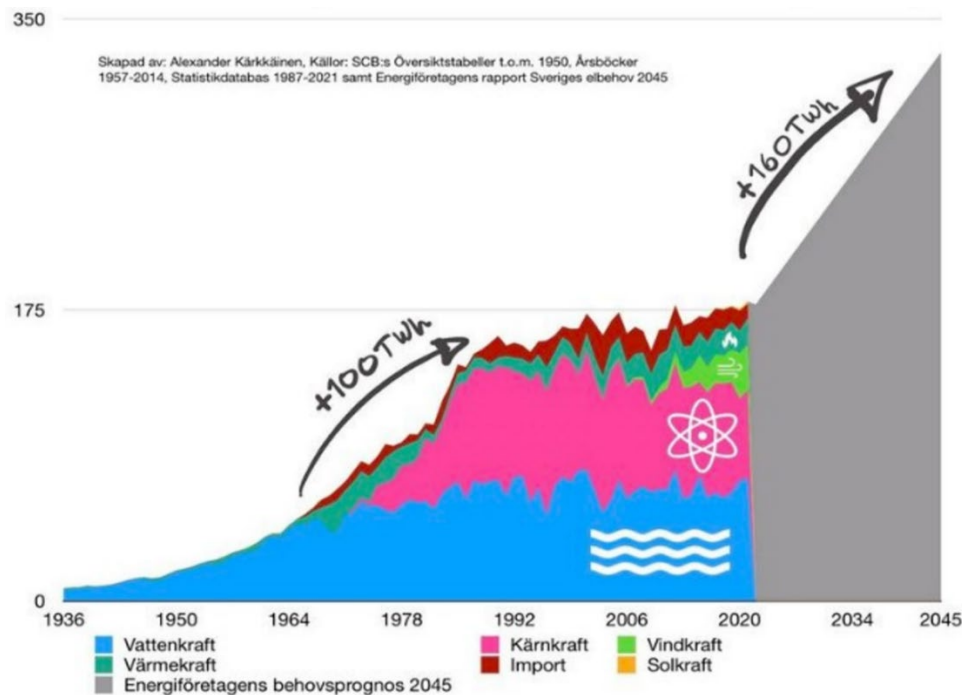
7.1. Allmänna förutsättningar för elektrifiering

Elektrifiering är en del i omställningen till ett hållbart energisystem som innefattar skiftet från att använda fossil primärenergi som kol, olja och gas till att använda fossilfri elektricitet som en energimässig råvara. I samhället drivs elektrifieringen främst inom industrin, där till exempel användning av kol och koks ska ersättas av grön vätgas, och inom mobilitetssektorn, där bensin och dieselanvändning bland annat ska ersättas av batteri och vätgasdrift.

Figur 7.1 visar den prognos som Energiföretagen har gjort för elanvändningen och elproduktionen i Sverige från dagens 140 TWh till 310 TWh år 2045, då Sverige har som mål att vara fossilfritt. Denna ökning på ca 120 % medför stora utmaningar kring produktion och distribution av fossilfri el.

Utöver den stora ökningen i elanvändning innebär elektrifieringen ett *paradigmskifte* i energisystemet. Traditionellt har elektricitet producerats av ett fåtal, stora, centraliserade produktionsanläggningar. Dessa kompletteras nu med mindre produktionsenheter som finns distribuerade i elnätet, vilket ger upphov till prosumenter; en ny typ av aktör som både köper och säljer energi. De nya elkällorna är ofta intermittenta, d.v.s. icke reglerbara, då de baseras på sol och vind. Den ökade mängden använd och producerad el, tillsammans med en mer ansträngd användning av elnätet samt en högre andel intermittent elproduktion, medför ett

större behov av flexibilitet, vilket i sin tur ger upphov till ännu en ny typ av aktör, nämligen flexumenter, som även handlar med flexibilitet.



Figur 7.1. Prognos för elbehov och produktion fram till år 2045. Bild av Alexander Kärkkäinen (publicerat med tillstånd från denne).

De ekonomiska förutsättningarna mellan fossila och förnybara produktionssystem är också diametralt annorlunda, där fossila system typiskt har låga investeringskostnader, men höga marginalkostnader och där förnybara system har höga investeringskostnader, men låga marginalkostnader. Detta innebär stora förändringar i de ekonomiska och riskmässiga kalkylerna.

Möjligheten att kunna producera de nödvändiga energibärarna lokalt, minskar beroendet av externa flöden, vilket ökar energisystemets robusthet och resiliens. Sammantaget innebär elektrifieringen en stor förändring i tekniska lösningar, men även i det ekonomiska upplägget med nya affärsmodeller och ansvarsfördelningar.

Elektrifieringen kan beskrivas som fyra parallella spår: energieffektivisering, ny elproduktion, flexibilitet och ersättning av fossila energibärare, följt av nya ekonomiska upplägg.

Elektrifieringen står inför stora utmaningar, både kring tekniska lösningar för att ersätta energibärare med fossil grund, elnätens behov av förstärkning, lag- och regelmässiga restriktioner för ny elproduktion och handel av flexibilitet, utveckling av marknadsmässiga incitament och förutsättningar samt miljömässiga belastningar.

En grundläggande svårighet för lantbruket är att användning av drivmedel, eldningsolja och mineralgödsel sker under mycket korta perioder under året. Det innebär att det finns ett stort behov av lagring av energibärare och utmaningar kring eleffekt för att kunna producera dessa energibärare.

7.2. Elektrifiering inom lantbruket

Det finns olika alternativa energibärare för att ersätta den fossila energin på lantbruk genom elektrifiering. För att ersätta drivmedel kan man använda batteridrivna maskiner, kolfria bränslen som vätgas och ammoniak eller andra e-bränslen som metanol och e-diesel. Dessa olika alternativ har sina olika för- och nackdelar och kan vara mer eller mindre lämpliga för olika områden inom lantbruket. Den kommersiella mognaden varierar också mycket mellan olika energibärare. Idag finns det kommersiella produkter för mindre batterimaskiner som truckar samt olika typer av lastare och traktorer. Det finns exempel på vätgas- och ammoniaktraktorer, men inga färdiga kommersiella maskiner. För produktion och lagring av vätgas finns idag fungerande kommersiella system, men småskalig produktion av ammoniak eller metanol ligger fortfarande på utvecklingsstadiet. Batterier, vätgas och ammoniak kommer att exemplifieras i olika fallstudier (se kapitel 8).

Batteridrift

Det kommer fler och fler batteridrivna maskiner. En av de största fördelarna med batteridrift är den höga verkningsgraden, typiskt tre gånger högre än för en förbränningsmotor, och avsaknaden av tomgångskörning, vilket ger låga driftkostnader (i vissa fall under 10 %) i termer av elenergi jämfört med kostnaden för diesel. Låga underhållskostnader, ca 40 % lägre än för förbränningsmotorer, förbättrar den ekonomiska kalkylen. I vissa fall, som t.ex. för gräsklippare, finns det autonoma maskiner, vilket starkt reducerar arbetskostnaden. Inköpspriset för maskinerna och i synnerhet för batterierna, tenderar att vara högre än för maskiner med förbränningsmotorer, men i många fall ger batterimaskinerna en övergripande bättre ekonomi i synnerhet i de fall de används mycket. Utöver ekonomiska fördelar, finns det arbetsmiljörelaterade aspekter som mindre buller och vibrationer och bättre luftkvalitet.

Det finns idag inte många exempel på lantbruk som använder lite större batterimaskiner som lastare o.s.v., vilket ger en osäkerhet kring driftsäkerheten och batteriernas livslängd.

En begränsande faktor för batterimaskiner är själva batterierna som typiskt är tunga och dyra och kan behöva laddas inom ett arbetspass. Här väljer olika leverantörer olika alternativ med större batterier eller med system för att byta batterier. Dessa problem kan väntas bli bättre i takt med att batteritekniken utvecklas med lägre pris och högre energitäthet.

En vattendelare för batterimaskinerna är de riktigt tunga och energikrävande arbetena utomgårdssåsom plöjning och skörd. För dessa arbeten kommer det bli svårt för batterimaskiner, då eleffekterna man skulle behöva för att ladda batterierna överstiger den elkapacitet som finns idag på lantbruk och skulle innebära orimligt stora förändringar i distributionsnäten.

Vätgas

Vätgas målas ofta upp som en attraktiv energibärare i ett hållbart och fossilfritt energisystem (Janke m.fl. 2020a; Federation University 2024; Nordforsk 2024). Produktion av vätgas, lokalt på lantbruken med förnybar el, är redan idag ett tekniskt möjligt alternativ och det pågår arbete för att ta fram vätgasdrivna arbetsmaskiner (Taghavifar 2022; ATL 2024a). Vätgasmaskinen kan antingen använda en bränslecellslösning eller förbränningsmotor och det är oklart vilken väg maskintillverkarna kommer att gå. Bränslecellslösningen har högre verkningsgrad än förbränningsmotorn, men kan vara känslig för stötar och ha en högre produktionskostnad samt ha en begränsad livslängd. Den övergripande verkningsgraden för vätgas är betydligt lägre än för batterimaskiner då man först behöver producera vätgasen, typiskt med en elektrolysör, sedan trycksätta gasen och använda den i maskinen. Alla dessa steg innebär energiförluster.

En tydlig fördel med vätgas, jämfört med batteridrift, är att säsongslagring av energi är avsevärt billigare än för batterimaskiner. Det gör det möjligt att fördela produktionen jämnare över året och inte begränsa användningen av el till de typiskt korta perioder som lantbruket behöver energi, i synnerhet för de tunga utomgårdsarbetena. Den producerade vätgasen trycksätts till 350 eller 700 bar och lagras normalt i gastuber.

En stor utmaning är att produktionskostnaden för vätgas och dess lagring är hög. Vissa delar i produktionskostnaden, såsom elektrolysörer och bränsleceller/förbränningsmotorer, förväntas sjunka i pris i takt med att vätgasindustrin generellt ökar i storlek. Andra komponenter, såsom vätgaslager, väntas dock inte sjunka i pris, då det är tekniskt mycket krävande att lagra trycksatt vätgas och man är i behov av dyra material som inte förväntas sjunka i pris.

Ammoniak

Ammoniak är en annan kolfri energibärare med stor potential för lantbruket både som drivmedel, eldningsolja och ersättning av mineralgödsel (Brown 2019; Palys m.fl. 2021; ATL 2023b; Superstate 2024; Schmuecker Renewable Energy System 2024). En fördel med ammoniak är att den är betydligt billigare att lagra än vätgas, då den endast behöver ca 2 bars tryck för att vara flytande och man kan använda betydligt enklare och billigare behållare. Den andra stora fördelen med fossilfri ammoniak är att det kan vara ett fossilfritt alternativ för mineralgödsel, antingen genom att användas direkt genom att myllas ner, eller genom att den används för att producera mineralgödsel.

Det finns dock praktiska och arbetsmiljörelaterade utmaningar kring hantering av ammoniak och frågetecken om hur användning av ammoniak skulle kunna leda till ökade utsläpp av lustgas. Idag är produktionen av ammoniak långt ifrån fossilfri, då framställningsprocessen bl.a. kräver stora mängder värme som idag generellt framställs genom förbränning av naturgas. Det sker en omställning av industriell ammoniakproduktion för att minska det fossila beroendet och inom en snar framtid kommer det vara möjligt att köpa grön ammoniak. De lösningar som finns idag för framställning av ammoniak är storskaliga, men det sker utveckling av småskaliga lösningar som skulle kunna vara intressanta för lantbrukare. Det är dock oklart om/när det kommer finnas kommersiellt gångbara lösningar.

På liknande sätt som för vätgas, sker utveckling av lantbruksmaskiner för ammoniakdrift. Detta segment är dock inte kommersiellt moget än.

Användning av ammoniak skulle potentiellt även kunna bli aktuell för torkning av spannmål genom anpassning av brännare. Det finns idag, till vår kännedom, inga faktiska exempel på ombyggda brännare för ammoniakförbränning. Det kan även finnas praktiska utmaningar kring emissioner av kväveoxider och andra oönskade ämnen såsom t.ex. lustgas.

Andra e-bränslen

Utöver de nämnda energibärarna pågår det utveckling av andra e-bränslen som e-diesel, e-metanol och e-metan. Fördelen med denna typ av kolbaserade bränslen är att man enklare kan använda dem i befintliga förbränningsmotorer. Det pågår initiativ för utveckling av tekniska lösningar, men det är oklart när dessa kan bli kommersiellt gångbara.

Energi för torkning

För torkning av spannmål finns det olika vägar att gå för att bli fossilfri. På liknande sätt som för drivmedel, så sker användning av energi för torkning under en mycket kort period, typiskt är en månad under året. Det vanligaste sättet idag att torka spannmål är genom att använda eldningsolja. Anledningen är att oljepannan är förhållandevis billig, medan den totala förbrukningen av dyr eldningsolja är förhållandevis låg. De fossilfria alternativ som kan vara relevanta för torkning är eldrift, biobränslen såsom flis eller pellets, bioolja eller på sikt nya e-bränslen. Pellets och flis kan användas för torkning, men den stora utmaningen är att det ekonomiskt kan bli svårt att genomföra en investering i en dyr fastbränslepanna, om man inte får avsättning av värmen mer än under torksäsongen. Olika typer av biobränslen som t.ex. RME och HVO kan användas för torkning, men i vissa fall krävs byte av bränsleslangar och packningar. I vissa fall kan man behöva förvärma biooljan för att inte få problem med hög viskositet. Även om den tekniska mognaden är hög bland flera av de fossilfria alternativen, är det svårt att ekonomiskt motivera fossilfria alternativ för att endast ersätta värmebehovet för torkning.

I enstaka fall används värmepump för att torka spannmål. Den grundläggande svårigheten med eldrift för torkning är att den eleffekt man behöver under torkperioden är mycket hög, vilket gör denna åtgärd svår, både utifrån möjligheten att få tillgång till eleffekt, samt att värmepumpen är förhållandevis dyr per installerad effekt och behöver många fler drifttimmar för att bli ekonomiskt relevant. Detta gör att denna åtgärd kräver både att det finns en stor ansluten effekt, som motiveras av en annan anledning än torken, och att man kan få avsättning av värmen under en betydligt större del av året än bara för torktiden. Även grön ammoniak skulle, med mindre ombyggnad av brännare, kunna vara ett möjligt fossilfritt alternativ.

7.3. Egen lokal elproduktion

En viktig aspekt för att elektrifiering ska vara en väg för att nå fossilfrihet, är att elen som används är fossilfri. Detta kan uppnås antingen genom att köpa el från förnybara källor eller att man producerar fossilfri el lokalt på lantbruket. Idag finns det olika tekniker för lokal

elproduktion med kommersiella lösningar för lantbruk. Exempel är solkraft, vindkraft, elproduktion från biogas, elproduktion från pyrolys samt ORC- (Organic Rankine Cycle) teknik.

Sol- och vindkraft är produktionsformer som ofta förknippas med hållbar utveckling. På lantbruk är det framför allt solcellsanläggningar, typiskt på stora tak, som är relevant för att koppla till gårdens elförbrukning. Storleken på anläggningarna kan anpassas efter elbehovet på gården, tillståndsprocessen är ganska enkel och förutsättningarna för en bra ekonomisk kalkyl är goda. Nackdelen med solceller är att korrelationen mellan elproduktion och gårdens elkonsumention inte är hög och att priset på el är ganska lågt när produktionen är som högst. Större vindkrafts- och solcellsparkar är kopplade till långa tillståndsprocesser och används generellt för ren elproduktion för försäljning.

Produktion av biogas kan vara ett intressant alternativ för större djurgårdar (Villarrol-Schneider 2022). Då minskning av metanläckage från gödsel ger stora klimatbesparingar är biogasanläggningar ofta intressanta för stödberättigade klimatåtgärder. För mindre anläggningar används biogasen oftast för elproduktion. För större anläggningar kan det också vara intressant med uppgradering och försäljning av biogasen (ATL 2024b). Den stora fördelen med elproduktion är att det är möjligt att styra elproduktionen, d.v.s. bestämma när man ska producera elen (Grim m.fl. 2015; O'Shea m.fl. 2016; Pochwatka m.fl. 2023), vilket i slutändan leder till att elen blir mer värd.

Pyrolys är en process där biomassa värms upp till höga temperaturer på mellan 400–800°C utan tillgång till syre. I denna process bildas biokol och energirik syngas. I de flesta pyrolysanläggningar i Sverige förbränns syngasen för att ge värme. Det finns dock exempel på anläggningar där syngasen i stället används för elproduktion. Denna elproduktion är ofta jämn över året, vilket ger den ett förhållandevis högre värde. Idag är produktionskostnaden, jämfört med andra produktionsslag, relativt hög och det är viktigt att den producerade värmen också kan nyttjas.

ORC är en termodynamisk teknik som omvandlar termisk effekt till elektricitet. Denna produktionsform kan vara intressant om man har tillgång till billig värme med hög temperatur och samtidigt kan få användning av den lågvärdiga värmen som produceras vid ORC-processen. Typiskt behövs det stora mängder värme på över 500 kW, vilket gör att denna teknik kan vara mest intressant på större gårdar som t.ex. säljer värme genom närvärmenät.

7.4. Värdering av elproduktion

Vid analys av lämpligheten av en viss typ av elproduktion är det viktigt med en rättvisande värdering av de olika produktionsformerna. Typiskt jämför man produktionskostnaden för den producerade elen, d.v.s. kostnaden för att producera en kWh el.

För att bestämma produktionskostnaden behöver man veta den totala kostnaden för elproduktionen uppdelat i investerings- och finansieringskostnad, fasta kostnader som drift- och underhållskostnader samt försäkring och rörliga kostnader som bränslekostnader. Man behöver även veta den förväntade produktionen över åtgärdens livslängd, där man tar höjd för

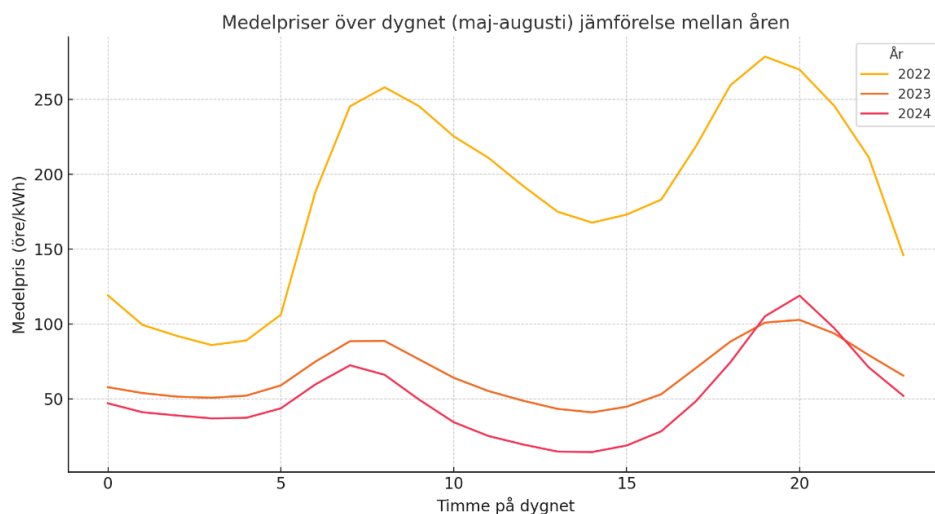
eventuell minskad produktion över tid, antal drifttimmar o.s.v. Den stora osäkerheten i produktionskostnaden brukar vara svårigheten att säkra kostnaden på bränsle över tid.

För att den tänkta produktionsanläggningen ska vara kommersiellt intressant behöver produktionskostnaden vara lägre än det genomsnittliga värdet av den producerade elen, som i sin tur ges av den förväntade kostnaden av den el man låter bli att köpa, samt värdet av den el man säljer. Det är svårt att uppskatta elpriset över tid och det varierar över olika typer av elproduktion. Den stora skillnaden mellan olika typer av elproduktion kommer utifrån möjligheten att kunna styra när elen produceras.

Utöver starka variationer över dygnet kommer mycket sol- och vindkraft leda till stora variationer över längre tid. I fallet med vindkraft kan det leda till variationer över flera dygn och i fallet med sol kan vi se säsongsvariationer. Förutom att vi kommer att se en ökad variation i elpriset, ser vi också ett ökat behov av olika typer av tjänster till elnätet, vilket gör att olika former av energilagring och flexibilitet blir intressanta.

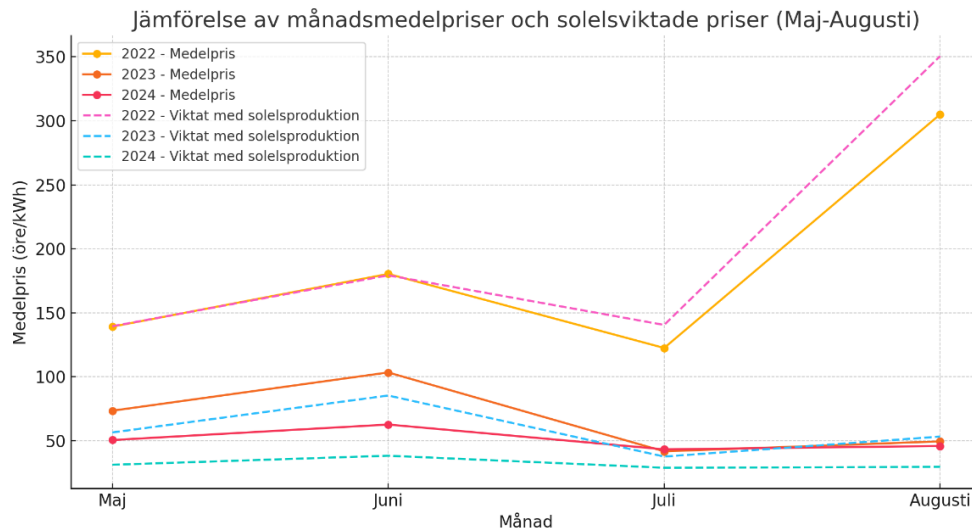
Solelens ankkurva

I fallet med sol- och vindkraft är man beroende av energikällor man inte kan reglera och som har en hög korrelation till andra likartade produktionsenheter, d.v.s. vi har hög solelsproduktion under dagtid och främst under sommarhalvåret och vi har mycket vindelproduktion när det blåser mycket. Det innebär att ju större andel sol- och vindkraft vi har i energimixen så kommer elpriset att korrelera mer med denna produktion, d.v.s. elpriset kommer att vara lägre när solen skiner och när vinden blåser. Denna effekt kallas ibland för ”ankkurva”, efter den form elpriskurvan har över dagen i energisystem med mycket solel, med en ”puckel” på morgonen och en något högre ”puckel” på kvällen. Även i Sverige har denna effekt börjat uppkomma, se figur 7.2, där ankkurvan tydligt framkommer för år 2024. På marknader med mycket stor andel solel ser man att ”ankkurvan” fördjupas i mitten och utvecklas till en ”klyftkurva”.



Figur 7.2. Medelpris över dygnet för åren 2022, 2023 och 2024 i elprisområdet SE4 (prisdata från Nord Pool Spot).

Ett annat sätt att visualisera hur värdet av solet utvecklas över tid är att vikta elpriset med solesproduktionen (figur 7.3). I figuren är det viktade månadsmedelpriset jämfört med månadsmedelpriset samma eller högre för år 2022. Under år 2023 är det viktade månadsmedelpriset lägre eller snarlikt månadsmedelpriset. För 2024 är det tydligt att de viktade priserna är betydligt lägre än för de oviktade. Detta visar att värdet av soleden sjunker i takt med att vi får mer solet i energisystemet.



Figur 7.3. Månadsmedelpriser jämfört med solesviktade priser för elprisområde SE4 (prisdata från Nord Pool Spot).

Reglerbar produktion

För elproduktion som baseras på bränsle finns möjlighet att till viss del bestämma när elen produceras. Beroende på relationen mellan investeringskostnaden och bränslekostnaden blir det mer eller mindre lämpligt med en jämn basproduktion av el, jämfört med en produktion begränsad till de perioder då elen är som högst värderad. Om investeringskostnaden är förhållandevis hög och bränslekostnaden är förhållandevis låg är det normalt lämpligast med många produktionstimmar. I det omvända fallet med låg investeringskostnad och hög bränslekostnad kan det bli mest relevant med få men högt värderade produktionstimmar.

Elproduktion från biogas kan, förhållandevis enkelt, göras reglerbar genom att överdimensionera gasmotorn och bygga större gastankar. Elproduktion från pyrolys eller från ORC behöver generellt ha många drifttimmar och används därför bättre för en jämn basproduktion över året.

För att tydliggöra skillnaden mellan olika produktionsformer beskrivs här fyra olika typer produktionsprofiler:

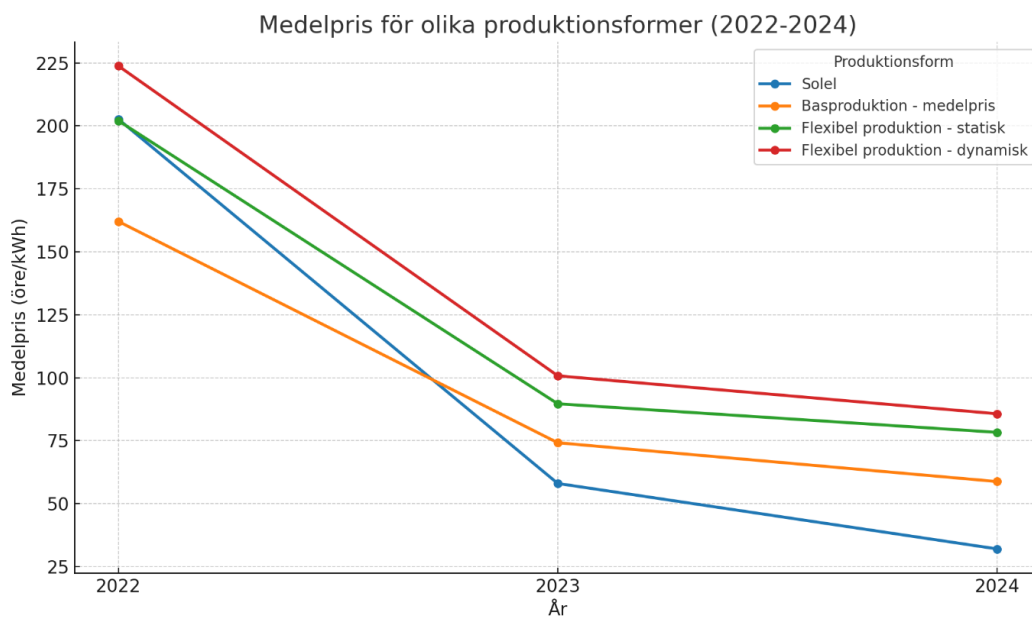
Solet. Här används en typisk produktionsprofil för solkraft i södra Sverige.

Basproduktion. Här används en jämn produktion över dygnet och över året. Detta skulle motsvara t.ex. elproduktion från en biogasanläggning med konstant gas och elproduktion, pyrolys med elproduktion baserad på biomassa, eller ORC med jämn tillgång till spillvärme.

Statiskt flexibel produktion. Här anpassas produktionen efter medelpriset över dygnet, d.v.s. man producerar el de timmar på dygnet som har högst värde i snitt. Denna typ av produktion skulle kunna motsvara elproduktion från en biogasanläggning med gaslager och överdimensionerad gasmotor som man ställer in statistiskt, d.v.s. samma produktionsprofil alla dagar på året.

Dynamisk flexibel produktion. Här anpassas produktionen efter spot-priset, d.v.s. man lägger produktionen under de timmar som har högst elpris nästkommande dag. Denna typ av produktion skulle kunna motsvara elproduktion från en biogasanläggning med gaslager och överdimensionerad gasmotor som man schemalägger varje dag efter spot-priset.

Genom att analysera historiska timpriser kan man utvärdera vad medelvärdet av elen blir för dessa olika produktionsformer. I figur 7.4 framgår tydligt att värdet av elen varierar mycket mellan de olika produktionsformerna. Värdet av solet är typiskt lägre än för de andra produktionsformerna, och för 2024 var det ca tre gånger lägre än för dynamiskt flexibel produktion.



Figur 7.4. Värdet av olika produktionsformer – solet, basproduktion, flexibel statisk, flexibel dynamisk – för åren 2022-2024 i SE4 (prisdata från Nord Pool Spot).

Det är viktigt att förstå att de olika värdena av de producerade kWh inte ger hela bilden om huruvida ett produktionsslag är ekonomiskt intressant eller inte, då detta inte inkluderar produktionskostnaden för de olika produktionsslagen och inte heller värdet av minskade transmissionskostnader och nätnyttan. Vid en ekonomisk analys är det dock viktigt att anpassa det kalkylerade elpriset efter produktionsformen.

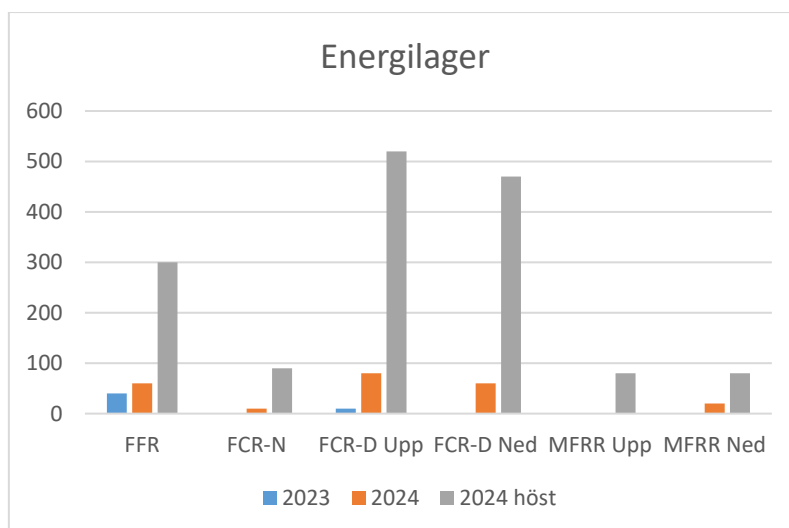
Utöver produktionskostnaden och värdet av el kan kalkylen påverkas markant om det även produceras andra flöden som t.ex. värme eller biokol i fallet med pyrolys, eller om elproduktionen t.ex. kan ersätta reservaggregat. I fallet med värme finns det även en förhållandevis hög korrelation mellan värdet av värme och el, d.v.s. att värmepriset är högt när elpriset är högt, vilket gör den övergripande affären mer lönsam.

En klar fördel med sol- och vindkraft, som inte har bränslekostnader, är att man får en förhållandevis säker produktionskostnad, vilket kan tänkas som att man låser priset på den egentillverkade elen som man själv konsumerar. Detta ger en ökad och långsiktig ekonomisk robusthet.

Flexibilitet och energilagring

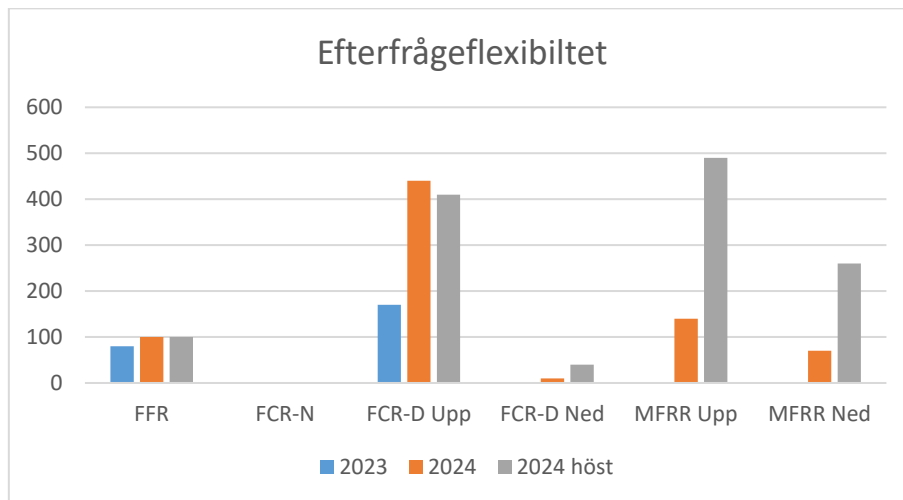
Den stora omställning som elsystemet genomgår leder till stora utmaningar, bland annat kring a) frekvensavvikelser, d.v.s. obalans mellan konsumtion och produktion, b) kapacitetsbrist, d.v.s. att näten inte klarar att leverera tillräcklig effekt vid vissa tidpunkter och c) stora variationer i elpris. Under dessa omständigheter öppnas nya möjligheter för de kunder som har flexibla resurser, d.v.s. har möjlighet att styra sin användning och produktion av el. Vid implicit flexibilitet minskas kundens kostnad för energi genom att styra elanvändningen till perioder med lågt pris, och genom att styra elproduktion till perioder med högt pris, samt genom att kapa de största effektuttagen, vilket driver nätavgiften. Vid explicit flexibilitet styrs de flexibla resurserna för att stödja nätet, till exempel genom att sälja frekvenstjänster till Svenska Kraftnät.

Från 2022 har priserna för frekvenstjänster till Svenska Kraftnät varit höga, vilket har lett till en stor etablering av batterier. Denna starka utbyggnad av energilagring (figur 7.5) kommer med största sannolikhet att leda till sjunkande ersättningsnivåer av frekvenstjänster.



Figur 7.5. Energilager (MW) för olika stödtjänstmarknader (FFR - snabb frekvensreserv, FCR - frekvenshållningsreserv, MFRR - manuell frekvensåterställningsreserv). Källa: Svenska Kraftnät (2024).

Det har även skett en utveckling av efterfrågeflexibilitet, d.v.s. styrning av elkonsumtionen (figur 7.6). Detta kommer sannolikt att öka framöver då det kommer finnas ett större behov av stödtjänster med längre uthållighet, samtidigt som kostnaden för efterfrågeflexibilitet är förhållandevis låg jämfört med batterier.



Figur 7.6. Efterfrågeflexibilitet (i MW) för olika stödtjänstmarknader. (FFR - snabb frekvensreserv, FCR - frekvenshållningsreserv, MFRR - manuell frekvensåterställningsreserv).
Källa: Svenska Kraftnät (2024).

8. ELEKTRIFIERING - TRE FALLSTUDIER

Fallstudier med olika elektrifieringsåtgärder genomfördes på tre gårdar i Skåne med olika produktionsinriktningar; Annelövsgrisen, som bedriver grisproduktion, Tosterup, som bedriver växtodling, samt Bjärsgård, som har både mjölkproduktion och växtodling. Syftet med fallstudierna var att beskriva hur olika åtgärder minskar CO₂-avtrycket och vilka konsekvenser det blir för elanvändningen. Inga ekonomiska analyser har gjorts, och inte heller några djupare analyser av åtgärdernas praktiska genomförbarhet på de olika gårdarna.

Fallstudierna baserades på tidigare genomförda energikartläggningar och Klimatkollen (inom Greppa Näringen), som beskriver gårdarnas energianvändning och klimatpåverkan. I analysen inkluderades endast de emissioner som har fossilt ursprung och inte klimatpåverkan från djur och mark. För klimatpåverkan från energianvändningen användes Naturvårdsverkets (2025) emissionsfaktorer. För att ha en enhetlig beskrivning av elanvändningen har Naturvårdsverkets emissionsfaktorer använts, oavsett ursprunget av den inköpta elen.

Fallstudierna inkluderade åtgärder för att ersätta diesel för utomgårds- och inomgårdsarbeten, eldningsolja till tork, mineralgödsel samt el. Analysmetoden för fallstudierna baserades på teknikmognaden för respektive åtgärd (se även tabell 8.1):

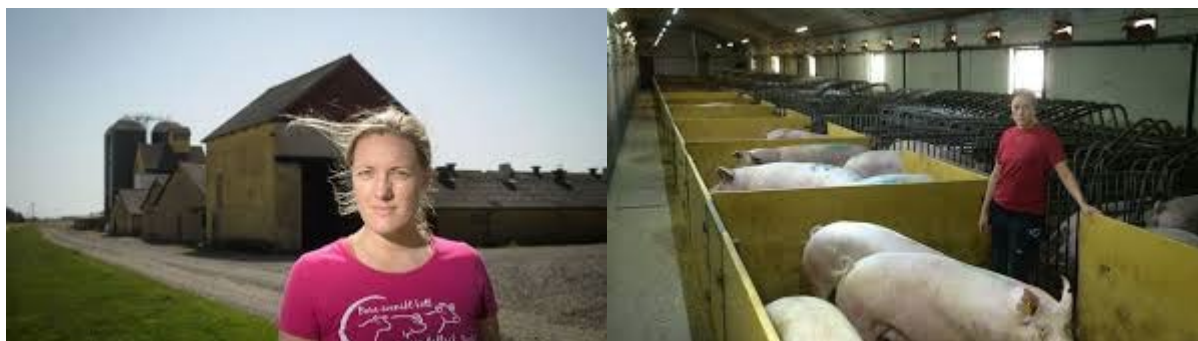
1. *Kommersiella produkter*
 - a. Det finns tillgängliga kommersiella produkter.
 - b. Analysen baseras på, enligt leverantör, angivna schablonvärden för storlek, verkningsgrad o.s.v.
2. *Antaganden om tekniska förutsättningar*
 - a. Tekniken är fortfarande under utveckling.
 - b. Analysen baseras på antaganden gällande storlek, verkningsgrad o.s.v.
3. *Faktisk dimensionering*
 - a. Det finns mogna kommersiella produkter.
 - b. Analysen baseras på faktisk dimensionering på lantbruket.

Tabell 8.1. Sammanställning av åtgärder för olika gårdar

| Fossil användning | Åtgärd | Gård | Metod |
|-------------------|---------------------|-------------------------------------|--|
| Diesel utomgårds | Vätgas | Bjärsgård | Kommersiella produkter |
| Diesel utomgårds | Ammoniak | Tosterup | Antaganden om tekniska förutsättningar |
| Diesel inomgårds | Batteridrift | Annelövsgrisen, Bjärsgård, Tosterup | Kommersiella produkter |
| Eldningsolja tork | Ammoniak | Tosterup | Antaganden om tekniska förutsättningar |
| Eldningsolja tork | Biogas | Bjärsgård | Faktisk dimensionering |
| Mineralgödsel | Ammoniak | Tosterup | Antaganden om tekniska förutsättningar |
| Mineralgödsel | Biogödsel | Bjärsgård | Faktisk dimensionering |
| El | Elproduktion biogas | Annelövsgrisen, Bjärsgård | Faktisk dimensionering |

8.1. Annelövsgrisen

Annelövsgrisen är en gård utanför Helsingborg med smågrisproduktion med 1050 suggor i ett tillväxtsystem som producerar drygt 30 000 smågrisar per år (figur 8.1).



Figur 8.1. Cecilia Klasson, VD på Annelövsgrisen i Helsingborgs kommun (publicerat med tillstånd från Annelövsgrisen).

Verksamheten använder idag diesel för inomgårdsarbeten, främst för utgödsling. El används främst för utfodring, ventilation, utgödsling, belysning och uppvärmning. Dagens energianvändning och dess klimatpåverkan sammanställs i tabell 8.2. Elkonsumtionen står för det största klimatavtrycket, och det totala klimatavtrycket är idag 92 ton CO₂-ekv/år.

Tabell 8.2. Dagens energianvändning och dess klimatpåverkan för Annelövsgrisen

| Fossil användning energi | Mängd | Enhet | MWh | Andel energi (%) | Ton CO ₂ | Andel CO ₂ (%) |
|--------------------------|-------|-------|-----|------------------|---------------------|---------------------------|
| Diesel inomgårds | 1500 | liter | 15 | 2 | 4 | 4 |
| Diesel övrigt | 1000 | liter | 10 | 1 | 3 | 3 |
| El | 941 | MWh | 941 | 97 | 85 | 93 |

Det antogs att allt inomgårdsarbete och delar av den övriga dieselanvändningen ersätts med batteridrift, samt att det byggs en biogasanläggning med kraftvärme. Elanvändningen av batteridrift baseras på schablonvärden, medan elproduktionen från biogasanläggningen baseras på en faktisk dimensionering. Energianvändningen efter de föreslagna åtgärderna och dess klimatpåverkan visas i tabell 8.3.

Med de föreslagna åtgärderna minskas det totala klimatavtrycket från fossila källor med 39 % från 92 ton CO₂-ekv/år till 55 ton CO₂-ekv/år. Åtgärderna skulle innebära en framtida elanvändning på ca 590 MWh. För solkraft motsvarar detta en produktion från ca 0,6 MW solceller som tar ca 0,9 ha i anspråk.

Tabell 8.3. Energianvändning och dess klimatpåverkan efter elektrifieringsåtgärder för Annelövsgrisen

| Fossil användning energi | Mängd | Enhet | MWh | Andel energi (%) | Ton CO ₂ | CO ₂ (%) | Minskad CO ₂ (jämfört med tabell 8.2) | Minskad CO ₂ (%) |
|--------------------------|-------|-------|-----|------------------|---------------------|---------------------|--|-----------------------------|
| Diesel inomgårds | 0 | Liter | 0 | 0 | 0 | 0 | -4 | -100 |
| Diesel övrigt | 850 | Liter | 8 | 1 | 2 | 4 | 0 | -15 |
| El | 590 | MWh | 590 | 99 | 53 | 96 | -32 | -37 |

8.2. Bjärsgård

Bjärsgård är en gård (figur 8.2) utanför Klippan som bedriver växtodling på ca 870 ha och mjölkproduktion med ca 500 kor. Verksamheten använder idag diesel för utom- och inomgårdsarbeten. Eldningsolja används i torken. Dagens energianvändning och klimatpåverkan visas i tabell 8.4.



Figur 8.2. Bjärsgård i Klippans kommun (publicerat med tillstånd från Bjärsgård).

I tabell 8.4 framgår att diesel utomgårds står för det största klimatavtrycket från fossil energi. Gården använder även mineralgödsel som står för 790 ton CO₂-ekv/år. Det totala klimatavtrycket från fossila källor är idag ca 1250 ton CO₂-ekv/år¹.

På Bjärsgård antar vi att diesel för utomgårdsarbetet ersätts med vätgas, och diesel för inomgårdsarbetet ersätts med batteridrift, samt att det byggs en biogasanläggning med kraftvärme. Eldningsoljan för torken ersätts till viss del med värme från biogasanläggningens kraftvärme. Mineralgödslet ersätts till viss del av biogödsel från biogasanläggningen. Elanvändningen av batteridrift baseras på schablonvärden, medan el- och värmeproduktionen från biogasanläggningen baseras på en faktisk dimensionering. Analysen för produktion av vätgas baseras på kommersiella produkter. Energianvändningen efter de föreslagna åtgärderna och dess klimatpåverkan visas i tabell 8.5.

¹ Den inköpta elen idag är från förnybar produktion, vilket skulle ge ett avtryck på ca 27 ton CO₂-ekv/år i stället för 62 ton CO₂-ekv/år, med en emissionsfaktor på 0,039 kg CO₂-ekv/kWh.

Tabell 8.4. Dagens energianvändning och dess klimatpåverkan för Bjärsgård (exkl. mineralgödsel)

| Fossil användning energi | Mängd | Enhet | MWh | Andel energi (%) | Ton CO ₂ | Andel CO ₂ (%) |
|--------------------------------|--------|-------|-----|------------------|---------------------|---------------------------|
| Diesel utomgårds | 86 500 | liter | 848 | 40 | 236 | 19 |
| Diesel inomgårds | 36 500 | liter | 358 | 17 | 99 | 8 |
| Eldningsolja tork, uppvärmning | 20 000 | liter | 199 | 10 | 57 | 5 |
| El | 690 | MWh | 690 | 33 | 62 | 5 |

Med de föreslagna åtgärderna minskar det totala klimatavtrycket från fossila källor med 42 %, från 1250 ton CO₂-ekv/år till 725 ton CO₂-ekv/år, där vi inkluderat ett minskat klimatavtryck på 90 ton CO₂-ekv/år från användning av biogödsel. Elproduktionen från biogasanläggningens kraftvärme täcker hela den ökade elanvändningen från elektrifieringsåtgärderna.

Tabell 8.5. Energianvändning och dess klimatpåverkan efter elektrifieringsåtgärder för Bjärsgård

| Fossil användning energi | Mängd | Enhet | MWh | Ton CO ₂ | Minskad CO ₂ (%) (jämfört med tabell 8.4) | Andel minskad CO ₂ (%) |
|--------------------------|--------|-------|------|---------------------|--|-----------------------------------|
| Diesel utomgårds | 0 | liter | 0 | 0 | -236 | -100 |
| Diesel inomgårds | 0 | liter | 0 | 0 | -99 | -100 |
| Eldningsolja tork | 10 500 | liter | 104 | 30 | -27 | -48 |
| El | -126 | MWh | -126 | -11 | -73 | -118 |

8.3. Tosterup

Tosterup är en gård (figur 8.3) utanför Tomelilla som bedriver växtodling på ca 590 ha åkermark. Verksamheten använder idag diesel för utom- och inomgårdsarbeten. Eldningsolja används i torken. Dagens energianvändning och dess klimatpåverkan visas i tabell 8.6.



Figur 8.3. Tosterups gård i Tomelilla kommun (publicerat med tillstånd från Tosterups gård).

Tabell 8.6. Dagens energianvändning och dess klimatpåverkan för Tosterup (exkl. mineralgödsel)

| Fossil användning energi | Mängd | Enhet | MWh | Andel energi (%) | Ton CO ₂ | Andel CO ₂ (%) |
|--------------------------|--------|-------|-----|------------------|---------------------|---------------------------|
| Diesel utomgårds | 43 000 | Liter | 421 | 64 | 117 | 20 |
| Diesel inomgårds | 2 100 | Liter | 21 | 3 | 6 | 1 |
| Eldningsolja tork | 2 700 | Liter | 27 | 4 | 8 | 1 |
| El | 189 | MWh | 189 | 29 | 17 | 3 |

I tabell 8.6 framgår att diesel utomgårds står för det största klimatavtrycket från fossil energi. Gården använder även mineralgödsel som står för 427 ton CO₂-ekv/år. Det totala klimatavtrycket från fossila källor är idag 575 ton CO₂-ekv/år.

På Tosterup antogs att diesel för utomgårdsarbetet ersätts med ammoniak, och diesel för inomgårdsarbetet ersätts med batteridrift. Eldningsoljan för torken och mineralgödslet ersätts av ammoniak². Elanvändningen från batteridrift baseras på schablonvärden, medan analysen för produktionen av ammoniak baseras på antagna värden på verkningsgrad o.s.v. Energianvändningen efter de föreslagna åtgärderna och dess klimatpåverkan visas i tabell 8.7.

Tabell 8.7. Energianvändning och dess klimatpåverkan efter elektrifieringsåtgärder för Tosterup

| Fossil användning energi | Mängd | Enhet | MWh | Andel energi (%) | Ton CO ₂ | Andel CO ₂ (%) | Minskad CO ₂ (jämfört med tabell 8.6) | Andel minskad CO ₂ (%) |
|--------------------------|-------|-------|-------|------------------|---------------------|---------------------------|--|-----------------------------------|
| Diesel utomgårds | 0 | Liter | 0 | 0 | 0 | 0 | -117 | -100 |
| Diesel inomgårds | 0 | Liter | 0 | 0 | 0 | 0 | -6 | -100 |
| Eldningsolja tork | 0 | Liter | 0 | 0 | 0 | 0 | -8 | -100 |
| El | 1 564 | MWh | 1 564 | 100 | 141 | 100 | 124 | 728 |

Med de föreslagna åtgärderna minskas det totala klimatavtrycket från fossila källor med 76 %, från 575 ton CO₂-ekv/år till 141 ton CO₂-ekv/år³. Åtgärderna skulle innebära en framtida elanvändning på ca 1550 MWh, vilket motsvarar en ökning på ca 830 %. För solkraft motsvarar detta en produktion från ca 1,7 MW solceller som tar ca 2,5 ha i anspråk, vilket motsvarar ca 0,4 % av gårdens yta. För vindkraft skulle den framtida elanvändningen motsvara en produktion från ett verk på ca 0,6 MW. Den ökade eleffekten skulle ligga på ca 170 kW vid jämn produktion av ammoniak över året, eller på 270 kW om produktionen skulle ske endast vid lågpristimmar. Detta motsvarar en ökning med 100-150 % jämfört med dagens effektbehov på ca 175 kW.

² Vid beräkning av minskningen av klimatpåverkan genom ersättning av mineralgödslet, tar vi inte hänsyn till klimatpåverkan från fosfor och kalium, vars CO₂ avtryck är betydligt lägre än för kvävet.

³ Skulle den ökade elanvändningen komma från inköpt el från förnybara källor, skulle klimatavtrycket vara ca 61 ton CO₂-ekv/år med en emissionsfaktor på 0,039 kg CO₂-ekv/kWh.

9. ROBUSTHET VID FOSSILFRI PRODUKTION

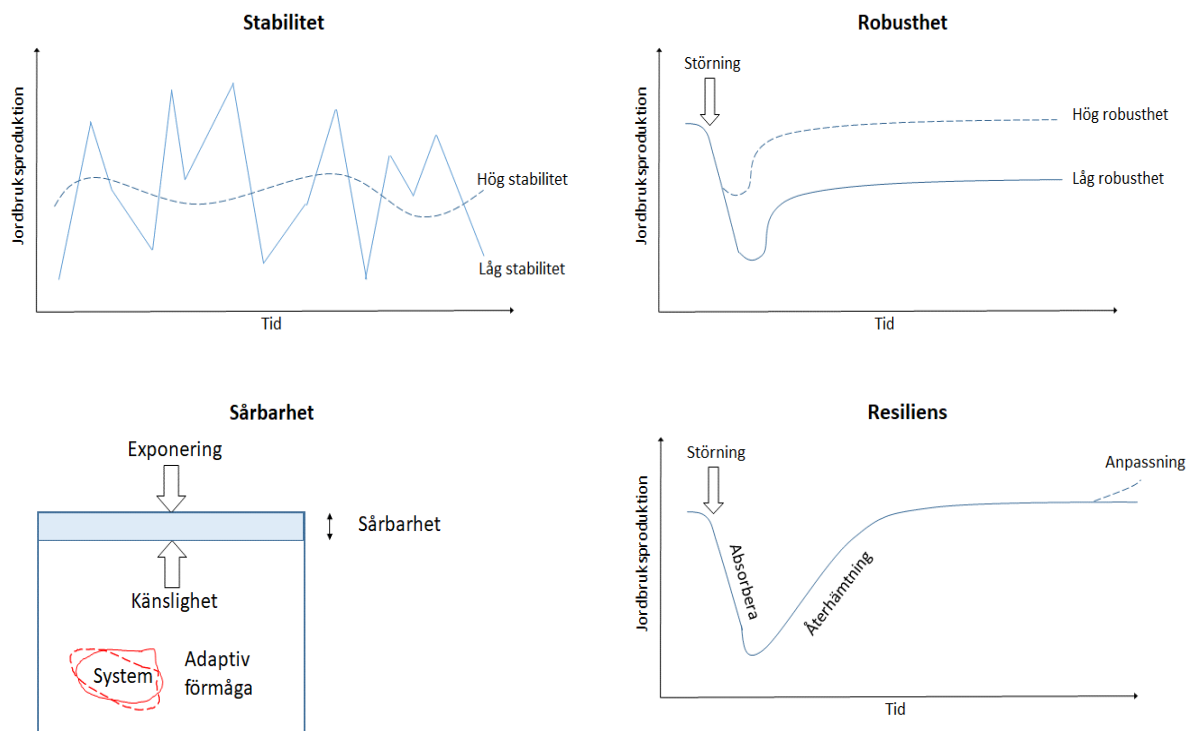
9.1. Termer och begrepp

När man diskuterar olika systems förmåga att klara störningar, är det ofta fyra begrepp som är involverade, nämligen stabilitet, robusthet, sårbarhet och resiliens. Dessa begrepp är icke-normativa systemegenskaper, d.v.s. de uttrycker egentligen inte vad som är ”önskvärt”, utan bara vilka egenskaper systemet har i förhållande till olika störningar; d.v.s. ”resiliens är inte alltid en bra egenskap” (Dardonville m.fl. 2020). Enligt Dardonville m.fl. (2020) finns det ett flertal studier som diskuterar begreppens tillämpbarhet inom lantbruket, och även flera studier där man har gjort kvalitativa analyser, men ett fåtal där man explicit har genomfört kvantitativa uppskattningar och beräkningar. Däremot finns många studier med direkt koppling till normativa begrepp såsom t.ex. hållbarhet.

Termen stabilitet kommer från latinets *stabilis*, som betyder fast, stadig eller stationär (Urruty m.fl. 2016). Stabilitet handlar alltså om en beständighet över tid hos en viss egenskap; det kan t.ex. röra sig om avkastningen av spannmål i ett visst område. S.k. statisk stabilitet gäller då variansen är liten vid olika yttre omständigheter (omgivningen) för t.ex. avkastningen hos en viss sort, medan dynamisk stabilitet gäller då avkastningen vid olika yttre miljöer för denna sort korrelerar till medelvärdet för grödans alla sorter (Urruty m.fl. 2016). Hög stabilitet innebär liten tidsmässig eller rumslig variation, medan låg stabilitet innebär en stor variation (figur 9.1).

Ordet robusthet kommer från latinets *robustus*, som betyder stark. Robusthet är således förmågan att upprätthålla produktionsförmågan trots förekomsten av yttre störningar (de Goede m.fl. 2013; Urruty m.fl. 2016). Robusthet kan vara av passiv typ, d.v.s. systemet har en inneboende förmåga att motstå störningar, eller av flexibel typ, då systemet kan anpassa sig för att begränsa eventuella skador från störningen. Ett exempel är när grisar utsätts för värmestress; de kan dels ha genetiska egenskaper för att bättre tåla värme (passiv robusthet), och dels kan det finnas teknik i stallet som anpassar ventilationen till de högre temperaturerna (flexibel robusthet). En hög robusthet innebär att konsekvenserna av en störning blir små (figur 9.1).

Termen sårbarhet (eng. vulnerability) kommer från latinets *vulnus*, som betyder sår eller skada. Sårbarhet handlar om tre olika delar: 1) graden av exponering (frekvens, intensitet och varaktighet hos störningen på systemet), 2) graden av känslighet (hur mycket systemet påverkas av störningen) och 3) systemets anpassningsförmåga (hur systemet hanterar störningen) (Urruty m.fl. 2016), se figur 9.1. Sårbarhet används ofta som begrepp när det gäller störningar på större, mer aggregerade system (regionala eller nationella system), t.ex. när det gäller livsmedelproduktionens påverkan av väderstörningar (klimatförändringar), prisstörningar (t.ex. internationella oljepriser) och begränsade importmöjligheter (t.ex. vid avspärningar och krig). Jämfört med begreppen stabilitet och robusthet, används alltså begreppet sårbarhet ofta när det gäller lantbrukets biologiska, tekniska, sociala och finansiella faktorer på ett mer övergripande sätt (Urruty m.fl. 2016).



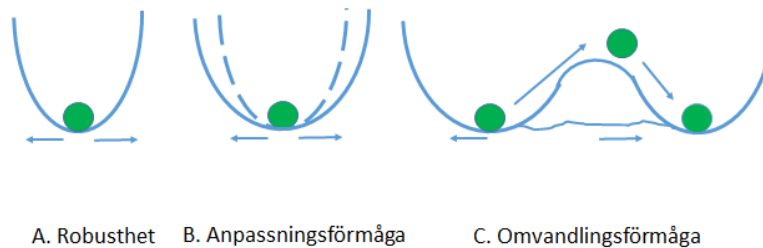
Figur 9.1. Illustration av begreppen stabilitet, robusthet, sårbarhet och resiliens (ritat efter Urruty m.fl. (2016)).

Begreppet resiliens kommer från latinets *resilio*, som betyder att studsas eller komma tillbaka efter en yttre press eller störning. Resiliens består av tre delkomponenter: förmåga att stå emot störningar (robusthet), förmåga att återhämta sig och förmåga att anpassa/förändra sig (figur 9.1). Begreppet förekommer numera inom en mängd olika discipliner, t.ex. när det gäller ekologisk-, social- och organisatorisk resiliens, resiliens inom psykologi, materialteknik, internationellt arbete, bistånd, samt i samband med störningar som rör klimatförändringar, konflikter, terror och ekonomi (MSB 2013). Det finns en stor mängd studier som handlar om lantbrukets resiliens, allt från nationell/regional eller övergripande nivå (se t.ex. Seekell m.fl. 2017; Riksdagen 2021; Zurek m.fl. 2022; Roosevelt m.fl. 2023; Pinsard & Accatino 2023; Reidsma m.fl. 2023; Eriksson & Wixner 2023; SOU 2024) till gårdsnivå (se t.ex. Röös m.fl. 2021a). I jordbrukssammanhang kopplas begreppet resiliens (resilience) ofta ihop med hållbarhetsbegreppet (sustainability) (Röös m.fl. 2021a).

Som nämnts tidigare, inkluderar resiliensbegreppet tre olika förmågor hos systemet som utsätts för störningar (figur 9.2): robusthet för att stå emot störningar, anpassningsförmåga för att förändra fördelningen av t.ex. insatsvaror, produktion, marknadsföring och risktagande som svar på störningen utan att produktionens struktur ändras, samt omvandlingsförmåga där produktionsinriktningen helt förändras som svar på en allvarlig störning (Meuwissen m.fl. 2019). Omvandlingen kan ske snabbt efter att man nått ”tipping points” eller upplevt någon typ av kollaps, eller mer långsamt efter flera successiva anpassningar (Meuwissen m.fl. 2019; Reidsma m.fl. 2023).

Meuwissen m.fl. (2019) har tagit fram ett verktyg för hur man rent konkret kan genomföra resiliensstudier i fem steg. De frågor man bör ställa sig, och vad de innebär i varje steg, är:

- Steg 1: Resiliens av vad? – Konkretisera lantbrukets/produktionens olika egenskaper.
 Steg 2: Resiliens mot vad? – Identifiera viktiga utmaningar.
 Steg 3: Resiliens till vilket syfte? – Identifiera produktionens önskade funktioner.
 Steg 4: Vilken resiliensförmåga? – Bedöm resiliensförmågan.
 Steg 5: Vad ökar resiliensen? – Bedöm resiliens-ökande attribut.



Figur 9.2. Illustration av tre olika resiliensförmågor hos lantbruksbaserade produktionssystem (ritat efter Meuwissen m.fl. (2019)).

För att beskriva lantbrukets motståndskraft, behöver vi identifiera och särskilja olika typer av störningar och förändringar som har inverkan på primärproduktionen. Störningar kan vara mer eller mindre förväntade eller helt oväntade, och de kan ha olika intensitet, tidslängd och frekvens/periodicitet. En möjlig indelning är att klassificera dem enligt deras tidsperspektiv: kortvariga störningar, långvariga kriser och långtgående förändringar.

Med *kortvariga störningar* menar vi incidenter som varar ett antal timmar eller dagar. Dessa störningar är typiskt lokala i sin karaktär. Det kan exempelvis vara stormar som leder till tillfälliga elavbrott, störningar i kommunikation och transportsystem eller skador på maskiner eller bebyggelse som påverkar driften på lantbruket.

Med *långvariga kriser* menar vi störningar som varar under månader eller några få år. Dessa störningar har påverkan på nationell eller internationell nivå. Det kan handla om krig, brist på komponenter, störningar av internationella transporter eller stora svängningar i pris på bränsle, energi, gödselmedel och spannmål.

Med *långtgående förändringar* syftar vi på processer som varar under flera år eller decennier. Dessa processer har internationell påverkan. Exempel på dessa processer är förändringar i klimatet, omställning av energisystem samt utfasning av fossila energikällor.

9.2. Robusthet och resiliens i praktiken

I detta avsnitt redovisas resultaten från några studier om livsmedelsproduktionens, och i synnerhet lantbrukets, allmänna robusthet och resiliens.

Det finns sju principer framtagna som beskriver hur man bygger resiliens inom livsmedelsproduktionen (principerna är ett citat från Jordbruksverket (2024c), som i sin tur baserar uppgifterna från Stockholm Resilience Center och en skrift av Biggs m.fl. (2015)):

- ”1. Bevara mångfald och redundans. System som inkluderar olika arter, landskapstyper, kunskapssystem, kulturella grupper eller institutioner är oftast mer resilienta än system med enbart ett fokus. Exempel: främjandet av biologisk mångfald.
2. Förvalta konnektivitet. Samverkan mellan olika delar i ett system kan i många fall underlätta återhämtning eller förhindra en störning från att sprida sig. Exempel: näringskretslopp på gården, hög grad av självförsörjning av foder.
3. Hantera långsamma variabler och återkopplingsmekanismer. I en snabbt föränderlig värld är hantering av långsamma variabler och återkopplingsmekanismer ofta avgörande för att hålla system fungerande på ett sätt som producerar viktiga ekosystemtjänster. Om dessa system tippas över i ett annat tillstånd kan det vara oerhört svårt att återställa dem. Exempel: gynna naturliga predatorer för att minska skadegörare och skapa en ekologisk balans.
4. Främja förståelsen av komplexa system. Förståelse för den inneboende komplexiteten i systemet är ett viktigt första steg för att införa lämpliga åtgärder och hantera förändringar. Exempel: ekologisk produktion har en systemsyn på livsmedelsproduktionen.
5. Uppmuntra lärande. I komplexa system krävs innovativa lösningar för att öka resiliens, vilket kan främjas av att till exempel prova fram alternativa förvaltningsmetoder och främja kunskapsdelning mellan olika samhällsaktörer och beslutsfattare. Exempel: hur lantbrukare samarbetar och lär av varandra.
6. Bredda deltagandet. Inkluderande av olika typer av relevanta aktörer stärker förtroende i förvaltningsprocesser, ökar både djupet och bredden av tillgänglig kunskap, och underlättar processen av att identifiera och tolka störningar. Ingår i större sammanhang utanför gårdsnivån.
7. Främja polycentriska styrelseformer. Flera styrande organ som samverkar för att skapa och upprätthålla regler inom ett specifikt område ökar förmågan att effektivt bistå i problem som de är skapta för att lösa. Ingår i större sammanhang utanför gårdsnivån.”

I en rapport från Jordbruksverket (2024c) om ekologisk odling sammanfattas ett antal faktorer som ger ökad robusthet. Dessa faktorer kan sägas gälla generellt inom lantbruket:

- ”Satsa på en växtföljd som bygger upp och behåller jordens bördighet långsiktigt. Då krävs en balans mellan tärande grödor (stråsäd) och närande/kvävefixerande grödor (vallbaljväxter, trindsäd). En väl utformad växtföljd motverkar också växtföljdssjukdomar och främjar den biologiska mångfalden både ovan jord och i jorden.
- En av de viktigaste faktorerna till robusthet på en djurgård är hög självförsörjningsgrad av foder. För att kunna få det behöver förhållandet mellan areal och antal djur ha en bra balans så att det egenproducerade fodret räcker långt och att beroendet av inköpta insatsvaror är lågt.
- Att testa nya grödor kan bidra till foder med bättre fodervärde. Ett bra foder med högt näringsvärde och mycket grovfoder, en stor kunskap inom avel, lång utevistelseperiod och större ytor både ute och inne är alla faktorer som bidrar till hållbara och friska djur. Håll om möjligt

grupper av djur intakta och var restriktiv med införsel av djur till gården för att minska risken för smittspridning.

- De olika produktionsgrenarna på ett resilient lantbruk behöver anpassas efter och stödja varandra. En bra balans mellan djur och areal skapar också ett väl fungerande kretslopp av växtnäring mellan mark, växter och djur på gården.
- En biogasanläggning producerar, utöver energi, värdefull växtnäring som biogödsel. Detta är en viktig del av den cirkulära ekonomin (hela samhällets kretslopp).
- Att ha eget utsäde minskar risken för bristsituationer. Om man planerar att använda skörden som utsäde kommande säsong är det viktigt att regelbundet låta sundhetstesta och kontrollera grobarheten.
- Möjlighet att ha egna lager på gården skapar mindre risk för att stå utan, som till exempel av eget utsäde. Ett generellt litet beroende av insatsvaror ökar gårdens resiliens.
- Nästan all åkermark är beroende av en väl fungerande dränering för att kunna odlas med god odlingssäkerhet. Diken och rörledningar har kommit till för att leda bort överskottsvatten från åkern och kringliggande marker, beten och skog. Målet är att ge växterna en gynnsam rotmiljö med bra balans mellan syre och vatten.
- Det är viktigt att ha en genomtänkt och sund energiförsörjning både för värme och el. Det kan vara i form av uppvärmning med biobränslen, biogas eller jordvärme, el från solceller eller när den egna rapsoljan kan användas som drivmedel.
- Att ha flera ben att stå på sprider riskerna. Det kan vara flera olika produktionssätt eller produktionstyper som att ha mer än ett djurslag på gården. En kompletterande verksamhet som exempelvis förädling eller en gårdsbutik som ökar gårdens möjlighet att få sina produkter sålda.
- Att skapa och bevara biologisk mångfald stärker gårdens resiliens.
- Att verksamheten är robust när det inte är kristid, genom att skapa goda rutiner och strategier, lägger grunden till en långsiktig och hållbar ekonomi. Kunskap och kompetensutveckling är viktigt för gårdens robusthet, inte minst kunskap om ekosystemens dynamik.
- Att omge sig med bra personal, kompetent och pålitlig arbetskraft är viktigt för att gården ska fungera. Även tillgången till duktiga rådgivare är viktig.
- Lantbrukarens vilja och stresstålighet påverkar gårdens resiliens. Det är viktigt att planera och vara förberedd.
- Samarbete med andra lantbrukare kan bland annat höja den sociala hållbarheten och öka kunskaperna inom samarbetet och därmed minska lantbrukarens stress. Konkret kan samarbete leda till exempelvis bättre växtföljder, avsättning av produkter och en bättre lönsamhet.”

Enligt Dardonville m.fl. (2020) ger en ökad funktionell mångfald (diversitet) högre resiliens av livsmedelsproduktionen på gårdsnivå. En hög (ekonomisk) intensitet i produktionen, d.v.s. mer kapital, maskiner, etc., kan ge lägre resiliens på gårdsnivå, och en väl avvägd produktionsintensitet anpassad till de lokala odlingsförutsättningarna ger därför de bästa

förutsättningarna för att klara av olika typer av störningar. På regional nivå ger en mångfald i gårdarnas storlek och intensitet högre resiliens. Det betyder också att även om en hög intensitet kan ge nackdelar på gårdsnivå, så ger det fördelar på regional nivå (Dardonville m.fl. 2020).

Pinsard & Accatino (2023) visade att minskande tillgänglighet av importerat foder och syntetiska gödselmedel skulle ha en betydande negativ inverkan på jordbruksproduktionen i Frankrike, om gårdarnas nuvarande sammansättningar och praxis bibehålls. Specialiserade gårdar, t.ex. vingårdar, och specialisering med avseende på åkergrödor och boskap, var de minst robusta på kort sikt. Blandade produktionsinriktningar var mest robusta på kort sikt och deras integration mellan grödor och boskap hade en avgörande betydelse för graden av robusthet. Förändringar mot ökad diversitet ("avspecialisering") och mot mer "agroekologiska" odlingsmetoder skulle öka robustheten. För vissa regioner skulle en minskad användning av syntetiska gödselmedel leda till minskningar av växtproduktionen och därmed i den totala jordbruksproduktionen, för andra regioner skulle en minskad konkurrens om biomassan mellan foder- och livsmedelsproduktionen (d.v.s. ökad integration mellan dessa produktionsinriktningar) t.o.m. kunna öka den totala jordbruksproduktionen (Pinsard & Accatino 2023).

Erlewein & Nilsson (2022) undersökte i ett examensarbete olika aktörers syn på lantbrukets resiliens. En slutsats var att myndighetspersoner som har ett större regionalt/nationellt perspektiv ofta menar att förmågan att återgå till det normala är utgångspunkten, medan lantbrukare som "har sin gård som utgångspunkt ser resiliens som förmågan att anpassa och utvecklas" (Erlewein & Nilsson 2022).

I en studie av Reidsma m.fl. (2023) identifierade olika intressenter och nyckelpersoner i olika europeiska länder hur lantbrukets primärproduktion skulle kunna bli mer resilient gentemot t.ex. klimatförändringar och samtidigt vara ekologiskt, ekonomiskt och socialt hållbart. De flesta aktörer föredrog successiva anpassningar istället för snabba omvandlingar, även om successiva förändringar i sig så småningom leder till nya typer av produktionssystem. I de flesta fall identifierades behovet av förändringar i teknik, ökad diversifiering och ekologisk och/eller mer naturvänligt jordbruk, men intensifiering, specialisering, ökat produktvärde/förädlingsvärde, ökat samarbete och en attraktiv landsbygd var också alternativ som bedömdes öka jordbrukets hållbarhet och robusthet. Inom nuvarande primärproduktion har den ekonomiska hållbarheten haft hög prioritet, men detta leder till en låg robusthet mot t.ex. klimatförändringar. För att öka jordbrukets framtida resiliens behöver därför nya affärsmodeller utvecklas som inte bara fokuserar på ekonomisk hållbarhet, utan också på ekologisk och social hållbarhet (Reidsma m.fl. 2023).

Eriksson (2018) genomförde en sårbarhetsstudie av 20 gårdar med olika produktionsinriktningar. Författaren menar i sin rapport att den strukturomvandling och specialisering som vi har haft sedan efterkrigstiden, har gjort att lantbruket har gått från att vara beroende av lokala resurser och lokala marknader till att bli beroende av regelbundna och ofta mycket långväga transporter till gården av råvaror såsom drivmedel, gödselmedel, växtskyddsmedel, utsäde och foder, och uttransporter av färdiga produkter. Eriksson (2018) menar därför att den låga självförsörjningsgraden av insatsmedel är ett större problem än den låga självförsörjningsgraden av livsmedel. Det finns tre viktiga anledningar till detta (Eriksson 2018): "1) beroendet

av importerade insatsmedel har ökat på grund av att gårdarna har blivit ännu mer mekaniserade, specialiserade och storskaliga; 2) det produktionsöverskott som fanns under hela efterkrigstiden och fram till EU-inträdet utgjorde en buffert för produktionsänknningar, medan Sverige idag har ett produktionsunderskott på många viktiga baslivsmedel; 3) ”just-in-time”-filosofin som har genomsyrat distributions- och lagerhållningen inom handeln, livsmedelsindustrin och också jordbruket de senaste tjugo åren, har gjort gårdarna mer beroende av regelbundna och täta transporter” (Eriksson 2018).

9.3. Lantbrukets motståndskraft när det gäller energi

Lantbrukets beroende av energi

El används brett inom lantbruket för bland annat belysning, fläktning, omrörning, värme och kyla o.s.v. Vissa lantbrukstyper, som t.ex. vid mjölkproduktion, är mycket känsliga för strömavbrott och har idag oftast dieselaggregat som reservkraft.

Idag används förnybara bränslen som flis, pellets och olika biooljor, samt fossil eldningsolja och naturgas, för uppvärmning av stallar och andra ytor, samt för att torka spannmål.

Tillgängligt drivmedel är kritiskt i primärproduktionen för få ett fungerande flöde. Allt från sådd till skörd, maskiner och transport kräver drivmedel, främst diesel. Även reservaggregat vid strömavbrott kräver diesel.

Sverige saknar storskalig produktion av växtnäring och är beroende av import, främst från EU, men även från Ryssland och Vitryssland (22 % under år 2021). Produktion av kvävegödselmedel kräver mycket energi i form av el och värme från förbränning av naturgas.

Lantbrukets påverkan

Lantbruken påverkas på olika sätt av olika störningar och förändringar i omvärlden. Vid en kortvarig driftstörning med stor lokal påverkan på primärproduktionen krävs det reservsystem. Exempelvis används dieselaggregat för strömavbrott eller separata pannor, med olika bränslen, till torken. För kortvariga störningar kan nya åtgärder som genomförs på lantbruken i vissa fall ersätta reservsystem. Exempelvis kan batterier eller elproduktion från biogas ersätta dieselaggregat. I dessa fall kan konventionella reservsystem ses som alternativkostnader och på så vis öka lönsamheten för en viss ny åtgärd.

Vid långvariga kriser eller långtgående förändringar kan t.ex. prisbilden hos de olika energibärarna förändras mycket. Detta leder till osäkerhet i prognoser, med risk för skenande kostnader och en övergripande pressad ekonomisk situation för det enskilda lantbruket, och möjligtvis även för hela sektorn. Långvariga kriser eller långtgående förändringar kan också leda till att tillgängligheten av vissa energibärare minskar avsevärt, vilket kan leda till en stark påverkan i primärproduktionens funktionalitet med stora konsekvenser för samhället i stort. Denna typ av problematik går ofta under benämningen försörjningstrygghet.

Kvantifiering, kostnad och värdering av lantbrukets motståndskraft är väsentligt för att tydliggöra affärsmässiga drivkrafter, samt ge underlag inför diskussion om ansvarsfördelning och utveckling av policy och stöd. Denna övergripande bild behövs för att implementera faktiska åtgärder som ger en ökad motståndskraft.

Mekanismer för att öka motståndskraften

Man kan särskilja tre övergripande mekanismer för att öka motståndskraften: ödrift, ekonomisk robusthet och ökad försörjningstrygghet.

Ödrift är förmågan hos ett energisystem att fungera utan koppling till externa energisystem. Det typiska exemplet är att kunna bibehålla elförsörjningen utan koppling till det externa elnätet, exempelvis p.g.a. ett tillfälligt avbrott. Verksamheter som är känsliga för denna typ av störning, som t.ex. mjölkproduktion, brukar ha ett installerat dieseldrivet reservaggregat. Andra verksamheter kan även påverkas negativt av ett strömavbrott, men är inte fullt så kritiskt beroende av el så att det motiverar installation av dieselgenerator. I dessa fall ger en ökad möjlighet till ödrift endast ett mindre adderat värde. Exempel på åtgärder som kan ersätta dieselaggregatet är batterier, elproduktion från biogas eller vätgas samt "vehicle to grid". Andra åtgärder som t.ex. solceller med växelriktare som klarar ödrift, kan öka denna typ av motståndskraft, utan att fullt kunna ersätta reservaggregaten.

Det finns olika sätt för att öka den *ekonomiska robustheten* gentemot variationer i kostnader för energi, bränsle och gödselmedel, såsom a) ett minskat behov, b) egen produktion samt c) diversifiering av verksamheten.

- a) Genom olika typer av energieffektivisering minskar behovet av energi, bränsle och gödselmedel, vilket gör att andelen av de totala kostnaderna som påverkas av variationer av dessa kostnader minskar. Exempel på energieffektiviseringar är övergång till LED belysning som minskar elbehovet, sparsam körning som minskar användning av drivmedel eller genom användning av kvävefixerande grödor.
- b) Genom produktion av egen energi, bränsle och gödselmedel övergår kostnaderna till produktionskostnader i stället för marknadspriser, vilket minskar variationerna och påverkan av externa faktorer. Exempelvis ger en investering i solceller att den del av värdet av solelen som konsumeras av det egna lantbruket motsvarar produktionskostnaden, d.v.s. den totala kapitalkostnaden delat på mängden producerad energi. Med andra ord, så binds elpriset av den egna solelskonsumtionen till produktionskostnaden under 15-20 år. Egen produktion av biogas för produktion av el och värme samt för användning i lantbruksmaskiner är ett annat exempel. Biogödslet från biogasreaktorn innehåller en högre andel växttillgängligt ammoniumkväve än flytgödsel, vilket minskar behovet av mineralgödsel. Biogas är dock ofta begränsat till lantbruk med djurproduktion.
- c) En tredje mekanism för att öka den ekonomiska robustheten är att diversifiera verksamheten genom försäljning av energirelaterade produkter och tjänster. Försäljning av lokalt producerad el, värme till närliggande bostäder, uppgraderad biogas till gasnätet eller biokol och kolkrediter är exempel på energirelaterade

produkter som kan öka lönsamheten och den långsiktiga ekonomiska robustheten. En flexibel användning och produktion av el för att stabilisera elnätet är ett exempel på en ny tjänst som kan säljas.

Försörjningstrygghet handlar om att säkerställa en tillräcklig och stabil tillgång till viktiga resurser, såsom energi och insatsvaror, för att undvika störningar i kritiska system. Genom lokal ersättning av produkter som mineralgödsel, diesel och eldningsolja, minskas behovet av import.

10. DISKUSSION OCH SLUTSATSER

10.1. Sammanfattande diskussion

I det skånska jordbruket finns det många olika källor till växthusgaser. De största bidragen till klimatpåverkan, mätt i antalet CO₂-ekvivalenter, kommer från lustgas följt av metan (figur 2.2). I Sveriges nationella emissionsdatabas används $GWP_{100} = 25$ för metan och $GWP_{100} = 298$ för lustgas enligt IPCC:s Fourth Assessment Report från 2007 (Nationella emissionsdatabasen 2024b), och dessa gaser har alltså betydligt större klimatpåverkan per kg än koldioxid. Även små utsläppförändringar i vikt har således stor betydelse för deras klimatpåverkan. Men att nå en *helt* växthusgasfri primärproduktion, och även en *helt* fossilfri produktion, är praktiskt taget omöjligt. Det är svårt även när man räknar i ett nettoperspektiv, d.v.s. tar hänsyn till de möjligheter som finns att binda in kol i marken.

De territoriella utsläppen från användningen av fossila bränslen i det skånska lantbruket utgör knappt 8 % (figur 2.14) (då ska man också komma ihåg att skogsbrukets användning ingår i denna siffra, eftersom det inte görs någon skillnad i nationella emissionsdatabasen (2024a) mellan lantbruk och skogsbruk i utsläppskategorierna "Arbetsmaskiner – Jordbruk och skogsbruk" samt "Egen uppvärmning av bostäder och lokaler – Jordbruks- och skogsbrukslokaler"). Även om produktionen inom lantbruket skulle bli "fossilfri", så är det alltså endast en mindre del av de totala utsläppen inom lantbruket som försvinner. Av de totala territoriella utsläppen från fossila bränslen i Skåne, svarar lantbruket (även här inkl. skogsbruket) för 2,6 %. Även om dessa andelar kan tyckas vara små, är det viktigt att arbeta med att minska utsläppen av koldioxid från fossila bränslen, inte minst med tanke på att lantbruket har tillgång till interna resurser och råvaror för att fasa ut dessa bränslen, och för att andra sektorer och marknader kan komma att efterfråga dessa förnybara alternativ. Lantbruket kan alltså bli en viktig leverantör av förnybar energi, och kommer även att spela en viktig roll i en framtida mer cirkulär "stad-land"-bioekonomi (Feng m.fl. 2023).

Beräkningarna av de biogena kolflödena för Skåne har stor osäkerhet då de relaterades till de nationella utsläppsnivåerna. Helt klart är dock att de utgör en väsentlig del av de totala utsläppen (figur 2.14). Återvätning av vissa mulljordar kan vara ett effektivt sätt att minska utsläppen från organogena jordar (Jordbruksverket 2018b; Hall m.fl. 2022). Som tidigare har nämnts, finns det en mängd olika sätt att öka markens kolinnehåll, t.ex. genom val av grödor (Bolinder m.fl. 2017), genom odling av mellangrödor (Barrios Latorre m.fl. 2024) och genom tillförsel av biokol. En analys av möjligheterna att minska utsläppen och öka upptaget av koldioxid i brukade marker i Skåne redovisas av Hall m.fl. (2022). Ett annat projekt i Skåne, "Rest till Bäst", visade att biokol har stor potential att bidra som kolsänka i länet (Paulsson (red.) 2020). Reducerad jordbearbetning har framförts som ytterligare ett alternativ, men det tycks inte ha någon större inverkan på nettoinlagringen av kol p.g.a. av att den ökning av markkol som kan ses i det översta jordlagret kompenseras av den minskning som sker djupare ner i jordlagret (Bolinder m.fl. 2017).

De indirekta utsläppen från framställning av insatsvarorna mineralkvävegödsel, sojafoder och ensilageplast för Skåne uppskattades till totalt ca 260 000 ton CO₂-ekv/år (i ett livscykelperspektiv), vilket är nästan tre gånger mer än de territoriella utsläppen från fossila bränslen.

Med hjälp av ny teknik och inhemska proteingrödor finns det dock stora förhoppningar om att dessa utsläpp kan minska betydligt. Yaras nya fossilfria produktion av vätgas vid tillverkningen av mineralgödselkväve uppges t.ex. minska utsläppen till mindre än en tredjedel (Yara 2024). Importerad soja kan ha ekonomiska konkurrensfördelar, men Lantmännens (2024) strävan att ersätta importerad soja med inhemska proteingrödor har förutsättningar att bli framgångsrik, särskilt vid en intensifierad rådgivning och forskning kring dessa grödor. Det är möjligt att kraftigt minska den stora importen av soja från Sydamerika (som kan ha stor klimarpåverkan genom förändrad markanvändning) till förmån för en ökad odling av proteingrödor inom EU, men detta kan också innebära en minskad produktion av livsmedel baserade på svin och fjäderfän (Karlsson m.fl. 2021).

En minskad konsumtion av animaliska livsmedel till förmån för växtbaserade skulle ha stor betydelse för länets totala utsläppsnivåer (se t.ex. figur 2.14 och kapitel 4). Mer baljväxter skulle också minska behovet av mineralkvävegödsel, då de är kvävefixerande. Men det finns också andra värden vid produktion av animaliska livsmedel, t.ex. när det gäller biologisk mångfald i samband med att nötkreatur och får betar på naturbetesmarker. Gödsel från djur har ett stort värde inom växtodlingen, och vallgrödor har stor förmåga att binda markkol (Bolinder m.fl. 2017). Sammansättningen av vilka livsmedel vi ska producera är en komplex fråga och är beroende av vilka övriga livsmedel vi importerar och hur de produceras, samt av konsumenternas preferenser. En klimatskatt har diskuterats med syfte att styra över konsumtionen till livsmedel med lägre klimatpåverkan. Resultaten från en studie av Röös m.fl. (2021b) visar att en konsumtionsskatt som motsvarar den svenska koldioxidskatten år 2015 (1,15 kronor per kg CO₂) och som omfattar alla utsläpp i ett livscykelperspektiv skulle kunna minska växthusgasutsläppen med drygt 10 %. Enligt studien skulle priset på nötkött öka med 18 %, medan priset på grönsaker skulle öka några enstaka procent.

I lantbruksbranschens färdplan (LRF 2020) mot en mer fossil-oberoende produktion beskrivs en övergång till fossilfria bränslen och en utfasning av mineralgödsel som tillverkas med fossil energi. I planen anges att förhållandet mellan branschens konkurrenskraft och produktionskostnader samt samhällets och konsumentmarknadens värdering av den levererade hållbarhetsnyttan avgör takten för denna omställning. Det sistnämnda, samhällets och konsumenternas värdering av hållbara livsmedel, är en nyckelfaktor, och här behövs mer forskning kring nya affärs- och marknadsmodeller för 'fossilfria' livsmedel.

Genom att samla in stora datamängder från olika aktörer via plattformen Agronod, kan Agrosfär bli ett kraftfullt verktyg för att beräkna livscykelbaserade utsläpp ner på produktnivå för olika gårdar och produktionsinriktningar. Till skillnad mot övriga verktyg, baseras Agrosfär på automatisk dataöverföring från olika källor. Effekten av ändringar i produktionen kan snabbt visualiseras och analyseras i arbetet mot en mer klimatneutral produktion. Verktöget kan också användas för att kommunicera gårdens klimatavtryck gentemot förädlingsindustrin och konsumenterna. Det finns dock alltid en risk med att samla stora mängder digitala data om gården på ett ställe, även om Agronod hävdar att man har mycket höga säkerhetskrav. Det ska också tilläggas att det pågår en egen-initierad utredning om ägarsammansättningen till Agronod påverkar konkurrensen på marknaden för lantbruksdata (Agronod 2024b). Oberoende av beräkningsverktyg, är det viktigt att de olika hjälpmedlen är knutna till personlig rådgivning och regelbundna uppföljningar. På gårdsnivå kan det dock vara svårt att veta vilka åtgärder som är de "lägst hängande frukterna", och därför behövs mer forskning kring detta.

Energieffektivisering inom lantbruket har stor potential att minska användningen av fossil energi. Enskilda åtgärder kanske inte alltid ger så stora resultat, men tillsammans kan de leda till betydande minskningar. Det finns olika nivåer för att spara energi, en del handlar om beteendeförändringar, andra om mindre investeringar och en tredje nivå om utbyte av energi- eller produktionssystem. För att öka energieffektiviseringen inom jordbruket krävs att lantbrukets organisationer och myndigheter aktivt utbildar lantbrukarna i hur de kan energieffektivisera sina företag. Dessutom kan det krävas att myndigheterna ger bidrag till sådan utbildning. Lantbruket har idag en förhållandevis svag lönsamhet. För större investeringar krävs därför ofta ekonomiska bidrag och investeringsbidrag för åtgärder som minskar energianvändningen eller användningen av fossila bränslen. Klimatklivet (LRF 2025) är ett investeringsbidrag som många lantbrukare har utnyttjat för att t.ex. byta från olja till biobränslen i sina torkar.

Den åtgärd som har störst potential att på kort sikt minska utsläppen från jordbrukets arbetsmaskiner är bränslebyte till rena biodrivmedel såsom HVO100 eller FAME100 (Jordbruksverket 2023). Om vi utgår från data i tabell 6.1, innebär ett byte från diesel MK1 till FAME100 att utsläppen (uttryckt i CO₂-ekv/MJ) blir hälften så stora. Ett byte från diesel MK1 till HVO100 leder till att utsläppen blir en sjättedel så stora. Det största hindret mot detta är priset på dessa drivmedel jämfört med fossila drivmedel. Priset är högre trots att Sverige har tillåtelse från EU att ha skattebefrielse för rena höginblandade förnybara drivmedel till och med 2026. Jordbruksföretag får en skattereduktion på diesel som används i arbetsmaskiner. Då flera förnybara drivmedel såsom HVO och FAME inte har någon koldioxidskatt eller energiskatt när de används rent, och då återbetalningen ges på koldioxidskatten, blir resultatet att det för en lantbrukare blir dyrare att köra på dessa förnybara drivmedel. Det behövs således ekonomiska incitament för en snabb omställning från fossila till förnybara drivmedel.

Å andra sidan är tillgångarna på råvaror för tillverkning av både HVO och FAME begränsade, och i ett något längre perspektiv är en ökad elektrifiering inom jordbruket mycket intressant. Elektrifiering av andra typer av fordon sker nu mycket snabbt, framförallt inom transportsektorn. Även inom jordbruket finns stora vinster att göra genom eldrivna fordon, t.ex. minskade utsläpp av växthusgaser (se t.ex. kapitel 8), minskade underhållskostnader, minskad risk för markpackning genom att fordonen blir lättare, etc. Jordbruket har också stora möjligheter att producera sin egen el genom kraftvärme (biogas-, flis- och ORC-anläggningar), solceller och vindkraft. Intresset för solbruk eller s.k. agrivoltaiska anläggningar, där både el och livsmedel produceras på samma åkermark, har stadigt ökat (Region Skåne 2025). Skånes Effektkommission (2025) ser också mycket positivt på en ökad egenproduktion av el i länet (Skåne tillhör det elområde (SE4) i Europa som har lägst egen elproduktion i förhållande till sin konsumtion).

Eftersom produktion och användning av el till stor del inte sammanfaller i tid inom lantbruket, behövs det lagringsmöjligheter. Här kan lagring i form av batterier, vätgas och ammoniak vara intressanta. Vätgas och ammoniak kan användas som bränsle och för att framställa kvävegödsel, medan el från batterier kan utgöra en stödtjänst till elnätet. Innovationsföretaget Superstate (2024) har visat att ammoniak skulle kunna framställas småskaligt för produktion av mineralkväve utan att man behöver använda den energikrävande Haber-Bosch-processen.

Decentraliserad elektrolysbaserad produktion av vätgas (på gårdsnivå) är dock fortfarande kostsamt, vare sig det handlar om att försöka köpa in billig el från elnätet (Janke m.fl. 2020b) eller att använda sig av vindkraft (Janke m.fl. 2020a) eller solkraft (Misena m.fl. 2020). Nyckelfaktorer för sänkta produktionskostnader är låga elpriser, ökat utnyttjande av elektrolysören och ökade intäkter från försäljning av biprodukter (värme, syrgas) (Janke m.fl. 2020a; Katumwesigye m.fl. 2025). Mer forskning behövs för att ta fram lönsamma koncept för hur sådana system skulle kunna se ut, och hur de sedan skulle kunna realiseras på gårdsnivå.

Det finns flera synergieffekter när man kombinerar solcellsdriven vätgasproduktion med produktion av biogas: värmen från elektrolysören kan användas för att värma biogasreaktorn, vätgas kan blandas in i biogasen (s.k. hytan) eller metaniseras till metan, och vätgas och biogas kan både lagras och användas för elproduktion. En sådan anläggning skulle kunna klara sig i veckor utan ett fungerande elnät. Traktorer som drivs med hjälp av biogas (t.ex. New Holland) och bränsleceller (vätgas) (t.ex. JCB) finns också på marknaden, medan tester har visat att hytan och ammoniak kan bli lämpliga i s.k. dual-fuel-motorer. New Holland har utvecklat ett koncept baserat på vätgas-diesel (New Holland 2024b). Uppsala Vatten och Avfall AB har gjort en förstudie för en liknande anläggning (som dock är större än en gårdsanläggning), där även syrgas från elektrolysören används i ett reningsverk (BioDriv Öst 2023).

Användningen av drivmedel på ett jordbruk är mycket varierande över året. På en växtodlingsgård finns det stora toppar under några veckor vid vårbruket samt vid skörden och det efterföljande höstbruket, medan användningen kan vara mycket liten resten av året. Bränsleanvändningen för torkning har en kraftig kortvarig topp vid skörden, medan den är noll resten av året. Eftersom produktionen av el, drivmedel, bränslen och gödsel är mer jämn under året, finns det därför stora lagringsbehov. Av ekonomiska skäl kan dock den enskilda gården inte vara isolerad, utan den behöver samverka med omgivningen genom utbyte av energivaror för att minska kapitalet bundet i stora lager. En viktig fråga är hur dessa olika energibärare och teknikkomponenter kan dimensioneras och samverka internt och externt på ett lönsamt sätt i ett gårdsbaserat energisystem.

En intressant idé är s.k. energigemenskaper. En energigemenskap kan utgöras av privatpersoner, organisationer och företag, som går ihop och agerar på t.ex. elmarknaden, vilket kan ge fördelar för ekonomin och miljön, men även när det gäller sociala värden (Sveriges Energigemenskaper 2024; Coompanion 2024; RISE 2024b). Var och en och tillsammans kan man delta i produktion från förnybar energi, distribution och förbrukning, el-delning, värmedelning, aggregering, energilagring, effektivitetstjänster, laddningstjänster för elbilar eller andra energitjänster. Genom att bli kollektivt självförsörjande på el och förbruka el nära dess källa främjas en mer miljövänlig och robust utveckling. Energigemenskaper är en form av energikooperativ, och i Sverige finns inom lantbruksrörelsen en lång tradition av kooperativt företagande. Detta är en orsak till att energigemenskaper kan vara av stort intresse för lantbruket. Coompanion Värmland har utvecklat ett digitalt kartverktyg ”Framtidskraft” för planering av energigemenskaper (Coompanion 2024). Syftet med plattformen är att på ett övergripande vis få insikt i hur en lokal energigemenskap skulle kunna se ut på t.ex. landsbygden. Plattformen bedöms vara användbar även för lantbruksföretag.

Lantbrukets och livsmedelsbranschens förmåga att klara olika störningar blir allt viktigare i takt med att osäkerheterna i vår omvärld ökar. I Skåne har jordbruksföretagen blivit allt större och mer specialiserade, vilket kan öka sårbarheten. Om en skördetröska med ett skärbord på 14 meter inte kan få fram reservdelar, blir det stora arealer som inte kan tröskas. När det gäller robusthet för gårdsbaserade energisystem, är ö-drift ett mycket intressant alternativ (Jordbruksaktuellt 2022), och några lantbruk i Skåne är nu på väg mot ö-drift avseende produktion och användning av el. Generellt är det svårt att kvantifiera eller ”mäta” robusthet och resiliens hos teknisk-biologiska system såsom lantbruk, särskilt när det gäller mer obeprövade produktionssystem som är ’fossilfria’, och därför behövs mer forskning kring detta.

10.2. Slutsatser

Följande slutsatser kan dras:

- De territoriella utsläppen av växthusgaser från jordbruket i Skåne under år 2022 dominerades av lustgas (53 %), följt av metan (38 %) och koldioxid (9 %) (exkl. biogena koldioxidutsläpp från t.ex. organogena jordar). De territoriella utsläppen från användningen av fossila bränslen utgjorde knappt 8 % (88 000 tusen ton CO₂-ekv) av jordbrukets totala utsläpp, och 2,6 % av utsläppen från den totala användningen av fossila bränslen i Skåne.
- För att snabbt minska de fossil-baserade utsläppen av växthusgaser från befintliga arbetsmaskiner och torkar, är energieffektivisering och en övergång till HVO100 eller FAME100 ett alternativ, men då krävs större ekonomiska incitament för att lantbrukarna ska använda dessa. Sett i ett systemperspektiv, är dock de begränsade råvarutillgångarna en viktig nackdel för dessa förnybara bränslen.
- Stora utsläpp genereras vid framställning av insatsvaror såsom mineralkvävegödsel och sojafoder (i ett livscykelperspektiv grovt räknat mer än dubbelt så mycket som användningen av fossila bränslen). Ny teknik med fossilfri produktion av vätgas vid tillverkningen av mineralgödselkväve förväntas minska utsläppen avsevärt, liksom ersättning av importerad soja med inhemska proteingrödor.
- Det finns flera olika beräkningsverktyg och rådgivningsinsatser för att minska utsläppen på gårdsnivå. Verktöget Agrosfär bedöms ha stor potential att bli ett effektivt hjälpmedel för att beräkna utsläppen, inte bara på gårdsnivå utan ned till produktnivå.
- På lite längre sikt utgör elektrifiering och gasformiga bränslen (biogas, vätgas) de mest lovande alternativen till fossila bränslen. Produktionen av biogas ökar starkt i länet, men det gäller också att det blir ett större utbud av gasdrivna traktorer till konkurrenskraftiga priser. Decentraliserad elektrolys-baserad produktion av vätgas (och ammoniak) är fortfarande för kostsamt. Å andra sidan har jordbruket goda möjligheter att producera egen el via t.ex. kraftvärme från biogas och via solceller, och får därmed större kontroll och styrning över elens produktionsprofil och produktionskostnader.

- Lantbrukets förmåga att klara olika störningar blir allt viktigare i takt med att osäkerheterna i vår omvärld ökar. När det gäller robustheten för gårdsbaserade fossilfria energisystem, är ö-drift ett intressant alternativ som nu har börjat införas i Skåne när det gäller produktion och användning av el. Mer forskning behövs dock kring småskaliga energisystems förmåga att klara olika typer av störningar.

11. REFERENSER

- Abadia, R., Rocamora, C., Ruiz, A., Puerto, H. (2008). Energy efficiency in irrigation distribution networks I: Theory. *Biosystems Engineering* 101(1), 21-27.
- Abadia, R., Rocamora, C., Vera, J. (2012). Energy efficiency in irrigation distribution networks II: Applications. *Biosystems Engineering* 111, 398-411.
- AG Precision. (2022). Precisionsjordbruk. AG Precision Aps, Trulstorpsvägen 218, 245 92 Staffanstorp. <https://ag-precision.com/sv/precisionsjordbruk> [2022-10-11]
- Agronod. (2024a). Noden för svensk lantbruksdata. <https://www.agronod.com/> [2024-10-18]
- Agronod. (2024b). Konkurrensverket och Agronod. <https://www.agronod.com/fragor> [2024-10-18]
- Ahlgren, S., Behaderovic, D., Wirsenius, S., Carlsson, A., Hessle, A., Toräng, P., Seeman, A., den Braver, T. & Kvarnbäck, O. (2022). Miljöpåverkan av svensk nöt- och lammköttproduktion. RISE Rapport 2022:143. RISE Research Institutes of Sweden AB, Uppsala. ISBN: 978-91-89757-32-5.
- Ahlgren, S., Behaderovic, D., Edman, F., Wallman, M., Laurentz, M., Henryson, K., Berglund, M., Söderberg, V., Karlsson, A. & Abrahamsson, S. (2024). Description of the Agrosfär model – a tool for the climate impact assessment of farms, crop and animal production systems in Sweden. RISE Report 2024:2. RISE Research Institutes of Sweden AB, Borås, Sweden.
- Ambient Carbon. (2024). Ambient Carbon's MEPS (Methane Eradication Photochemical System) creates value for customers by eradicating low-concentration methane emissions. <https://ambientcarbon.com/> [2024-10-30]
- Andersson, R., Bång, M., Frid, G. & Paulsson, R. (2010). Minskade växtnäringsförluster och växthusgasutsläpp till 2016 – förslag till handlingsprogram för jordbruket. Jordbruksverket. Rapport 2010:10. 60 s.
- Arla. (2024). FarmAhead™ Beräkning – vårt verktyg för att nå klimatmålet. <https://www.arla.se/hallbarhet/gardarna/berakningar/> [2024-10-17]
- Arvidsson, R., Persson, S., Fröling, M., Svanström, M. (2011). Life cycle assessment of hydrotreated vegetable oil from rape, oil palm and Jatropha. *Journal of Cleaner Production*, 19, 129-137.
- ATL. (2022). Gödselvärdet fördubblas fossilfritt med el. <https://www.atl.nu/elektricitet-kan-fordubbla-godselsvardet> [2024-10-30]
- ATL. (2023a). John Deeres vapen i klimatkampen – etanolmotorer. <https://www.atl.nu/john-deeres-vapen-i-klimatkampen-etanolmotorer> [2024-07-19]
- ATL. (2023b). Ammoniak kan bli nyckel till självförsörjande gård. <https://www.atl.nu/ammoniak-kan-bli-nyckel-till-sjalvforsorjande-gard> [2023-03-06]
- ATL. (2024a). Vätgasvisionärerna bakom Eox Tractors skalar upp. <https://www.atl.nu/nu-ska-vatgasvisionarerna-bakom-eox-tractors-skala-upp-produktionen> [2024-09-15]
- ATL. (2024b). Gaspionjär kör vidare på biogas: "Rätt spår för oss". <https://www.atl.nu/lars-paulson-pa-kvarngarden-kor-pa-biogas-i-traktorn> [2024-09-15]
- Baky, A., Sundberg, M., Brown, N. (2010). Kartläggning av jordbrukets energianvändning. Ett projekt utfört på uppdrag av Jordbruksverket. Uppdragsrapport, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala. 39 s.
- Barrios Latorre, S.A., Björnsson, L. & Prade, T. (2024). Managing soil carbon sequestration: assessing the effects of intermediate crops, crop residues removal, and digestate application on Swedish arable land. *GCB Bioenergy*, 16e70010. <https://doi.org/10.1111/gcbb.70010>
- Bartkowiak, A.M. (2021). Energy-saving and low-emission livestock buildings in the concept of a smart farming. *Journal of Water and Land Development*, 51 (X–XII), 272-278. e-ISSN 2083-4535. Polish Academy of Sciences (PAN), Institute of Technology and Life Sciences – National Research Institute (ITP – PIB). <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.139935>
- Beauchemin, K.A., Ungerfeld, E.M., Eckard, R.J. & Wang, M. (2020). Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal*, 14:S1, 2–16. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>
- Berglund, K. (2008). Torvmarken, en resurs i jordbruket igår, idag och även i morgon? Från: Runefelt, L. (red.). 2008. Svensk mosskultur. Odling, torvanvändning och landskapets förändring 1750–2000. SOLMED 41, ISBN 978-91-85205-47-9. 528 s.
- Bernesson, S. (1991). Drivmedel från jordbruksgrödor. Egenskaper och tillämpad teknik. Aktuellt från SLU 395. SLU/Info, Uppsala. 23 s.
- Bernesson, S. (2004). Life cycle assessment of rapeseed oil, rape methyl ester and ethanol as fuels – A comparison between large- and small scale production. Miljö, teknik och lantbruk, Rapport 2004:01, Inst f biometri och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 273 s.

- Bernesson, S., Strid, I. (2011). Svensk spannmålsbaserad drank - alternativa sätt att tillvarata dess ekonomiska, energi- och miljömässiga potential. Swedish distiller's grain - options for realising its economic, energy and environmental potential. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst f energi och teknik, Rapport 032. Uppsala. 233 s.
- Bernesson, S., Karlsson Potter, H., Hansson, P.-A. (2023). Energieffektivisering i lantbruket. – en litteraturstudie med fokus på svenska förhållanden. Mistra Food Futures Report 19. ISBN 978-91-8046-678-3 (electronic), 978-91-8046-677- (print). 80 s.
- Biggs, R., Schlüter, M., Schoon, M.L. (Eds.). (2015). Principles for Building Resilience: Sustaining Ecosystem Services in Social-Ecological Systems. Cambridge University Press.
- BioDriv Öst. (2023). Uppsala kan bli först i världen med ny typ av innovativ vätgasproduktion. <https://press.biodrivost.se/posts/pressreleases/uppsala-kan-bli-forst-i-varlden-med-ny-typ-av> [2024-10-16]
- Biogas Syd. (2025). Biogasnytt från Skåne nr 8/2024. https://gansub.com/t/v/1_NDE4MDQyNzY0MTM=/ [2025-01-20]
- Bishop, C.F.H. & Maunder, W.F. (1980). Potato Mechanisation and Storage. Farming Press Limited. Wharfedale road, Ipswich, Suffolk, Great Britain. ISBN 0 85236 109 2. 256 s.
- Bolinder, M.A., Freeman, M. & Kätterer, T. (2017). Sammanställning av underlag för skattning av effekter på kolinlagring genom insatser i Landsbygdsprogrammet. <https://docplayer.se/105538938-Sveriges-lantbruksuniversitet-org-nr-institutionen-for-ekologi-enheten-for-systemekologi.html> [2024-10-16]
- Brady, M.V. & Nylén, H. (2024). Potential for mitigating enteric methane emissions from agriculture through technical measures: a literature review. Working paper 2024:4. AgriFood Economics Centre, Lund, Sweden.
- Brennen, J.S., Kreiss, D. (2016). Digitalization. In The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy (eds: Jensen, K.B., Rothenbuhler, E.W., Pooley, J.D., Craig, R.T.). <https://doi.org/10.1002/9781118766804.wbiect111>
- Brown, T. (2019). University of Minnesota demonstrates efficient ammonia dual-fuel engine system. <https://ammoniaenergy.org/articles/university-of-minnesota-demonstrates-efficient-ammonia-dual-fuel-engine-system/> [2024-09-03]
- Casimir, J., Engström, J., Flisberg, P., Frisk, M., Hansson, E., Kihlstedt, A., Rönnqvist, M. (2019). Skiftning av åkermark för ett effektivare jordbruk. RISE - Research Institutes of Sweden AB, Rapport 2019:43. Uppsala. ISBN 978-91-88907-70-7. 44 s.
- Castanheira, E.G. & Freire, F. (2013). Greenhouse gas assessment of soybean production: implications of land use change and different cultivation systems. *Journal of Cleaner Production*, 54, 49-60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.026>
- Cheboi, S. (2023). Efficient Potato Cold Storage: Solutions for Long-Term Preservation. InspiraFarms, Cooling, Enterprise Projects Ventures Limited. News: June 19th, 2023. <https://www.inspirafarms.com/efficient-potato-cold-storage-long-term-solutions-inspirafarms-cooling/> [2025-01-29]
- Christensen, I., Larsson, G. (2010). Energianvändning i trädgårdsnäringen. Slutrapport för Jordbruksverkets uppdrag (Dnr 46-9755/09). Grön Kompetens, Alnarp.
- CIGR. (1999). CIGR Handbook of Agricultural Engineering. International Commission of Agricultural Engineering. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers. Vol I: ISBN 978-1892769015, 570 s; Vol II: ISBN 978-0929355986, 359 s; Vol III: ISBN 978-1892769022, 660 s; Vol IV: ISBN 978-1892769039, 544 s; Vol V: ISBN 978-0929355979, 351 s.
- Civil Engineering. (2024). Irrigation - 8 Types of Irrigation Methods with Details. <https://civiltoday.com/water-resource-engineering/irrigation/269-types-of-irrigation-methods> [2024-04-05]
- Consumer Ecology. (2024). Soy Carbon Footprint & Environmental Impact. <https://consumerecology.com/soy-carbon-footprint-environmental-impact/> [2024-10-17]
- Coompanion. (2024). Energigemenskaper. <https://coompanion.se/varmland/projekt-och-uppdrag-i-varmland/energigemenskaper/> [2024-12-21]
- Corteva. (2025). BlueN™. <https://www.corteva.se/produkter/biologicals/BlueN.html> [2025-01-24]
- Dall-Orsoletta, A.C., Leurent-Colette, S., Launay, F., Ribeiro-Filho, H.M.N. & Delaby, L. (2019). A quantitative description of the effect of breed, first calving age and feeding strategy on dairy systems enteric methane emission. *Livestock Science*, 224, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.04.015>
- Dardonville, M., Urruty, N., Bockstaller, C. & Therond, O. (2020). Influence of diversity and intensification level on vulnerability, resilience and robustness of agricultural systems. *Agricultural Systems*, 184, 102913. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102913>
- Dataväxt. (2024). Dataväxt lanserar Klimatkalkylen. <https://datavaxt.com/sv/aktuellt/klimatkalkylen/> [2024-10-17]

- de Goede, D.M., Gremmen, B. & Blom-Zandstra, M. (2013). Robust agriculture: Balancing between vulnerability and stability. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 64-65, 1-7.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.njas.2012.03.001>
- de Haas, Y., Veerkamp, R., De Jong, G., & Aldridge, M. (2021). Selective breeding as a mitigation tool for methane emissions from dairy cattle. *animal*, 15, 100294. <https://doi.org/j.animal.2021.100294>
- Drivkraft Sverige. (2024). Energiinnehåll, densitet och koldioxidutsläpp.
<http://207.154.197.103/uppslagsverk/fakta/berakningsfaktorer/energiinnehall-densitet-och-koldioxidemission/> [2024-07-18]
- Edman, F., Pourazari, F., Ahlgren, S., Behaderovic, D., Nielsen, P.P., Kardeby, V. (2022). Potential to reduce climate impact with digitalisation in agriculture – literature review and a case study of milk. *Mistra Food Futures Report No. 5 2022*. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. ISBN 978-91-8046-752-0 (electronic), 978-91-8046-753-7 (print). 43 s.
- Edström, M., Jansson, L.E., Lantz, M., Johansson, L.-G., Nordberg, U., Nordberg, Å. (2008). Gårdsbaserad biogasproduktion, system ekonomi, klimatpåverkan. *JTI-rapport Kretslopp & Avfall 42*, JTI, Uppsala.
- EIP Agri. (2021). Reducing the plastic footprint of agriculture.
https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/eip-agri_fg_plastic_footprint_final_report_2021_en.pdf [2024-08-23]
- Emgardsson, P. (2020). Smart koppling sparar bränsle. *Land Lantbruk*, Nr 46, 6 november 2020, s. 18-20.
- Energigas Sverige. (2024). Förgasning av biomassa. <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/forgasning-av-biomassa/> [2024-12-27]
- Energimyndigheten. (2018). Energiushållning i jordbruk. En vägledning för bästa teknik. *ET 2018:9*, Energimyndigheten, Eskilstuna. ISSN 1404-3343. 16 s.
- Energimyndigheten. (2022). Drivmedel 2021. Resultat och analys av rapportering enligt regelverken för hållbarhetskriterier, reduktionsplikt och drivmedelslag. *Rapport ER 2022:08*. Energimyndigheten, Eskilstuna. ISBN (pdf) 978-91-7993-076-9. 28 s.
- Energimyndigheten. (2023). Drivmedel 2022. Resultat och analys av rapportering enligt regelverken för hållbarhetskriterier, reduktionsplikt och drivmedelslag. *Rapport ER 2023:19*. Energimyndigheten, Eskilstuna. ISBN (pdf) 978-91-7993-134-6. 34 s.
- Energimyndigheten. (2024a). Energianvändning för arbetsmaskiner (transporter på allmän väg ingår ej).
https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Energimyndighetens_statistikdatabas/Energimyndighetens_statistikdatabas_Officiell_energistatistik_Jordbrukets_energianvandning/EN0119_4.px/table/tableViewLayout2/ [2024-03-21]
- Energimyndigheten. (2024b). Antal jordbruksföretag med spannmålstorkar.
https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Energimyndighetens_statistikdatabas/Energimyndighetens_statistikdatabas_Officiell_energistatistik_Jordbrukets_energianvandning/EN0119_6.px/ [20240716]
- Energimyndigheten. (2024c). Antal jordbruksföretag med olja som bränsle till spannmålstorken.
https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Energimyndighetens_statistikdatabas/Energimyndighetens_statistikdatabas_Officiell_energistatistik_Jordbrukets_energianvandning/EN0119_7.px/ [20240716]
- Energimyndigheten. (2024d). Använd olja till spannmålstorkar, m3 och MWh.
https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Energimyndighetens_statistikdatabas/Energimyndighetens_statistikdatabas_Officiell_energistatistik_Jordbrukets_energianvandning/EN0119_8.px/ [20240716]
- Engström, J., Lagnelöv, O. (2018). An Autonomous Electric Powered Tractor - Simulation of All Operations on a Swedish Dairy Farm. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 8(3), 182-187.
<https://doi.org/10.17265/2161-6256/2018.03.006>
- Engström, J., Gunnarsson, C., Baky, A., Sindhøj, E., Eksvärd, J., Orvendal, J. & Sjöholm, N. (2015). Energieffektivisering av jordbrukets logistik – pilotprojekt för att undersöka potentialer. *Rapport 441*, Lantbruk & Industri. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Eriksson, C. (2018). Livsmedelsproduktion ur ett beredskapsperspektiv. Sårbarheter och lösningar för ökad resiliens. *SLU Future Food Reports 1*. Institutionen för stad och land, SLU. Uppsala. ISBN: 978-91-576-9580-2.
- Eriksson, P. & Wixner, A. (2023). Möjligheterna att skapa resiliens inom livsmedelsproduktionen. En analys av Gävleborgs utvecklingsmöjligheter med livsmedelsproducenters perspektiv. Examensarbete, Grundnivå (kandidatexamen), 15 hp. Akademien för teknik och miljö, Högskolan i Gävle.

- Erlandsson, M. (2020). Modell för bedömning av svenska byggnaders klimatpåverkan – inklusive konsekvenser av befintliga åtgärder och styrmedel. IVL - Svenska Miljöinstitutet, Rapportnummer Nr. C 433, februari 2019, reviderad april 2020. Stockholm. ISBN 978-91-7883-095-4. 46 s.
- Erlewein, S. & Nilsson, A. (2022). Resiliens i svenskt lantbruk – synen på resiliens hos olika grupper inom lantbruksbranschen. Examensarbete/Självständigt arbete, 15 hp. Institutionen för människa och samhälle, Sveriges lantbruksuniversitet, SLU/Alnarp.
- Escobar, N., Tizadoc, E.J., zu Ermgassen, E.H.K.J., Löfgren, P., Börner, J., & Godar, J. (2020). Spatially-explicit footprints of agricultural commodities: Mapping carbon emissions embodied in Brazil's soy exports. *Global Environmental Change*, 62, 102067. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102067>
- Farm advisory service. (2022). What Potato Growers Can Do To Improve Energy Efficiency. Helping farmers in Scotland. Farm Advisory Service. <https://www.fas.scot/article/what-potato-growers-can-do-to-improve-energy-efficiency/> [2025-01-29]
- FCCT. (2023). Energy Efficiency to reduce costs and minimise Greenhouse Gas emissions. Farm Carbon Cutting Toolkit. <https://farmcarbontoolkit.org.uk/toolkit/farm-ghgs/energy/energy-efficiency/>. Pdf 12 s. [2023-03-21]
- Federation University. (2024). Exploring hydrogen technology to power next-gen farming. <https://federation.edu.au/news/articles/exploring-hydrogen-technology-to-power-next-gen-farming> [2024-09-15]
- Feng, L., Aryal, N., Li, Y., Horn, S.J. & Ward, A.J. (2023). Developing a biogas centralised circular bioeconomy using agricultural residues - Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, 868, 161656. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161656>
- Flysjö, A., Cederberg, C. & Strid, I. (2008). LCA-databas för konventionella fodermedel - miljöpåverkan i samband med produktion. SIK-rapport nr 772 2008. SIK, Institutet för livsmedel och bioteknik, Göteborg.
- Foster, G.H., McKenzie, B.A., DeForest, S.S. (2015). Solar Heat for Grain Drying – Selection, Performance, Management. Historical Documents of the Purdue Cooperative Extension Service. Paper 1078. Department of Agricultural Communication, Purdue e-Pubs, September 2015, Purdue University. <https://docs.lib.purdue.edu/agext/1078>
- Garnett, L.M. & Eckard, R.J. (2024). Greenhouse-gas abatement on Australian dairy farms: what are the options? *Animal Production Science*, 64, AN24139. <https://doi.org/10.1071/AN24139>
- Gerber, P.J., Hristov, A.N., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A.T., Yang, W.Z., Tricarico, J.M., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. & Oosting, S. (2013). Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal*, 7, 220–234. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000876>
- Gilsanz, C., Báez, D., Misselbrook, T.H., Dhanoa, M.S. & Cárdenas, L.M. (2016). Development of emission factors and efficiency of two nitrification inhibitors, DCD and DMPP. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216, 1-8.
- Gov.UK. (2024). Greenhouse gas reporting: conversion factors 2023. <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2023> [2024-08-23]
- Greppa Näringen. (2021). Tillsats till flytgodsel tog nästan helt bort utsläpp. <https://greppa.nu/aktuellt/nyheter/arkiv---nyheter/2021-01-05-tillsats-till-flytgodsel-tog-nastan-helt-bort-utslapp> [2024-11-22]
- Greppa Näringen. (2024a). Jordbruket och klimatet. <https://greppa.nu/fa-radgivning/fakta-miljo-och-klimat/klimat> [2024-10-17]
- Greppa Näringen. (2024b). Beräkningsverktyget Vera. <https://greppa.nu/rakna-och-gor-sjalv/rakna-sjalv/vera> [2024-11-27]
- Grim, J., Nilsson, D., Hansson, P-A. & Nordberg, Å. (2015). Demand-orientated power production from biogas: modeling and simulations under Swedish conditions. *Energy fuels*, 29, 4066-4075. <https://doi.org/10.1021/ef502778u>
- Gustafsson, G., Ekström, N. (1980). Solfångare för torkning. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 282, Teknik, Uppsala 1980. ISSN 0347-9293. ISBN 91-576-0429-0. 38 s.
- Guzman-Bustamante, I., Winkler, T., Schulz, R., Müller, T., Mannheim, T., Laso Bayas, J.C. & Ruser, R. (2019). N2O emissions from a loamy soil cropped with winter wheat as affected by N-fertilizer amount and nitrification inhibitor. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 114, 173–191. <https://doi.org/10.1007/s10705-019-10000-9>

- Hadad, R. (2025). Cold Storage Chart & Reference Guide. Adapted from: USDA bulletin #66 - The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. https://rvpadmin.cce.cornell.edu/uploads/doc_500.pdf [2022-10-19]
- Hall, M., Hedlund, K., Ingimarsdóttir, M. (red). (2022). Markanvändning för en klimatpositiv framtid. CEC Rapport Nr 07. Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet.
- Hartman, K., Sims, R. (2006). Saving energy on the dairy farm makes good sense. In: Proceedings of the 4th Dairy Conference. Centre for Professional Development and Conferences, Massey University, Palmerston North, New Zealand. S. 11–21.
- Hellevang, K. & Pedersen, C. (2019). Farm Shop Energy Efficiency Checklist and Tips. Farm energy, April 3, 2019. <https://farm-energy.extension.org/farm-shop-energy-efficiency-checklist-and-tips/> [2022-10-21]
- Hiis, E., Nyvold, M. & Bakken, L. (2023). Inhibition of denitrification in nitrogen enriched organic fertilizer using plasma technology. <https://www.researchgate.net/publication/375828672> doi: 10.13140/RG.2.2.30579.50728
- Hiis, E.G., Vick, S.H.W., Molstad, L., Røsdal, K., Jonassen, K.R., Winiwarter, W. & Bakken, L.R. (2024). Unlocking bacterial potential to reduce farmland N₂O emissions. *Nature*, 630, 421-428. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07464-3>
- Hushållningssällskapet. (2024). Utveckla din gröna verksamhet. <https://hushallningssallskapet.se/> [2024-10-17]
- Hörndahl, T. (2007). Energiförbrukning i jordbrukets driftsbyggnader - en kartläggning av 16 gårdar med olika driftsinriktning. Rapport 145, Inst. f jordbrukets biosystem och teknologi (JBT), Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp. 61 s.
- Hörndahl, T. (2008). Energy Use in Farm Buildings—A Study of 16 Farms with Different Enterprises. Revised and translated second edition. Report 2008:8, Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agricultural Science, Swedish University of Agricultural Sciences. Alnarp. ISSN 1654-5427. ISBN 978-91-85911-76-9. <https://pub.epsilon.slu.se/3396/1/Eng-rapport145-v1.pdf>. 69 s.
- IEA. (2023). Net Zero Roadmap. A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach. 2023 Update. International Energy Agency. Paris, France. 226 s.
- James, D. (2018). 6 energy efficiency tips for pig farmers. *Farmers weekly*, 21 March 2018. <https://www.fwi.co.uk/livestock/6-energy-efficiency-tips-for-pig-farmers> [2022-10-19]
- Janke, J., McDonagh, S., Weinrich, S., Nilsson, D., Hansson, P-A. & Nordberg, Å. (2020a). Techno-economic assessment of demand-driven small-scale green hydrogen production for low carbon agriculture in Sweden. *Front. Energy Res.* 8:595224. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.595224>
- Janke, L., McDonagh, S., Weinrich, S., Murphy, J., Nilsson, D., Hansson, P-A. & Nordberg, Å. (2020b). Optimizing power-to-H₂ participation in the Nord Pool electricity market: Effects of different bidding strategies on plant operation. *Renewable Energy*, 156, 820-836. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.080>
- Johansson, H. (2022). Nitrifikationshämmare. Ett sätt att minska förlusten av kväve från jordbruksmarken? Fokus Nummer 2022:2. AgriFood Economics Centre, Lund.
- Johnston, L.J., Hammers, K.L. (2022). Energy-smart pig farming. Chapter 10 in Sims, R.E.H. (ed.) 2022. Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). S. 289-315.
- Jonassen, K.R., Hagen, L.H., Vick, S.H.W., Arntzen, M.Ø., Eijssink, V.G.H., Frostegård, Å., Lycus, P., Molstad, L., Pope, P.B. & Bakken, L.R. (2022). Nitrous oxide respiring bacteria in biogas digestates for reduced agricultural emissions. *The ISME Journal*, 16, 580–590. <https://doi.org/10.1038/s41396-021-01101-x>
- Jordbruksaktuellt. (2022). Batterier kan ge både säkerhet och inkomst till lantbruksföretagen. <https://www.ja.se/artikel/2231798/batterier-kan-ge-bde-skerhet-och-inkomst-till-lantbruksfretagen.html> [2025-02-20]
- Jordbruksverket. (2012). Ett klimatvänligt jordbruk 2050. Rapport 2012:35. 118 s.
- Jordbruksverket. (2018a). Hur kan den svenska jordbrukssektorn bidra till att vi når det nationella klimatmålet? Sammanställning av pågående arbete och framtida insatsområden. Rapport 2018:1. Jordbruksverket, Jönköping, Sweden. 131 s.
- Jordbruksverket. (2018b). Återvätning av organogen jordbruksmark som klimatåtgärd. Rapport 2018:30. Jordbruksverket, Jönköping. 124 sid.

- Jordbruksverket. (2020). Jordbruksmarkens användning 2020. Preliminär statistik. Sveriges officiella statistik. Statistiska meddelanden. JO 10 SM 2001. ISSN 1654-4102. 26 s.
- Jordbruksverket. (2023). Jordbrukets roll i arbetet med att nå det nationella klimatmålet. Rapport 2023:12. Jordbruksverket, Jönköping, Sweden. 237 s.
- Jordbruksverket. (2024a). Antal djur och jordbruksföretag med djur efter län. År 1981-2024. https://statistik.sjv.se/PXWeb/pxweb/sv/Jordbruksverkets%20statistikdatabas/Jordbruksverkets%20statistikdatabas_Lantbrukets%20djur_Lantbruksdjur%20i%20juni/JO0103F01.px/?rxid=5adf4929-f548-4f27-9bc9-78e127837625 [2024-10-17]
- Jordbruksverket. (2024b). Hektar- och totalskörd efter Län, Gröda, Variabel, Tabelluppgift och År. Tabell: Hektar- och totalskörd efter län och gröda. År 1965-2023. https://statistik.sjv.se/PXWeb/pxweb/sv/Jordbruksverkets%20statistikdatabas/Jordbruksverkets%20statistikdatabas_Skordar/JO0601J01.px/table/tableViewLayout1/ [2024-12-27]
- Jordbruksverket. (2024c). Den robusta ekogården i en föränderlig omvärld. Inspireras av fyra djurgårdars strategier. Jordbruksinformation 3-2024. Jordbruksverket, Jönköping.
- Karlsson, S. (2011). Gröngödslingens roll i odlingsystemet - En jämförelse mellan Mälardalen och Östergötland. https://stud.epsilon.slu.se/2225/1/karlsson_s_110202.pdf [2024-12-11]
- Karlsson, A.E., Hörndahl, T., Nordman, R. (2012). Energy recover from milk cooling. Report 401. Agriculture & Industry. JTI—Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering, Uppsala, Sweden.
- Karlsson, J.O., Parodi, A., van Zanten, H.H.E., Hansson, P-A. & Rööf, E. (2021). Halting European Union soybean feed imports favours ruminants over pigs and poultry. *Nature Food*, 38, 38–46. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00203-7>
- Karlsson Potter, H., Delin, S., Engström, L., Stenberg, B. & Hansson, P-A. (2022). Precision nitrogen application – potential to lower the climate impact of crop production. *Mistra Food Futures Report #9*. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. ISBN: 978-91-8046-767-4 (electronic), 978-91-8046-766-7 (print).
- Karlsson Potter, H., Kätterer, T. & Lang, R. (2023). Climate impact of liming arable soil – effect on N₂O emissions in a life cycle perspective. *Mistra Food Futures Report No. 12, 2023*, Swedish University of Agricultural Sciences. ISBN:978-91-8046-817-6 (electronic), 978-91-8046-816-9 (print). 31 s.
- Katumwesigye, A., Hellström, M. & Spohr, J. (2025). Techno-economic assessment of hydrogen application in cereal crop farming. *Frontiers in Energy Research*, 13, 1479212. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2025.1479212>
- Kavanagh, I., Burchill, W., Healy, M.G., Fenton, O., Krol, D.J. & Lanigan, G.J. (2019). Mitigation of ammonia and greenhouse gas emissions from stored cattle slurry using acidifiers and chemical amendments. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117822. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117822>
- Kebreab, E., Bannink, A., May Pressman, E., Walker, N., Karagiannis, A., van Gastelen, S. & Dijkstra, J. (2023). A meta-analysis of effects of 3-nitrooxypropanol on methane production, yield, and intensity in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 106 927–936. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22211>
- Kitani, O. (ed.), Jungbluth, T., (co-ed.), Peart, R.M., (co-ed.), Ramdani, A. (co-ed.) (1999). *CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Volume V: Energy and Biomass Engineering*. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers. ISBN 978-0929355979. 351 s.
- Kristensson, J. (2023). Metanol för utsläppsfri sjöfart vinner terräng. *Ny teknik*, Nr 5, 23 mars 2023, s. 8-9.
- Kätterer, T. & Bolinder, M. (2022). Agriculture practices to improve soil carbon storage in upland soil. In: Rumpel, C. (2022). *Understanding and fostering soil carbon sequestration*. Burleigh Dodds Series in Agricultural Science. <http://dx.doi.org/10.19103/AS.2022.0106.15>
- Lagnelöv, O. (2023). Electric autonomous tractors in Swedish agriculture. A systems analysis of economic, environmental and performance effects. Doctoral Thesis No. 2023:13, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*. Swedish University of Agricultural Sciences (SLU). ISSN 1652-6880. ISBN (print version) 978-91-8046-078-1. ISBN (electronic version) 978-91-8046-079-8. 192 s.
- Lagnelöv, O., Larsson, G., Larsolle, A. & Hansson, P-A. (2022). El-traktorers potential att minska Sveriges klimatpåverkan. – En studie av maskinsystem i lantbruket. *Mistra Food Futures Report No. 10, 2022*, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. ISBN 978-91-8046-769-8 (elektronisk). ISBN 978-91-8046-768-1 (tryckt). 38 s.
- Landsbygdens Folk. (2023). Vätgasdrift är framtiden enligt JCB. <https://www.landsbygdensfolk.fi/nyheter/vaetgasdrift-aer-framtiden-enligt-jcb> [2024-07-19]
- Lantbruksnytt. (2024). Traktorstatistik. <https://lantbruksnytt.se/traktorstatistik/> [2024-07-18]

- Lantmännen. (2019). Vägen mot ett klimatneutralt jordbruk 2050. Rapport: Framtidens jordbruk. (Hjerpe, K. (red.)). Lantmännen. 36 s.
- Lantmännen. (2021). Mjölk & Nötkött. Rapport: Framtidens jordbruk. HKScan, Arla, Växa, LRF, Lantmännen, Svenskt Kött, Yara, DeLaval. 48 s.
- Lantmännen. (2024). Soja. <https://www.lantmannen.se/hallbar-utveckling/viktiga-fragor/soja/> [2024-10-17]
- Lantmännen Biorefineries. (2025). Biobränsle. <https://www.lantmannenbiorefineries.se/biobransle/> [2025-01-20]
- LCADDataFoder. (2024). Sojamjöl. <https://lcadatafoder.se/sojamjol/> [2024-10-17]
- Liang, Y. (2022). Energy-smart poultry farming. Chapter 11 in Sims, R.E.H. (ed.) 2022. Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). S. 317-337.
- Lindahl, A. & Lundblad, M. (2021). Markanvändning på organogena jordar i Sverige. SMED Rapport Nr 21 2021. Svenska MiljöEmissionsData. <https://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1629803/FULLTEXT01.pdf> [2024-07-26]
- Lindén, B., Engström, L. (2006). Höstraps, havre och ärter som förfrukter till höstvetete – inverkan på kvävedynamiken i marken och på vetets avkastning. Winter oilseed rape, oats and field peas as crops preceding winter wheat – effect on nitrogen dynamics in the soil and on wheat yields. Rapport 4 Skara 2006, Avdelningen för precisionsodling, SLU, Skara. ISSN 1652-2788. ISBN 91-576-6892-2. 58 s.
- LRF. (2020). Färdplan för fossilfri konkurrenskraft Lantbruksbranschen. https://fossilfrittserverige.se/wp-content/uploads/2020/09/ffs_lantbruksbranschen.pdf [2025-01-29]
- LRF. (2025). Klimatklivet är viktig satsning för framtidens lantbruk. <https://www.lrf.se/nyheter/klimatklivet-ar-viktig-satsning-for-framtidens-lantbruk/> [2025-01-30]
- Länsstyrelsen Skåne. (2018). Ett klimatneutralt och fossilbränslefritt Skåne. Klimat- och energistrategi för Skåne. <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.68fbc90d193243b379e481ec/1732526290239/Klimat-%20och%20energistrategi%20f%C3%B6r%20Sk%C3%A5ne.pdf> [2025-01-29]
- Maigaard, M., Weisbjerg, M.R., Johansen, M., Walker, N., Ohlsson, C. & Lund, P. (2024). Effects of dietary fat, nitrate, and 3-nitrooxypropanol and their combinations on methane emission, feed intake, and milk production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 107, 220–241. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23420>
- Maris, S.C., Teira-Esmatges, M.R., Arbonés, A., Rufat, J. (2015). Effect of irrigation, nitrogen application, and nitrogen inhibitor on nitrous oxide, carbon dioxide and methane emissions from an olive (*Olea europaea* L.) orchard. *Science of The Total Environment*, 538, 966-978. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.040>
- Martin, D., Kranz, W., Smith, T., Irmak, S., Burr, C., Yoder, R. (2017). Center pivot irrigation handbook. Department of Biological Systems Engineering. Nebraska Extension. University of Nebraska-Lincoln. Lincoln. 136 s.
- McCarthy, B., Anex, R., Wang, Y., Kendall, A.D., Anttil, A., Haacker, E.M., Hyndman, D.W. (2020). Trends in water use, energy consumption, and carbon emissions from irrigation: Role of shifting technologies and energy sources. *Environmental Science and Technology*, 54, 15329-15337.
- Meuwissen, M.P.M., Feindt, P.H., Spiegel, A., Termeer, C.J.A.M., Mathijs, E., de Mey, Y., Finger, R., Balmann, A., Wauters, E., Urquhart, J., Vigani, M., Zawalińska, K., Herrera, H., Nicholas-Davies, P., Hansson, H., Paas, W., Slijper, T., Coopmans, I., Vroege, W., Ciechomska, A., Accatino, F., Kopainsky, B., Poortvliet, P.M., Candel, J.J.L., Maye, D., Severini, S., Senni, S., Soriano, B., Lagerkvist, C-J., Peneva, M., Gavrilescu, C. & Reidsma, P. (2019). A framework to assess the resilience of farming systems. *Agricultural Systems*, 176, 102656. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102656>
- Micena, R.P., Llerena-Pizarro, O.R., de Souza, T.M. & Silveira, J.L. 2020. Solar-powered Hydrogen Refueling Stations: A techno-economic analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 2308-2318. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.11.092>
- Miljöfordon Sverige. (2021). Traktor från New Holland drivs med biogas. <https://miljofordonsverige.se/nyheter/traktor-fran-new-holland-som-drivs-med-biogas/> [2024-07-19]
- Moate, P.J., Williams, S.R.O., Torok, V.A., Hannah, M.C., Ribaux, B.E., Tavendale, M.H., Eckard, R.J., Jacobs, J.L., Auld, M.J. & Wales, W.J. (2014). Grape marc reduces methane emissions when fed to dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(8), 5073–5087. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7588>

- Mondal, P., Tewair, V. (2007). Present status of precision farming, a review. *International Journal of Agricultural Research*, 5(12), 1124-1133.
- MSB. (2013). Resiliens. Begreppets olika betydelser och användningsområden. MSB569-2013. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), Karlstad. ISBN 978-91-7383-349-3.
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang. (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.
- N2 Applied. (2024). We Make Fertiliser Production Circular, Local And Electric. <https://n2applied.com/> [2024-10-30]
- Nationella emissionsdatabasen. (2024a). Nationella emissionsdatabasen. <https://nationellaemissionsdatabasen.smhi.se/> [2024-07-24]
- Nationella emissionsdatabasen. (2024b). Användarmanual för Nationella emissionsdatabasen. https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.174783!/Anv%C3%A4ndarmanual%20Nationella%20emissionsdatabasen%202024.pdf [2024-07-24]
- Naturskyddsföreningen. (2024). Soja – allt du behöver veta. <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/soja-allt-du-behoover-veta/> [2024-10-17]
- Naturvårdsverket, Boverket. (2019). Klimatscenarier för bygg- och fastighetssektorn. Förslag på metod för bättre beslutsunderlag. En samverkansåtgärd mellan Boverket och Naturvårdsverket inom ramen för Miljömålsrådets arbete. Naturvårdsverket, Stockholm och Boverket, Karlskrona. 34 s.
- Naturvårdsverket. (2024a). EU:s klimatmål till 2030 och 2050. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-del-av-ous-klimatmal/> [2024-10-22]
- Naturvårdsverket. (2024b). Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-klimatmal-och-klimatpolitiska-ramverk/> [2024-10-22]
- Naturvårdsverket. (2025). Beräkna klimatpåverkan. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/luft-och-klimat/berakna-klimatpaverkan/> [2025-01-23]
- Neuman, L. (2009). Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008. LRF Konsult.
- Neuman, L. (2013a). Handbok om energieffektivisering. Energieffektivisering i djurproduktionen. LRF Konsult, Ulricehamn. 344 s.
- Neuman, L. (2013b). Bra teknik för att spara energi i djurproduktion. Ett delprojekt inom projekt Underlag energieffektivisering. LRF Konsult, Ulricehamn. 60 s.
- New Holland. (2024a). T6 Methane Power. <https://agriculture.newholland.com/en-gb/europe/products/agricultural-tractors/t6-methane-power> [2024-09-03]
- New Holland. (2024b). H2 Dual Power. <https://h2dualpower.com/en> [2024-09-15]
- Nilsson, J., Ernfors, M., PradeT. & Hansson, P-A. (2024). Cover crop cultivation strategies in a Scandinavian context for climate change mitigation and biogas production – insights from a life cycle perspective. *Science of the Total Environment*, 918, 170629.
- NordForsk. (2024). Green Hydrogen and Platform Chemicals from Agricultural Residues (AGRI-WASTE2H2). <https://www.nordforsk.org/projects/green-hydrogen-and-platform-chemicals-agricultural-residues-agri-waste2h2> [2024-09-15]
- Noreen, A., Andersson, J., Markensten, T. (2017). Handlingsplan för klimatanpassning Jordbruksverkets arbete med klimatanpassning inom jordbruks- och trädgårdssektorn. Jordbruksverket. Rapport 2017:7. 56 s.
- Nyvold, M. & Dörsch, P. (2024). Complete elimination of methane formation in stored livestock manure using plasma technology. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1370542. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1370542>
- Olesen, J.E., Petersen, S.O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P. & Lassen, J. (2018). Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. DCA Rapport nr 130 - September 2018. Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug (DCA), Aarhus Universitet. 118 s.
- Olsson, C.-J. (2004). Potatislagering. Potato storing. Examensarbete i Lantmästarprogrammet 02/04:34, Inst. f. västvetenskap, SLU, Alnarp. 23 s.

- O'Shea, R., Wall, D. & Murphy, J.D. (2016). Modelling a demand driven biogas system for production of electricity at peak demand and for production of biomethane at other times. *Bioresource Technology*, 216, 238–249. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.050>
- Palys, M.J., Wang, H., Zhang, Q. & Daoutidis, P. (2021). Renewable ammonia for sustainable energy and agriculture: vision and systems engineering opportunities. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 31, 100667.
- Paulsson, M. (red.). (2020). Sammanfattande slutrapport för projektet Rest till Bäst (steg 2). https://www.ri.se/sites/default/files/2022-06/slutrapport%20RtB_0.pdf [2025-01-30]
- Pedersen, C., Hellevang, K. (2019). Livestock Buildings Energy Efficiency Checklist and Tips. *Farm energy*, 3 April, 2019. <https://farm-energy.extension.org/livestock-buildings-energy-efficiency-checklist-and-tips>. [2022-10-21]
- Pelletier, N., Lammers, P., Stender, D., Pirog, R. (2010). Life cycle assessment of high- and low-profitability conventional and deep-bedded niche swine production systems in the upper midwestern United States. *Agricultural Systems*, 103(9), 599-608.
- Pelletier, N., Audsley, E., Brodt, S., Garnett, T., Henriksson, P., Kendall, A., Kramer, K.J., Murphy, D., Nemecek, T., Troell, M. (2011). Energy Intensity of Agriculture and Food Systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 36, 223-246.
- Persson, M. (2003). Utvärdering av uppgraderingstekniker för biogas. Rapport SGC 142, Svenskt Gastekniskt Center – November 2003. ISSN 1102-7371. ISRN SGC-R--142-SE. 84 s.
- Phocaides, A. (2007). Handbook on pressurized irrigation techniques. 2:nd edition. FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. ISBN 978-92-5-105817-6. 282 s.
- Pimentel, D., Williamson, S., Alexander, C.E., Gonzalez-Pagan, O., Kontak, C., Mulkey, S.E. (2008). Reducing Energy Inputs in the US Food System. *Human Ecology*, 36, 459-471.
- Pinsard, C. & Accatino, F. (2023). European agriculture's robustness to input supply declines: A French case study. *Environmental and Sustainability Indicators*, 17, 100219. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100219>
- Pinto, F., Martins, S., Gonçalves, M., Costa, P., Gulyurtlu, I., Alves, A., Mendes, B. (2013). Hydrogenation of rapeseed oil for production of liquid bio-chemicals. *Applied Energy*, 102, 272-282.
- Pochwatka, P., Rozakis, S., Kowalczyk-Ju'sko, A., Czekala, W., Qiao, W., Nägele, H-J., Janczak, D., Mazurkiewicz, J., Mazur, A. & Dach, J. (2023). The energetic and economic analysis of demand-driven biogas plant investment possibility in dairy farm. *Energy*, 283, 129165. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129165>
- Poore, J. & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360, 987–992.
- Ramachandran, V., Ramalakshmi, R., Srinivasan, S. (2018). An Automated Irrigation System for Smart Agriculture Using the Internet of Things. 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV), Singapore, November 18-21, 2018. S. 210-215.
- Reardon-Smith, K., Mushtaq, S., Scobie, M., Eberhard, J., Maraseni, T.N. (2022). Efficient water management and irrigation on farms. Chapter 4 in Sims, R.E.H. (ed.) (2022). *Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability*. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). S. 103-133.
- Region Skåne. (2017). Skånes livsmedelsstrategi 2030. Smart mat. https://utveckling.skane.se/siteassets/publikationer/rs_smartmat_0111_low.pdf [2025-01-31]
- Region Skåne. (2025). Solbruk. <https://utveckling.skane.se/regional-utveckling/verksamhetsomraden/miljo-och-klimat/solbruk/> [2025-01-30]
- Reidsma, P., Accatino, F., Appel, F., Gavrilescu, C., Krupin, V., Manevska Tasevska, G., Meuwissen, M.P.M., Peneva, M., Severini, S., Soriano, B., Urquhart, J., Zawali'nska, K., Zinnanti, C. & Paas, W. (2023). Alternative systems and strategies to improve future sustainability and resilience of farming systems across Europe: from adaptation to transformation. *Land Use Policy*, 134, 106881. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106881>
- Reisinger, A., Clark, H., Cowie, A.L., Emmet-Booth, J., Gonzalez Fischer, C., Herrero, M., Howden, M. & Leathy, S. (2021). How necessary and feasible are reductions of methane emissions from livestock to support stringent temperature goals? *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379(2210):20200452. <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0452>

- Riksdagen. (2021). Lantbrukets sårbarhet – en uppföljning. 2020/21:RFR7. Riksdagstryckeriet, Stockholm. ISSN 1653-0942, ISBN 978-91-7915-025-9.
- RISE. (2022a). Precisionsodling för hållbar livsmedelsproduktion. <https://www.ri.se/sv/berattelser/precisionsodling-for-hallbar-livsmedelsproduktion>. [2022-10-12]
- RISE. (2022b). Digitalisering som verktyg för ett hållbart och lönsamt jordbruk. <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/expertiser/digitaliserat-jordbruk>. [2022-10-12]
- RISE. (2022c). Testbädd för digitaliserat jordbruk. <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/test-demo/digitaliserat-jordbruk>. [2022-10-12]
- RISE. (2024a). Öppna listan – ett utdrag från RISE klimatdatabas för livsmedel v 2.3 (2024). <https://www.ri.se/sites/default/files/2024-12/RISE%20%C3%96ppna%20listan%202.3%202024.pdf> [2025-01-22]
- RISE. (2024b). Energigemenskaper gör det möjligt att dela el med varandra. <https://www.ri.se/sv/berattelser/energigemenskaper-gor-det-mojligt-att-dela-el-med-varandra> [2024-12-21]
- Rodhe, L., Alverbäck, A., Ascue, J., Edström, M., Nordberg, Å., Pizzul, L. & Tersmeden, M. (2018). Åtgärder för att minimera växthusgasutsläpp från lager med rötdad och orötdad gödsel. RISE Rapport 2018:18. RISE Research Institutes of Sweden AB, Uppsala. ISBN: 978-91-88695-53-6.
- Roosevelt, M., Raile, E.D. & Anderson, J.R. (2023). Resilience in Food Systems: Concepts and Measurement Options in an Expanding Research Agenda. *Agronomy*, 13, 444. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020444>
- Roques, S., Martinez-Fernandez, G., Ramayo-Caldas, Y., Popova, M., Denman, S., Meale, S.J. & Morgavi, D.P. (2024). Recent advances in enteric methane mitigation and the long road to sustainable ruminant production. *Annual Review of Animal Biosciences*, 12, 321–43. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021022-024931>
- Rothausen, S.G.S.A., Conway, D. (2011). Greenhouse-gas emissions from energy use in the water sector. *Nature Climate Change*, 1, 210-219. <https://doi.org/10.1038/nclimate1147>
- Rotz, C.A., Montes, F. & Chianese, D.S. (2010). The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. *Journal of Dairy Science*, 93(3), 1266-1282. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2162>
- Röös, E., Bajzelj, B., Weil, C., Andersson, E., Bossio, D. & Gordon, L.J. (2021a). Moving beyond organic – A food system approach to assessing sustainable and resilient farming. *Global Food Security*, 28, 100487. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100487>
- Röös, E., Säll, S. & Moberg, E. (2021b). Effekter av en klimatskatt på livsmedel. Rapport 6965. Naturvårdsverket, Stockholm. ISBN 978-91-620-6965-0.
- Sáenz-Baños, M., Latorre-Biel, J.I., Martínez-Cámara, E., Jiménez-Macías, E., Longo, F. & Blanco-Fernández, J. (2022). Methodology for energy demand reduction of potato cold storage process. *Journal of Food Process Engineering*. 2022;45:e14127. 13 s. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14127>
- Safa, M. (2022). Measuring and auditing on-farm energy use. Chapter 1 in Sims, R.E.H. (ed.) 2022. Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). S. 3-32.
- Salomon, E., Wivstad, M. (2013). Rötrest från biogasanläggningar - återföring av växtnäring i ekologisk produktion. SLU - Sveriges lantbruksuniversitet, EPOK - Centrum för ekologisk produktion och konsumtion. ISBN: 978-91-576-9182-8. 33 s.
- Sanford, S. (2019). Refrigeration Systems for Milk Cooling. *Farm energy*, 3 April, 2019. <https://farm-energy.extension.org/refrigeration-systems-for-milk-cooling/> [2022-10-21]
- SCB. (2024a). Fordonsbestånd 2001–2022. Statistiska Centralbyrån. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/transporter-och-kommunikationer/vagtrafik/fordon/pong/tabell-och-diagram/fordonsbestand/> [2024-07-16]
- SCB. (2024b). Utsläpp och upptag av växthusgaser från markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk efter typ av växthusgas och delsektor. År 1990 – 2022. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0107/MI0107MarkanvNN/ [2024-07-26]
- SCB. (2024c). Tillförsel av kväve, ton, efter region och grödgrupp. Urvalsundersökning, se fotnoter. År 1998/1999 - 2021/2022. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI1001/NTonGrGrpLanPO/ [2023-03-26]

- SCB. (2025). Utsläpp av växthusgaser från jordbruk efter växthusgas och delsektor. År 1990 – 2023. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0107/MI0107JordbrukN/ [2025-01-23]
- Scherer, T., Pedersen, O. (2019). Irrigation Energy Efficiency Checklist and Tips. *Farm energy*, 3 April, 2019. <https://farm-energy.extension.org/irrigation-energy-efficiency-checklist-and-tips/> [2022-10-21]
- Schmuecker Renewable Energy System. (2024). The solar-hydrogen-ammonia system. <https://solarhydrogensystem.com/applications/system-overview-diagram-and-detail/> [2024-09-15]
- Seekell, D., Carr, J., Dell'Angelo, J., D'Odorico, P., Fader, M., Gephart, J., Kummu, M., Magliocca, N., Porkka, M., Puma, M., Ratajczak, Z., Rulli, M.C., Suweis, S. & Tavoni, A. (2017). Resilience in the global food system. *Environmental Research Letters*, 12, 025010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5730>
- Sekab. (2022). ED95 – svensktillverkat biodrivmedel. <https://www.sekab.com/sv/produkter-tjanster/produkt/ed95/> [2022-08-19]
- Shine, P., Murphy, M.D., Upton, J. (2022). Tools and technologies to reduce fossil energy use on dairy farms. Chapter 9 in Sims, R.E.H. (ed.) (2022). *Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability*. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). S. 265-288.
- Sims, R.E.H. (2022a). *Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability*. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). 370 s.
- Sims, R.E.H. (2022b). *Energy-smart innovation and renewable energy systems on farms: an overview*. Chapter 6 in Sims, R.E.H. (ed.) (2022). *Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability*. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). S. 165-200.
- Sindhöj, E., Mjöfors, K. & Baky A. (2022). Surgörning av flytgödsel som åtgärd för minskade utsläpp av ammoniak och växthusgaser i Sverige. RISE Rapport 2022:75. RISE Research Institutes of Sweden AB, Uppsala.
- Skogsstyrelsen. (2022). Underlag för strategisk planering för ökad kolsänka. Regeringsuppdrag. Rapport 2022/14. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Skånes effektkommission. (2025). Skånes effektkommission. <https://utveckling.skane.se/regional-utveckling/verksamhetsomraden/energiforsorjning/skanes-effektkommission/> [2025-01-30]
- SLU. (2023). Växthusgaserna - koldioxid, metan och lustgas. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/epok-centrum-for-ekologisk-produktion-och-konsumtion/vad-sager-forskningen/klimat/vaxthusgaserna---koldioxid-metan-och-lustgas/> [2024-07-24]
- SLU. (2024a). Soja i fodret till våra husdjur. <https://www.slu.se/institutioner/institutionen-for-tillampad-husdjursvetenskap-och-valfard/specialsidor/soja-till-husdjur/> [2024-10-17]
- SLU. (2024b). Många fördelar med en ökad användning av biogas. <https://www.slu.se/forskning/kunskapsbank/a2023/manga-fordelar-med-en-okad-anvandning-av-biogas/> [2024-11-25]
- Smil, V. (2008). *Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems*. Cambridge, MA: The MIT Press. ISBN 978-0262693561. 494 s.
- SOU. (2021). Vägen mot fossiloberoende jordbruk. Statens offentliga utredningar 2021:67, Regeringskansliet, Stockholm.
- SOU. (2024). Livsmedelsberedskap för en ny tid. Betänkande av Utredningen om en ny livsmedelsberedskap. SOU 2024:8. Statens offentliga utredningar (SOU), Stockholm.
- Souza, E.F.C., Rosen, C.J. & Venterea, R.T. (2019). Contrasting effects of inhibitors and biostimulants on agronomic performance and reactive nitrogen losses during irrigated potato production. *Field Crops Research*, 240, 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.05.001>
- Spackman, P. (2015). How to improve energy in potato stores. *Farmers Weekly*. <https://www.fwi.co.uk/business/improve-energy-potato-stores> [2025-01-29]

- Stein, L.Y. & Lidstrom, M.E. (2024). Greenhouse gas mitigation requires caution. Strategies to mitigate emissions must consider methane and nitrous oxide together. *Science*, 384(6700), 1068-1069. <http://doi.org/10.1126/science.adp8824>
- Stout, B.A. (1990). *Handbook of Energy for World Agriculture*. London; New York: Elsevier Science Publishing Co. ISBN 978-1-85166-349-1. 504 s.
- Städje, J. (2023). Elektrobränsle, modeord eller realitet. *Energinyheter* 17 oktober 2023. <https://www.energinyheter.se/20231019/30130/elektrobransle-modeord-eller-realitet> [2023-12-12]
- Svensson, K. (2017). Nya metoder för att uppgradera och lagra biogas. Energimyndigheten. <https://www.energimyndigheten.se/arkiv-for-resultat/Resultat/nya-metoder-for-att-uppgradera-och-lagra-biogas/> [2023-12-15]
- Svensson, S.-E. (2003). Bevattning i grönsaksodling. Broschyren är en del i kurspärmen "Ekologisk odling av grönsaker på friland" 2003. Jordbruksverket, Jönköping. 10 s.
- Svensson, S.-E., Johansson, E., Kreuger, E. & Prade, T. (2025). Evaluating intermediate crops for biogas production – Effects of nitrogen fertilization and harvest timing on biomass yield, methane output and economic viability. *Biomass and Bioenergy*, 192, 107497.
- Sveriges Energigemenskaper. (2024). Energigemenskaper. <https://www.sverigesenergigemenskaper.se> [2024-12-21]
- Superstate. (2024). Renewable Ammonia Production. <https://www.superstate.se/innovations/> [2024-09-03]
- Svenska Kraftnät. (2024). Behov av reserver idag och i framtiden. <https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/behov-av-reserver-nu-och-i-framtiden/> [2024-12-18]
- Svepretur. (2024). En enkel återvinningslösning. <https://svepretur.se/> [2024-08-19]
- Tabler, T. (2022). Advances in energy-efficient lighting and ventilation for food production systems. Chapter 2 in Sims, R.E.H. (ed.) (2022). *Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability*. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). S. 33-69.
- Taghavifar, H. (2022). Experimental and numerical engine cycle setup for a dual fuel hydrogen, methane, and hythane with diesel to assess the effect of water injection and nozzle geometry. *Environ Prog Sustainable Energy*, 42, e13936. <http://doi.org/10.1002/ep.13936>
- Thapa, R., Chatterjee, A., Awale, R., McGranahan, D.A. & Daigh, A. (2016). Effect of enhanced efficiency fertilizers on nitrous oxide emissions and crop yields: a metanalysis. *Soil Science Society of America Journal*, 80, 1121-1134. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.06.0179>
- Trafikanalys. (2024). Fordon 2023. https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.scb.se%2Fcontentassets%2F16d5da22fcb047c08e8ede9d46596465%2Ffordon_2023_240222.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK [2024-07-16]
- Trioworld. (2024). Hållbara lösningar för plastfilm. <https://www.trioworld.se/> [2024-08-19]
- Trost, B., Prochnow, A., Drastig, K., Meyer-Aurich, A., Ellmer, F., Baumecker, M. (2013). Irrigation, soil organic carbon and N₂O emissions. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 733-749. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0134-0>
- Urruty, N., Tailliez-Lefebvre, D. & Huyghe, C. (2016). Stability, robustness, vulnerability and resilience of agricultural systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 36, 15. <http://doi.org/10.1007/s13593-015-0347-5>
- Villarroel-Schneider, J. Hoglund-Isaksson, L., Mainali, B., Martí-Herrero, J., Cardozo, E., Malmquist, A. & Martin, A. (2022). Energy self-sufficiency and greenhouse gas emission reductions in Latin American dairy farms through massive implementation of biogas-based solutions. *Energy Conversion and Management*, 261, 115670. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115670>
- Vlek, P.L.G., Rodríguez-Kuhl, G., Sommer, R. (2004). Energy use and CO₂ production in tropical agriculture and means and strategies for reduction or mitigation. *Environment, Development and Sustainability*, 6(1/2), 213-233.
- Växa. (2024). Hållbarhetsrådgivning. <https://www.vxa.se/radgivning-och-kurser/affarsutveckling/hallbarhetsradgivning/> [2024-10-17]
- Wallenhammar, A.-C. (1997). Klumprotsjuka på oljeväxter. Faktblad om växtskydd 44 J, Jordbruk, SLU, Uppsala. ISSN 1100-5025. 4 s.
- Wikipedia. (2023a). Värmepump. <https://sv.wikipedia.org/wiki/V%C3%A4rmepump> [2023-12-18]

- Wikipedia. (2023b). Fischer-Tropsch process. https://en.wikipedia.org/wiki/Fischer%E2%80%93Tropsch_process [2023-11-30]
- Wikipedia. (2024a). Global warming potential. https://sv.wikipedia.org/wiki/Global_warming_potential [2024-07-24]
- Wikipedia. (2024b). Electrofuel. <https://en.wikipedia.org/wiki/Electrofuel> [2024-12-20]
- Wikipedia. (2025). Biokol. <https://sv.wikipedia.org/wiki/Biokol> [2025-01-20]
- Wolf, K.A., Børgesen, C.D., Plauborg, F. & Petersen, S.O. (2022). Nitrous oxide and nitrate as indicators of subsoil removal of N in pig slurry applied to Luvisols in Western Denmark. *Geoderma Regional*, 28, e00441. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00441>
- Yara. (2024). Gödsel med lågt klimatavtryck. <https://www.yara.se/vaxtnaring/fossilfri-mineralgodsel/> [2024-08-15]
- Zurek, M., Ingram, J., Sanderson Bellamy, A., Goold, C., Lyon, C., Alexander, P., Barnes, A., Bebbler, D.P., Breeze, T.D., Bruce, A., Collins, L.M., Davies, J., Doherty, B., Ensor, J., Franco, S.C., Gatto, A. Hess, T., Lamprinopoulou, C., Liu, L., Merkle, M., Norton, L., Oliver, T., Ollerton, J., Potts, S., Reed, M.S., Sutcliffe, C. & Withers, P.J.A. (2022). Food System Resilience: Concepts, Issues, and Challenges. *Annual Review of Environment and Resources*, 47, 511–34. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112320-050744>