



Framtidens hållbara lantbruk

Rapport för syntesprojekt JTI-19-82-289

Eva Edin, Niels Andresen, Anna Dencker, Karin Granström, Anita Gunnarsson, Cecilia Hermanson, Sandra Lindström, Zahra Omer, John Strand, Line Strand, Per Ståhl, Ann-Charlotte Wallenhammar. 2020.

Huvudorganisation: Hushållningssällskapet HS Konsult AB

Förord

Hållbar produktion är nyckeln till en säker livsmedelsförsörjning och biosfärens fortlevnad. I denna syntesrapport är vårt uppdrag från Stiftelsen JTI och Stiftelsen Lantbruksforskning att sammanfatta kunskapsläget idag, undersöka utvecklingsmöjligheter och formulera forskningsbehov inom respektive tema som förmedlades i utlysningstexten. Vi valde tema 1. Klimat-, miljö- och produktionsutmaningar – svenskt jordbruk måste vara redo med fyra målområden med respektive underliggande utmaningar. Vi fokuserar på möjligheter och utmaningar för att denna person, kallad Kim, på 24 år som vill starta ett eget företag på gården som vederbörande har tagit över efter morfar. Gården ägdes av morfar och drevs genom enskilda firma. Kim valde att köpa gården och starta ett aktiebolag för driften, som arrenderar gården av den enskilda firman som Kim startade i samband med gårdsköpet. Inriktningen på gården och företaget är presenterad som två typgårdar. Vi utformade typgårdarna så att det finns två olika alternativ (scenarier) för Kim att driva sitt företag.

Syntesen syftar till att vara ett stöd för stiftelserna att formulera framtida forskningsutlysningar och att vi får ge vår bild över det svenska lantbruket med dess tillgångar och utvecklingsmöjligheter. Vi är visionära och våra typgårdar ska vara resurshushållande. Vi har lagt fokus på hållbar produktion oavsett om driften är ekologisk eller konventionell. Vi har valt mjölkproduktion respektive ren växtodling på de två typgårdarna. På växtodlingsgården odlas vall eftersom den utgör en så stor del i klimatanpassningen av jordbruket. Lammproduktion kompletterar båda gårdarnas nyttjande av mark.

Vi utgår ifrån utmaningarna inom de fyra målområdena som beskrivs i bakgrundsdokumentet *FoU-program för Stiftelsen JTI - Framtidens Jordbruks- och Miljöteknik*. Vi valde att göra större ämnesområden utifrån de utmaningar som vi ansåg oss ha möjlighet att avhandla. Inom varje ämnesområde ingår flertalet utmaningar och vi har valt att belysa viktiga delar att i sektionerna *Kunskapsläget idag*, *Utvecklingsmöjligheter* och *Forskningsbehov*. I de två sistnämnda analyseras kunskapsluckor och de frågeställningar som dagens lantbrukare och rådgivare har inför framtiden. Det var ett stort antal utmaningar formulerade i FoU-programmet och vi har valt att inte analysera alla. Däremot har vi lagt till utmaningar som vi saknade, såsom ekosystemtjänster, metangasemission och generationsväxling. Slutligen har teknologin inom forskningsbehoven värderats utifrån vart skalan de befinner sig utifrån Technology Readiness Level (TRL) som mäter mognadsgraden för teknologin, vilket används inom Horisont 2020.

Stiftelsen JTI har som övergripande mål att stärka konkurrenskraften och lönsamheten inom jordbruk och industri samt att förbättra miljö och hushållningen med naturresurser. Genom att under perioden 2019–2027 ge anslag till målinriktad forskning, utveckling samt spridande av information inom de jordbruks- och miljötekniska områdena hjälper Stiftelsen JTI till att vi alla tillsammans kan säkra livsmedelsförsörjningen, upprätthålla en levande landsbygd och få den ekonomiska och socioekonomiska verkligheten att växa. Vi är glada och stolta över att vi har fått denna möjlighet att med vår samlade kunskap och erfarenheter presentera vad vi anser skall prioriteras på forskningsfronten med en visionär utgångspunkt i vad vi tror behövs i framtiden för att bedriva en ekonomiskt lönsam och resurshushållande lantbruksproduktion.

Eva Edin med medförfattare
Brunnby, Västerås 15 juni 2020.

Sammanfattning

Denna syntes om framtidens hållbara och resurshushållande lantbruk utgår från temat *Klimat-, miljö- och produktionsutmaningar – svenskt jordbruk måste vara redo* som Stiftelsen JTI och Stiftelsen Lantbruksforskning formulerade för sina framtida utlysningar. I syntesrapporten beskrivs författargruppens analyser och visioner utifrån temats fyra beskrivna målområden och utmaningar men fördelat på fyra fokusområden: *växtodling, hållbara energisystem på gården, animalieproduktion* samt *social hållbarhet* fördelat i sektionerna *Kunskapsläget idag, Utvecklingsmöjligheter* och *Forskningsbehov*. Därmed har vi slagit ihop några utmaningar som överlappade varandra samt har lagt till några egna ämnen utifrån våra erfarenheter. Denna syntesrapport knyter an till de 14 av de svenska miljökvalitetsmålen: Begränsad klimatpåverkan, Frisk luft, Bara naturlig försurning, Giffri miljö, Ingen övergödning, Levande sjöar och vattendrag, Grundvatten av god kvalitet, Hav i balans samt levande kust och skärgård, Myllrande våtmarker, Ett rikt odlingslandskap, Ett rikt växt- och djurliv, God bebyggd miljö, Levande skogar samt Skyddande ozonskikt. Varje avsnitt inom forskningsbehov inleds med en analys om vart på TRL-skalan (Technology Readiness Level) som de föreslagna forskningsfrågorna befinner sig.

Vi beskriver två scenarier för Kim, 24 år, som vill starta upp egen verksamhet och utveckla den. Gården och dess förutsättningar är desamma i båda typgårdarna. Skillnaden dem emellan ligger i valet av produktionsinriktning som Kim gör vid övertagandet. I Typgård 1 med mjölkproduktion fortsätter Kim att driva gården med mjölkkor och en växtodling anpassad till de egna djuren med naturbeten och växtodling som bas. I Typgård 2 väljer Kim att driva gården som en ren växtodlingsgård som i framtiden utvecklar produktionen och bedriver en mångsidig och resurshushållande produktion.

Växtodlingen på Typgård 1 domineras av vall men det ingår även proteingrödor, raps och spannmål medan växtföljden på Typgård 2 har inslag av spannmål, raps, åkerböna och grödor som klassas som nya proteingrödor, såsom quinoa och lins. För att behålla vallen i växtföljden på växtodlingsgården finns ett samarbete med flera gårdar med syfte att producera växtprotein från vall samt hästfoder. Naturbetesmarkerna, skogen och ibland vallarna betas av inlånade får och i den gamla ladugården har ett företag hyrt in sig för att odla svamp och sallad. Båda typgårdarna tar till vara på restavfall och producerar egen el.

Innehållsförteckning

Frågorna på bordet: de svenska miljömålen och klimatarbetet.....	6
1 Växtproduktion	8
1.1 Växterna i odling och dess användning	8
1.1.1 Odling av proteingrödor	12
1.1.2 Vallen som grovfoder och proteingröda	16
1.2 Produktionsteknik och ogräsreglering	20
1.2.1 Får som miljövänlig bekämpningsmetod mot oönskad växtlighet.....	23
1.3 Växtens hälsa och smittskydd	25
1.4 Gödsling och näringskretslopp.....	35
1.4.1 Stallgödsel.....	35
1.4.2 Separering av stallgödsel.....	36
1.4.3 Kväveläckage i lager av stallgödsel.....	36
1.4.4 Kväveförluster vid spridning av stallgödsel.....	37
1.4.5 Förädling av stallgödsel och biogödsel.....	37
1.4.6 Risker med stallgödsel.....	38
1.4.7 Näringsämnen på vallbeten	38
1.4.8 Presisionsgödsling vid sådd.....	39
1.5 Markförbättrande åtgärder.....	44
1.5.1 Jordbearbetning.....	44
1.5.2 Marknadsmekanismer för ökad kolinlagring – exemplet biokol	47
1.6 Biologisk mångfald, ekosystemtjänster och ekologisk intensifiering.....	51
1.7 Vattenhushållning	57
2 Hållbara energisystem på gården – exemplet biogas	60
3 Animalieproduktion	66
3.1 Djurvälstånd	67
3.2 Överlevnad och hållbarhet	68
3.3 Teknik och managementsystem	69
3.4 Logistik och energieffektivisering.....	70
3.5 Utfodring och idisslarnas fodermältning.....	71

3.6	Betesdrift i ett varmare klimat.....	72
3.7	Biprodukter från animalieproduktionen	74
4	Social hållbarhet.....	75
4.1	Sveriges förändrade lantbruk – 1990 till 2018.	75
4.2	Betydelsen av starka nätverk på landsbygden	76
4.3	Generationsväxling eller brukarväxling?	77
4.4	Verktyg för att utvärdera gårdens resurshushållning och hållbarhet.....	79
4.5	Proteinskiftet inom humankonsumtion	81
4.6	Hälsaspekter av emissioner av ammonium, koldioxid och metan från lantbrukskällor 82	
5	Två scenarier för lantbruksföretaget: Typgårdarna år 2032.....	86
5.1	Typgård 1: Mjölkgård	87
5.2	Typgård 2: Växtodlingsgård	90
6	Slutsats.....	94
7	Tack!	96
8	Referenser	97

Frågorna på bordet: de svenska miljömålen och klimatarbetet

Världen står inför ett avgörande skifte för att kunna säkra vår framtid och livsmedelsförsörjning. Stiftelsen JTI och Stiftelsen Lantbruksforskning utlyste hösten 2019 medel för att konkretisera forskningsbehoven inom de jordbruks- och miljötekniska områdena. Stiftelsen JTI har utformat fyra strategiska mål med formulerade utmaningar där målinriktad forskning behövs: 1. *Hållbar produktion inom jordbruks- & miljöteknik*, 2. *Smart Farming & Produktutveckling*, 3. *Produktionsteknik* samt 4. *Miljö & Hälsa, Användarvänlighet*. Under arbetets gång fastställde vi att de aspekter som vi beaktade kopplades in i flera mål eller utmaningar, varvid vi valde att lägga om det till fyra fokusområden: *växtodling, hållbara energisystem på gården, animalieproduktion* samt *social hållbarhet*. Inom varje avsnitt har vi beaktat de av Stiftelsen JTI formulerade mål och utmaningar och vävt in dem i utifrån aspekterna *Kunskapsläge idag, Utvecklingsmöjligheter* och *Forskningsbehov*. Vi har valt att inte behandla alla utmaningar eller slagit ihop några på grund av att de var överlappande eller ej aktuella för de två typgårdar som vi har utformat och utgår ifrån. Vi har även lagt till egna utmaningar utifrån våra erfarenheter och visioner om ett resurshushållande lantbruk. Slutligen samlar vi ihop all kunskap och presenterar två tänkbara scenarier, Typgård 1 och Typgård 2, för den produktionsinriktning/-ar som Kim, 24 år, väljer att ha på sitt lantbruksföretag.

Framtidens hållbara och resurshushållande lantbruk är starkt involverat i Regeringens Livsmedelsstrategi som togs fram under 2017 (Näringsdepartementet, 2017). I sammanfattningsbroschyren står det skrivet att "Regeringen anser att den svenska livsmedelsproduktionen och livsmedelskedjan har goda möjligheter att bidra till samhället genom sysselsättning, hållbar tillväxt och kollektiva nyttigheter". Sverige har goda förutsättningar för att klara detta och Tillväxtverket och Jordbruksverket skrev tillsammans ett förslag till åtgärder till handlingsplan för arbetet med livsmedelsstrategin 2020-2022 (Tillväxtverket & Jordbruksverket, 2019).

En annan viktig del i formuleringarna av framtidens resurshushållande lantbruk är riktlinjerna från FAO SAFA, *The SAFA Guidelines*¹. SAFA är akronymen för *Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems* och innefattar fyra dimensioner översatt till ekologisk integritet, ekonomisk uthållighet, social välmående samt gott ledarskap. Dimensionerna är i sig uppdelade i 21 ämnen med 58 undergrupper där konkreta mål har formulerats för att underlätta utvärderingen av resurshushållande förmåga. Riktlinjerna är internationellt godtagna och är det första som ger ett enhetligt ramverk för att kunna utföra standardiserade, jämförbara och transparenta utvärderingar inom lantbrukssektorn och livsmedelsproduktionen.

Samtidigt är de svenska miljömålen som Regeringen lade fram 1999² och som varit riktmärken för det svenska miljöarbetet ledande. Naturvårdsverket har haft i uppdrag att följa upp arbetet med miljömålen och utkom i april 2020 med rapporten *Fördjupad utvärdering av miljömålen*

¹ <http://www.fao.org/nr/sustainability/sustainability-assessments-safa/en/>

² <http://www.sverigesmiljomal.se/>

2019 (Naturvårdsverket, 2020). Sveriges miljömål är uppdelat i tre stora områden. *Generationsmålet* vars slutsats är att nästa generation ska kunna ta över ett samhälle där de stora miljöproblemen är lösta, utan att orsaka ökade miljö- och hälsoproblem utanför Sveriges gränser. Det finns 16 *miljökvalitetsmål* som beskriver det tillstånd i den svenska miljön som behövs uppnås för att samhället ska vara ekologiskt hållbart. Arbetet med uppföljning och utvärdering av miljökvalitetsmålen drivs av åtta olika myndigheter. *Etappmålen* är sedan de milstolpar på vägen mot generationsmålet och miljökvalitetsmålen som vägleder olika aktörer i deras arbete för ett mer hållbart samhälle. Denna syntesrapport knyter an till 14 av de 16 miljökvalitetsmålen som listas nedan där de två sistnämnda inte beaktas nämnvärt här: Begränsad klimatpåverkan, Frisk luft, Bara naturlig försurning, Giffri miljö, Ingen övergödning, Levande sjöar och vattendrag, Grundvatten av god kvalitet, Hav i balans samt levande kust och skärgård, Myllrande våtmarker, Ett rikt odlingslandskap, Ett rikt växt- och djurliv, God bebyggd miljö, Levande skogar, Skyddande ozonskikt, Storslagen fjällmiljö samt Säker strålmiljö.

Den 20 maj 2020 lade EU-kommisionen fram två strategier som en del i ”Den europeiska gröna given” (The European Green Deal)³. Den ena innefattar från jord till bord, ”*Farm to Fork strategy*”⁴ med focus på minskad användning av pesticider och näringsförluster samtidigt som mängden gödselmedel ska minskas. Strategin berör också antibiotikaanvändningen och andra antimikrobiella medel för lantbruksdjur och vattenbruk. Den andra strategin behandlar biologisk mångfald, ”*Biodiversity Strategy*”⁵, som värnar om pollinatörerna i jordbrukslandskapet och öka andelen ekologiskt lantbruk samt att minska föroreningar.

En stor del av syntesen behandlar hur vi människor och våra djur ska få i oss tillräckligt med protein som är hållbart producerat. Nedan beskrivs grödor odlade på åkern som proteinkälla men det finns andra möjligheter till produktion av proteinkällor på landsbygden, såsom insekter, fiskar och alger. Det finns många lokaler som står tomma idag där det kan drivas företag med proteinproduktion. Det blir ett närodlat koncept som kan leverera till grossister och livsmedelshandel i hela landet, men vi behandlar inte detta mer i rapporten då andra besitter den kompetensen bättre.

De tankar och slutsatser som framkommit i denna rapport grundar sig på riktlinjerna i bakgrundsinformationerna utifrån varje medförfattares tolkning och erfarenheter samt det som framkom vid litteraturstudien.

³ https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0381&from=EN>

⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1590574123338&uri=CELEX:52020DC0380>

1 Växtproduktion

Växtproduktionen är den viktigaste delen i hela livsmedelsförsörjningen eftersom både människor och djur grundar sitt näringsintag på växtbaserade produkter. Växtproduktionen faller väl inom *Målområde 1: Hållbar produktion inom jordbruks- & miljöteknik* och dess nio utmaningar och beskrivs i utlysningstexten av Stiftelsen JTI. Målområdet grundar sig på Stiftelsens ändamålsparagraf: ”Syftet är att konkurrenskraften skall stärkas hos jordbruk och industri samt att miljön och hushållningen med naturresurser skall förbättras”. I följande avsnitt följer en kort sammanfattning av kunskapsläget samt utvecklingsmöjligheter och forskningsbehov inom de delar i växtproduktionen som vi har valt att analysera med hänvisning till utmaningarna. Samtliga utmaningar finns med inom avsnittet Växtproduktion, därutöver har vi lagt till *Biologisk mångfald, ekosystemtjänster och ekologisk intensifiering* och *Vattenhushållning*.

Som en bakgrund till den stora uppgift världen har framöver att ha en säker livsmedelsförsörjning åt jordens befolkning är uppskattningen att jordklotets totala biomassa i biosfären består av ungefär 550 gigaton kol (Gt C), fördelat över livets alla riken: djur, växter, svampar, bakterier, protister, eubakterier och arkéer (*kingdoms of life*) (Bar-On et al., 2018). Den största fördelningen av kol bygger upp växterna med ≈ 450 Gt C medan djurriket enbart består av ungefär 2 Gt C, fördelat människor på 0,06 Gt C och domesticerade djur 0,1 Gt C. Detta kan jämföras med att den totala mängden kol i vilda djur och fåglar tillsammans motsvarar 0,009 Gt C tillsammans. Nematoder, som kan vara både nyttodjur och parasitära, utgör 0,02 Gt av världens samlade kolresurs, vilket är 36 tusendels promille av jordens kolresurser. Människan motsvarar en tiondels promille av jordklotets samlade kolresurser.

1.1 Växterna i odling och dess användning

Dagens växtproduktion i Sverige grundar sig på ett relativt litet antal grödor; vete, havre, korn, raps, vall, potatis, majs, gulärt och åkerböna. Flera nischgrödor odlas och fler potentiella grödor finns att tillgå. Ämnet växtodling är mycket brett och innefattar bland annat integrerat växtskydd och foderproduktion. En stor del av odlingssystemet berör också biologisk mångfald, ekosystemtjänster och ekologisk diversifiering, vilket belyses i avsnitt 1.6.

Kunskapsläge idag

Odlingen av spannmålsgrödor och oljeväxter var för sig har utvecklats genom årtusenden och beskrivs bland annat i boken *Växtodlingens grunder* (Weidow, 2018) och forskning pågår världen över för att optimera gödselgivor, såtidpunkter och att få fram ett bra sortmaterial. Eftersom ämnet är så enormt stort väljer vi att fokusera på nya områden som kommit fram de senaste decennierna samt skriva om dem under *Utvecklingsmöjligheter* och *Forskningsbehov*.

Samodling av spannmålsgrödor och baljväxter är inte nytt gällande hälsädesensilage för att få upp proteinhalten och nyttja kvävefixeringen (Battersby, 2014; Jensen et al., 2020). Det är främst linser, lupin och gråärt som används vid samodling då kvävefixeringen blir effektivare i samodling än i odling av baljväxt i renbestånd (Jensen et al., 2020). På en global nivå skulle samodling minska behovet av fossilbaserad kvävegödsel med 26 % efter att Jensen och medförfattare (2020) har beräknat att om all världen spannmål odlas tillsammans med

baljväxter skulle det på global nivå spara runt 14,4 Tg kväve per år, vilket motsvarar en tredjedel av användningen av industriellt framställt kväve (109 Tg). Därtill skulle odlingsmark sparas in och skördestabiliteten öka om alla baljväxter samodlades med stråsäd. Nyttjandet av baljväxters kvävefixeringen kan även göras genom att höstraps sås tillsammans med en frostkänslig baljväxt som fryser bort under vintern (Cadoux et al., 2015; Lorin et al., 2016). När de ettåriga baljväxterarna åkerböna, vicker, lins och ärt förmultnade på våren frigjordes kväve när behovet är som störst vid tillväxtstarten. Frigörandet av kvävet motsvarade 30 kg per hektar, vilket lett till signifikant högre kväveinnehåll vid slutet av blomningen jämfört med kontrollen. Samodlingen har också lett till mindre ogräsförekomst och att den stjälkminerande viveln minskat, troligtvis tack vare den större mängden ovanjordisk biomassa (Cadoux et al., 2015). Samodling med frostkänsliga grödor behöver anpassas till respektive odlingszon i landet. Från norra Götaland och uppåt som har långa perioder med nattfrost skulle det inte vara några problem men i södra Götaland torde de milda vintrarna utgöra ett hinder för denna typ av samodling.

Vallarna, och framför allt blandvallar med gräs och baljväxter, är en viktig del i det svenska jordbruket och omfattar hälften av all odlad areal i Sverige (Jordbruksverket, 2019a). I dagsläget används biomassan till grovfoder men fyller en funktion i landskapets ekosystemtjänster i form av biologisk mångfald och habitatplatser för många arter, mat till pollinerare, vattenhållande förmåga och kolinlagring i marken (Connolly et al., 2018; G. Martin et al., 2020). Vallens användningsområde som grovfoder och proteingröda beskrivs nedan i 1.1.2. Vallen är även en viktig del i ogräsbekämpningen på åkrarna (se avsnitt 1.2) och om vallen betas ger det flera andra värden (se avsnitten 1.2.1, 1.4.7 och 3.5). Mycket av kunskapen om vallodling och användningsområden finns publicerade på det digitala uppslagsverket *Encyclopedia pratensis*⁶. Dessutom finns det en plattform för vall, naturbete och kolinlagring som heter Carbon Action-plattformen driven av *Baltic Sea Action group* där personer inom vetenskapen, lantbrukare och företag samlas för att främja kolinlagrande och mångnyttigt jordbruk⁷.

En god etablering av vallarna är grunden till god avkastning och långa hållbarhet. Gräsarterna och baljväxterarna har olika biologi så det gäller att kompromissa så att alla ska frodas i blandvallen. I ett förändrat klimat med mer torkperioder blir valletablering på våren mer utsatt. Vi såg under torråret 2018 hur det slog ut en stor del av våretableringarna av vall. Fröerna är mycket små och kräver vatten för att gro och överleva etableringsfasen. Insådd på hösten i höstgröda är ett sätt att möta detta problem (Ståhl, 2015; Ståhl et al., 2014). Vallinsådden gror under hösten då temperaturerna är lägre och nederbördssituationen oftast är bättre. Det gör att vallplantorna redan är ordentligt rotad på våren när torkan kan sätta in. I EU-projektet Inno4Grass sådde en lantbrukare in vallen direkt efter skörd av höstkorn⁸. Vallen fick en god etablering på hösten utan att konkurrera med skyddsgrödan och sommaren efteråt var vallen tjockare och klöverplantorna utvecklades jämnare inför skörd. Klöversorterna varierar i utveckling, speciellt under återväxten efter förstaskörden, vilket även påverkar foderkvaliteten

⁶ <https://www.encyclopediapratensis.eu/>

⁷ <https://carbonaction.org/hem/>

⁸ <https://www.inno4grass.eu/images/SV/Portraits - NILSSON MAGNUS>

(Nadeem et al., 2019). Inblandning av kummin i vallarna leder till högre smaklighet för korna samtidigt som kummin är torktålig, vilket gör att vallskörden inte blir lika nedsatt vid torka⁹.

Utan vallfröodling blir det inga vallar och det ställer krav på odlarna att utföra de åtgärder som passar just den enskilda frögrödan. Baljväxtarterna skiljer sig i etableringskrav och några bra metoder för etablering av vitklöverfrövallar framkom med hjälp av en odlargrupp (Wallenhammar et al., 2013). Gräsfröproduktion är komplext eftersom det är så många arter som odlas och varje art har sina krav för att frodas. Etablering av två svingelarter undersöks med olika utsädesmängd på skyddsgrödan respektive tidpunkt för insådd av gräsfröet (Edin, pågående projekt Jordbruksverket 4.1.18-16779/2019).

Gödsling och skötsel av vallar är viktigt för god avkastning och kvävetillgången påverkar både foderegenskaper och tillväxt (McCarrick & Wilson, 1966). I ett arbete på SLU undersöktes foderegenskaperna till följd av kvävegödsling och resultatet var att gödsling med 100 kg kväve per hektar ger en god balans mellan torrsubstans och råproteinskörd utan att påverka proteinkvaliteten (L. Bataillard, 2018¹⁰).

Lin och hampa är två grödor som tidigare odlades mycket i Sverige men odlingen har minskat på grund av bristande efterfrågan och lönsamhet samt svårighet att skörda, enligt våra samlade erfarenheter i arbetsgruppen. Grödorna går bra att odla men skördemomentet har förenats med svårigheter av olika grad. Linet har en dålig konkurrensförmåga gentemot ogräs medan hampan växer fort och kväver ogräsen.

En av de aktuella miljöfrågorna som rör växtodling är lustgasemissioner från mark och hur de kan begränsas. Lustgas är en kraftig växthusgas och står för en stor andel av växtodlingens klimatpåverkan. Lustgas bryter även ner ozon, och i takt med att utsläppen av klorfluorkarboner (CFC) minskat mycket kraftigt sedan 1980-talet medan lustgaskoncentrationen i atmosfären ökat står nu lustgas för en allt större andel av den mänskliga påverkan på ozonskiktet. Lustgasavgången från mark styrs av en rad faktorer som klimat, markförhållanden samt tillgång på syre, kväve och organiskt material (Henriksson et al., 2015). Flera av dessa faktorer samspelar, till exempel nederbörd som påverkar syretillgången i marken. Det pågår mycket grundforskning på området för att bättre förstå hur allt från mikroorganismssamhället till odlingssystemen påverkar lustgasbildningen. Mättekniken som används i forskningsprojekt har också utvecklats, bland annat genom mikrometeorologiska tekniker där lustgasavgången från en yta mäts kontinuerligt under lång period. Mätningar som gjorts visar att emissionerna varierar kraftigt över tid och rum, och att de kännetecknas av korta emissionstoppar exempelvis ibland efter gödsling (Henriksson et al., 2015).

Utvecklingsmöjligheter

Kunskaperna om odlingen av spannmålsgrödor och oljeväxter är gedigen men det är finliret och samodlingen som behöver utvecklas för att få en riktig optimal växtproduktion. Tillämpade fältförsök kan få fram metoder för optimering av odlingen. Det är viktigt att inte stanna vid biologisk forskning kring dessa utan även undersöka vidare hantering såsom teknik för skörd

⁹ <https://www.inno4grass.eu/images/SV/Portraits> - PERSSON PATRIK

¹⁰ Enskilt arbete, ej online: Léa Bataillard. 2018. Effect of nitrogen fertilization rate on protein quality of fresh, wilted and ensiled grass with or without the use of silage additive. Handledare E. Nadeau, SLU Skara.

och separering av samodlade grödor för att odlingen ska vara ekonomiskt intressant. Samodling kan också vara ett sätt att skugga grödor som är torkkänsliga under etableringsfasen, exempelvis sallad och andra snabbväxande grödor. Lin och hampa har stor potential för att odlas både till fröskörd och fiberproduktion men då måste maskinparken utvecklas så att det går att skörda frö i den frodiga hampan liksom att stjälken kan tas tillvara för fibertillverkning för textilier och andra användningsområden, exempelvis bioplaster.

Allelopatin ter sig vara ett stort och användbart forskningsområde. Även om det finns många vetenskapliga artiklar som beskriver fenomenet finns det stora möjligheter att nyttja växterna inbyggda förmåga att motverka varandra. Detta kräver mycket forskning och undersökningar om tillämpbarhet, vilket beskrivs nedan i *Forskningsbehov*.

Agroforestry med odling av träd och buskas som kan ge en avsalugröda, såsom hassel, valnötter och nypon, skulle ha flera funktionen i landskapet som lähäckar som förhindrar jorderosion, biologisk mångfald samt en god ekonomisk inkomst.

Forskningsbehov

Forskningsbehoven inom växtodling som beskrivs nedan innefattar mestadels odlingsförutsättningar och klimatanpassning. Odlingsförutsättningar och utformningen av nya grödor och/eller sorter befinner sig på nivå 3–4 på TRL-skalan. Forskningen om allelopti ligger på nivå 4 och forskningen om lustgasavgångar ligger på grundforskningsnivå (TRL 2). Många grödor kan vara svårödlade i de nordiska växtzonerna, vilket begränsar odlingen och därmed hämmar mjölkproduktionen, framförallt ekonomiskt. För att finna en utjämning i detta behöver sortförfädlingen för växter anpassade för nordligare breddgrader fortgå samt att de odlingstekniska metoderna behöver utredas för att optimera praktisk odling i Sverige. En tillämpad forskningsfråga är hur tidpunkten för sådd av höstsådda grödor samt andra odlingstekniska parametrar, såsom utsädesmängd, kan optimeras utifrån odlingszon i Sverige. En forskningsfråga för flertalet grödor är optimal tidpunkt för sådd eftersom grödor kan ha ett brett såfönster i Götaland medan det bara är lämpligt att så under en kort period i Svealand och norrut för goda skördar. Ett varmare klimat i Sverige skjuter på odlingsförutsättningarna men på grund av att solens instrålning är olik den i exempelvis Sydeuropa, kan vi inte direkt översätta deras odlingsmetoder och förutsättningar till våra svenska förutsättningar utan behöver utveckla våra egna utifrån långdagsförhållanden och vattentillgång etcetera.

Insåningstidpunkter för olika vallarter under hösten behöver undersökas ordentligt eftersom baljväxterna är känsliga för sen sådd. Frågan är hur olika arter reagerar, dels när de sås i renbestånd och dels som insådd i höstgrödor. Det behövs fysiologiska studier av tillväxtrytm hos olika rödklöversorter som sås på våren respektive hösten för att utreda och vidareföra på så att plantorna ska kunna konkurrera med kraftiga gräsarter. Forskning behövs även på hur insådd av vallfröblandningar ska göras på bästa sätt för att reda ut hur förhållandet mellan olika arter påverkas beroende på insåningsgröda och tidpunkt. Vi vet från tidigare projekt att olika gräsarter reagerar olika vid höstinsådd (Ståhl et al., 2014; Wallenhammar et al., 2013) Wallenhammar et al., 2013). Fortsatt utveckling av vallar som klarar av stora svängningar i väderleken kommer att behövas. Vi har arter med bra torktålighet men de behöver utvecklas vidare vad gäller näringskvalitet, speciellt lusern och rörsvingel. Uthålligare baljväxter ger resurseffektiva vallar där nya typer av klöver kan bidra (Älmefur, 2020).

Samodlingen av kvävefixerande grödor och andra grödor bör kunna få en stor betydelse i utformningen av ett uthålligt lantbruk. Idag finns flera lantbrukare som har storskalig odling

men det är angeläget att genom fältförsök och demonstrationsodlingar ta fram praktisk vägledning för olika odlingsförhållanden. Likaså behövs en analys av de ekosystemtjänster som kvävefixerande samodlingsgrödor kan tillföra i form av hållbar växtnäringssörjning och framför allt belysa hur skadeinsekternas beteende kan påverkas.

I vissa områden är det vanligt att gödsla höstgrödor på tjälen under tidiga vårar och detta är nödvändigt att grundligt utreda utifrån perspektiv om upptagningsförmåga, näringsläckage och markegenskaper.

Allelopatin har mycket stor potential till att använda biologiska metoder som motverkar ogräs och insektsangrepp. Kanske till och med svampangrepp kan förhindras tack vare sekundära metaboliter som grödorna producerar. Detta kräver fortsatt grundforskning om vilka ämnen som våra grödor producerar och till vilka arter de kan vara negativa. Sortförädlingen kommer också att ha ett stort ansvar för att allelopatin ska kunna tillämpas i det svenska jordbruket. När metaboliterna är kartlagda har kemikalieindustrin goda förutsättningar till att utforma pesticider med substanser med biologiskt ursprung. Beroende på vad det blir för produkter är det värt att lagstiftningen och normerna anpassas så att produkterna kan godkännas för ekologisk odling.

När det gäller lustgasavgång från mark ser vi behov av att kunna tillämpa kunskapen som byggts upp inom grundforskningen i tillämpad forskning och praktiskt jordbruk i syfte att öka förståelsen och minska risken för lustgasemissioner. De mättekniker och beräkningsmodeller som används i grundforskningen är för avancerade för att användas i rådgivning, av lantbrukare eller systemanalyser. Det vore därför önskvärt med utveckling av metoder som kan användas i rådgivning och systemanalyser för att bättre förstå vad som kan göras i det enskilda fallet för att minska risken för lustgasavgång.

1.1.1 Odling av proteingrödor

I dag finns ett starkt ökande intresse för fullvärdigt växtbaserat protein i kosten¹¹ men även en inhemsk foderproduktion med bra proteinvärde. Utbudet av baljväxter för foderproduktion och i våra livsmedelsbutiker är stort men mycket är importerat och sannolikt odlat med mer bekämpningsmedel, men framför allt en sämre transparens kring bekämpningsmedelsanvändningen (Ekqvist et al., 2019). Efterfrågan ökar starkt på genuina svenska livsmedel som är hälsosamma, bidrar till en hållbar livsmedelsproduktion och tillför en mångfald av smaker. Genom att öka mängden baljväxter som komplement i matlagning kan de traditionella köttportionerna minskas och på det sättet ökar det ekonomiska utrymmet för konsumenter och storkök att köpa närproducerat och högkvalitativt kött efter önskemål. *Växtbaserat Sverige*¹² är en nybildad branschorganisation som samlar företag inom livsmedelsindustrin och förmedling av matkassar. Stiftelsen Axfoundation arbetar inom programområdet *Framtidens mat*¹³ utifrån tre fokusområden: Proteinskiftet, Effektiv resursanvändning och Hållbara lant- och vattenbruksmetoder. På stiftelsens gård Torsåker utanför Upplands Väsby drivs projekt

¹¹ <https://www.macklean.se/aktuellt/vaxtbaserade-revolutionen/>

¹² <https://vaxtbaseratsverige.se/>

¹³ <https://www.axfoundation.se/program/framtidens-mat>

tillsammans med akademien och aktörer inom hela livsmedelskedjan för att hitta lösningar på problemen inom livsmedelssektorn, vilket även innefattar fisk och att få fler att arbeta inom livsmedelsbranschen.

Kunskapsläge idag

Diskussionen om att minska vårt intag av protein i form av kött för att nå upp till dom hållbarhets- och klimatmål som föreligger i världen totalt sett är vida utbredd. Mängden protein till djurfoder för vidare förädling till mjölk och kött kommer till stor del från soja, men andelen soja i svenskt djurfoder har minskat de senaste åren och skulle kunna minska ännu mer om odlingen av inhemskt protein ökade¹⁴. Utmaningen är således dubbel. En ökad efterfrågan på inhemskt odlat protein till djurfoder samt en ökad efterfråga på inhemskt odlat växtbaserat protein ställer stora krav på en till arealen utökad, ekonomiskt bärkraftig och klimatmässigt hållbar produktion. Importen av foderprotein till svensk djurhållning är hög, men har minskat de senaste årtiondena. Importen skapar problem i den nationella kvävebalansen, vilket kopplar till "planetary boundaries"¹⁵ och miljöpåverkan (de Vries et al., 2013). Beroendet av foderprotein från globala foderkedjor ökar känslighet för störningar i transporter och andra länders odlingssystem. En ökad användning av inhemskt foderprotein kan höja lönsamheten i mjölkproduktionen (Isaksson, 2014; Njåstad et al., 2014). Protein från vall och andra grödor i Sverige har dock en hög nedbrytbarhet i våmmen, vilket är ett problem för korna med hög avkastning (>35 kg ECM). Kompletterande proteinkällor med högre andel våmstabil protein (aminosyror som absorberas i tunntarmen, AAT) är oftast nödvändigt vid en hög mjölkavkastning. En ökad inhemsk odling av proteingrödor som lupin och åkerböna skulle kunna vara ett alternativ till sojan, men odlingen är idag för liten för att täcka behovet¹⁶. Restprodukter från oljeframställning av raps och ryps kan värmebehandlas och användas som högkvalitativt proteinfodermedel i djurfoder. Exempel på restprodukter som fått en stor utbredning i djurfoder är rapsmjöl, vars AAT-innehåll liknar sojans (Isaksson, 2014). Andelen svensk åkerareal som används för odling av baljväxter var 44 000 hektar år 2019 och motsvarande siffra för oljeväxter var 108 000 hektar år 2019¹⁷. Utöver den ökade arealen som behövs till djurfoder finns det även ett växande intresse för inhemskt odlat växtbaserat protein till humankonsumtion¹⁸.

För att kunna ersätta soja, som innehåller en hög andel våmstabil protein (AAT) behöver rapskaka, åkerböna och lupin värmebehandlas för att öka AAT-innehållet (Swensson et al., 2015). Vid värmebehandling kan mängden AAT fördubblas vid rostning i både rapsmjöl och åkerböna (Pauly & Boström, 2007). Det är rimligt att anta att även AAT-mängden i lupinfrön ökar vid

¹⁴ <https://www.slu.se/institutioner/husdjurens-utfodring-varld/nyheter-huv/soja-till-husdjur/>.

¹⁵ <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries/planetary-boundaries/about-the-research/the-nine-planetary-boundaries.html>

¹⁶ <https://www.slu.se/institutioner/husdjurens-utfodring-varld/nyheter-huv/soja-till-husdjur>

¹⁷ <https://jordbruketsiffror.wordpress.com/2020/05/18/akermarkens-anvandning-lan-for-lan-vallodlingen-dominerar-i-norr>

¹⁸ <https://www.landlantbruk.se/ekonomi/svarodlad-lupin-varld-besvaret>
<https://www.ja.se/artikel/51581/kerbnot-ska-bli-mat.html>
<https://blogg.slu.se/new-legume-foods/about-the-project/>

rostning, vilket förekommer i Tyskland och beskrivs i Pauly & Boström (2007). Mängden alkaloider i åkerböna och lupin har minskat betydligt med sortförädling, så även mognadstiden, vilket gör grödorna mer gynnsamma att odla. Lupin finns i grenade och ogrenade sorter, där de grenade är svårare att hantera som tröskad gröda, eftersom mognadsstadiet varierar mycket inom plantan. Det kan även vara svårt att få fröna att mogna under norrländska odlingsförhållanden. Det är dock möjligt att tröska vid högre vattenhalt och torka skörden om det finns tillgång till billig och förnybar energi.

Linser har goda förutsättningar till att bli ett välanvänt och näringsmässigt livsmedel. Egenskaperna hos linser i form av proteinsammansättning och krav på tillverkningsprocesser håller på att undersökas, vilket beskrivs i litteratursammanställningen gjord av Jarpa-Parra (2018). Exempelvis innehåller linser mycket mer kostfibrer än bönor och kikärter men har en låg andel svavelhaltiga aminosyror (Jarpa-Parra, 2018).

Att utröna de ekonomiska, hälsomässiga och klimatmässiga aspekterna av att odla nya proteingrödor kräver studier av nya värdekedjor. Med bakgrund av det är det svårt att i dagsläget dra några slutsatser om de svenska proteingrödornas långsiktiga potential som human- och djurfoder. Ett irländskt forskarlag har gjort en syntes över vad som kommer att krävas för framtidens proteinförsörjning (Henchion et al., 2017). De diskuterar också vikten av att utveckla säljbara produkter av det som i nuläget är biprodukter som inte används.

Odling av proteingrödor kan, förutom att minska vårt eget beroende av importerad soja till såväl foder som humankonsumtion, ha flera odlingstekniska fördelar. Åkerböna, quinoa, lupin och linser samt flera olika sorters ärter, varav många är kultursorter, erbjuder möjligheten till ytterligare en gröda i växtföljden. Quinoa är visserligen inte kvävefixerande men är bra livsmedelsprodukt. Nischgrödor som olika sorters bönor har potential för utökad odling i Sverige och Kalmar- Ölands trädgårdsprodukter¹⁹ satsar på allsidig odling i sydöstra Sverige. Baljväxtakademin har gjort en förteckning över ärt, bönor och linser²⁰ men saknade den inhemska gotlandslinsen som sedan länge odlats på Gotland²¹ och som presenteras av Nordisk Råvara²² tillsammans med flera andra kultursorter av trindsäd. Lupinodlingen i Sverige är fortfarande liten och fördelen är att denna baljväxt trivs bra på lätta jordar och att den inte uppför sig som ärtrottröta och andra sjukdomar som åkerböna råkar ut för. Dock behöver lupinutsädet ympas med kvävefixerande bakterier före sådd för att kunna tillgodogöra sig luftkvävet. Odlingsförutsättningar och tillvägagångssätt för praktisk odling finns sammanställd i ett examensarbete som en handbok som beskriver de biologiska och teknologiska förutsättningarna för att odla baljväxter till livsmedel (N. Eriksson, 2017).

För att återgå till proteingrödor ur ett samhällsperspektiv om humankonsumtion så har SLU ett stort samarbetsprojekt kallat *New legume food*²³ med aktörer från universitet, livsmedelsindustrin, regionförbund, jordbrukare och konsumenter. Projektet syftar till att

¹⁹ <https://www.kotp.se/>

²⁰ <http://baljvaxtakademin.se/bonbibliotek/>

²¹ <https://www.landlantbruk.se/lantbruk/gotlandsodlare-satsar-pa-baljvaxter/>

²² <https://nordiskravara.se/produkter-blog/gotlandslins>, <https://nordiskravara.se/produkter>

²³ <https://blogg.slu.se/new-legume-foods/about-the-project/>

utveckla proteinrika livsmedel som produceras i Sverige på ett klimatsmart sätt och som de skriver på hemsidan: *öka livsmedelssystemets hållbarhet och stimulera en växande bioekonomi baserad på nya, attraktiva och hälsofrämjande livsmedel*. De bedriver forskning inom hela livsmedelskedjan inom produktionsteknik, processer i förädlingssteget samt bedöma aspekterna om en ekonomisk, miljömässig och sociala hållbarhet. Två vetenskapliga artiklar har producerats hittills under projektets gång och den ena undersöker hur trindsädsarter ska behandlas för att mjölet ska bli näringsrikt och användarvänligt (Ferawati et al., 2019). Den andra artikeln handlar om utmaningen inför, men också vägen till, ett samhälle där vi människor äter mer baljväxter och mindre kött (Röös et al., 2018).

Utvecklingsmöjligheter

En ökad efterfrågan på svenskt växtbaserat protein har även en gynnsam effekt på lönsamheten på svenska växtodlingsgårdar med spannmålsdominerade växtföljder, då det skapar incitament för att diversifiera växtföljden med trindsäd och oljeväxter. Att utröna de ekonomiska, hälsomässiga och klimatmässiga aspekterna av att odla nya proteingrödor kräver studier av nya värdekedjor. Många av dessa grödor kan även vara intressanta i det pågående skifte från animaliskt till vegetabiliskt protein till humankonsumtion. Livsmedelsindustrin har påbörjat tillverkning och utformning av livsmedelsprodukter men vi har en lång väg kvar vad gäller konsistens, smak, form och förpackning. Ett gott samarbete mellan producenter, matkonsulenter, grossister och livsmedelsindustrin, kockar och konsumenter kan driva utvecklingen till smakliga produkter som säljs i matvarubutikerna eller serveras i offentlig verksamhet och restauranger. Just tillagning och andra processer som behövs för att grödorna ska omvandlas till smaklig och näringsrik mat, ett stort område där det behövs utveckling. Dagens produktion blir sällan till bulkvaror utan det är småpartier som ska distribueras. Kanske ska vi ta till vara på den unika möjligheten att få småskalig livsmedelsproduktion med enastående matvaror till försäljning. Dock är det en stor finansiell utmaning att driva detta iland, men skam den som ger sig. Ämnet diskuterades i en debattartikel i Svenska Dagbladet, 22 maj 2020²⁴ där kontentan var att de små gårdarna är viktiga för såväl det vackra mosaiklandskapet i Sverige och den gastronomiska mångfalden i och med lantraserna, de lokala sorterna, mikrobryggerierna, gårdsmejerierna, hantverkscharkuteristerna och stenugnsbagarna. Hela lantbrukarledet skulle få en bättre lönsamhet om vi kan öka användningen av inhemska foderråvaror. Sveriges nationella växtnäringsbalans skulle förbättras vid en ökad användning av inhemskt proteinfoder, vilket minskar riskerna för växtnäringsutsläpp från lantbrukssektorn.

Forskningsbehov

Forskningen om proteingrödor ligger på 4 i TRL-skalan. Odling av ovanliga eller nya proteingrödor under svenska förhållanden förutsätter att vi vet hur de ska odlas och att det finns tåliga och högavkastande sorter. Detta gäller inte minst odling av lupiner där avkastningen behöver öka för att det ska bli ett realistiskt ekonomiskt hållbart odlingsalternativ i framtiden. Därför behöver vi växtförädling, fältförsök eller stora demonstrationsodlingar för att undersöka odlingsaspekterna som krävs, likt såtidpunkt, gödsling och minimering av skadegörare. Åkerbönans odlingsförutsättningar är kända för lantbrukarna men den har problem med

²⁴ Svenska Dagbladet 22 maj 2020: Gårdarna anses för små – men gör stor nytta

skadeinsekter, där bönsmygen har vuxit i population de senaste åren. Insekterna är ett stort problem för trindsåden generellt och metoder behöver tas fram för att minska insektsskadorna. Odlingsåtgärderna och förutsättningarna för de olika proteingrödorna kommer att vara olika i landets varierande odlingszoner varvid fältförsök behövs för att optimera odlingsåtgärderna och val av sort.

Det vore välkommet att göra livsmedelsanalyser angående hur de olika grödorna står sig näringsmässigt till varandra. Exempelvis saknas korrelationen mellan linsfröets molekyllära strukturer och funktionaliteter för att fullt ut kunna användas som livsmedel.

På fodersidan finns stora kunskapsluckor om blandningar av arter och vattenhalt och försök behövs för att undersöka vilka grödkombinationer som ger ett fullgott foder och är praktiskt möjliga att odla. Vi behöver arter och sorter som kan klara extremväder i framtiden. En viktig del är att grödan ska vara torktolerant och vi behöver veta vilka hjälpmedel vi kan ge grödan för att klara detta bättre. Likaså behöver vi grödor som tål att stå blöta om rötterna när det kommer rikliga regnmängder vid kraftig nederbörd.

1.1.2 Vallen som grovfoder och proteingröda

Vall och grönfoder är en mycket viktig del av det svenska lantbruket, eftersom den omfattar drygt 45 % av Sveriges åkermark (Jordbruksverket, 2019a). Vallodlingen är central för en hållbar växtföljd, eftersom den förbättrar resiliensen i växtföljden genom att öka multhalten genom kollinlagring, öka kvävetillgången genom baljväxternas kvävefixering samt öka blommande arter för pollinering (Huyghe, 2020). Vidare har forskare börjat utveckla en metod för att använda vallen som proteingröda till humankonsumtion, vilket skrivs om nedan.

Kunskapsläge idag

Vallbaljväxterna har olika växtsätt både vad gäller bladverk och rotsystem där blåusern har en lång och kraftig pålrot medan kärringtand och rödklöver har kortare rötter, i fallande ordning. Vitklöver har korta, tunna rötter och bildar stolonier (revor) för att sprida sig och är därmed den mest torkkänsliga arten. Under torråret 2018 visade blåusern fördelen med en lång pålrot genom god tillväxt trots torkan. Den gav 250% högre totalskörd i fältförsök än rödklöver och vitklöver det året (Wallenhammar et al., 2020).

Baljväxter drabbas dock ofta av rotröta orsakad av jordbundna svampar och drabbar speciellt klöverarter hårdare än blåusern (Wallenhammar et al., 2020). Rorötan gör att plantorna dör och vallen blir luckig, minskar i biomassa och kvävegödsling krävs för att få upp proteinhalten till samma nivå som med önskvärt baljväxtinnehåll. Under två långliggande försök (till vållår 3) påvisades att angreppen av rotröta ökar med åren och att blåusern klarar sig bäst mot rotrötesvamparna i jämförelse med kärringtand, vitklöver och rödklöver. Det slående var svampförekomst kunde påvisas med DNA-analys i blåusern och kärringtand utan att visa några påfallande symtom, vilket visar att arterna har en slags tolerans mot rotrötesvamparna (Wallenhammar et al., 2020). Det finns en variant av rödklöver som bildar nya klonala skott och kan breda ut sig i fält, därav namnet "Mattenklee", eftersom den kommer från schweiziska alperna. I och med skottbildningen ökar uthålligheten och sorttypen kan ge fullgoda skördar i jämförelse med svenska rödklöversorter (Älmefur, 2020).

Hanteringen och användningen och av vallen beror på vilket djurslag som ska utfodras. Både gräsarterna och baljväxternas foderegenskaper ändras beroende på mognadsstadium och

hantering (Abrahamsson, 2012) samt vilken sorts ensileringsteknik som används²⁵. Konservering av gräs för utfodring under vinterhalvåret är en metod som funnits så länge behovet har funnits. Att lagra gräs som torr vara är idag ovanligt och har till allra största del ersatts av lufttät lagring. Systemen för att lagra foder som idag används är balar, tornsilo, plansilo, limpa eller korv. Olika lagringssystem ställer olika krav på torrsubstanshalten i grödan för att erbjuda en god foderhygien. I limpor och plansilo är möjligheten att packa fodret till en hög densitet avgörande för att minimera luftinsläpp eftersom det är grundförutsättningarna för god lagringsstabilitet och minskade förluster, men det kräver en blötare råvara. Balar och till viss del tornsilo är idag de enda lagringsformerna som fungerar för torra grödor med lite spill i form av förluster vid varmgång och feljäsning. En litteratursammanställning och jämförelse mellan olika ensileringstekniker har gjorts i form av ett enskilt arbete inom agronomprogrammet (Nilsson, 2014) och en förteckning över lagringstekniker och hantering är utgiven av Gård & Djurhälsan²⁵.

Lagring och transport av vallfoder ställer stora krav på vägar, ytor för lager, skörde- och lagringshygien, emballage och maskinell hantering. Förluster såväl i fält som i lager är en utmaning för att behålla så stora värden som möjligt i kedjan. Hur stora lagringsförlusterna blir beror på vilken hygien grödan håller vid inläggning, densitet, uttagshastighet och val av emballage (Abrahamsson, 2012; Nadeau et al., 2016). Förtorkning av grödan kan ge ett bättre proteinutnyttjande i foderstaten då ett torrare vallfoder innehåller högre andel vom-stabilt protein (högre AAT-värde, aminosyror absorberade i tunntarmen), vilket påvisats i flertalet danska studier (Johansen et al., 2017; Verbič et al., 1999)²⁶. Ett högre AAT-innehåll i grovfodret ökar grödans ekonomiska värde, eftersom en mindre mängd AAT från andra proteinkällor behöver användas. Idag importeras i stora mängder av rapsmjöl och soja just för att öka mängden AAT i foderstaten. Ett tidigt skördat grovfoder innehåller högre andel råprotein jämfört med ett senare skördat grovfoder, vilket är ett sätt att öka den egna AAT-produktionen på gården. Dock har ett tidigare slaget grovfoder högre passagehastighet genom våmmen, vilket ökar andelen AAT i foderstaten totalt sett då antalet mikrober ökar (Silfving, 2006). Det våmstabila proteinet och sockerarterna ökar om lusern- och klöverblandningen ökar vid syrabehandlad ensilering (Sousa et al., 2019). Vid en övergripande litteratursammanställning som gjorts angående foderegenskaperna hos ensilage och dess effekter för idisslare framkom att det är komplext att få fram ett bra foder där hantering under skörd och hantering samt emballage har stor betydelse (Nadeau et al., 2016). Nedbrytbart fiberinnehåll påverkar mjölkavkastning och tillväxten positivt. Kolhydraterna är också viktiga för att mikroberna ska omvandla ammonium, fria aminosyror och peptider till proteiner som behövs för mjölkproduktion och tillväxt.

Lusern och klöver används i en europeisk studie kallad ProRefine²⁷ för att utveckla proteinrikt foder till slaktsvin och mjölkkor. Ett av tillverkningsätten i projektet är att pressa bladverket och fraktionera till en vätska och torrsubstans. Ur väskan extraheras fullvärdigt protein och den fasta fasen blir till fiberrikt grovfoder. Den andra tillverkningsprocessen är att bladen från

²⁵ <https://www.gardochdjurhalsan.se/wp-content/uploads/2019/06/facc88lt-till-mule-lagring-o-hantering-av-ensilage.pdf>

²⁶ <https://okologi.dk/landbrug/projekter/kvaeg/foder-og-fodring/hoesilage-optimering-af-proteinkvaliteten>

²⁷ <https://projects.au.dk/coreorganicofund/core-organic-cofund-projects/prorefine/>

lusernplantorna samensileras med kornkärnor till ett fullvärdigt foder åt slaktsvin, vilka har vuxit mycket bra och målet är att ekologiskt uppfödda grisar, men även konventionellt uppfödda grisar, ska utfodras med detta foder²⁸. Den svenska delen av projektet är lokaliserat till Västerbotten, vilket ger nya möjligheter för goda förutsättningar för mjölk- och fårproduktion i den norra delen av landet. ”Green VALLeys” är ett liknande projekt mellan Sverige och Danmark med målet att etablera en utvecklingsplattform för bioraffinering av vallgrödor²⁹. Den svenska delen i projektet består bland annat av en testanläggning för bioraffinering på Naturbruksskolan Sötåsen i Töreboda. Projektet etablerar en infrastruktur där substratet för bioraffineringen är fleråriga grödor som utvinns till flera råvaror såsom fodermedel och proteinfoder som passar för lantbruksdjur men också energiråvaror som kan användas för att exempelvis utvinna biogas³⁰.

I ett liknande projekt har klöver bioraffinerats direkt efter skörd genom att pressa ut växtsaften och en tillsättning av mjölksyrabakterier faller ut proteinet (Kragbæk Damborg et al., 2019). Efter dekantering och torkning kvarstår ett grönt proteinkoncentrat. Mjölkkor fodrades med pressresterna (pulp) och mjölkavkastningen ökade markant. Utfodring med proteinkoncentratet istället för soja ledde dock inte till ökad mjölkproduktion. Protein utvunnet ur lusern kan även ges till värphöns utan att äggkvaliteten eller näringsinnehållet ändrades negativt (Grela et al., 2020). Resultatet från både studien med mjölkkor och den med äggläggande höns var att proteinkoncentratet med fördel kan användas som ett fullgott alternativ till sojamjöl.

Utfodring med gräs och lusern till fjäderfä är en gammal kunskap som presenterades redan under andra världskriget i form av experiment som utfördes mellan 1936 och 1941 (Payne & Gish, 1943). Moderna studier av utfodring med lusernfoder till fjäderfä saknades fram till dess att ett tyskt forskarlag gjorde en gedigen kartläggning av hönornas hull och äggens näringsmässiga kvalitet med gott resultat (Carrasco et al., 2016).

Det pågår en uppbyggnad av system för att kunna sortera grovfoderpartier för bästa möjliga foderutnyttjande eller proteinextraktion. CropSAT³¹ utvecklar ett system baserat på bildanalys med hjälp av satellitfoton för bedömning av skördemängd och kväveinnehåll. På gårdsnivå finns redan handburna sensorer som kan användas för kväveinnehåll i plantan (Börjesson et al., 2002), men det finns potential till vidareutveckling och kommersialisering. Verktynen skulle sammantaget kunna öppna upp för en mer välgrundad sortering av olika grödor med olika proteinfraktioner.

Utvecklingsmöjligheter

Vallens multifunktionalitet ska nyttjas för ett uthålligt framtida lantbruk. Utvinning av växtprotein från vall är en framtida möjlighet med potential. Växtföljden på växtodlingsgården kan förbättras på flera olika sätt genom att inkludera vall eller baljväxter i växtföljden, vilket bidrar till en ökad kväveförsörjning till kommande grödor och binder in kol i marken, varvid bördigheten ökar. Likaså kan biomassa skördad från annan areal på gården, såsom grönytor,

²⁸ <https://projects.au.dk/coreorganicofund/news-and-events/show/artikel/lucerne-protein-for-organic-pigs/>

²⁹ <https://agrovast.se/eu-projekt/green-valleys>

³⁰ <https://www.vgregion.se/f/naturbruk/kompetenscentrum/projekt/pagaende/green-valleys/>

³¹ <https://cropsat.com/se/sv-se>

impediment och nedlagd åkermark, gå till proteinframställning. Detta kommer att gynna den biologiska mångfalden om det görs vid rätt tidpunkt i och med bortforslingen av biomassan kan jämföras med att skörda slåtterängar som är välkända för att ha stor artrikedom inom flora och fauna.

Det finns en stor ekonomisk potential i den nya råvaran, i form av skördad biomassa, som säljs för produktion av växtbaserat protein till många olika ändamål. Den svenska självförsörjningsgraden av protein kommer att öka. Restprodukterna kan gå in i biogasproduktionen och komma tillbaka som biogödsel.

Potentialen bör vara stor men växtproteintillverkningen är i sin linda och behöver utvecklas för att bli storskalig. Vi kan vallproduktion och den fungerar i hela landet, vilket är en stor fördel jämfört med nya proteingrödor med specifika krav på odlingsplatsen. Projektet Green VALLeays kan bli ett stort steg i utvecklingen av den infrastruktur och metod som krävs för att båda länderna ska få god tillgång till proteinvaran. Med vetskapen om djurens behov av högvärdigt protein (AAT) och mot bakgrund av den otillräckliga inhemska odlingens storlek av högvärdigt protein bör större fokus riktas mot möjligheten att konservera torrare grovfoder. Potentialen i att utvinna högvärdigt protein ur gräs eller andra vallgrödor för humankonsumtion är även den beroende av en lagringsform som ger mer AAT.

Forskningsbehov

Forskningen inom vallodling och dess användning torde vara beläget på nivå 5–7 på TRL-skalan eftersom många användningsområden redan används eller är under utveckling samtidigt som en förfining av materia och odlingsteknik behövs. Tack vare att vallen är så användbar bör det forskas vidare på hur odlingsförutsättningarna kan förbättras i alla odlingszoner i Sverige. Detta kräver förädling av vallarterna, inte minst klövern både med anseende på tålighet mot körskador och livslängd. Här kommer ”Mattenkleen” som ett obeforskat ämne för svenska förhållanden som tack vare sin tolerans mot rotröten skulle kunna förlänga livslängden på vallar. Sortförädlingen behöver också fokusera på norrländska förhållanden för att tillgodose behovet av vallodling längs norrlandskusten och i södra och mellersta Norrlands inland.

Det vore fördelaktigt om forskning sker på gårdsnivå kring torkning och värmebehandling av spätt vallfoder med hög proteinhalt för att öka vomstabiliteten och därmed AAT-värdet. Det finns beprövad kunskap om varmluftstorkat vall- och lusernfoder men den behöver återupplivas med ett gårdsperspektiv där förnybar överskottsenergi från solceller, biogas och vindkraft kan användas till detta ändamål. Tidigare slutade denna produktion på grund av för höga energikostnader.

Det har inte skrivits så mycket om samensilering av olika grödor i denna syntes med detta är ett område som har stor möjlighet att utveckla fodersidan. Kunskapsluckorna finns både på tekniksidan och inom det biologiska materialet, varvid det behövs ytterligare försök och kunskap för att öka effektiviteten i skördekedjan och i fodrets kvalitet behövs. Ett flertal försök om samensilering har utförts i Sverige, bland annat samensilering av majsensilage och foderbetor (SLF projektnummer V1041034, Melin, 2012).

1.2 Produktionsteknik och ogräsreglering

I detta avsnitt slår vi ihop två av målområdena: *Målområde 1: Hållbar produktion inom jordbruks- & miljöteknik* och *Målområde 3: Produktionsteknik* och behandlar utmaningarna om precisionsodling, växtskydd i form av ogräsreglering samt digitalisering som verktyg och teknikens inverkan på möjligheten för förbättringar. Även *Målområde 2: Smart Farming & Produktutveckling* berörs utifrån beskrivningen av målområdet även om utmaningarna inte passar in: "Smart Farming syftar på den teknologirevolution som lantbruksnäringen är en del av, där syftet är att uppnå effektivare jordbruksproduktion och produktutveckling." Målområde 3 har enligt utlysningstexten sin utgångspunkt i det tekniksprång som lantbruket är en del av och där är teknikutvecklingen inom precisionsodling en stor del.

Begreppet precisionsodling är mycket brett och kan innefatta flera olika delar. Det som främst förknippas med precisionsodling är anpassade gödselgivor utifrån markkarteringar eller sensoravläsning av grödan. Det finns verktyg för hur utsädesmängderna kan anpassas till jordart och näringsstatus i jorden. Dataväxt utgår ifrån lerhaltskartan från Digitala åkermarkskartan som tagits fram av Sveriges lantbruksuniversitet och Sveriges Geologiska Undersökning³² medan SOYL.se mäter den elektriska konduktiviteten för att få fram lerhalt, stenrikedom och vattenhållande förmåga³³. Andra delar av precisionsodlingen är den platsspecifika bearbetningen som exempelvis görs vid radhackning mot ogräs eller punktbestsprutning av infekterade plantor eller enskilda ogräsplantor tack vare sensorer kopplade till datorer som avgör behovet för varje planta. Begreppen diagnosverktyg och prognosmodeller kan också räknas till precisionsodling, eftersom det är platsbundna parametrar som styr utfallet av dem, men de analyseras i avsnittet 1.3 Växtens hälsa och smittskydd.

Kunskapsläge idag

Utvecklingen går snabbt inom precisionsodling. GPS är ett allmänt använt redskap, men utvecklingen går framåt stort, speciellt i högvärdegrödor där utsäde/plantor kan placeras med hög noggrannhet med en fix GPS-position och avståndet mellan plantorna är relativt stort. Det gör att mekanisk ogräsbekämpning kan komma mycket långt genom bearbetning av området runt hela plantan. Robotar börjar säljas kommersiellt idag, men de är i tidigt skede, där exempelvis två danska företag utvecklar autonoma maskiner som jobbar med GPS-teknik. Farmdroid³⁴ både sår och bekämpar ogräs mekaniskt mellan raderna och i raden mellan plantorna avsedd för betor och raps. Vid sådd registreras varje frös placering och det används sedan för ogräsbekämpningen mellan plantorna. Företaget Agointelli³⁵ arbetar bredare i projektform med ett tjugotal projekt där exempelvis bildbehandlingsprogram analyserar vart ogräsplantan står så att en robot kan rensa bort den. I ett annat projekt utvecklas ett

³² <https://datavaxt.com/sv/produkter/markdata/>

³³ <https://www.soyl.se/produkter/soyl-scan/>

³⁴ <http://farmdroid.dk/>

³⁵ <http://www.agointelli.com/>

kamerabaserat system som ska avgöra grödans tillväxt och näringsstatus, sjukdomsangrepp och insektsangrepp samt ogräsförekomst i spannmålsfält och lökodlingar.

I planterade grödor finns flera kommersiella produkter som framförallt jobbar med kamerastyrning. Exempel på tillgängliga maskiner i Europa: Robovator (www.visionweeding.com), Robocrop (www.garford.com), Steketee IC (www.steketee.com) och Ferrari Remoweed (www.ferraricostruzioni.com). Utvecklingen drivs delvis kommersiellt. Ett tyskt trepartssamarbete vill ta fram en robot för betodling som både sår och rensar ogräs³⁶. I framtiden behöver tekniken klara av ett vidare användningsområde med sådda grödor och i system med skörderester i ytan (direktsådd gröda eller reducerad bearbetning), vilket återkopplar till stycken ovan. I grödor med täta rader är den största begränsningen idag att kunna bekämpa ogräset mekaniskt i raden. Mycket forskning pågår kring mer precis ogräsbekämpning, oftast baserade på kamera- och sensorteknik som kan känna igen ogräs i realtid och anpassa en pågående kemisk, mekanisk eller termisk bekämpning utifrån de ogräs som finns på marken. Arbetsgruppen inom fokusgrupp EIP-AGRI om icke-kemisk ogräsbekämpning har sammanställt kunskapsläget idag i en rapport (EIP-AGRI Focus Group, 2020).

Olika teknik och tidpunkter för mekanisk ogräsbekämpning och dess följder för skörd, svampangrepp och jordstruktur har undersökts i en omfattande nordisk studie som kan få betydelse för användningen av mekanisk ogräsbekämpning framöver (Brandsæter et al., 2020). Huvudresultatet var att mekanisk bekämpning både höst och vår i höstvetegröda gav bäst skörd, troligtvis tack vare mindre biomassa av ogräs samt att svampangreppen var lägre.

Biologisk ogräsbekämpning görs med fördel genom odling av vall. Vallen konkurrerar ofta bort ogräsen som dessutom får svårt att återväxa och hinner sällan fröa av sig vid återkommande skördar eller bete (Connolly et al., 2018; G. Martin et al., 2020). För de plantor som hinner fröa av sig ökar fröpredationen om det finns vegetation på fältet eftersom insekter och fåglar gärna håller sig i högre vegetation, såsom en återvuxen vall (Meiss et al., 2010). De tre i detta stycke nämnda artiklarna är mycket omfattande och refererar till mycket forskning inom vallodling och ogräsreglering. Allelopati är en annan slags biologisk bekämpning av ogräs där lusern, käringtand, vete, bovete, sorghum råg, och oljeväxter har visat sig ha stora fördelar när det gäller att hindra ogräs från att etablera sig (Asaduzzaman et al., 2015; Bachheti et al., 2020; Khanh et al., 2005; Kumari & Chaudhary, 2020; Lam et al., 2012; Nawaz et al., 2020; Otte et al., 2020; Rehman et al., 2019; Schulz et al., 2013). I flera av artiklarna beskrivs vilka metaboliska ämnen som respektive gröda använder för sin allelopati samt att Bachtheti och medförfattare (2020) och Nawas och medförfattare (2020) har gjort gedigna litteraturgenomgångar inom ämnet allelopati och växtskydd, inklusive substanser som kan användas som insekticider. Kumari & Chaudhary (2020) skriver även om farmaceutiska aspekter av allelopati av bovete.

Lusern i renbestånd har visat allelopatiska egenskaper gentemot det ettåriga gräset styvrep (*Lolium rigidum*) som är till besvär i Australien (H. M. Zubair et al., 2017). Gräset finns inte i Sverige men frågan uppstår om lusern kan ha negativ allelopatisk påverkan på de rajgräsarter (*Lolium* sp.) som odlas i vallarna. I den australiensiska studien upptäcktes att lusernsorterna hade olika kraftig produktion av de metaboliter som genom rotexudat ger upphov till försämrade

³⁶ <https://www.ja.se/artikel/9-juni-2020-satsar-pa-robotteknik-for-betodling>

rottillväxt i styvgrepe. Forskning pågår för att använda de allelopatiska ämnena, kallat allelokemikalier, och andra sekundära metaboliter från grödor och medicinalväxter till herbicider (Mehdizadeh & Mushtaq, 2020). Forskarna tror inte att dessa biocider kommer att ge samma effekt som kemiska herbicider men att ogräsplantorna blir så pass reducerade att de inte kommer att konkurrera nämnvärt med grödan.

Andra områden för precisionsodling är platsanpassad gödsling utifrån årsmån och grödans tillväxt med hjälp av sensorer, satellitdata, drönare med mera där det dessutom finns ett antal kommersiella verktyg att använda såsom CropSAT, Atfarm, SOYL, markkartering.se, markdata.se, verktyg från Dataväxt och Datalogisk, Vultus med flera. Exempel på pågående projekt med kombinationer av olika sensortekniker och AI-analys för att utröna samband och se möjligheter att utnyttja data på nya sätt presenteras på Linköpings Universitets hemsida: "Optimerad odling genom nya spektrala vitalitetsmätningar"³⁷.

Utvecklingsmöjligheter

Utvecklingen av självgående maskiner eller redskap pågår glädjande nog, men behovet av mekanisk ogräsbekämpning i såraden kvarstår och bör utvecklas så att roboten eller redskapet kan verka under bredare förhållanden. I takt med att jordbearbetningen minskar finns ett utvecklingsbehov av maskiner som kan hantera skörderester eller att få skörderesterna inblandade i jorden. Arbete pågår men mycket återstår kring detektion av ogräsarter och täthet av ogräs i fält med sensorteknik. Identifikation och bekämpning i realtid är målet. Den tekniska utvecklingen av kemisk bekämpning borde gå mot precisionsstyrd kemisk bekämpning som enbart besprutar ogräsplantan mellan raderna av grödan eller till och med i raden. Med robotteknik som är satellitstyrd och med bildanalys kan en kombination av kemisk och annan typ av bekämpning (ånga, elektricitet eller mekaniskt) tillämpas.

Mycket arbete pågår för att förbättra styrningen av gödsling av grödan utifrån fältets och årsmånens specifika behov. Mer utveckling behövs för att använda olika data tillsammans, såsom markdata, data från satelliter, sensordata från fältmaskiner, på ett användarvänligt sätt. Det är mycket viktigt att utvärdera vad som är lönsamt för lantbrukaren att använda. All användning av sensorer, bildanalys för styrning av insatser robotteknik med mera, måste följas upp med en analys av lönsamheten i praktiken för lantbrukaren.

All GPS-styrning behöver vara synkroniserad med varandra, vilket möjliggör byte av fordon utan att tappa viktig information om fältet. Det gör inte systemet så sårbart vid stöld av utrustning eller tekniska problem.

Forskningsbehov

Forskningen inom teknologin är belägen på nivå 4–6 på TRL-skalan och forskningen inom allelopati är på nivå 4. Den nya tekniken som kommer fram, exempelvis autonoma robotar i olika grödor behöver utvärderas för att ge lantbrukarna underlag för investeringsbeslut. Mycket återstår kring tekniken för igenkänning av ogräs där det finns stor potential för praktisk användning. Särskilt saknas teknik för effektivare mekanisk ogräsbekämpning i de stora lantbruksgrödorna som spannmål, protein och oljeväxterna. Kan mekanisk ogräsbekämpning

³⁷ <https://liu.se/artikel/optimerad-odling-genom-nya-spektrala-vitalitetsmatningar-agtech2030>

utföras i raderna, mellan plantorna? Det är en utmaning att få ogräsbekämpande robotar i spannmålsgrödor med smalt radavstånd på stora arealer eftersom det kräver stor kapacitet i snabbhet och batteriförbrukning och livslängd på batteriet. Effekterna av förbränning av eller elektiska stötar på ogräsplantan behöver beprövas och riskerna för att det ska börja brinna måste utredas. Lönsamhetskalkyler behöver tas fram fall det är lönsamt att i konventionella system kombinera kemisk och mekanisk ogräsbekämpning genom radsprutning och radhackning.

Forskningen om allelopatiska grödor och deras förmåga att begränsa oönskad tillväxt eller insektsangrepp är på gång men det behövs utformas tillvägagångssätt och metoder för att få en praktisk tillämpbarhet så att det kan användas flitigt av lantbrukare. Khan och medförfattare (2005) som skriver om allelopati hos lusern och käringtand är citerad 124 gånger i skrivande stund så det är ett hett forskningsämne och potentialen är stor för vilka användningsområden allelopati kan tillämpas, vilket är värt en egen syntesrapport. Oljeväxter, majs, bovete, råg och vete nämns också som grödor som har allelopatiska egenskaper. Några av användningsområdena som nämns i genomskummad citerande litteratur är biologiska herbicider och insekticider, upptag av tungmetaller, tillväxtreglering och att mikrofaunan i jorden påverkar växternas förmåga för allelopatiska. Hela ämnet inom allelopati behöver beforskas mer för att kunna användas i ett resurshushållande och klimateffektivt lantbruk, *sustainable agriculture* som de engelskspråkiga säger.

Många mätningar som görs i fältförsök är mycket arbetskrävande och skulle kunna effektiviseras med hjälp av ny teknik med bildbehandlingsprogram och sensorer med mera. Forskningsbehov finns inom följande ämnen:

- Mäta stråvolym i grödor med bildbehandling för att mäta halmmängd i grödan.
- Utveckla mätmetoder för att genom bildbehandlingsprogram mäta svampsjukdomar, ogräsmängd, grödvolym etcetera.
- Analysera infångade insekter i fångstskålar för att minska tidsåtgång. Helst med teknik som kan artbestämma samtidigt.
- Alternativa metoder för att ”gränsa försök”, vilket görs idag med glyfosat. Vad ska användas vid ett förbud mot användning av glyfosat?

1.2.1 Får som miljövänlig bekämpningsmetod mot oönskad växtlighet

Betande djur kan vara selektiva i vilka arter de äter. Får har visat sig beta arter som andra djur ratar, däribland delvis giftiga invasiva arter, vilket belyses nedan. Får söker också variation i de arter de betar. Om de till exempel släpps på betesfälla med fröodling av rödklöver letar de upp annan växtlighet för att få variation, vilket gör att ogräsen betas ner. Getter är också bra på att bekämpa ogräs eftersom de även äter vedartade växter (Popay & Field, 1996).

Kunskapsläge idag

Får används idag framförallt som ogräsbekämpare på gårdar med ekologisk produktion. Särskilt god effekt av får på bete har uppmärksammats på ekologiska frövallar och som betesputsare i betesfällor där mjölkkor betat. Fårens avbetning av beten för mjölkkor, det vill säga de putsa betena, har gett en förbättrad kvalitet på vallen samt att avkastning året efter ökar (Rutter, 2006; Watt & Gibson, 1988) (Rutter, 2006; Watt & Gibson, 1988). Det finns en lokal kunskap på vissa gårdar i Sverige om hur betesdriften ska planeras för bästa effekt och systemet är

vanligt i Danmark och på Nya Zeeland (Watt & Gibson, 1988; Team Fårerådgivning³⁸). Fårbete har framgångsrikt används i exempelvis fruktodlingar, nyplanteringar skogsmark och julgransodlingar. Erfarenheten säger att det går att kombinera god tillväxt på lammen samtidigt som det ger ökad produktion och bättre kvalitet i fröodlingen. I Danmark är metoden att beta frövallar och använda får för att förbättra vallodlingen vanligt förekommande. Flertalet forskningsprojekt har bedrivits om hur och när fåren ska beta för bästa effekt³⁸.

Fåren betar av ogräsplantor under tillväxtpunkten, vilket medför att ettåriga ogräs inte skjuter skott igen. Tillväxten och återväxt av skräppa, *Rumex* sp., kan stoppas markant av fårens betning (Zaller, 2006). Liknande effekt har åstadkommits mot jättebjörnloka och björnloka, bland annat i projektet "Beta björnloka med får" som är ett Lokala naturvårdssatsningen – LONA-projekt, vilket drivs av Hushållningssällskapet i samarbete med Jönköpings kommun och Länsstyrelsen i Jönköpings län i naturskyddsområdet Häggeberga³⁹. Här utgjorde jättebjörnlukan ett stort problem då de tog över och konkurrerade ut andra växtarter. Under 5 år har nu gotlandsfår betat området med lyckat resultat. Projektet kommer att omfatta total 7 år.

Utvecklingsmöjligheter

Fåren har en stor potential för att effektivt kunna användas i stor omfattning på växtodlingsgårdar när det gäller ogräskontroll. Särskilt stor nytta skulle fåren kunna göra för att hålla efter besvärliga ogräs, såsom skräppa i beteshagar. Genom en planerad betesdrift med får i odling av vallfrö kan högre skördar, renare frövara och bättre kvalitet produceras.

Forskningsbehov

Forskning om får som ogräshämmare befinner sig på nivå 5 på TRL-skalan. I dagsläget använder en antal gårdar i Sverige får som betar för ogräskontroll så kunskap finns med inget är dokumenterat och ingen forskning har bedrivits i Sverige. Forskning behövs framförallt för att dokumentera hur bete ska planeras för bästa resultat vad gäller både tillväxt på lammen och skörd och kvalitet på grödan. Forskningen bör omfatta hela systemet och även hur samarbetet mellan lammproducenten och växtodlingsgården kan utformas.

³⁸ Team Fårerådgivning, <https://www.teamfaareraadgivning.dk>

³⁹ <https://www.jonkoping.se/upplevagora/friluftslivochmotion/naturreservatochnaturminnen/naturreservatethaggebergochgranbackslavskogar.4.6a97be8416455cf58f81d7d.html>

1.3 Växtens hälsa och smittskydd

Begreppet *integrerat växtskydd* är välforskat och det viktigaste är ett förebygga växtskyddsproblemen. Jordbruksverkets växtskyddscentraler har givit ut en rapport med odlingstekniska åtgärder och principer för och tips (REF). Under 2019 presenterade projektet SLU Plattform Växtskydd som organiserats i olika fokusgrupper fem rapporter, en från varje fokusgrupp, om kunskapsläget idag inom växtskydd och vad som behövs forskas på⁴⁰. Fokusgrupperna hade till uppgift att samla alla aktörer inom växtskyddsområdet i Sverige, däribland flera medlemmar ur arbetsgruppen för denna syntes. Rapporterna finns tillgängliga under respektive fokusgrupp och eftersom de är så gedigna hänvisar vi till dem, men de sammanfattas i korthet nedan:

Diagnostik, övervakning och riskhantering, Kontakt: Åke Olson

Ett starkt önskemål om ett "analyscentrum" med möjlighet till diagnostik och analys av sjukdomar och skadegörare hos växter fastslogs. Diagnostikmetoder behöver utvecklas och anpassas till snabba informationsflödet som finns i samhället. Svensk växtpatologisk förening bildades vid slutet av arbetsperioden med bland annat engagemang kring "International Year of Plant Health 2020".

Växtskydd i rot- och knölgrödor, Kontakt: Erland Liljeroth

Forskning behövs utifrån ett odlingssystemperspektiv (växtföljd, odlingsåtgärder etcetera) som hanterar växtskyddsproblem orsakade av flera skadegörare samtidigt, gärna deltagardriven forskning som kan få fram tillämpbara kunskaper. Bekämpningsstrategier ur olika synvinklar, såsom alternativa metoder till bekämpningsmedel som riskerar försvinna och utifrån skadegörarnas spridningsbiologi (vind-vektorer-maskin-utsäde). Den tekniska utvecklingen behöver stärkas kring prognosmodeller, sensor- och robotteknik för tidig detektion av olika skadegörare samt säkrare diagnostik.

Raps och andra avbrottsgrödor som strategiskt fokus, Kontakt: Mattias Larsson

Det behövs forskning inom hela odlingssystemet gällande växtföljder, skadegörare (inklusive biologi), resistensförädling och motåtgärder.

Lågrisk-medel i växtskyddet, Kontakt: Åsa Lankinen

Användningen och tillgängligheten av alternativa medel försvåras av EU-lagstiftningen för godkännande av dessa medel samt ogynnsamma skatteregler och höga priser. Kunskaperna behöver förmedlas till användarledet och forskning och utveckling behövs kring effektivitet och aktiva substanser/mikrober för att påvisa hur alternativa bekämpningsmedel kan integreras i befintliga växtskyddsstrategier.

Växtskydd i spannmålsgrödor, Kontakt: Paula Persson

I rapporten presenteras ett stort antal skadegörare och problem såsom invasiva ogräs, växtskydd i nya grödor och skadegörarnas resistens mot bekämpningsmedel. De luftburna svamppatogenerna är ett gissel och hur kan behovet av kemisk bekämpning minskas. Mykotoxiner i spannmålskärnor och halm är ett område som behöver beforskas.

⁴⁰ <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/plattform-for-vaxtskydd/samverkan/>

Nedan presenteras några ämnesområden som vi anser behöver mer utrymme inom forskningen.

Kunskapsläge idag

Biologisk bekämpning och alternativa medel

Stora resurser har satsats på biologiska bekämpningsmetoder för användning i lantbruksgrödor där bakteriebaserade produkterna (Cedemon och Cerall, Lantmännen BioAgri) används sedan drygt 20 år. I växthus är det stor användning av biologiska metoder i grönsaker och prydnadsväxter. Produkter som baserade bakterier (Serenade, Bayer), men även kommersiella produkter baserad på svampar, spinnrovkvalster och nematoder är tillgängliga (Biobest, Belgien; Lalleman Plant Care, Finland).

Mycket av forskningen som bedrivs i Sverige görs på SLU inom Centrum för biologisk bekämpning (CBC)⁴¹. I ett av projekten använder forskarna sig av blomflugor som ska föra antagonistiska jästsvampar till blommor i fält, exempelvis rapsblommor⁴².

Det finns alternativa medel, eller växtstärkande medel som kan gynna plantan eller få den att öka sin motståndskraft mot patogener. Ett sådant ämne är fosfit som blandas med kemiskt bekämpningsmedel mot algsvampen som orsakar bladmögel på potatis (Liljeroth et al., 2016, 2020). Ämnet har ingen annan påverkan på växten än att den ger en synergieffekt med bekämpningsmedlet och att en mindre dos kan användas. Fosfiten går inte att finna i slutprodukten potatisstärkelse efter processen.

Jordhälsa

Jordhälsa är jordens förmåga att på lång sikt upprätthålla dess viktigaste funktioner. En sund jord kommer att kunna bibehålla produktiviteten och bibehålla eller förbättra miljövinster. I allmänhet, påverkas jordhälsan av bland annat jordbearbetning som har direkt effekt på jorden fysikaliska och biologiska egenskaper (Bender et al., 2016; Bending et al., 2002; Williams et al., 2020). Nya odlingskoncept som "Conservation Agriculture"⁴³ och "Regenerative Agriculture"⁴⁴ (se avsnitt 1.5) innebär mindre plöjning av jorden för att öka kolinlagringen som i sin tur minskar koldioxidavgången som driver på klimatförändring (Jaleta et al., 2019). Detta kräver en god balans mellan fysiska, kemiska och biologiska jordegenskaper, av vilka många kan testas. Sådana tester finns lanserade i USA och England för att mäta indikatorer på jordhälsa, exempelvis mullhalt, markstrukturens stabilitet och mikrobiell aktivitet.

Växtföljdssjukdomar och mellangrödor

Fokusgruppsrapporterna behandlar ofta växtföljdssjukdomar. Detta avsnitt fokuserar på problematiken kring mellangrödor som ökar i användning för att minska miljökonsekvenserna av jordbruket. Jordbundna patogener överlever med vilkroppar eller mycel och kan också

⁴¹ <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/kompetenscentrum-for-biologisk-bekampning-cbc/>

⁴² <https://www.slu.se/ew-nyheter/2020/4/cbc-forskare-far-pris-for-innovativ-biologisk-bekampning/>

⁴³ <http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/>

<https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/radnu/forskning/forskningsprojekt/conservation-agriculture/>

⁴⁴ <https://regenerationinternational.org/why-regenerative-agriculture/>

uppförökas på ogräs som tillhör värdväxtsläktena. Flera jordbundna patogener har vilkroppar som kan överleva 10–20 år i marken. Gemensamt för dessa skadegörare är att de påverkas starkt av växtföljden och de som är associerade med specifika växtarter eller växtsläkten kräver olika mellanrum i växtföljden för att hållas under kontroll⁴⁵. För bladfläcksvampar i stråsäd räcker ett fåtal års mellanrum mellan värdväxter medan för patogener som *Aphanomyces euteiches* (ärtrotröta) och *Plasmodiophora brassicae* (klumprotsjuka) krävs många år utan värdväxter och mottagliga ogräsarter. Samspelet mellan klumprotsjuka och mellangrödor och vilka förutsättningar som påverkar har beskrivits i vetenskapliga artiklar och rapporter (Aronsson et al., 2012; Diederichsen et al., 2009), i branschtidningar (Wallenhammar et al., 2012) och som en litteraturstudie i ett självständigt arbete vid agronomprogrammet (Knutsson, 2014). Patogener som kräver långt uppehåll mellan värdväxter i växtföljden har förmåga att överleva långa perioder utan värdväxt genom att ha en fas i sin livscykel där långlivade överlevnadssporer vilar fritt i jorden eller som levande mycel i jorden under många år. Dessa faser i livscykeln är relativt okänsliga för miljöpåverkan, svåra att bekämpa och har långa halveringstider i marken. Andra viktiga växtföljdssjukdomar är mjöldryga, bomullsmögel, torröta i oljeväxter, rotröta i klöver samt svampsläktet *Fusarium* som innefattar arter som är både jordbundna och utsädesburna.

Mellangröda är ett begrepp som täcker fånggröda, mellangröda, "cover crop" och "companion crop" som beror på syftet av odlingen av sådana grödor i en huvudgröda (vete, korn eller vall) eller inför nästkommande huvudgröda. Mellangrödor har olika positiva effekter, bland annat förbättring av markbördighet, minskning av kväveläckage, konkurrens mot ogräs, sanering av nematoder och vissa växtpatogener. Trots dessa positiva effekter kan mellangröda konkurrera med huvudgrödan för ljus, vatten och näringsämnen och därmed minskar skörden.

Mellangrödors inverkan på växtpatogener och nematoder varierar beroende på egenskaper hos de enskilda patogenerna och nematoder samt mottagligheten hos sorterna. Resistent sorter av vitsenap som mellangröda har visat bra sanerande effekt mot betcystnematoder medan odling av vitsenap i växtföljder med höstraps kan innebära stor risk för uppförökning av klumprotsjuka (Olsson et al., 2016; Wallenhammar, 2012). Baljväxter fungerar bra som en mellangröda eller "companion crop" med höstraps, men medför däremot risk för uppförökning av rotsårnematoder, en växtparasitär nematod med bred värdväxtkrets (Schmidt et al., 2017).

Nematoder

Växtparasitära nematoder är ett växande problem särskilt under de senaste åren i koppling till klimatförändring och korta intensiva växtföljder (Bernard et al., 2017). Nematoder har ofta en mycket bred värdväxtkrets och kan uppföröka sig i olika grödor samt i vissa ogräs. Förekomsten brukar variera mellan åren och dessutom förekommer inomfältvariationer. Skördeförlusten som orsakas av till exempel rotgallnematoder är kopplad till nematodtätheten i marken (Gugino et al., 2008) och därför är det viktigt att kvantifiera antalet nematoder före sådd för att kunna

⁴⁵ Projektrapport för *Växtföljdens roll i bekämpningsstrategin för minskad användning av kemiska bekämpningsmedel*. Levenfors, J., Omer, Z., & Wallenhammar, A.-C. 2014. Ej tillgänglig online. <https://fou.jordbruksverket.se/fou/sok/detalj/3760>

planera hållbara växtföljder. Universitetet i Wageningen i Nederländerna har publicerat en förteckning över nematoder och dess värdväxter⁴⁶ och den är översatt till svenska⁴⁷.

Det vanligaste sättet att identifiera och kvantifiera nematoder är genom morfologisk bestämning men det kan vara svårt att skilja på arter som är närbesläktade. Skadetrösklarna varierar betydligt mellan olika nematoder. För rotgallnematoder det handlar om ca 1–4 juveniler per 250 g jord medan i rotsårnematoden det ligger på ca 110 stycket per 250 g jord (Holgado et al., 2009). Skadetröskeln kan dessutom variera mellan olika jordtyper och är sannolikt olika för olika grödor, till och med mellan olika sorter av samma gröda. Statusen på skadeverkningar av vissa nematoder är oklar, till exempel stjälnematoder i vallbaljväxter och havrecystnematod. Bekämpningsåtgärder består huvudsakligen av växtföljder och odling av resistent sorter, men också sanerande mellangrödor (Olsson et al., 2016). Nya lovande tekniker som RNAi (RNA interferens) presenterar en kraftfull metod för kontroll av växtpatogener, inklusive växtparasitiska nematoder (Jain et al., 2018; Vieira et al., 2015). Jain och medförfattare (2018) diskuterar utvecklingsmöjligheterna för RNAi, vars upphovsmän belönades med Nobelpriset i fysiologi eller medicin år 2018 och beskrivs i ett faktablad publicerat på hemsidan för Nobelpriset⁴⁸.

Några nematodarter klassas som karantänsskadegörare där rotgallnematoderna, *Meloidogyne chitwoodi* och *Meloidogyne fallax*, har kommit in i Sverige, troligtvis med potatisutsäde där nematodförekomsten missats trots certifierat utsäde. Rotgallnematoder kan orsaka mycket stora skördeförluster i potatis, morötter och olika grönsaker (EPPO, 2016). Det finns flera andra nematodarter som finns i södra Europa som är klassade som karantänsskadegörare, däribland tallvedsnematoden, som ännu inte hittats i Sverige.

Smittskydd

För att förhindra spridning av växtskadegörare, eller patogener över huvud taget, behöver vi dagligen tänka på hur vi hanterar jord, skodon och maskiner. Detta är speciellt viktigt för karantänsskadegörare och invasiva ogräs som sprids lätt via jord, utsäde och dåligt rengjorda maskiner och skodon. En krönika om smittskyddets betydelse finns i Tidningen Arvensis nr 2 2019 men den är dock ej tillgänglig på internet.

Flera växtpatogener och växtparasitära nematoder kan spridas till nya fält eller område med smittat utsäde. En annan stor spridningsväg är jord och växtrester på lantbruksredskap som körs mellan olika fält och ibland även olika gårdar utan ordentlig rengöring. Tvättvatten och sorteringsjord räknas också som spridningskällor. Flera jordbundna patogener har vilkroppar som kan överleva flera år i marken ett exempel på vilkroppar är sklerotier av *Sclerotinia sclerotiorum* som orsakar bomullsmögel och vilsporerna av *Plasmodiophora brassicae*, som orsakar klumprotsjuka i höstraps och andra oljeväxter, kan överleva i marken i 10-20 år (Wallenhammar, 1996).

⁴⁶ <https://www.aaltjesschema.nl/>

⁴⁷ <https://hushallningssallskapet.se/wp-content/uploads/2016/12/rotgallnematoder-altjes-schema-2019-och-nemabase.pdf>

⁴⁸ https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/medpress_sve.pdf

Ogräs är ett annat gissel för odlingen som lätt kan spridas med fröutsäde och dåligt rengjorda maskiner och skodon. Spridning av ogräs, där skräckexemplen är renkavle⁴⁹ och hönshirs⁵⁰. Det sistnämnda är ett tropiskt ogräs som är allmänt förekommande i södra Sverige och också finns i Mälar-Hjälmarbygden. Renkavle och hönshirs utvecklar dessutom allt oftare resistens mot kemiska bekämpningsmedel och där andra metoder måste användas och används i växtföljden. Flertalet ogräsarter kan begränsas genom jordbearbetning och fleråriga vallar (se avsnitt 1.2) och att variera mellan höstsådda och vårsådda grödor eftersom ogräsen har olika livscyklar.

Beslutsstödsystem och diagnosverksamhet

Beslutsstödsystem ger en bedömning av angreppsutvecklingen under växtsäsongen baserat på bland annat fältobservationer och väderdata. Förutom uppföljning av utvecklingen av befintliga patogener, insekter och ogräs, är det viktigt att upptäcka och förhindra spridning nya patogener och skadegörare. Flertalet växtskadegörare har en livscykel som är väderberoende och det finns flertalet beslutsstödsystem inom potatisodling, rapsodling och spannmålsodling.

Beslutsstödsystem (BSS) är verktyg som hjälper användaren att fatta ett beslut baserat på relevant information och korrekt analys. Vissa är lättillgänglig för användaren (webbläsarbaserad) och har generellt låga driftkostnader och är lätta att uppdatera. Med BSS är det möjligt att styra olika insatser i produktionsprocessen på gården bland annat för att bedöma risken för angrepp med växtsjukdomar och skadegörare och därmed bedöma rätt tidspunkt för kemiska bekämpningsinsatser. Det finns några tillgängliga prognosmodeller och BSS för övervakning och riskbedömning av exempelvis bomullsmögel i höstraps (ScleroPro), svampsskadegörare i spannmålsgrödor (Jørgensen et al., 2020) och bladmögel i potatis (VIPS, Dacom och Skimmelstyrning). En sammanställning av de tre systemen i potatisodlingen gjordes av L. Aldén 2019⁵¹. Sugfällor används i dagsläget för att bevaka förekomsten av insekter de är placerade på flera olika delar av landet. I Storbritannien används ett prognos- och bevakningssystem med ”smart traps” som är en kombination av sporfälla och utrustning för DNA-analyser och erbjuds kommersiellt⁵². Användning av sådana sporfällor kan ge en tidig varning om vissa patogena svampar och aktuell information kan skickas direkt via en app till användare. FERA skriver på hemsidan att de utvecklar metoder för 33 olika skadegörare och sjukdomskombinationer, vilket kan vara lämpligt att tillämpa i Sverige.

Dagens konventionella detektionsmetoder, såsom mikroskopiska (okulära) bestämningar av morfologiska karaktärer, är värdefulla och används för verifiering av närvaro av växtskadegörare på växter, men de är tidskrävande och kan inte alltid särskilja närbesläktade arter. Nya, diagnostiska metoder baserade på molekylär teknik har ökat våra möjligheter att rätt identifiera och kvantifiera växtpatogener och andra skadegörare. Den vanligaste molekylära detektions- och kvantifieringsmetoden är Realtids-PCR, där flera metoder är kommersiellt

⁴⁹ <https://www.atl.nu/lantbruk/rengoring-billigare-an-kemisk-bekampning-mot-renkavle/>

⁵⁰ <https://www.landlantbruk.se/lantbruk/dyrt-och-svart-att-bekampa-honshirs/>

⁵¹ <https://www.slu.se/globalassets/ew/org/andra-enh/ltv/partnerskap-alnarp/dokumentation/seminarier-och-evenemang/2019/vaxjo-mote/15a-vaxjo-2019.-dss-potatis-final.lalden.pdf>

⁵² <https://www.fera.co.uk/our-science/active-r-and-d/in-field-diagnostics>.

tillgängliga i Sverige för kvantifiering av bland annat smitta av klumprotsjuka (Wallenhammar et al., 2012).

De senaste åren har andra metoder som Loop-mediated Isothermal Amplification (LAMP) utvecklats för säker detektion av en rad patogena svampar, bakterier och parasitära nematoder (Parida et al., 2008). Utöver dessa metoder finns en rad olika tekniker som DNA-array och DNA- streckkodning (Lindahl et al., 2013). Utvecklingen på dessa tekniker möjliggjort i fältdetektion "on site detection" av patogener och insekter med bärbara utrustningar och enkla sätt för DNA extraktion från växter och insekter i fält (Pusz-Bochenska et al., 2020).

Resistensförädling

Resistent sorter är ett effektivt sätt att bekämpa växtsjukdomar och skadegörare. Ett friskt växtbestånd kan utnyttja gödseln bättre och levererar bra skörd. Kännedom om sorternas egenskaper underlättar planering av andra bekämpningsåtgärder. Behov av resistensförädling identifierades i rapporten "Växtskydd i raps, åkerbönor och ärter: kunskapsbehov och forskningsinriktningar" som en utvecklingsmöjlighet för bättre växtskydd mot flera skadegörare och patogener, särskilt för de som är inte möjliga att bekämpas kemiskt (Borgström et al., 2019). SLU Grogrund är ett kompetenscentrum vid SLU vars huvuduppgift är att utgöra ett kunskapsnav för svensk växtförädling. Grogrund inrättades efter ett regeringsbeslut i SLU:s regleringsbrev för budgetåret 2018⁵³. Sedan dess har ett antal workshops hållits där viktiga områden och forskningsbehov identifierats och ett flertal projekt har beviljats. Ett av projekten har fokus på resistensförädling för friska grödor där fokus är vete, sockerbetor, ärter och rödklöver⁵⁴.

Utvecklingsmöjligheter

Lantbruket behöver fortsatt utveckling av hållbara strategier inom integrerat växtskydd med perspektivet "landskap och odlingssystem" och att nyttja ekosystemtjänsterna. Det finns ett behov av att utöka det internationella samarbetet, särskilt med de nordiska och baltiska länderna eftersom odlingsförutsättningar är ganska lika länderna emellan. Samarbetet behöver även innefatta prognos och varningssystem för att bevaka läget för migrerande och vindburna växtskadegörare på andra sidan Östersjön.

Beslutsstödsystem borde utvecklas för alla grödor och integreras med realtidskvantifiering av smitta i ett fält. Flertalet av de idag tillgängliga BSS är enbart baserade på väderdata och skadegörarnas livscyklar och spridningssätt. Flertalet skadegörare sprids via luftburna sporer och sporfällor torde kunna användas mer frekvent, inte bara i forskningssyfte, för att övervaka spridningen så att förebyggande åtgärder kan sättas in för att minska förekomsten av flertalet växtsjukdomar. Användning av sporfällor likt "smart traps" från Storbritannien har en stor potential att kunna användas i Sverige och fler metoder kan utvecklas eller förfinas de befintliga och säkra DNA-metoder så att de kommer att användas flitigt både i labbmiljö och i fält.

Det finns också ett starkt önskemål för en vidareutveckling för teknik att mäta förekomsten av svampsjukdomar, ogräsmängd, grödvolym och skördepotential med mera genom att använda

⁵³ <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/grogrund/om-grogrund/>

⁵⁴ <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/grogrund/projekt/resistensforadling-for-friska-grodor/>

bildbehandling, infrarött ljus och andra sensortekniker. Artbestämning och analys av insekter infångade i fångsskålar är tidskrävande och metoder behövs utvecklas för att minska tidsåtgång utan att riskera analys säkerheten.

Rådgivare och lantbrukare bör använda sig av frekvent jordprovtagning och analys av utsäde. Inköpt utsäde är certifierat men eftersom det inte alltid är nolltolerans eller att frön kan missas är det en risk som behöver beaktas. Provtagningarna och analysmetoderna behöver förfinas så att de genom snabba, effektiva och med hög säkerhet kan analysera flera prov samtidigt för att få svar på vad som finns i jorden i form av ogräs och växtskadegörare.

Fickformatsanalyser vore önskvärt så att det går att göra direkta analyser av vad som finns med på skorna eller maskinerna. Som en del i utvecklingen av realtidsdiagnostik borde specialsökande hundar ha stor potential för att lära sig känna igen växtskadegörare och ogräs, vilket kan jämföras med de tjänstehundar som tränade för att detektera mögel, vägglöss och miljögifter i jord. Det skulle vara ett stort steg inom smittskyddet att kunna snabbt och enkelt veta om ett utsädesparti, maskin eller skodon för med sig orenheter som innehåller skadegörare. Det torde finnas en god möjlighet att hundarna kan detektera ogräsfrön i utsädespartier och på maskiner. Hundarnas detektion skulle vinna tid vid utsädescertifieringen inom utsädesodlingen där enbart partier där hunden har markerat skickas på analys. Det blir en säkerhet för både köpare och säljare av begagnade fordon och jordbruksredskap att befästa att det inte kommer att följa med några patogener eller ogräs till nästa åker. Likaså kan redskap och fordon i en maskinsamverkan testas innan de körs vidare till andra gårdar. Hundarnas markeringar ska efterföljas av en molekylär eller okulär analys för att säkerställa vilken art hunden har markerat och vilka åtgärder som behöver göras för att motverka skadegöraren. I första hand bör det utvecklas metoder för att detektera skadegörare och ogräs som är till besvär för odlingen idag, men vi ser en mycket stor potential i att använda hundarna i jakten på karantänskadegörare. Hundarna kan med lätthet söka igenom flygplatser (insekter), ställen för lossning och lastning (tallvedsnematod i emballage) och potatisutsäde (rotgallnematoder) för att snabbt och enkelt kunna upptäcka och begränsa smittohärdarna. Vid samtal med personal på Jordbruksverket har de uttryckt sin tydliga önskan att specialsökande hundar kan användas i kampen mot karantänskadegörare. Denna hantering kräver dock tillstånd och särskilt tillvägagångssätt för att få möjlighet att använda referensmaterial samt att det finns certifierade analyslaboratorier som kan anlitas för verifikationsanalyserna. De specialtränade sökhundarna behöver utvärderas och certifieras så att det enbart är behöriga ekipage som utför dessa tjänster.

Hundarna har även förutsättningarna för att kunna detektera restprodukter av glyfosat i grödor, exempelvis raps och potatis. Molekylerna är gröningshämmande och kan ibland vara svåra att upptäcka förrän det är försent, det vill säga grödan växer dåligt i fält.

Det vore önskvärt att upprätta liknande tabeller som den för nematodarter och värdväxter för olika grupper av grödor respektive skadegörare för att lättare kunna sätta ihop en bra växtföljd utifrån gårdens egna förutsättningar. Detta kan med fördel ha föregåtts av biologiska markkarteringar i form av jordprovtagning och analys av jordbundna växtskadegörare i åkerjorden.

Utbudet av skyddsöverdrag och stövel- och skoskydd behöver utökas och användarvänligheten ökas genom produktutveckling. Framför allt bör de vara tillverkade av bioplaster eftersom de inte kan återvinnas på grund av smittorisk och att de ofta är kraftigt nedsmutsade.

Forskningsbehov

Växtens hälsa och smittskydd är ett mycket brett ämnesområde, varav forskningen fördelar sig inom nivå 3–8 på TRL-skalan beroende på inriktning.

Det finns ett mycket stort behov av att utreda vilka fältfaktorer och odlingssystem som påverkar olika interaktioner mellan gröda och växtskadegörare, exempelvis sjukdomar orsakade av *Fusarium* spp ”rosakärnor” och nematoder. Detta innefattar även hur situationen för ogräs, växtsjukdomar och insektsangrepp kommer att vara i ett förändrat klimat där viktiga frågor att belysa är hur patogena svampar och insekter samt sammansättningen av olika arter påverkas av olika nederbördsmonster och temperaturkurvor. För att bättre förstå interaktionerna mellan organismerna i odlingssystem och begreppet jordhälsa behövs frågorna om hur jordhälsan påverkas av olika odlingssystem. Ett stort forskningsområde är vilken inverkan minimerad jordbearbetning har på olika jordburna sjukdomar, nematoder och ogräs och vilka odlingsstrategier ska tillämpas för att minska angrepp i olika grödor. Sådana kunskaper behövs för att ta fram odlingsrekommendationer vid omställning till ett regenerativt jordbruk respektive ”conservation agriculture”.

Ett stort behov är att förädla fram ökad resistens mot växtskadegörare och insekter inom alla grödor men oljeväxter är speciellt utsatta för skadeinsekter. Genetiken hos grödorna har stor betydelse och forskning behöver inrikta sig på både ökad motståndskraft och de gener som styr mottagligheten. Förädlingen mot motståndskraftiga grödor får inte ge avkall på avkastning eller kvalitet och egenskaper av skördad vara. Samtidigt som resistensförädlingen mot högre avkastning, bättre kvalitet och växtskadegörare fortgår, behöver sorterna vara tåliga mot extrema väderleksförhållanden såsom hög värme och för lite respektive för mycket vatten. Växternas rotegenskaper kan påverka mottagligheten mot jordbundna växtskadegörare och det finns stora kunskapsluckor om vilka rotegenskaper som ska förädlas fram för att få motståndskraftiga sorter.

Insekterna behöver få större utrymme i forskningen och resistenskällor hos värdväxterna behöver identifieras samtidigt som övervakningen av resistensen hos insekterna mot bekämpningsmedel behöver fortskrida.

Viltskadorna i form av betning och trampskador behöver minskas för att säkerställa en god livsmedelsförsörjning. Vildsvin och hjortdjur är särskilt besvärliga på vissa håll och det behövs forskning om hur landskapet ska se ut för att skadorna kan minska samt om det finns andra åtgärder för att minska djurpopulationerna och följderna av dem.

Forskningen inom biologisk bekämpning behöver täcka hela kedjan från att ta fram nya organismer och utforska de bakomliggande mekanismerna till formulering och praktisk applicering i fält. Befintlig forskning har ofta fokuserat på skadliga svampar och därför behöver det utvecklas biologiska strategier för att bekämpa skadeinsekter och ogräs. Detta innefattar även metoder för ”escape”-strategier för värdväxterna. Användningen av biologiska produkter i fält behöver optimeras med tanke på att skapa gynnsamma förhållanden för mikroorganismerna i en produkt. Tillämpade fältförsök behövs för att kunna ge underlag för integration av befintliga biologiska bekämpningsmedel i bekämpningsstrategier för att exempelvis användas tillsammans med fungicider för att minska resistensutveckling. Likaså behövs underlag för forskning fram, även det genom tillämpade försök och demonstrationsodlingar, till rekommendationer och riktlinjer om hur en produkt fungerar i olika jordarter och odlingssystem.

Egenskaperna hos de endofytiska svampar, de svampar som lever i symbios med värdväxten, har potential för att nyttjas inom biologisk bekämpning, likt konkurrens mot biotiska och abiotiska faktorer såsom insekter och torka. Likaså behövs systematisk övervakning göras om, och när, det sker en beteendeförändring av interaktionerna mellan växtväxt, patogen och endofyt. Kolvsjuka på timotej är ett exempel där en gynnsam endofyt som lever i växten tidvis förhindrar fröbildningen och som fått allmän spridning under de senaste åren (Norrlund & Edin, 2020). En aktuell fråga är endofyten på timotej bildar toxiner farliga för djur och behöver utredas. Giftiga toxiner bildas också om gräsarter är angripna av mjöldryga och problemen ökar i råg. Vidare undersökningar behövs för att kartlägga sambandet mellan toxinbildningen och sklerotieproduktion av arten *Sclerotinia sclerotiorum* som orsakar mjöldryga. Likaså behövs mer kunskap om sammansättningen av aggressiviteten inom den svenska populationen.

Övervakning och rätt diagnos av växtpatogener och skadegörare är viktigt för att förebygga angrepp samt upprätta effektiva bekämpningsåtgärder. Det behövs fler prognosmodeller, beslutsstödsystem och verktyg som ger en riskbedömning för angrepp av växtsjukdomar även under den latent fasen för att identifiera om det är rätt tidpunkt för förebyggande eller bekämpande åtgärder. Tekniken för sugfällor och sporfällor i kombination med molekylära analysmetoder kan ge noggrann övervakning och diagnostik av flera svamppatogener och insekter. I används dagsläget flera metoder enbart i forskningssyfte men de behöver tillämpas mer av rådgivare och lantbrukarna för att kunna nyttjas till sin fulla potential.

Riktlinjer för jordprovtagning behövs preciseras i form av tidpunkt och djup för att kunna planera hållbara växtföljder och andra insatser. Det inkluderar biologiska tester, exempelvis antal daggmaskar och kvoten mellan bakterier och svampar i jorden, där framtagning och utveckling av befintliga metoder är behövliga. Det finns ett tydligt behov av information och tolkning av resultat och om hur egenskaperna i jorden kan förbättras. Utveckling av tester som kombinerar tester av parametrar för jordhälsa med analyser av växtpatogener och skadegörare är att föredra.

Kunskap om olika nematodarter, skadetröskel och åtgärdsmetoder inklusive sorters mottaglighet mot vissa nematoder. Ett exempel är behovet av inventering av stjälnematoder i vallbaljväxter (lusern) och förekomst av havrecystnematoden. Analysmetoderna för nematodarterna behöver utvecklas, däribland en kartläggning av RNAi och dess praktiska användningar i kontroll av växtparasitära nematoder.

Det finns ett behov av att fastställa effekten av och få bättre förståelse av funktionen hos mellangrödor, exempelvis blålupin, sunnhampa, rajgräs, tagetes och honungsfacelia på specifika nematodarter och andra växtskadegörare. Detsamma gäller huvudgrödornas inverkan på populationer av olika jordbundna växtskadegörare samt att mer kunskap behövs för bättre förståelse av hur makro- och mikrofauna påverkas i marken av mellangrödor och sambandet med jordhälsa.

Mellangrödans inverkan på fleråriga ogräs samt ogräsens fröbank i marken behöver utredas och vilka kombinationer av huvudgröda och mellangröda som är mest lämpliga med avseende på jordhälsa och växtskadegörare samt dynamiken gällande kolkvävekvoterna behöver undersökas.

Specialsökande hundar har en mycket god potential att detektera skadliga organismer och ämnen men det behöver utredas vilka växtskadegörare och ogräs, men även organismer inom human- och djurmedicin som hundarna kan lära sig att känna igen. Det är oklart om det finns begränsningar för vilka organismer som hundarna kan detektera eller om det är

omständigheterna runt omkring som hundarna lär sig att känna igen, exempelvis om det är en bakterieinfekterad sättknöl: är det bakterien eller symtomen och reaktionerna hos potatisknölen som hundarna luktar sig till och lär sig att känna igen.

1.4 Gödsling och näringskretslopp

I ett hållbart kretslopp återförs största möjliga andel av växtnäring från skörden till åkermarken. Det är framförallt viktigt för ett av de snabbast sinande näringsämnena fosfor. Det finns skäl som talar för att inte bara växtnäringen är viktig att få recirkulerad men även det organiska material som blir kvar när skörden använts till det den är tänkt, exempelvis mat till människor och djur, substrat till biogasanläggningar eller annan typ av bioraffinering.

Ett flertal svenska offentliga utredningar har gjorts direkt eller indirekt kopplade till fosfor. I den senaste, *Hållbar slamhantering*, belyses även andra ämnen som är viktiga för kretsloppet, till exempel kväve och mullbildande ämnen (SOU, 2020). Förslaget i utredningen innebär att avloppsslam av god kvalitet kan fortsätta användas på jordbruksmark men att övrigt slam inte längre får användas som anläggningsjord, vilket idag är den vanligaste användningen av slam.

Det är önskvärt att använda växtnäring från biomassan som avlägsnas från marken. Som exempel kan gräs från sent skördade marker eller annat biologiskt avfall användas som substrat i biogasanläggningar, där biogödseln sprids på åkrarna (se avsnitt 2).

I Storbritannien konstaterar forskare att mikrobiologiska och kemiska risker med tanke på livsmedelssäkerheten var låg eller försumbar vid användning av kvalitetssäkrad kompost och rötrester baserade på källsorterat nedbrytbart organiskt avfall (Longhurst et al., 2019).

Till följd av obalans mellan djurtätheten och växtodlingen finns mycket forskning kring hur fosfor kan tas bort från gödseln. Några metoder är fällning med magnesium eller kalcium, elektrokoagulering eller biokolproduktion (Zangarini et al., 2020).

Nedan följer en rapport om kunskapsläge idag för åtta aktuella aspekter inom gödsling och näringskretslopp och vi har samlat utvecklingsmöjligheter och forskningsbehov från samtliga aspekter längst ner i avsnitt 1.4.

1.4.1 Stallgödsel

I internationell forskning finns två fokusområden kring hantering av stallgödsel. Dessa är i princip även överförbara på restprodukter från biogasanläggningar och dylikt, oavsett ursprung på substraten:

- 1) att, på företag med balans mellan djurhållning och växtodling, på bästa sätt ta tillvara på den resurs som stallgödsel eller, i de fall den rötats, biogödseln utgör. Det innebär t ex att göra den så näringseffektivt som möjligt. Det handlar om minimering av oönskade effekter, exempelvis ammoniak- och metanavgång vid spridning och lagring, minimering av luktstörningar, packningsskador, utlakning och denitrifikation till följd av spridningsteknik och mineralisering vid ogynnsamma tidpunkter på året. Risken för oönskade mikroorganismer (t ex EHEC) eller risken för spridning av mikroorganismer med antibiotikaresistens och spridning av ogräsfröer måste beaktas. Det handlar även om maximering av önskade effekter, till exempel näringseffektivitet och positiv påverkan på mullhalt och vattenhållande förmåga samt positiva effekter av växthormoner och av fulvosyror som kan gynna plantornas tillväxt och öka toleransen för biotisk och abiotisk stress.

- 2) att hantera stallgödseln på lantbruksföretag med obalanserat stor animalieproduktion, i relation till spridningsareal, eller stora biogasanläggningar. Där är förstås frågorna under punkt 1 också relevanta, men det blir ett helt annat fokus som handlar om separering av fast och flytande fas, olika tekniska lösningar för att få över växtnäringen i en mineralisk form, få den organiska delen koncentrerad med så lite vätska som möjligt och få en vätskefas som i den mest extrema tekniken är att betrakta som rent vatten. Oavsett åsikt om denna utveckling kommer den att fortgå, driven av teknikföretag. Det vore att göra lantbruket och övriga samhället en björntjänst att bortse från detta fokus i forskningen kring framtidens lantbruk.

1.4.2 Separering av stallgödsel

Att separera stallgödsel till en fast och en flytande fas kan göras på flera sätt, och antalet tillverkare av separationsanläggningar ökar. Den fasta fasen kan användas som strö i djurproduktion eller som mullhöjare- och växtnäringsresurs i växtodlingen. Den fasta fasen är den mest fosforrika och kan tack vare separeringen spridas på de fält där fosfor gör mest nytta (Dinuccio et al., 2008)⁵⁵. I områden där det råder obalans mellan växtodling och antalet djur, det vill säga i relation till möjlig areal för gödselspridning, kan miljöproblemen orsakade av obalansen minskas genom separering av gödseln, vilket var slutsatsen av ett danskt projekt som undersökt flera metoder för att minska miljöpåverkan i gödselhanteringen (ten Hoeve et al., 2014).

1.4.3 Kväveläckage i lager av stallgödsel

En rad tillsatsmedel för att huvudsakligen minska ammoniakavgången från stallgödsel marknadsförs i Sverige och utomlands och de flesta av dessa är kemiska medel. Det finns även några organiska, såsom potatisstärkelse och rapsolja (Rodhe et al., 2005). Organiska medel är kolkällor som stimulerar biologiska processer i stallgödsel, men måste tillsättas i stora mängder. Kända kemiska tillsatser innefattar järnklorid och koncentrerade syror, såsom svavelsyra och ättiksyra. Både järnklorid och svavelsyra minskar ammoniakavgång med upp till 97 % (Kavanagh et al., 2019). Vid tillsats av järnklorid till flytgödsel minskar emissionerna av växthusgasen metan signifikant. Tillförsel av svavelsyra ökar fosfortillgängligheten samt svavelinnehållet i flytgödsel samtidigt som ett sänkt pH-värde hämmar metanbildningen i gödseln. Svavelsyra är frätande och inte tillåten i ekologisk produktion. Skumbildning vid syrabehandling under lagring kan ge problem. Långsiktig påverkan på pH-värde och den mikrobiella sammansättningen i jorden diskuteras också. Tillsats av syra till flytgödsel är en teknik som slagit igenom i Danmark, troligen till följd av deras starka restriktioner kring kvävegödsling. I Sverige har metoden inte fått fäste.

Det finns flertalet metoder, däribland byggtekniska system, som minskar förlusterna från gödsellagringen och några finns granskade i en nypublicerad översiktsartikel som beskriver olika system och dess egenskaper för att minska emissionerna (Kupper et al., 2020).

⁵⁵ <http://greppa.nu/arkiv/nyhetsarkiv/2014-11-25-separerad-stallgodsel-kan-hejda-overgodning.html>

1.4.4 Kväveförluster vid spridning av stallgödsel

Vid spridning av flytgödsel sker förluster av kväve i form av ammonium. Oavsett om gödseln är separerad eller inte skall god spridningsteknik användas för att minska kväveavgången. En viktig åtgärd för att minska ammoniakförlusterna vid spridning av flytgödsel är att minska luftkontakten genom djupare myllning med tyngre myllningsaggregat och ytligare myllning med tex släpskor. Släpskotechniken breder ut sig i användning men det finns problem med hållbarhet och känslighet för stopp i utmatningen. Denna ytliga myllning fungerar inte på en hård markyta men det finns stora fördelar när marken har en lucker yta (J. Eriksson & Olaison, 2014). Om tillräckliga ekonomiska incitament hade funnits verkar svenska lantbrukare se fördelar med surgöring av gödseln i stället för myllning som metod för att minska ammoniakförlusterna skriver J. Eriksson och Olaison i sin rapport (2014). Orsaken är att den minskade arbetsbredden vid myllning av gödsel fördyrar gödselspridningen och ökar markpackningen.

1.4.5 Förädling av stallgödsel och biogödsel

För att koncentrera näring från stallgödseln och återfå den i annan form kan kemiska, fysikaliska och biologiska metoder användas (Szogi et al., 2015). Biologiska metoder kan vara miljövänliga metoder såväl för fast som flytande stallgödsel. Genom en kompletterande mikroalgodling kan mikroalgerna fungera som en effektiv metod att återvinna protein från näringsämnen i gödseln (M. Zubair et al., 2020).

Olika sorters membrantekniker som skulle kunna användas för att ytterligare separera ut näringsämnen från den flytande fasen av separerad gödsel är under utveckling (Zhang et al., 2020). Tekniken använder sig av stegen mikrofiltrering eller ultrafiltrering följt av osmos, membran-destillering och elektrodialys. I ideala fall leder detta till en fraktion med ett näringsrikt flytande kommersialiserbart gödselmedel och rent vatten, som kan återanvändas som spolvatten eller för bevattning av närliggande marker. Zhang et al (2020) konstaterade dock att membrantekniken ofta faller på grund av ett antal tekniska utmaningar, framför allt påväxt på membranen till följd av stor förekomst av humusämnen och proteinliknande ämnen som bildar bryggor med multivalenta joner. Anaeroba mikroorganismer dras till membranen där de utsöndrar extracellulära polymerer som bildar en biofilm som kan täppa igen membranen. Det råder även motstridiga uppgifter om hur effektiv membrantekniken är för att separera bort ammoniumkväve från vattenfasen. Gödselseparering med membranteknik kräver mycket energi, vilket leder till höga driftskostnader. Energiåtgången är olika beroende på vilken membranteknik som används.

Zhang et al. (2020) drog slutsatsen att det kvarstår många tekniska utmaningar för själva membransepareringstekniken samt att produkten i form av flytande gödselmedel behöver processas eller paketeras ytterligare för att öka marknadsvärdet. Till exempel tänker man sig att man baserat på någon fraktion efter membranfiltreringen skulle kunna marknadsföra bladgödselmedel med aminosyror eller mikronäringsämne och att dessa som skulle kunna ha ett högt marknadsvärde i specialgrödor.

En ny teknik för att fixera kväve- och syregasmolekyler från luften för att bilda kväveoxid (NO) är under utveckling i Sverige. Försöket är ett samarbete mellan Hushållningssällskapet, RISE

N2Agri och SLU⁵⁶. Den producerade kväveoxidgasen tillförs direkt till flyt- eller biogödsel och har en surgörande effekt. Detta medför att ammoniakavgången begränsas och utsläpp av andra växthusgaser minskar väsentligt. Resultatet blir en ökad kvävemängd i flyt- eller biogödseln genom det tillförda kvävet från kväveoxiden och en minskad ammoniakavgång i lager och vid spridning som ett resultat av ett lägre pH-värde i gödseln.

1.4.6 Risker med stallgödsel

I takt med hälsotrenden att äta mer råa grönsaker uppmärksammas betydelsen av föroreningar i maten i form av mikroorganismer eller toxiner från mikroorganismer. Spridningsvägar kan till exempel vara stallgödsel, bevattningssvatten, jord, vild fauna, men föroreningen kan även ske under processning och distribution eller hemma i köket (Alegbeleye et al., 2018). Vid sjukdomsutbrott efter intag av bladgrönsaker är Shiga toxin-producerande *Escherichia coli* (STEC), *Salmonella* sp., *Shigella* sp., *Yersinia enterocolitica* och *Listeria monocytogenes* (Mogren et al., 2018) de vanligaste patogenerna. Mogren och medförfattare (2018) föreslog ett holistiskt åtgärdsprogram för att minimera hälsorisker till följd av patogener på bladgrönsaker. Åtgärderna består av en verktygslåda av hinder, med olika mål och syften, som kombineras på ett intelligent sätt. Det kan röra sig om fysikaliska, fysiokemiska eller mikrobiella hinder. Här finns en utvecklingspotential och forskningsbehov.

Antibiotikaresistensgener (ARG) i flertalet organismer är frekvent förekommande över jordklotet (He et al., 2020). Det finns ett samband med användningen av antibiotika men i vissa fall är det stor skillnad i förekomst av ARG mellan områden med ungefär lika stor antibiotikaanvändning. Även fysikaliska eller kemiska förhållanden kan påverka innehållet av ARG i gödseln. Förekomsten är vanligare i svin- och fjäderfägödsel men anträffas även i nötgödsel. En allmänt förekommande spridningsväg är via gödselspridning till jord, men det finns även andra spridningsvägar. Anaerob jäsning (biogasreaktor) minskar ibland förekomsten av ARG men den kan även öka. Sannolikt har temperaturen för jäsningsprocesser betydelse men även ARG-värden och gödselns egenskaper (He et al., 2020).

1.4.7 Näringsämnen på vallbeten

Bete på vall ger de positiva effekterna att djuren skördar sitt eget foder och minskar därmed kostnaderna för foderkonsumtionen samtidigt som miljöbelastningen i form av packningsskador och avgasutsläpp under vallskörden minskar. Djurens välbefinnande ökar, klövhälsan blir bättre och kornas rörelsemönster förbättras⁵⁷. En möjlighet till att öka betesdriften och samtidigt skydda betet från trampskador och för mycket gödsel är att beta i fällor som byts med jämna mellanrum. Konceptet kallas rotationsbete och Länsstyrelsen i Skåne har ett pågående projekt kallat "Skötsel av ängs och betesmark - nätverk, nya metoder och

⁵⁶ <https://hushallningssallskapet.se/?projekten=en-ny-faltbaserad-teknik-for-kvavegodselsproduktion-som-samtidigt-minskar-avgang-av-ammoniak-och-vaxthusgaser-fran-flytgodsel>

⁵⁷ <https://www.vxa.se/globalassets/dokument/fordjupningar/dou/2011/hur-paverkas-klovhalsan-av-betestidens-langd-i-forhallande-till-stalmiljon---artikel.pdf>

samverkan” dessutom ordnar de kurser om detta⁵⁸. Rotationsbeten kan bli aktuella vid förlängning av betesperioden för exempelvis mjölkkor. Kor har god potential att vara ute på bete länge med fullgod, och ibland bättre, avkastning tack vare bättre djurhälsa. I branschtidningen Land Lantbruk var det under juni 2020 två reportage om betesdrift i Sverige: slopad betesdrift i nr 21 utgiven 5 juni 2020⁵⁹ respektive förlängd betesperiod i nr 22 utgiven den 12 juni 2020⁶⁰. I reportaget hänvisar journalisten till en studie från 1974 om att växterna får en mycket bra återväxt tack vare tiamin i djurens saliv (Reardon et al., 1974). Forskare har fortsatt undersöka salivens inverkan på planttillväxten och slutsatserna var att betet gynnas av näringen från gödseln och att saliven från flertalet djurarter stimulerar återväxten (Belsky, 1986; Matches, 1992). En annan artikel beskriver hur fårens saliv stimulerar tillväxt medan en lösning med komponenter som finns i saliven, däribland tiamin, inte gav en bättre tillväxt än vanlig avklippning (Li et al., 2014).

Nackdelen med lång betesperiod är att det blir förluster i näringskretsloppet eftersom gödseln inte tas tillvara på samma sätt som vid installning. Dock behöver betesvallarna näring för att hålla en hög tillväxt (Jordbruksverket, 2019b). Ammoniakavgången från kornas gödsel under stallperioden går att påverka med byggnadstekniska och tekniska lösningar (Sannö et al., 2003) men vid betesdrift finns idag ingen praktisk möjlighet för uppsamling av gödsel och spridning på bästa möjliga sätt. Detta leder till ökade ammoniakförluster från gödseln under betesperioden. Gödseln kan finfördelas och spridas över fälten med en betesputs, vilket gör att näringsämnen i gödseln blir mer tillgängliga för växterna över större delen av arealen, samtidigt som risken minskar för att växterna på platsen där gödseln hamnat kvävs eller bränns av för höga koncentrationer av näringsämne på en liten yta (Jordbruksverket, 2014).

1.4.8 Presisionsgödsling vid sådd

Gödnings-spridning vid sådd är ett sätt att öka näringseffektiviteten för det groende fröet och tillväxande plantan. Kombisåmaskiner är en möjlighet till presisionsgödsling, vars forskningsbehov och utvecklingsmöjligheter kan ligga i den tekniska utvecklingen och vart gödningskornet ska placeras i förhållande till fröet för optimalt utnyttjande av näringsämnen. Nedan följer en analys av den forskning som pågår inom utsädesbehandling med växtnärings, det vill säga att tillsätta en näringslösning till utsädet före sådd.

På våren är jordtemperaturen låg (4-5 °C) i norra Europa och då är näringsämnen mindre lättillgängliga för växten, vilket minskar växtens utveckling och tillväxt (Pregitzer & King, 2005). Jordens pH påverkar också hur näringsämnen binder till jorden. Vid höga pH-värden (>8) eller låga värden (<5), binds ibland flertalet näringsämnen till jordpartiklarna och blir inte tillgängliga för växten via vattenfilmen (Neina, 2019; Truog, 1947). Följaktligen blir näringstillgången otillräcklig i marken och gör att konkurrensen om näring blir extra stark

⁵⁸ <https://www.ja.se/artikel/2225445/ven-f-hektar-gr-stora-insatser.html>
<https://www.lansstyrelsen.se/skane/om-oss/kalender/kalenderhandlingar---skane/2020-01-13-betesplanering-i-fokus.html>

⁵⁹ <https://etidningen.landlantbruk.se/1367/Land-Lantbruk/307605/2020-06-05/r/1>

⁶⁰ <https://etidningen.landlantbruk.se/1367/Land-Lantbruk/308975/2020-06-12/14050053/Har-betar-mjolkkorna-sju-manader-om-aret-Mjolkbonde-Betesdrift-ar-nagot-man-tjan>

mellan gröda och ogräs. Flera ogräsarter har förmåga att börja gro vid låga marktemperaturer och kan därför konkurrera med grödan redan vid ett tidigt stadium. Om utsädet hos grödan förses med lättillgänglig mineralnäring redan från början kan uppkomst och tidig tillväxt påskyndas, vilket leder till grödan kan få ett försprång mot ogräsen. Det kan uppnås genom precisionsgödsling där näring placeras nära grödans utsäde, som vid kombisådd eller behandling med näringslösning. Applicering av växtnäring direkt på utsädet är en resurseffektiv åtgärd för att ge näring till fröet och skapa de bästa förutsättningarna för en snabb groning och tillväxt. Metoden kallas i dagligt tal även för näringsbetning. Placering av ammoniumsulfat genom radmyllning vid sådd surgör jorden så att mangan blir mer lättillgängligt för grödan då de svårtillgängliga manganjonerna (Mn^{4+}) omvandlas till upptagbar tvåvärd manganjon (Mn^{2+}) (Husted et al., 2005). Liknande effekter kan fås vid gödsling med stallgödsel (Petersen, 2008). Båda metoderna används ofta på lätta jordar i Danmark där det ofta uppkommer manganbrist i grödan⁶¹.

Applicering av växtnäring direkt på utsädet är en resurseffektiv åtgärd för att ge näring till fröet och skapa de bästa förutsättningarna för en snabb groning och tillväxt. Ett sätt är att blötlägga utsädet (seed priming) eller att näringslösningen hålls på utsädet i sådan mängd att utsädet blir omsluttet av näringslösningen som en slags betning (Farooq et al., 2012). Seed priming väcker utsädets metabolism och ökar näringsinnehållet i utsädet, varvid groningen förbättras och blir jämnare i utsädespartiet. Vid näringsbetningen blir näringsämnena mer lättillgängliga för växten under groning och tidig tillväxt (Farooq et al., 2012). Växten behöver vissa mineralämnen för att gro och för att utvecklas under ett tidigt stadium. Förutom makronäringsämnena kväve, kalium och fosfor behövs även mikronäringsämnena såsom järn, zink och mangan (Mengel et al., 2001). De produkter som är ämnade till näringsbetning innehåller således ofta mangan, zink och fosfor.

Flera internationella studier har visat att förbehandling med näringslösning eller betning med olika kombinationer av näringsämnena förbättrar groning och uppkomst hos exempelvis vete, korn och majs (Mašauskas et al., 2008; Peltonen-Sainio et al., 2006; Rufino et al., 2013). Få studier har dock genomförts där näringslösning och betning med näringsämnena har kombinerats eller jämförts. I Sverige är utsädesbehandling med växtnäring ganska nytt och produktutbudet av näringsbetning är relativt litet. En nyligen publicerad fältstudie med näringsbetning i vårraps visade en ökad tillväxt vid tidig blomning som gav en mer robust planta vid ett kritiskt stadium för plantan avseende angrepp av skadeinsekter (Stoltz & Wallenhammar, 2019). Dock påverkades inte fröskörden. Till detta finns ett flertal studier som är opublicerade eller i form av examensarbeten inom agronomprogrammet (Svanström, 2017; Wahlquist, 2019).

Utvecklingen går framåt för att pelletera och granulera biobaserade gödselmedel så att de passar såmaskinerna⁶². Svenska Miljöinstitutet gjorde en utredning på uppdrag av Regeringskansliet om hur det svenska lantbruket och det övriga samhället kan minska kväve- och fosforanvändningen (Hellsten et al., 2019). En slutsats var att precisionsgödsling är en viktig del

⁶¹ https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Goedskning/Naeringsstoffer/Kvaelstof-N/Kvaelstofgoedninger/Sider/PLK09_res_F4_1_J_Petersen.pdf

⁶² ww.biogödsel.se; www.ekovax.se; www.npbalans.eu/jordbruk/upptag-av-naring-och-tungmetaller-i-vaxter/

av vägen för resurshushållning, vilket även innefattar gödsling i växande gröda utifrån sensordata eller liknande.

Utvecklingspotential

Tekniken för spridning och myllning av gödsel behöver utvecklas ytterligare för att bli mer driftssäker och hållbar. Det kan leda till en mer allmän övergång från släpslangsteknik till släpskor vilket vore bra för effektiviteten i gödselanvändningen och samtidigt en miljövinst. Det finns system som separerar näringsämnen från vätskefasen i flytgödsel, men dels är de väldigt kostsamma och dels inte tillräckligt effektiva. Här ser vi en stor potential i utvecklingen eftersom det minskar mängden vatten som fraktas på åkrarna i form av stallgödsel, vilket minskar packningsskadorna och medför en potential till ökad avkastning.

Separering av vätskefasen ur gödseln medför flera praktiska aspekter som behöver lösas samt att utreda användningsområdena för den fasta fasen. Torv är ett omdiskuterat strömedel och möjligheten finns att den fasta fasen efter separeringen kan användas till strö och ersätta torv, men då måste frågan om smittspridning belysas och utredas. Om den fasta fasen pelleteras blir det som en ordinär ”konstgödsel” som är lätt att sprida men hela systemet är dyrt, vilket är en nackdel för att tekniken ska tillämpas av flertalet lantbrukare.

Resurshushållningen av gödseln på betena och för att minska ammoniakförlusterna vid betesdrift behöver optimala spridningsförhållande för stallgödseln alltid uppnås, vilket är en praktisk omöjlighet. En möjlighet är att robotar mockar betena efter att djuren flyttats och tar upp det torkade, eller något torkade, fastgödseln för senare spridning på åkern.

Kombisådd och utsädesbehandling med växtnäring är effektiva sätt att hushålla med näringsämnena vid sådd och uppkomst, eftersom det är en så liten mängd som behövs. Precisionsgödsel med ett surgörande gödselmedel eller surgörning av stallgödsel (se avsnitt 1.4.1) torde göra mikronäringsämnena mer tillgängliga. De produkter som finns på marknaden idag är baserade på rena näringsämnen och det finns inga biologiska produkter på marknaden. Dock finns det flytande produkter eller pulver som skulle kunna vara potentiella att använda som näringsbetning på de produktionsenheter som driver ett resurshushållande lantbruk med naturliga resurser, exempelvis gårdar med ekologisk produktion. Det behöver även undersökas vilka andra råvaror som kan användas för utsädesbehandlingen med växtnäring i form av andra biprodukter som finns att tillgå. Detta kräver även teknikutveckling och eventuella lagändringar för att kunna vara praktiskt genomförbart i hela det svenska lantbruket.

Forskningsbehov

Kretsloppet av näring är mycket varierande ämnesmässigt, varav forskningen fördelar sig inom nivå 3–8 på TRL-skalan beroende på inriktning. Stallgödselns användning och potential går att förfinas med tekniker och användningsförfarande. Det kan komma att krävas både tekniska lösningar och ändrad hantering för att nyttja alla näringsämnen i gödseln och minska läckaget. Svavelsyra och järnklorid är effektiva gödseltillsatser för att minska ammoniakavgång och växthusgaser från gödsel men tillämpad forskning behövs för att undersöka de storskaliga effekterna. Exempelvis finns frågan om klorjonerna har en negativ inverkan på grödornas tillväxt och avkastning efter spridning av gödsel med tillsats av järnklorid. De biologiska tillsatsprodukter som finns att tillgå är relativt billiga jämfört med kemiska produkter, men är generellt mindre effektiva. Därför behövs det utredas vilka faktorer som påverkar bakteriernas överlevnadsförmåga i gödselmiljö.

I nästa generation av biologiska tillsatsmedel för stallgödsel och biprodukter från livsmedelsindustrin kommer det att krävas reducerad energiåtgång, annan typ av kemikalietillsats och transport för att alla näringsämnen ska återfinnas i produkter med hög kvalitet. Hittills har forskningsfokus snarare legat på att få bort näringsämnena från stallgödseln. Hybridtekniker med en kombination av biologiska, fysikaliska och kemiska metoder skulle kunna förbättra potentialen för näringsåtervinning och energieffektivitet och vidare användning av biprodukter och stallgödsel. Zhang et al. (2020) drog slutsatsen att det kvarstår många tekniska utmaningar för själva membransepareringstekniken plus att produkten i form av flytande gödselmedel behöver förändras för att öka marknadsvärdet på den. Till exempel kan en produkt registreras som bladgödselmedel med aminosyror eller mikronäringsämnen som skulle kunna ha ett stort värde som näringstillskott i specialgrödor.

Förädlingen av stallgödsel går framåt men varje metod kräver sina förutsättningar och tillvägagångssätt. En brinnande punkt är vad som ska användas istället för svämtäcke i de lagringssystem där gödseln ska gå till biogasproduktion (se avsnitt 2). En annan fråga är om när och under vilka väderförhållanden som gödselspridningen ska ske. Det behövs forskning om när det är rätt tidpunkt för gödselspridningen utifrån grödans behov samtidigt som aspekter som lagringskapacitet och mineralisering av näringsämnena i jorden behöver beaktas. En kartläggning behövs också ner till gårdsnivå om vart läckagen finns i de system som vi har idag. I slutänden är det viktigt att avgöra vilka processer, åtgärder och i vilken intensitet som gödselhanteringen och hållbart och resurseffektivt. Dagens konventionella metoder bygger ofta på oorganisk handelsgödsel men det finns potential till biologiska likvärdiga produkter.

Behovet finns att forska kring stallgödsel på ett mer holistiskt sätt för att utröna hur olika gödselhanteringssystem påverkar i hela hanteringskedjan, från att det lämnar djuret fram tills att näringen tas upp av växter igen. En viktig del i forskningen är att förbättra näringseffektiviteten för kväve och fosfor men även för andra näringsämnen. Som en del av den planetära gränserna så behöver biokemiska flöden av fosfor och kväve minskas. Därför behövs en ökad kunskap om hur vi använder de resurser vi har på bästa möjliga sätt. Vart kan kvävet göra mest mat om vi ska minska användningen med 75 %?

Smittspridning av djurparasiter och andra sjukdomsbringande organismer via gödseln behöver kartläggas. Sjukdomsutbrott efter intag av bladgrönsaker skulle enligt Mogren och medförfattare (2018) kunna minimeras genom en rad fysikaliska, fysiokemiska och mikrobiella åtgärder som kombineras på ett intelligent sätt. Här finns en utvecklingspotential och forskningsbehov. Likaså finns frågan hur det går att förhindra att antibiotikarester sprids med stallgödseln ut på åkrarna, varvid det behövs effektiva metoder för nedbrytning av antibiotikarester behövs för att minska risken för fortsatt resistensutveckling. Även om vi har en restriktiv hållning till antibiotikaanvändning i svensk djurhållning är det motiverat att hålla ögonen öppna för frågan. Ett forskningsuppdrag vore att utveckla ett enzym eller metod som helt bryter ner antibiotikans verkan i den mjölk som mjölkas ur antibiotikabehandlade djur så att mjölken säkert kan användas till utfodring av kalvar utan att riskera antibiotikaresistens.

Kunskapen och erfarenheterna är begränsade kring hur utsädesbehandling med mineralnäring påverkar uppkomst och tidig tillväxt (konkurrensförmåga) och skördenivåer under nordiska väder- och markförhållanden. Näringsbetning kan ha förebyggande effekt som ogräskontroll då det syftar till att ge grödan konkurrensfördelar mot ogräs och därmed minska behovet av direkt bekämpning. Frågorna som ställs är om näringsbetning kan ge en snabb grödetablering och tillväxt som är avgörande för att få tillgång till näring, ljus och vatten som annars nyttjas av

ogräsen, varvid grödans konkurrensförmåga ökar. Detta kan uppnås genom precisionsgödsling där näring placeras nära grödans utsäde, såsom att förbehandla fröna med näringslösning.

1.5 Markförbättrande åtgärder

Detta avsnitt fortsätter inom *Målområde 1* och utmaningen om odlingssystem men fokus ligger på hur jorden brukas inför sådd av nästa gröda samt att använda jorden som en kolsänka.

1.5.1 Jordbearbetning

Hur åkerarealen bearbetas är ett stort ämne idag inför övergången till ett hållbart och resurshushållande jordbruk och livsmedelsförsörjningen. Ämnet jordbearbetning har undersökts i århundranden men de stora studierna kom på 1900-talets senare hälft.

Kunskapsläge idag

Jordbearbetningen är en viktig del inom all växtproduktion och det finns två skolor: de som plöjer och de som använder andra redskap för att bruka jorden och få ner skörderester, så kallad reducerad bearbetning. Reducerad bearbetning har blivit koncept som kallas "Conservation Agriculture"⁶³ och "Regenerative Agriculture"⁶⁴. Självklart finns det lantbrukare som vanligtvis kör med reducerad bearbetning som kombinerar och plöjer vid behov. På majoriteten av de ekologiska gårdarna används plöjning som en central del i bearbetningen då det främsta målet med plöjningen är att bekämpa rotogräsen (åkertistel, åkermolke, kvickrot med flera) (Brandsæter et al., 2020). Plöjningens effekter i jämförelse med reducerad bearbetning har utforskats i både ekologiska och konventionella system (Armengot et al., 2014; Brandsæter et al., 2017; Gronle et al., 2015; Hofmeijer et al., 2019; Peigné et al., 2014; Zikeli & Gruber, 2017).

Huvudresultatet för studierna om plöjning var att mängden ogräs, speciellt perenna arter, ökade utan plöjningen. I vissa studier sjönk skördarna på grund av konkurrensen med ogräs i oplöjda system (Hofmeijer et al., 2019; Peigné et al., 2014; Zikeli & Gruber, 2017), medan skörden var densamma för det plöjda systemet och det oplöjda systemet i en annan långliggande studie (Armengot et al., 2014). Skörden var dock högre i det oplöjda systemet då ogräset rensats bort, vilket tyder på potentialen i reducerad bearbetning (Hofmeijer et al., 2019). Dock var detta höstveten efter vallbrott som gjordes tidigare i det oplöjda systemet, varvid kväve mineraliseringen var högre. Utifrån slutsatserna från de olika forskargrupperna beror skörden på ogräsförekomsten, jordart, tidpunkt för åtgärden samt tid efter åtgärden. I de system där vallen har en central del i växtföljden kan de tyngre bearbetningarna vara viktiga. Vallbrottet kräver en tung bearbetning för att en ny gröda ska kunna etableras med hög säkerhet och kvalitet. Kvarvarande vallplantor i nästa gröda är konkurranskraftiga och sänker skörden, liksom stora ogräsplantor. Spillplantor av föregående gröda är också viktigt att bearbeta bort för att förebygga sjukdomar i växtföljden bland annat.

Ett alternativ till reducerad bearbetning med bibehållen fördel av plöjningen är att låta traktorn gå uppe på den obearbetade del och ha plogen direkt bakom traktorn, vid så kallad on-

⁶³ <http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/>

<https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/radnu/forskning/forskningsprojekt/conservation-agriculture/>

⁶⁴ <https://regenerationinternational.org/why-regenerative-agriculture/>

landplöjning. On-landplöjning kan snabbt ge goda effekter på skörd och jordstruktur redan efter några år på jordar med lättlera medan styvare jordar hade inte förändrats nämnvärt efter tre år med on-landplöjning (Stenberg & Gruvaeus, 2010). Effekterna av plöjningen och annan markpackning från tunga redskap har undersökts under årtionden i Sverige och då påvisades att skördarna minskar (Arvidsson & Håkansson, 1996; Keller et al., 2002, 2019). Den senast publicerade artikeln påpekar att markpackningen kan ha orsakat flertalet översvämningar i Sverige på grund av att markpackningen försvårar vattnets väg ut mot diken och vattendrag samt att kostnaden i Sverige är så stor som flera miljoner kronor (Keller et al., 2019).

Möjligheten till att minska intensiteten i jordbearbetningen inom ekologisk odling diskuteras och undersöks i olika projekt. Radhackning är en metod som är en ogräsbekämpning i den växande grödan som till viss del kan ersätta tyngre bearbetning (se avsnitt 1.2). I två pågående projekt undersöks möjligheten att helt ersätta tyngre bearbetning med radhackning i ekologisk odling och radhackning tillsammans med radsprutning i konventionell odling i ett nytt odlingskoncept som även innehåller mellangrödor som en viktig komponent⁶⁵. Direktsådda system med mellangrödor praktiseras på många håll där grödan etableras direkt i mellangrödan efter en glyfosatbehandling. Inom ekologisk odling undersöks möjligheterna med samma koncept med en etablering av huvudgrödan i mellangrödan under axgång/blomning efter att den vältats ner med en aggressiv vält. I Danmark pågår ett projekt inom Seges⁶⁶ och utmaningarna är stora för att få ett sådant system att fungera på våra nordliga breddgrader men potentialen för att hitta användbara delar i odlingsystemet finns.

Lantbrukarnas val av bearbetningsmetod

Brittiska forskare undersökte hur stor andel av lantbrukarna som använder reducerad bearbetning och framför allt varför lantbrukarna valde att göra som de gjorde vid tiden för undersökningen (Alskaf et al., 2020). Forskargruppen fick in knappt 400 enkätsvar som representerar landsdelen Englands lantbrukarkår relativt bra. Nära hälften av arealen (48 %) som brukas av de svarande brukas med minimerad jordbearbetning och på sju procent av arealen görs ingen bearbetning alls. Övriga 45 % av arealen som brukas av de svarande plöjs. I enkätundersökningen fanns också frågor om motiven till deras val av jordbearbetningsmetod och vad som skulle få dem att omvärdera sitt beslut. Den största anledningen var ekonomisk, oavsett om det plöjdes eller inte. En ny, dyr plog var ett av motiven till att fortsätta plöja men även roto-gräs och snigelförekomsten var anledningar till att lantbrukare hellre ville plöja marken. Lantbrukarna hade även oro för att grödan skulle etablera sig sämre och få sämre skörd samtidigt som grödan skulle få fler sjukdomsangrepp om de inte plöjer åkern. Några av de svarande som använder plogen tycker att maskinerna för reducerad jordbearbetning är kostsamma. De lantbrukare som använder sig av reducerad jordbearbetning, det samlingsnamn som finns för direktsådd eller minimal bearbetning, motiverade sitt val med att det blir en bättre ekonomisk vinning i och med en minskad arbetsinsats och lägre bränsleförbrukning.

⁶⁵ "Halva ytan bearbetas - odlingsystem med radhackning, bandsådd, bandsprutning och mellangrödor". G. Bergkvist, Ekoforsk 2017–2019 och SLF 2018–2020.

⁶⁶ Lars Egelund Olsen, "Direkte såning i en efterafgrøde- test og erfaringer", Presenterad på Ökologi Kongress 2019; <https://okologi-kongres.dk/>.

En slutsats som det brittiska forskarlaget kom fram till var att det behövs mer forskning och maskinutveckling för att förbättra metoderna. Forskarna påpekar att för konventionell odling behövs andra herbicider än dagens i ett system med reducerad bearbetning. Flertalet lantbrukare efterfrågar politiska, det vill säga ekonomiska, styrmedel för att tillämpa eller utöka sin användning av reducerad bearbetning.

Ett annat intressant resultat var att valet av jordbearbetning ofta följde storleken på gården. Nästan alla (97 %) de större gårdarna med mer än 400 ha använder sig av reducerad bearbetning på hela eller delar av arealen. Lantbrukare på mindre gårdar med under 50 ha åkermark använder plogen oftare, där två tredjedelar av de svarande lantbrukarna enbart plöjer sin åkermark.

Gårdens inriktning styrde också över valet av jordbearbetning. Lantbrukare med djur plöjde i större utsträckning i jämförelse med rena växtodlingsgårdar där spannmål och oljeväxter till stor del ingick i växtföljden. En praktisk tolkning av detta är att de bryter vallarna med plogen eller att spannmål till djurfoder produceras på plöjd mark. Ungefär hälften av de undersökta gårdarna hade djur på gården, varav majoriteten använde sig av plogen.

Den socioekonomiska aspekten på forskningsstudien var att lantbrukarna som använde sig av reducerad bearbetning ofta hade en akademisk examen, exempelvis motsvarande agronom eller lantmästare. Det fanns ingen direkt koppling till åldern på lantbrukaren även om det fanns fler äldre som tyckte att reducerad bearbetning var en nymodighet som krävde mer forskning för att vederbörande ska kunna tillämpa det (Alskaf et al., 2020). Den socioekonomiska aspekten på forskningsstudien var att lantbrukarna som använde sig av reducerad bearbetning ofta hade en akademisk examen, exempelvis motsvarande agronom eller lantmästare. Det fanns ingen direkt koppling till åldern på lantbrukaren även om det fanns fler äldre som tyckte att reducerad bearbetning var en nymodighet som krävde mer forskning för att vederbörande ska kunna tillämpa det (Alskaf et al., 2020).

Bearbetningens betydelse för klimatpåverkan

Jordbearbetningen kan påverka kolförrådet i mark och lustgasavgången från mark. Internationella studier visar att reducerad bearbetning generellt sett har positiv effekt på mängden markkol i den översta skikten (20 cm), men å andra sidan minskar kolförrådet i de undre skikten (Haddaway et al., 2017; Ogle et al., 2019). Lustgasavgången från mark kan också påverkas av valet av bearbetningsteknik. På en väl-dränerad jord med bra markstruktur kan reducerad bearbetning minska risken för att lustgas bildas. Nedbrukning av kväverika skörderester är en riskfaktor för lustgasbildning. Å andra sidan kan plöjning minska risken för lustgasavgång på jordar med dålig syretillgång (till exempel täta och packade eller dåligt dränerade jordar) eftersom plöjningen har en luftande och dränerande effekt som motverkar hög lustgasavgång (Henriksson et al., 2015).

Reducerad bearbetning och direktsådd kan även innebära lägre bränsleförbrukning, och därmed lägre växthusgasutsläpp kopplade till växtodlingen.

Utvecklingsmöjligheter

Det finns ett behov av utveckling av redskap och metoder plöjningsfria system som drivs utan kemiska bekämpningsmedel. Ogräsregleringen kommer att ha stor betydelse inom jordbearbetningen och den beskrivs i avsnitt 1.2 men utveckling av ett redskap och metoder som

kan få ner skörderester så att det inte ska finnas kvar smittkällor från växtskadegörare i kommande gröda.

Utvecklingen av djupgående redskap borde fortgå för att få en uppluckring på djupet av jorden efter den markpackning som sker på grund av exempelvis tunga gödseltunnor och skörd av vallfoder, potatis och sockerbetor. Redskap som kan luckra upp vallarna utan att förstöra så mycket på ytan skulle förbättra växternas tillväxtförhållanden och därmed öka skördarna.

Forskningsbehov

Jordbearbetningen är en viktig del av odlingssystemet och har en stor variation av vad som behövs. Det som finns tillgängligt idag befinner sig inom nivå 3–8 på TRL-skalan beroende på inriktning. Det finns ett klart behov av att följa upp gårdar som drivs med reducerad bearbetning idag för att undersöka vad som driver processerna i marken: vilka organismer och metaboliska faktorer har stor betydelse för jordegenskaperna. Detta kan likställas med konceptet jordhälsa som beskrivs i avsnitt 1.3 men även vilka växtskadegörare som gynnas respektive missgynnas av olika system.

Bearbetning utifrån jordens egenskaper, såsom lerhalt och mullhalt är aspekter som kan vara lämpliga inom konceptet precisionsodling och då behövs också forskning på olika system och förutsättningar.

Det behövs svenska studier som visar jordbearbetningens betydelse för kolförrådet i mark och lustgasavgången från mark samt vilket alternativ som är bäst ur klimatsynpunkt under olika givna förutsättningar. En fråga är om det finns situationer där reducerad jordbearbetning skulle vara ett sätt att öka kolförrådet i mark och samtidigt minska risken för lustgasavgång. För att följa upp och värdera det svenska lantbrukets klimatpåverkan är det intressant att få fram system för att beräkna hur mycket kol som kan lagras i jorden med olika bearbetningsmetoder och tillsättning av biokol. Hänsyn behöver även tas till eventuella effekter på skördenivå.

Forskning på systemnivå kommer att vara nödvändig för att utarbeta riktlinjer för odlingssystem med reducerad bearbetning eller direktsådd utan kemiska bekämpningsmedel. Flertalet konsekvenser och forskningsfrågor presenteras i Jordbruksverkets rapport om ett eventuellt.

1.5.2 Marknadsmekanismer för ökad kolinlagring – exemplet biokol

Världen står inför en gigantisk utmaning när det kommer till människans klimatpåverkan. För att minska och motverka de negativa trenderna krävs att alla delar av samhället inte bara minskar sina utsläpp av fossila klimatgaser utan också skapar så kallade negativa utsläpp. Flera tekniker för att samla in, koncentrera och lagra koldioxid från luften finns och håller på att utvecklas. Flera metoder är tekniskt komplexa och har kostsamma och långa utvecklingsmoment, vilket gör att de flesta tekniker troligen inte kommer att kunna användas än

på många år (IPCC, 2018)⁶⁷. Problemet med klimatförändringarna kvarstår dock och måste börja lösas redan idag.

Kunskapsläge idag

Biokol är en produkt som pekats ut av bland andra FNs klimatpanel, IPCC⁶⁸, som en viktig kolsänka som borde bli allt viktigare (El-Naggar et al., 2019). Istället för att använda sofistikerad teknik utnyttjar man att växter binder kol genom fotosyntesen. Kolet stabiliseras sedan i biokol genom en värmealstrande process kallad pyrolys och kolet kan ligga stabilt i hundratals till tusentals år beroende på faktorer som till exempel råmaterial och produktionstemperatur enligt bland andra El-Naggar et al. (2019). Exakt hur biokol bryts ner under olika förhållanden och under lång tid pågår det forskning runt och inget definitivt svar finns i dagsläget. Biokol kan produceras lokalt av de flesta organiska material och vid produktionen bildas förutom biokol även värme som i sin tur kan ersätta fossila uppvärmningsmaterial. Produktionsmetoden är relativt enkel och finns tillgänglig på marknaden redan idag. Ett användningsområde för biokol är som jordförbättrare i åkermark och biokol har visats ha produktionshöjande effekter (El-Naggar et al., 2019; Kätterer et al., 2019; Panwar et al., 2019). Produktionsökningar som kan tillskrivas biokol på bättre jordar och med normal tillgång till vatten och näring är marginella eller försumbara och därför är biokolets största fördel att den är en kolsänka.

Biokol har flera ytterligare fördelar förutom de grundläggande närings- och vattenhållande förmågorna. En sådan är den positiva effekten som biokol nyligen har visat sig ha för att stimulera bakterietillväxten för nedbrytande eller antagonistiska bakterier (Wang et al., 2019). *Phytophthora capsici* är en algsvamp som orsakar Phytophthora blight of pepper, en ungefärlig översättning är Phytophthorasjukdom i paprika, missgynnades när biokol blandades in i jorden. I huvudsak ökade förekomsten av bakterier inom släktena *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., *Streptomyces* spp., och *Sphingomonas* spp. De tre förstnämnda släktena räknas som antagonister och kan användas i biologisk kontroll och både förekomsten och den antagonistiska förmågan mot *P. capsici* ökade vid inblandning av biokol före plantering (Wang et al., 2019). Hela mikrofloran i jorden förändrades och det var de gynnsamma bakterierna som ökade. Ytterligare en fördel är biokolets förmåga att binda in tungmetaller så att de blir mer svårtillgängliga för upptag av växter. Park et al. (2011) visade genom försök på mark kontaminerad med koppar, kadmium och bly att tillsatser av biokol kraftigt minskade mängden av tungmetaller som kunde extraheras med ammoniumnitrat-lösning. Detta påverkade

⁶⁷ IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)].

⁶⁸ Rogelj, J., D. Shindell, K. Jiang, S. Fifita, P. Forster, V. Ginzburg, C. Handa, H. Khesghi, S. Kobayashi, E. Kriegler, L. Mundaca, R. Séférián, and M.V. Vilariño, 2018: Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)].

växternas tillväxt positivt och slutsatsen från försöken var att biokol binder in tungmetaller i kontaminerad jord, vilket gör att biotillgängligheten och toxiciteten minskar (Park et al., 2011).

I dagsläget finns inget system för att sälja och köpa kolsänkor. Det finns marknader för klimatkompensation men skillnaden mellan en klimatkompensation och en kolsänka är att en kolsänka strävar mot att minska koldioxidhalten i atmosfären medan klimatkompensation strävar mot netto-noll utsläpp. I dagsläget räcker det dock inte med att bara kompensera för de utsläpp som sker utan klimatgaserna måste minska i atmosfären. Klimatkompensationsprojekt sker idag i utvecklingsländer där de förutom att hjälpa klimatet också har andra socioekonomiska fördelar. Kolsänksrätter som skapas med biokol skulle kunna skapas lokalt och därmed vara ett välbehövligt komplement till klimatkompensation. För att det ska bli ekonomiskt hållbart för fler att investera i biokolproduktion behövs en marknadsmekanism för att sälja och köpa kolsänksrätter. En sådan marknad skulle även behöva utveckla system för att säkerställa både additionalitet och att kolsänkan blir långvarig.

Utvecklingsmöjligheter

Samhället behöver skapa marknadsmekanismer som fungerar som incitament för ökad kolinlagring i jordbruksmark. Det saknas ett system där både säljare och köpare känner sig trygga med vad produkten egentligen innehåller. Som ett exempel går det att räkna klimatnyttan från 1 kg biokol på olika sätt. En förenkling är att räkna att 1 kg biokol är lika med 3,6 kg koldioxidekvivalenter. Men då medräknas inte de delar av produktionen där det går åt el, transporter och spridning av biokolet på åkermark. Hur länge kolet finns kvar i marken behöver beaktas samt om tillförseln av biokol påverkar omsättningen av kol i mark.

För att inte förlora förtroendet hos både säljare och köpare av kolsänksrätter måste systemet ha ett livscykelperspektiv. Då livscykelanalyser och klimatavtrycksberäkningar ofta blir tekniska och komplicerade är en lösning att det skapas en certifiering för kolsänksrätter. En sådan marknadsmekanism ger trovärdighet och garanterar hållbar produktion.

Eftersom det finns många olika sätt att framställa biokol, till exempel med snabba eller långsamma pyrolysprocesser, olika temperaturer och olika råmaterial, så skulle det underlätta för marknaden och användare av biokol om det fanns en standard för vad biokol är. I dagsläget skiljer sig produkterna så mycket åt att köpare av biokol inte kan vara säkra på vad de får. En standard för biokol skulle också behöva reglera nivåerna av tungmetaller och andra potentiellt skadliga ämnen som tillåts i biokol. Vilka nivåer som tillåts kan bero på vad slutanvändningen av biokolet kommer att vara (foder till djur, planteringsbäddar i parker) och om det finns risk för människors hälsa eller för att de skadliga ämnena läcker ut i naturen.

Ytterligare utvecklingsmöjligheter för produkten biokol finns, eftersom biokol kan ha väldigt olika egenskaper beroende på råmaterial och produktionsprocess så har det öppnats en möjlighet att designa biokol som ska göra maximal nytta på en viss typ av jord eller för en viss typ av växt. Designen kan handla om porstorleken på biokolet, om det hjälper till att bygga upp vissa typer av mikroorganismssamhällen och hur snabbt eller långsamt som näringsämnen tas upp eller läcker ut. Exempel på designer-biokol finns publicerat i en litteraturstudie (Rajapaksha et al., 2016). Sammansättningen på biokolet kan även påverka mikrofloran i jorden och detta kan vara ett koncept som kan tas med i utformningen av biologisk kontroll mot växtskadegörare.

Forskningsbehov

Det finns flertalet kunskapsluckor inom ämnet biokol men forskningen ligger inom nivå 5–7 på TRL-skalan. Bland annat behövs grundlig forskning för att bestämma exakt hur stabilt det är under olika förhållanden. Påverkas stabiliteten av markbearbetning, av gödsling eller av olika grödor? Stabiliteten är en nyckel till att skapa en trovärdig marknad för kolsänkor skapade med biokol på åkermark, eftersom det bestämmer klimatvärdet av kolsänkan och därmed det finansiella värdet. I dagsläget finns få långtidsstudier på vilka effekter biokol har på växter och mark, och detta är en mycket viktig kunskapslucka. En annan fråga är om tillförseln av biokol ökar omsättningen av kol som redan finns i marken (*priming effect*), vilket i så fall behöver beaktas när klimatvärdet bestäms. Utöver stabiliteten är effekterna på olika grödor och olika jordar som behandlas med biokol inte utforskade. Om det finns jordar och grödor där produktionseffekterna är stora skulle det i sig kunna vara en marknadsmekanism i sig för att öka kolinlagringen. Det skulle behöva göras fler praktiska odlingsförsök med fokus på svenska förhållanden för att skapa tillräckligt med kunskap för att kunna beräkna nyttan av biokol. Även mängden biokol som används behöver utredas. Försök har visat på både positiva, negativa och inga produktionseffekter när biokol har använts vid odling (sammanfattat av El-Nagger et al., 2019). Även här beror resultaten på hur och av vad som biokolet är gjort, vilken typ av jord som försöket har gjorts i och hur man har behandlat biokolet. Mer kunskap behövs för att kunna ge rekommendationer om maximal och mest fördelaktiga koncentrationer av biokol i mark. Vidare så diskuterar El-Nagger et al. (2019) huruvida biokol kan stabilisera och därmed rena kontaminerade jordar från skadliga ämnen, eller om biokol tvärtom hjälper till att frigöra skadliga ämnen så att de lättare tas upp av växter.

Apropå skadliga ämnen, så behövs forskning om biokolets funktion och inverkan på mikroorganismer, både växtpatogena och antagonister. I Sverige finns arter inom algsvampsläktet *Phytophthora*, som angriper bland annat potatis och trädarter. Just potatisbladmögel, orsakat av *Phytophthora infestans*, är ett stort problem för potatisodlingen idag. I och med att sporererna överlever i jorden är inblandningen av biokol i antagoniststimulerande ändamål ett välkommet framtida forskningsområde. Det kan vara ett bra sätt att förstå mekanismerna bakom biologisk kontroll och vidareutveckla produkter eller odlingssätt som gynnar användningen av biologisk kontroll. Forskningen om biokolens effekter, både som jordförbättrare och kolsänka men även som biostimulant, är därmed högst relevant om biokol ska användas i samband med livsmedelframställning. Mer forskning behövs även för att kunna skapa regler och standarder som inte är farliga för människors hälsa eller för miljön.

1.6 Biologisk mångfald, ekosystemtjänster och ekologisk intensifiering

Jordbruket har de senaste århundradet varit en betydande orsak till utarmning av biologisk mångfald i odlingslandskapet genom förstörelse, försämring och fragmentering av habitat (IPBES, 2016; Rockström et al., 2009; Stoate et al., 2009). Framtidens jordbruk har en grannliga uppgift i att vända denna utveckling för att minska påverkan på livsmiljöer, bevara den biologiska mångfalden och gynna de viktiga processer i form av ekosystemtjänster som är grundläggande för matproduktionen. Detta i kombination med ett förväntat ökat behov av livsmedel ställer krav på nytänkande inom växtodlingen (Pilling et al., 2020; Rockström et al., 2017). Dessutom visade en nyligen stor internationell genomgång att hög biodiversitet är positivt kopplad till högre skördar (Dainese et al., 2019).

Det krävs sannolikt också medvetenhet om skalberoende faktorer. Insatser på fält- eller gårdsnivå är den minsta geografiska enheten och det är här de faktiska åtgärderna kan genomföras, men betydelsen av olika åtgärder kan inte begränsas till det lokala perspektivet. Biologisk mångfald som exempel kan i vissa fall kräva åtgärder utifrån ett betydligt större geografiskt perspektiv beroende på art eller organismgrupp. Här bör åtgärderna, för att vara effektiva, planeras utifrån regionalt, nationellt eller till och med internationellt perspektiv. Detta beror dels på att rörliga (inklusive migrerande) arter har mer omfattande habitatkrav rent geografiskt, där reproduktionslokaler, övervintringslokaler och rastlokaler kan ligga 100-tals mil från varandra och bestå av helt olika miljöer, men där varje länk i kedjan är viktig. Utöver det är olika arter skyddsvärda i olika geografiska perspektiv. Till exempel citronfläckad kärrtrollslända (*Leucorrhinia pectoralis*) är skattad som livskraftig (Least Concern, LC) vad gäller populationer i Sverige (Svenska rödlistan 2020), men är starkt skyddad på EU-nivå genom Art- och Habitatdirektivet (Annex II och IV).

Det är därför viktigt att se, och planera för, effekterna av enskilda åtgärder på gårdsnivå i ett större perspektiv (Gabriel et al., 2010). Idag saknas till stor del en övergripande syn på åtgärders effektivitet utifrån ett geografiskt markägarperspektiv. För enskilda åtgärder finns oftast en mer eller mindre grov klassning eller effektivitetsbedömning; exempelvis går det idag knappast att få stöd (Miljöinvestering) för våtmarksanläggning i skogsmiljöer långt upp i avrinningsområden eftersom våtmarkssatsningen till stor del baseras på syftet att minska näringsbelastning på akvatiska miljöer. Däremot finns det inget system för övergripande bedömningar utifrån ett specifik geografiskt läge. Om en markägare har en bit land som av olika skäl inte går att nyttja effektivt i produktionen, och han eller hon vill bidra till en bättre miljö och natur, är det idag svårt för markägaren att göra en relevant bedömning av vilken åtgärd som gör mest nytta.

Kunskapsläge idag

Biologisk mångfald är variationsrikedomen bland levande organismer, inklusive genetisk mångfald, förekomst och utbredning av arter och de ekosystem de lever i (Heywood et al., 1995). I FN:s konvention om biologisk mångfald (CBD) har 196 länder förbundit sig att samarbeta för att hejda förlusten av biologisk mångfald. I det svenska arbetet med CBD har det utformats arbetsprogram för odlingslandskapet (Naturvårdsverket, 2010).

Ekosystemtjänster är de processer och funktioner som arter och ekosystem utför som gagnar människan (MEA, 2005). De delas upp i stödjande, försörjande, reglerande och kulturella

tjänster. De övergripande stödjande ekosystemtjänsterna är till exempel fotosyntes, bildning av jordmån och näringsretention i åkermark. Exempel på försörjande ekosystemtjänsterna är grundvattenbildning och förekomsten av olika grödor. De reglerande ekosystemtjänsterna innebär till exempel insektpollinering, biologisk kontroll av skadegörare och reglering av klimatet. De kulturella ekosystemtjänsterna är exempelvis friluftsliv, hälsa och inspiration och turism (MEA, 2005). Förlusten av biologisk mångfald har väckt farhågor om att vissa ekosystemtjänster är hotade (Dainese et al., 2019; Maron et al., 2017).

Genom att gynna ekologiska processer som gagnar växtodlingen, till exempel insektpollinering, biologisk kontroll, näringsretention och kvävefixering, kan växtodlingen intensifieras och skörden öka, utan att mängden insatsmedel ökar (Bommarco et al., 2013). Under vissa förhållanden kan behovet av insektmedel till och med minska tack vare naturliga fiender eller alternativ föra för skadeinsekterna. Detta arbetssätt kallas ekologisk intensifiering och bygger på att det finns kunskap om hur de ekologiska processerna påverkar produktionen av grödor och hur dessa processer kan gynnas.

Integrerat växtskydd (IPM) handlar om hållbart växtskydd där kombinationer av olika åtgärder för att kontrollera förekomst av ogräs, svampsjukdomar och skadegörare samverkar (Smith et al., 1976). Pollinerande insekter påverkas av flera former av växtskydd, och det har därför skapats ett ramverk, IPPM (Integrated Pest and Pollinator Management) för att ge praktiska verktyg och stötta beslutsfattare till ett pollinatörsvänligt växtskydd (Egan et al., 2020).

Den biologiska mångfalden påverkas både av odlingslandskapets heterogenitet och odlingssystemen. En rad olika åtgärder har potential att gynna den biologiska mångfalden genom att bevara och öka landskapets heterogenitet. Naturbetesmarker hårbärgerar en stor del av både vanliga och ovanliga arter (Öckinger & Smith, 2007; Pe'er et al., 2014). Andra obrukade miljöer som har stor betydelse för att öka komplexiteten, spridningsvägar och mängden naturliga habitat i jordbrukslandskapet är vägkanter och andra obrukade fältkanter, våtmarker och vattendrag och gårdsmiljöer. Mängden kantmiljöer i form av vägkanter, fältkanter och gränser till omgivande miljöer har visat sig vara viktig för förekomsten av pollinerande insekter, naturliga fiender och deras positiva effekter på produktionen i form av pollinering och skadedjurskontroll (E. A. Martin et al., 2019). Minskad fältstorlek har föreslagits för att gynna den biologiska mångfalden (Concepción et al., 2020; A. E. Martin et al., 2020). Diversifiering av växtodlingen kan gynna den biologiska mångfalden och viktiga ekosystemtjänster som pollinering (Sirami et al., 2019) och biologisk kontroll. Ett sätt att diversifiera växtodlingen utan att ta jordbruksmark ur produktion är att öka mångfalden av odlade grödor genom förlängda växtföljder (Fahrig et al., 2011). Andra metoder för att diversifiera växtodlingen innebär odling av fånggrödor, mellangrödor, reläodling, strimodling, samodling, understödjande grödor, sortblandningar, odling av blomremсор och fångstgrödor (Hufnagel et al., 2020).

Anpassning av odlingsåtgärder har också potential att påverka den biologiska mångfalden, framförallt tekniker för jordbearbetning, vallskörd och reglering av skadegörare. Åtgärder för att säkerställa ett långsiktigt och hållbart jordbruk kan betraktas ur olika perspektiv. På gårdsnivå kan det röra sig dels om åtgärder i odlingen, exempelvis fånggröda och vårplöjning för att minska näringsutlakning. Detta kan det röra sig om åtgärder utanför odlingen, exempelvis ekologisk optimering av fältkanter, odlingsrösen, stenmurar, traktörvägrenar och småvatten. Därutöver tillkommer betydelsen av skalberoende perspektiv. Miljö- och naturvårdsåtgärder på gårdsnivå (oavsett om de är inom eller utom odlingen) bör sättas i ett geografiskt sammanhang på landskaps- eller avrinningsområdesnivå. Vissa åtgärder kan vara effektiva oavsett gårdens

placering medan andra åtgärder bör styras utifrån gårdens placering geografiskt och i landskapet. Anläggning av våtmarker är ett exempel på det senare vad gäller ekosystemtjänsten kväverening. En kostnadseffektiv kvävefälla bör placeras nära recipienten (västerhavet och delar av Östersjön när det gäller kväve) och vara högbelastad (det vill säga nås av vatten från stora ytor åkermark) (Strand & Weisner, 2013). Ligger gården högt upp i avrinningsområdet är en kvävefälla sannolikt inte en kostnadseffektiv åtgärd. Samma resonemang gäller för åtgärder för att gynna biologisk mångfald. Här spelar faktorer som landskapets konnektivitet in utifrån olika arters spridningsekologi. Beroende på vilken organismgrupp åtgärden är tänkt att gynna är graden av habitatisolering viktig att säkerställa samt förekomst av givarpopulationer från närliggande habitat.

Ovan beskrivs enbart några exempel på hänsynstaganden som krävs när det gäller miljö- och naturvårdsåtgärder. Frågornas komplexitet kan göra det mycket svårt för en enskild lantbrukare att värdera olika åtgärders miljömässiga nyttor för den egna marken och i ett större perspektiv, samt att väga olika åtgärder mot varandra (eventuella synergieffekter eller trade-off).

Utöver att i möjligaste mån bevara heterogeniteten i landskapet enligt tidigare resonemang finns åtgärder där återskapandet av tidigare vanliga miljöer och habitat vidmakthåller eller ökar den biologiska mångfalden i odlingslandskapen. Anlagda våtmarker är en miljö- och naturvårdsåtgärd, som sedan ca 30 år varit möjlig för markägare att erhålla stöd för att genomföra, där både samhälle och markägare erhåller flera olika ekosystemtjänster. Sverige är ett föregångsland när det gäller att använda anlagda våtmarker och dess nyttor (ekosystemtjänster) i miljö- och naturvårdsarbetet. Särskilt i jordbrukslandskapen har anlagda våtmarker sedan 1990 använts som miljöverktyg i Sverige, där huvudsyftet ursprungligen var att motverka övergödning av havet genom minskad transport av kväve. I och med Sveriges medlemskap i EU 1995 och implementeringen av Vattendirektivet 2009, skiftades fokus allt mer till att inkludera alla vattenförekomster. Miljöarbetet fokuserade därmed i större utsträckning på inlandsvatten, vilket ledde till att anlagda våtmarkers effekt på fosfor (läckage från åkermark och transport i vattendrag och till sjöar) blev en viktig nytta. Samtidigt har under de två senaste decennierna ytterligare miljö- och naturvårdsaspekter fått allt större betydelse när det gäller anlagda våtmarker som till exempel landskapets vattenhållande förmåga, flödesutjämning och magasinering av vatten, speciellt vid extremvädersituationer med långvariga torrperioder och omfattande översvämningar. Återskapandet av våtmarker i jordbrukslandskapet har också visat sig ha stor positiv inverkan på den biologiska mångfalden, både på lokal, regional och nationell nivå (Strand & Weisner, 2013). Även livsmedelsproduktionen kan påverkas direkt av förekomst av anlagda våtmarker genom tillhandahållande av vatten för bevattning av grödor, vilket är ytterligare en nytta som ökat i betydelse i och med senare års torrperioder.

Således är anlagda våtmarker och dess nyttor viktiga för flera samhälleliga funktioner och det är därför inte förvånande att det satsats omfattande resurser på detta. Statliga medel för miljardbelopp har sedan 1990 spenderats på att restaurera och anlägga våtmarker, framför allt i jordbrukslandskapet. Satsningen sker, och har skett, med förändrade målsättningar över tiden. Det har fokuserats på exempelvis utbildning av rådgivare för våtmarksrådgivning till markägare, till exempel Greppa Näringen och de av Havs- och vattenmyndigheten (HaV) nyligen startade LEVA-projekten (lokalt engagemang för vatten) med 20 pilotområden i Sverige. Anläggnings- och skötselstöd har genom olika stödformer under åren möjliggjort kostnadstäckning för anläggningskostnaderna samt skötsel för markägare som upplåter sin mark för våtmarksanläggning. Det har också genomförts forskning och utvärdering av anlagda våtmarkers miljönytta.

Ekosystemtjänster är idag ett allmänt använt begrepp för de olika nyttor människan får från olika ekosystem. Pollinering är en av de viktigaste ekosystemtjänsterna och medverkar till mer än en tredjedel av den globala produktionen av jordbruksgrödor (Klein et al., 2007). Dock gynnas jordbruk av intensifiering vilket påverkar bin negativt och missgynnar därmed också pollinering av grödor (IPBES, 2016). Samtidigt ger klimatförändringar nya hot mot pollinerare, framför allt genom högre frekvens och omfattning av extrema väderhändelser (IPBES, 2016). En sådan extrem väderhändelse, värme i kombination med långvarig torka, kunde observeras i Sverige och stora delar av Europa under 2018.

Våtmarker tillhör de mer undersökta ekosystemen när det gäller dessa nyttor, och både globalt och nationellt i Sverige har det identifierats en stor mängd nyttor som våtmarker levererar. Detta gäller speciellt för anlagda våtmarker, där själva grunden för att vi i Sverige sedan 1990 har anlagt ca 12 000 – 15 000 hektar våtmarker är att vi anser att de gör nytta och fyller olika syften (Graversgaard Dalgaard et al., 2020). En stor fördel med våtmarker är att de är flerfunktionella och kan leverera olika nyttor beroende på vad syftet med våtmarken är. En enskild våtmark kan teoretiskt leverera flera olika nyttor samtidigt och detta har utnyttjats i samhället och är en viktig orsak till att anlagda våtmarker anses vara ett kostandeseffektivt redskap för att minska olika natur- och miljövårdsproblem. Grovt förenklat kan användandet av anlagda våtmarker i Sverige delas upp i 5 perioder:

1. Viltvård, från 1950-talet: huvudsakligen viltvård (viltvatten) genom Länsjaktvårdsförbunden
2. Minska produktionen av jordbruksprodukter samt allmän naturvård, 1980/90-talen: naturvård som en bieffekt av åtgärder för att minska produktionsöverskott genom de statliga programmen NOLA, NYLA & Omställning 90.
3. Kväverening, 1990 och framåt: Våtmarker som kvävefällor som en konsekvens av eutrofiering av västerhavet (Laholmsbukten), Halmstadprojektet startade 1990.
4. Vattenrening avseende både kväve och fosfor, 1995 och framåt: Ökad användning av våtmarker som kvävefällor. Senare även för fosforrening då Sverige gick med i EU och Vattendirektivet implementerades 2009. Landsbygdsprogrammet startade 2001. Under åren 1998–2002 fanns LIP-programmet. Greppa Näringen startade år 2000.
5. Flerfunktionalitet, 2000-talet: flerfunktionella våtmarker. Flera syften kopplades på (biologisk mångfald, flödesutjämning, magasinering/bevattning, grundvattenbildning, rekreation, landskapsbild). Finansiering huvudsakligen via Landsbygdsprogrammet men även projekt som LIP, LOVA, LONA och EU-LIFE. Sveriges Miljömål kom 1999.

Möjligen är vi nu inne i en 6:e period i och med den extrema torkan 2018 då det nu är tydlig ökning av intresset från markägare när det gäller våtmarker för bevattning och från samhället i stort vad gäller landskapets vattenhållande förmåga. Till exempel så finansierar nu (2019) Myndigheten för Samhällsskydd och beredskap (MSB) våtmarksprojekt kring reservvatten och markägares möjlighet att klara torrperioder, och Naturvårdsverket utlyser forskningsprojekt kring våtmarkers effekt på vattenhushållning och grundvattenbildning. Via LONA (Lokala naturvårdssatsningar) gör Naturvårdsverket också en särskild våtmarkssatsning för konkreta

åtgärder där flera olika syften och nyttor lyfts, inkluderande grundvattenbildning och minskad översvämningsrisk samt lyfter särskilt fram flerfunktionaliteten⁶⁹.

Utvecklingsmöjligheter

Arealen naturbetesmarker i Sverige minskar stadigt, trots att dessa är oerhört viktiga livsmiljöer som hyser stora delar av jordbrukets biologiska mångfald. Det råder en ojämн geografisk fördelning av naturbetesmarker och betesdjur, vilket leder till att betesdjur i vissa områden betar på åkerbete och att naturbeten i andra områden växer igen. Lönsamheten i naturbetesköttproduktionen behöver öka för att bevara Sveriges naturbetesmarker (Larsson et al., 2020).

Många organismer har svårt att fullfölja hela livscykeln, framförallt i slättlandskapet, eftersom det är ont om naturliga miljöer. Här behöver det utvecklas sätt att kombinera åtgärder för biologisk mångfald och ekosystemtjänster, till exempel att minska fältstorlekar och öka mängden fältkant, som kan kombineras med produktiv växtodling.

Populationer och ekosystemtjänster formas på landskapsnivå snarare än på gårdsnivå. Det behöver tas fram metoder för att göra åtgärder för biologisk mångfald på större skalor än på gårdsnivå. Här kommer även artspecifika livshistorieegenskaper in, som till exempel spridningsekologi i relation till landskapets konnektivitet.

Självövervakning av skadegörare, naturliga fiender, pollinerande insekter och nedbrytare är en viktig del för att lantbrukare ska lära känna sina lokala förutsättningar och kunna fatta beslut om åtgärder. Det behöver tas fram enkla metoder och referensvärden för detta ändamål (Garibaldi et al., 2020).

Det har tillkommit flera olika nya miljöverktyg de senaste åren, till exempel Integrerade skyddszoner (Strand et al., 2018; Zak et al., 2019) och Tvåstegsdiken (Mahl et al., 2015), som sannolikt kan modifieras och förbättras utifrån olika specifika ändamål.

Forskningsbehov

Forskningen inom biologisk mångfald, ekosystemtjänster och ekologisk intensifiering är utbredd och torde vara beläget inom nivå 4–7 på TRL-skalan samtidigt som flera frågor återstår. Att gynna biologisk mångfald i odlingslandskapet, respektive att gynna ekologiska processer som kan gagna produktionen, kräver ibland olika insatser. Exempelvis gynnar skräddarsydda fröblandningar förekomsten av naturliga fiender och ökar den biologiska kontrollen i vete bättre än fröblandningar framtagna för att gynna biologisk mångfald (Tschumi et al., 2015). För att kunna utforma effektiva åtgärder för att gynna biologisk mångfald respektive ekosystemtjänster behövs mer kunskap om nyttodjurens och skadegörarnas ekologi, flaskhalsar i deras populationsutveckling och hur detta interagerar med landskap och odlingsåtgärder. Det behövs mer forskning på hur nyttodjur kan gynnas i olika landskap och i olika grödor. Underlag för hur mycket insatser som behövs och var, beroende på landskapets utformning och lokala förhållanden, behöver tas fram. Framtagna åtgärders effektivitet på nyttodjurens populationer, på effekterna på skadegörare, på grödan och dess skörd behöver också beforskas.

⁶⁹ Naturvårdsverkets Faktablad nr 0: Våtmarker bidrar till ett hållbart samhälle

Ekosystemtjänsters förmåga till samverkan (synergieffekter) eller trade-off och motstående intressen är ett område där det finns stort behov för vidare forskning. Det saknas idag till stor del kunskap om kompatibilitet mellan olika ekosystemtjänster vad gäller anlagda våtmarker. En god näringsfälla är inte nödvändigtvis särskilt gynnsam för den biologiska mångfalden. Det finns dessutom i princip inga faktiska data på hur de tusentals anlagda våtmarker i landskapet faktiskt fungerar avseende andra ekosystemtjänster som exempelvis flödesbuffring, grundvattenbildning och kvarhållande av vatten i landskapet (Acreman & Holden, 2013). De antas vara viktiga ekosystemtjänster, men mätdata saknas.

Flerfunktionaliteten, alltså att våtmarksanläggningar kan ha flera syften och samverkande funktioner, har under de senaste åren varit en viktig faktor i hur stödsystemen utformats och hur prioriteringen sker framför allt inom Landsbygdsprogrammet på Länsstyrelserna, men även inom LOVA och LONA i kommunerna. Det finns dock en risk med flerfunktionaliteten hos anlagda våtmarker och att den används på ett allt för förenklat sätt. Åtminstone två potentiella problemområden går att identifiera:

1. Huvudsyftet med våtmarksanläggning är alltför diffust och ogenomtänkt.
2. Det finns tendenser att nyttor (syften) ”hängs på” olika våtmarkslägen eftersom det bedöms öka chanserna att erhålla anläggningsstöd via något av de statliga stödsystemen.

Det kan leda till sub-optimering av en våtmarks sammanlagda funktion och det är sannolikt så att det i vissa fall är mer kostnadseffektivt att anlägga olika våtmarker med olika syften, just för att säkerställa optimering, inte minst ur ett kostnadsperspektiv. Här behövs mer forskning.

Pollinering i kombination med betydelsen av akvatiska element i landskapet är ett område som också till stor del är outforskat. För närvarande har vi inte särskilt omfattande kunskaper kring hur faktorer såsom intensifierat jordbruk och väderhändelser, enskilt eller i kombination, påverkar bipopulationerna och kunskap saknas i princip helt kring hur vi kan minska de negativa effekterna. Även om syftet för anlagda våtmarker hittills inte fokuserat eller behandlat effekter på pollinerande vildbin är våtmarker möjliga miljöer även för dessa i det annars homogena jordbrukslandskapet. Dessutom bidrar anlagda våtmarker med en konstant tillgång till vatten samt säkrar nektar- och pollenproduktion hos växterna under torra och varma vädersituationer. Här finns dessutom en direkt koppling mellan anlagda våtmarker och gårdens produktion på samma sätt för som ekosystemtjänsten bevattning. Det saknas dock till stor del kunskap kring hur våtmarker bör vara placerade och utformade för att maximera pollinering på landskapsnivå.

1.7 Vattenhushållning

Det hydrologiska landskapet har förändrats drastiskt de senaste 150 åren. För att kunna bruka mark och tillgodose livsmedelsproduktionen har markavvattning varit helt avgörande. Stora resurser i form av statliga bidrag har avvattnat jordbrukslandskapen (Hoffmann, 1999), dels genom sjösänkningar och utdikningar, och dels genom kanalisering av vatten i dräneringssystem som effektivt leder vatten under jord mycket långa sträckor innan det når recipienten. Markavvattning är ett effektivt sätt att bli av med vattnet som kommer uppifrån via regn, och möjliggör odling på marker som annars vore omöjliga att bruka. För att öka vattenhushållningen kan dikningssystemet åtminstone delvis leda överskottsvattnet till en bevattningsdamm eller liknande för senare användning vid behov. Jordbruksverket gjorde en rapport om behovet av markavvattning och förutsättningarna för odlingen i ett förändrat klimat (Jordbruksverket, 2018). En av slutsatserna var att investeringarna behöver mer än fördubblas för att klara en ökande nederbördsmängd i framtiden och att regelverket måste förändras så att det blir lättare att förstå ansvarsfördelningen och att avväga vilka naturvärden och andra samhällsintressen som ska skyddas. Rapportförfattarna har intervjuat lantbrukare och utifrån deras perspektiv och skrivit ner förslag på framtida forskning och utvecklingsbehov samt betonar kunskapsförmedlingens viktiga roll i anpassningen till en ökad livsmedelsproduktion och minskad miljöpåverkan. Utdikningen kan ha negativa effekter för miljön, vilket Naturvårdsverket uppmärksammar i en rapport angående miljökonsekvenserna av markavvattning och dikesrensning (Wesström et al., 2017)

Den andra sidan av myntet är att ha tillräckligt mycket vatten tillgängligt för den växande grödan under vegetationsperioden. Landskapsdräneringen och sänkningen av grundvattenytan har lett till att det är vattenbrist i stora delar av Sverige under delar av växtsäsongen. Bevattningsvatten från djupborrade brunnar, från vattendrag eller från bevattningsdammar är en resurs som sannolikt kommer att bli allt mer betydelsefull i framtiden. Statens Veterinärmedicinska Anstalt (SVA) driver för närvarande (2018–2020) ett projekt (Reservvatten – från bristfällig resurs till resurs vid brist) för att kvantifiera nuvarande resurser och framtida vattenbehov av hos markägare. Preliminära resultat indikerar att en stor andel lantbrukare inte har tillgång reservvatten, vilket kan få allvarliga konsekvenser för livsmedelsförsörjningen redan nu, och i ännu större utsträckning i ett framtida varmare klimat.

Reglerad dränering, även kallad undervattensdränering, är ett sätt att trygga vattenförsörjningen för växtligheten vid torka eftersom vattnet däms upp via vattenlås (Berglund et al., 1984). Vid rapportens skrivelse var budskapet att undervattensdränering ska minska rostavlagringar i dräneringsrören på jordar utan lutning. I vårt perspektiv ser vi möjligheten till att upprätthålla grundvattenytan och att minska näringsläckaget, vilket beskrivs i en finsk rapport som detaljerat beskriver reglerad dränering utifrån tekniker, skötsel och effekter i landskapet (Landsbygdsnätverket, 2009). Forskning har gjorts i södra Sverige för att klassa jordar i lämplighetsgrad för reglerad dränering beroende på jordarnas användning, lutning och genomsläpplighet (Joel et al., 2003).

Våtmarker som nyttjas som bevattning

En bevattningsdamm kan ge en säkerställd och jämnare vattentillgång under växtsäsongen, vilket bland annat kan innebära en stark marknadsfördel och därmed ge verksamheten möjlighet att utvecklas och öka kapitalvärdet. Bevattning förekommer idag framförallt på lätta jordar, där man odlar så kallade högvärdesgrödor, som potatis och grönsaker. Bevattningsvatten tas från grundvatten, dräneringsvatten, ytvatten från sjöar och vattendrag eller från uppsamlat vatten i en bevattningsdamm. Mycket av bevattningsvattnet tas ur grundvattenborrhör, vilket innebär att man vattnar grödor med prima dricksvattenkvalitet, där det kanske inte krävs vatten av högsta hygieniska kvalitet. Många tar också ytvatten från sjöar och vattendrag till bevattning, vilket kan leda till konflikt med olika miljömål och naturvärden, framförallt när det gäller vattenuttag från mindre vattendrag. I en bevattningsdamm kan vatten från ovanstående vattenkällor lagras under perioder när den naturliga vattentillgången är hög och inte påverkar vare sig miljö, allmänna eller enskilda intressen. Vattnet kan därefter användas vid behov (Hidås & Malm, 2010).

Den nuvarande utformningen av Landsbygdsprogrammet och praxis vid beslut på länsstyrelserna ger möjlighet för markägare att få miljöersättning för våtmarksanläggning där våtmarken även kan utnyttjas för bevattning. Förutsättningarna som krävs är då att de ekosystemtjänster som ursprungligen varit huvudsyftet med våtmarksanläggning i stor skala i Sverige är uppfyllt och tillgodosett, dvs näringsrening (kväve och fosfor), och/eller biologisk mångfald. Bevattningsdammar är en form av magasinering där syftet är att säsongslagra vatten i våtmarken inför bevattningssäsongen. Man eftersträvar i det ideala fallet ofta maximal volym på minimal yta vilket betyder att de ofta är djupa. Detta kan göra att exempelvis denitrifikationen blir mindre effektiv (sämre kväverening). Bevattningsdammar karakteriseras av snabba tömningar när vattenuttaget för bevattning sker. Detta kan leda till störningar på exempelvis häckande fågel. Dessutom finns ofta ett behov av påfyllning där det inte nödvändigtvis räcker med naturlig tillrinning om avrinningsområdet är litet. Då sker påfyllning genom pumpning från exempelvis närliggande vattendrag eller grundvatten. Det leder till att bevattningsdammar kan få en ganska speciell hydrologi över året, där vattennivåfluktuationerna tenderar att vara dels kraftiga och dels ryckvis återkommande. Under stora delar av året (cirka oktober – mars) är vattennivåerna relativt konstanta eller följer det naturliga hydrologiska variationerna. Under bevattningssäsongen (cirka april – september) sker det kraftiga och frekventa nivåvariationer när uttag för bevattning och påfyllning sker omväxlande under odlingsåret.

Anlagda våtmarker för bevattning kan vara gynnsam för näringsreningen, dels genom de normala processerna i en våtmark; sedimentation (oftast väl fungerande), denitrifikation (oftast måttligt till väl fungerande beroende på belastning och mängden vattenväxter) och växtupptag (oftast av mindre betydelse i magasineringsvåtmarker). Dels gör bevattningen i sig att man till viss del återcirkulerar näringsämnen när det näringsrika dräneringsvattnet som letts in i bevattningsdammen pumpas tillbaka till åkermarken (Reinhart et al., 2019). Dessutom tillväxer bevattnad gröda bättre och tar då upp mer näring vilket gör att man kan få en effekt av minskat läckage från åkermarken också.

Det ofta förekommande läget där samhället (ansvariga tjänstemän på Länsstyrelser) ska besluta om miljöinvesteringar för våtmarker där samhällets huvudsyfte är näringsrening eller biologisk mångfald, men där markägarincitamentet ofta är bevattningsmöjligheter är inte omöjligt att lösa. Det går till exempel att modifiera en våtmark med syfte att rena kväve genom att helt enkelt gräva ut en del av våtmarken till större djup. Den negativa effekten av en djuphåla på kväverening avseende den bakteriella denitrifikation uppvägs sannolikt till stor del av en längre

omsättningstid på grund av större volym. Dock bör sannolikt åtminstone ca hälften av våtmarken vara grund och vegetationsrik för att bibehålla hög kväverening. Utgrävning är dock dyrt samt genererar massor som måste tas om hand, vilket ofta är ett problem i slättlandskapet. Går det att övertala markägaren att utöka den totala ytan och minska ytan av djup-utgrävningen är mycket vunnet ur reningssynpunkt men med bibehållen lagringsvolym. Ibland finns dessa möjligheter att spela med vid våtmarksläget och en kompromiss får då nås. En djuphåla är sannolikt inte påtagligt negativt för kväverening och direkt positivt för fosforering, men kan vara negativt för den biologiska mångfalden. Detta beroende på att en djuphåla sällan går att tömma vilket betyder att fisk inte går att bli av med. Det är dock sannolikt inte en avgörande faktor i beslutet.

Flera studier i Europa har visat att bevattningsdammar kan vara viktiga för biologisk mångfald bland akvatiska insekter och andra evertetrater (Ruggiero et al., 2008). Till exempel så visade en studie i Frankrike att bevattningsdammar i jordbrukslandskapet utnyttjades av 40 % av den möjliga artpoolen av trollsländor och inkluderade både trivialarter och mer ovanliga arter (Fuentes-Rodriguez et al., 2013).

Utvecklingsmöjligheter

Bevattning är ett stort ämne där det behövs mycket utveckling men vi lämnar det till personer som arbetar med detta. Likaså finns det stor potential att utveckla de tekniska delarna inom markavvattning, vilket vi också med varm hand lämnar över till personer med den kompetensen. Vi ser dock behovet av att utvecklingen framskrider för täckdikning anpassad till jordar med stor stenförekomst. Med ökade väderomslag finns ett än större behov av en välfungerande dränering av åkermarken i hela landet. Täckdikningsplogar, som får anses som ett effektivt och relativt resurssnålt verktyg används i princip inte i Sveriges inland på grund av hög sten- och bergförekomst. En hög kostnad för täckdikning och en stor andel arrenderad mark gör att andelen areal som borde täckdikas, men som inte täckdikas, ökar. Med en billigare lösning skulle det motivera att mer mark täckdikades trots att den inte är ägd. Detta skulle gynna produktiviteten.

Undervattensdräneringen beskrivs av Berglund och medförfattare (1984) som ett bra alternativ på plana jordar men att de presenterar ett alternativ för sluttande åkrar där dräneringsrören går längs med lutningen. Detta vore ett sätt för inlandsåkrar där det ofta är höga lutningar och stenrikt.

Forskningsbehov

Vattenhushållning och grödornas behov har stor potential till att vidareutvecklas och idag ligger forskningen inom nivå 4–7 på TRL-skalan. Grödornas vattenbehov, i mängd och tidpunkt, för optimal tillväxt utifrån avkastning och krav på näringsinnehåll och andra egenskaper behöver utredas. Forskning behövs utifrån olika perspektiv på odlingssystem och markavvattningssystem utifrån jordart, geografiskt läge och gårdens övriga förutsättningar. Korn och vallodling är två exempel där odlingen har olika förutsättningar i olika delar av landet där det kan behövas varierande åtgärder och bevattning för optimal tillväxt i olika delar av landet.

Vad gäller bevattningsdammar se avsnitt 1.6 för forskningsbehov avseende olika ekosystemtjänsters kompatibilitet.

2 Hållbara energisystem på gården – exemplet biogas

Hela samhället står inför utmaningen att ställa om sin energianvändning från fossila till hållbara källor och att effektivisera sin energianvändning. Det gäller även gårdar och tar sig uttryck i att allt från tunga maskiner som traktorer och spannmålstorkar till belysning och uppvärmning av stallar ska förändras. Det finns många nya tekniker och fler idéer utvecklas konstant. För närvarande pågår en offentlig utredning om ett fossiloberoende jordbruk⁷⁰. En av utredningens mest centrala delar är att diskutera frågan om skattereduktionen på diesel för lantbruket samt att föreslå styrmedel för omställning till fossiloberoende jordbruk. Utredningen förväntas lämna sitt resultat vid årsskiftet 2020/2021. Beroende på de förslag till styrmedel som kommer föreslås i utredningen kommer uppföljande forskning vara central. Det kan till exempel gälla omställningsfrågor, förändrat klimatavtryck samt konkurrensmässiga effekter av styrmedlen. Inte minst det sista nämns som en viktig del i utredningen: konkurrenskraften ska stärkas i omställningen till ett fossiloberoende lantbruk. Utredningen ska även kopplas till andra strategier som har betydelse i omställningen till exempel den nationella Livsmedelsstrategin

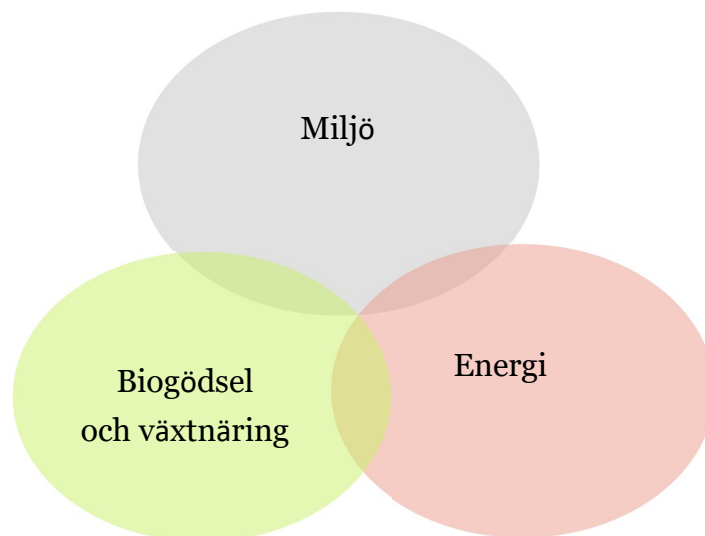
Här har vi valt att fokusera på biogas som redan idag finns väl utvecklade system för att producera i mindre skala och där utvecklingsmöjligheterna är stora att skapa hållbara energisystem på gården. Hushållningssällskapen har lång tradition av att arbeta med forskning och rådgivning inom biogasproduktion och vi har inom detta område sett specifika forskningsbehov som vi vill lyfta fram. Biogasframställning på gårdsnivå eller regionalt knyter an till *Målområde 1, 2 och 3* inom utmaningarna Energiproduktion på gården och Effektiv och säker återföring av samhällets restflöden, ”Rena produkter” ur samhällets restströmmar samt Teknikens möjligheter för bättre ekonomi, miljö, arbetsmiljö etcetera.

Kunskapsläge idag

Biogas är en fossilfri energikälla som bidrar till att minska växthusgasutsläppen i samhället. Biogasproduktionen har flera nyttor även för det enskilda lantbruket. Dessa nyttor kan beskrivas i bilden nedan (Figur 1) och innefattar såväl värdet i energiproduktion, miljö och klimatnytta samt den ökning av växtnäringens värde som en effektiv biogasproduktion ger. Den sistnämnda nyttan av biogasanläggningen förutsättningar för ett förbättrat gödselmanagement på gårdsnivå.

Produktionen och användning av biogas medför även på samhällsnivå flera nyttor som kan bidra till att uppfylla ett antal mål (SOU 2019). Det handlar bland annat om klimat-, miljö- och energirelaterade mål men även landsbygdsutveckling, industriell utveckling, hållbar näringspolitik och försörjningstrygghet. Det fastslås bland annat av den nyligen publicerade Biogasmarknadsutredningen SOU 2019:63 (SOU 2019).

⁷⁰ <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/kommittedirektiv/2020/02/dir.-202016/>

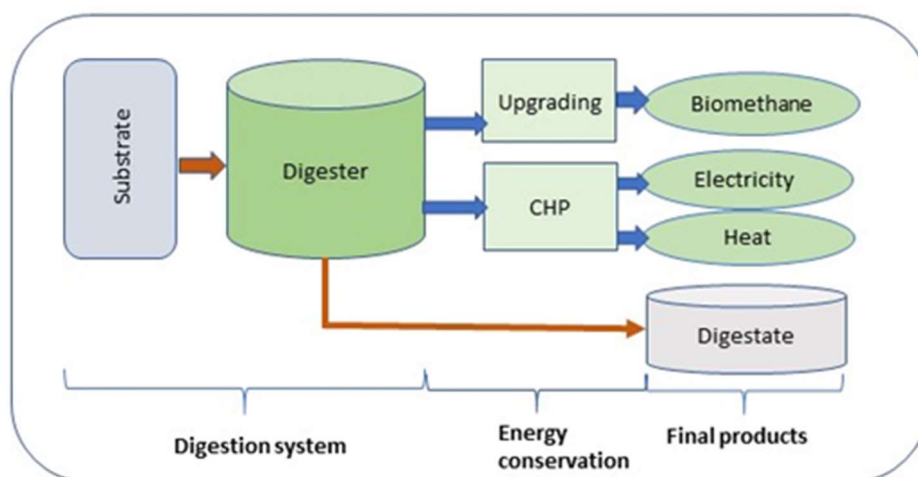


Figur 1. Biogasproduktionens tre områden där det medför nytta och värde för samhället och det enskilda lantbruket i form av energiproduktion, miljö och klimatnytta samt den ökning av växtnäringsvärde som en effektiv biogasproduktion ger.

I dagsläget produceras det ca 2 TWh biogas i landet. Det gör biogasproduktionen till ett litet energislag jämfört med totala energiförbrukningen i landet på 378 TWh år 2019⁷¹. Produktionen fördelas på 280 stycken biogasanläggningar, varav lantbruksanläggningar endast utgör ca 44 stycken (Energigas Sverige, 2019). Den största delen av biogasproduktionen går till uppgradering (1,2 TWh) och endast 43 GWh finns i elproduktion (som är det vanligaste alternativet på mindre gårdar). Biogasproduktionen kan delas upp på flera användningsområden beroende på tekniskt system och en översikt presenteras i Figur 2 nedan.

Potentialen för biogasproduktionen av lantbrukets restprodukter ligger på ca 2–3 TWh från gödsel och runt 3 TWh för växtrestprodukter. Om odlade grödor inkluderas blir den totala potentialen 14 TWh (M. Martin, 2015; Statens energimyndighet, 2010). Denna nivå anges som en förutsättning för målsättningen i de nyligen utgivna förslagen i SOU 2019:63, där 7 TWh anges som målsättning 2030. För att nå den målsättningen föreslår utredningen två stödpaket varav det första är direkt intressant för lantbruket. Där anges en gödselgaspremie på 40 öre/kWh en uppgraderingspremie på 20–30 öre/kWh och även en förvätskningspremie på 10–15 öre/kWh. (SOU Statens offentliga utredningar, 2019). Remisstiden på utredningen har i skrivandet stund nyligen gått ut.

⁷¹ <http://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2019/Nu-finns-siffror-pa-energilaget-i-Sverige/>



Figur 2. Biogassystem och användningsområden inom biogasproduktionen. Bild hämtad från Ahlberg Eliasson (2018).

Utvecklingsmöjligheter

En SWOT-analys för biogasproduktion och användningen av den togs fram i en doktorsavhandling vid SLU och är översatt nedan (Ahlberg Eliasson, 2018).

Styrkor Självförsörjande och minskade energikostnader Utnyttjande av resurser Näringscirkulation Känd teknik Subventioner / support Nya marknader och produkter	Svagheter Svårt ekonomiskt / låg lönsamhet Intern energieffektivitet Substratkostnader och tillgänglighet Investeringskostnader Teknologi Låg effektivitet / användning
Möjligheter Klimatförändringar / miljömässig övergång Energisäkerhet Cirkulär ekonomi Utveckling av landsbygden och regional utveckling Nya substrat för processen Tillgängliga substrat för processen Regler angående rötresterna	Hot Politiska beslut och osäkerheter på marknaden Stöd Energipriser Mat kontra bränsle Andra energikällor Substratpris och utbud Regler angående rötresterna

Avsättningen för biogas avgör lönsamheten i anläggningen. De flesta mindre gårdsanläggningar som finns i Sverige idag använder sin producerade biogas till att producera värme och eller elektricitet. Eftersom det är bättre marknadsförutsättningar för att producera uppgraderad gas är det fler och fler mindre biogasanläggningar som söker efter småskaliga lösningar på uppgradering. Investeringskostnaden för uppgradering till fordonsbränsle är stor vilket driver

utvecklingen mot storskaliga anläggningar. Det finns dock utvecklingspotential för enklare metananriktningsprocesser som skulle göra det möjligt för små och medelstora biogasanläggningar att uppgradera biogasen till fordonsgas, där askfilter är en teknik som testats i Sverige (Bienert et al., 2019).

Den låga energitätheten i lantbrukets restprodukter begränsar produktionshastigheten och processeffektiviteten i de kontinuerligt omrörda rötammare som är vanligast i dag (Ahlberg Eliasson, 2018). Bättre teknik för själva processen behövs därför. Ett alternativ kan vara rötningstekniker med mycket kort uppehållstid (timmar eller några dygn i stället för dagens veckolånga uppehållstider) och hög belastning, vilket skulle ge mindre anläggningar med lägre investerings- och driftskostnader. Till exempel kan det vara möjligt att utveckla höghastighetsrötning av supernatanten (den tunna fasen i lagrad flytgödsel som sedimenterat) från flytgödsel (Bergland et al., 2015). Denna tunna flytgödsel kan till exempel rötas med så kallad "up-flow anaerobic sludge bed" (UASB) reaktorer som klarar hög inlastningshastighet av organiskt material och kort uppehållstid (Tassew et al., 2019).

"Biogödselaffären" är en förlustaffär för biogasproducenterna, även om de tar betalt för produkten och kostnaderna för hanteringen varierar ganska mycket i landet (Odhner et al., 2015). Därför önskar bland annat stora biogasproducenter öka värdet av biogödseln. Ett sätt kan vara att separera biogödseln i en fast fraktion och en flytande fas. Inom ekologisk produktion i EU är torvanvändningen starkt ifrågasatt. Ett sätt att öka värdet på biogödseln har därför varit att försöka använda den fasta fraktionen av biogödsel som ersättning för torv (Nesse et al., 2019), men här behövs mer arbete. För den flytande fasen finns en potential att använda den i droppbevattning och eventuellt i hydroponisk odling. Här finns studier gjorda såväl efter energikrävande ultrafiltrering (Barzee et al., 2019) eller med enklare teknik (Gunnarsson & Norup, 2018).

Utvecklingsmöjligheter

Biogasproduktion på gårdsnivå är beroende av att det finns en marknad som är villig att betala för slutprodukten. Därför behöver biogasanläggningsägare hitta produkter som är attraktiva på marknaden, och som i så många andra fall handlar det om att förädla sin råvara. Biogas kan förädlas till fordonsgas i gas- eller vätskeform, den kan omvandlas till värme och till elektricitet.

För att det ska vara möjligt för mindre gårdsanläggningar att uppgradera sin biogas till fordonsgas krävs utveckling av reningsteknik så att den blir ekonomiskt hållbar även i mindre skala. Det krävs även en utveckling av infrastruktur i form av tankstationer och gasledningar för att kunna sälja fordonsgasen till kunder. Om gasen på ett säkert och relativt billigt sätt kan omvandlas från gasform till flytande så skulle det underlätta transporter och därmed försäljningsmöjligheter. Både uppgradering till fordonsgas och förvätskning av gasen sker idag på gårdar, men för mindre anläggningar endast på pilotstorlek. De initiativ som finns behöver därför både fortsätta att utvecklas tekniskt och spridas till fler anläggningar.

De flesta mindre gårdsanläggningar som finns i Sverige idag använder sin producerade biogas till att producera värme och eller elektricitet (Ahlberg-Eliasson et al., 2017). De motorer som används till detta slits dock snabbt på grund av bland annat svavel i gasen. Det skulle därför behövas enkla och billiga tekniker för att rena gasen från svavel, och det finns även stora möjligheter att utveckla de befintliga motorerna så att de blir mer anpassade till förutsättningarna inom biogasindustrin. Den elektricitet som produceras skulle kunna utnyttjas mer effektivt om det fanns batterier som är anpassade för biogasanläggningar. Det sker mycket

utveckling av batterier och den utvecklingen behöver stötta och ledas mot anpassningar till de småskaliga biogasproducenterna. En viktig utveckling är bioenergikonglomerat och gröna kemikalier där biogas kan vara en viktig del även till välgasteknikens utveckling.

Forskningsbehov

Forskningen inom hållbara energisystem på gården har mycket att klargöra och torde ligga inom nivå 4–7 på TRL-skalan. Lantbruket äger substratet gödsel och därmed även nyttan av en bra gödselhantering vilket omfattar produktion av biogas såväl som cirkulation av näringsämnen. Gödseln som substrat till biogasproduktion är en biprodukt av vår livsmedelsförsörjning, för att stärka det inhemska lantbrukets konkurrenskraft behöver klimatnyttan som gödselrötning innebär tillskrivas livsmedelsproduktionen och lantbruket. Att beskriva och kommunicera dessa kretslopp är centralt.

Tyvärr har den ekonomiska situationen för biogasproduktion såväl på lantbruk som i större anläggningar varit tuff och hindrat utvecklingen. De största problemen har gällt teknikfrågor som till exempel omrörning och gödselpumpning, svavelväte i rågasen och substratsammanstötning. Men även avsättning och marknadsfrågor tas upp som hinder samt att lagstiftningen och de långsiktiga förutsättningarna på marknaden är inte tydliga (Achinas & Willem Euverink, 2020).

Lokala marknader för fossilfri energiproduktion behöver hittas. Där biogas kan komplettera andra energislag. Energikonglomerat av detta slag behöver forskningsmässigt beskrivas.

Ett spännande utvecklingsområde är möjlighet till effektutjämning i energisystemen och därmed använda biogas till det. För att det ska möjliggöras krävs lagringsförutsättningar, antingen av trycksatt gas eller el i batteriform. Biogas kan tillsammans med andra fossilfria bränsleslag på lantbruket vara en del av lösningen för detta.

Teknik för uppgradering och förvätskning av biogas behöver demonstreras för att på sikt bli ekonomiskt hållbar även i mindre skala. Både uppgradering till fordonsgas och förvätskning av gasen sker idag på gårdar, men för mindre anläggningar endast på pilotstorlek. Här krävs således demonstrations insatser och forskningsmedel för utvärdering av demo och pilotskaleförsök. Utveckling av uppgradering av biogas till fordonsgas beskrivs som centralt även i SOU 2019:63.

Det krävs även en utveckling av infrastruktur i form av tankstationer och gasledningar för att kunna sälja fordonsgasen till kunder. Om gasen på ett säkert och relativt billigt sätt kan omvandlas från gasform till flytande så skulle det underlätta transporter och därmed försäljningsmöjligheter.

De motorer som används till el produktion detta slits dock snabbt på grund av bland annat svavelväte och andra föroreningar i gasen. Det skulle därför behövas enkla och billiga tekniker för att rena gasen från svavelväte, och det finns även stora möjligheter att utveckla de befintliga motorerna så att de blir mer anpassade till förutsättningarna inom biogasindustrin.

Det behövs en motvikt till trenden mot storskaliga lösningar på biogasområdet. Det finns forskningsbehov för mer småskaliga lösningar för biogasteknik, framför allt förädlingen av biogas. Sådan utveckling kan också driva fram mer storskaliga lösningar.

Det finns också behov av mer utveckling kring eldrivna fordon för lantbruket. Det är en pusselbit som skulle förbättra lönsamheten för småskalig biogasproduktion eftersom man då får

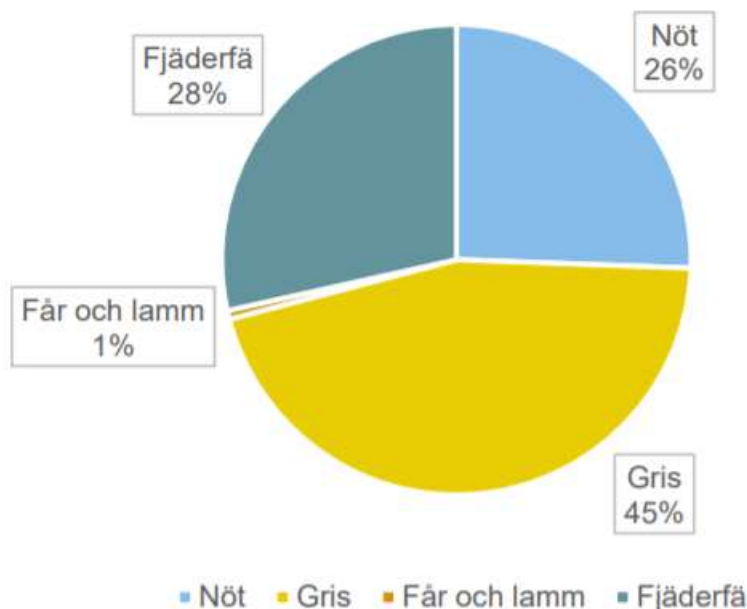
avsättning för elektriciteten till egna fordon och kan investera i kraftvärmeanläggning i stället för uppgradering av biogas.

I framtida utveckling behövs det även fokus på energieffektivitet och metanemissioner i hela biogaskedjan för att garantera biogasens klimatnytta. Det handlar om riskerna för stora metanförluster i samband med uppstart när biogasen har för lågt metaninnehåll för att förbrännas eller driftsstopp och underhåll där reaktorn öppnas. Det handlar också om hur metanemissionerna från lagringen av rötrest kan minimeras.

3 Animalieproduktion

Animalieproduktionen i Sverige består idag huvudsakligen av fjäderfä, gris, nötboskap, får och getter. Lammproduktionen är en liten del av köttproduktionen men har potential för att öka (Figur 3). Andelen får som används för mjölkproduktion i är Sverige liten, andelen getter som går till köttproduktion likaså. Enligt uppgifter från Jordbruksverket fördelades den totala slaktmängden i Sverige enligt nedanstående cirkeldiagram i april 2020 (Figur 3) (Jordbruksverket, 2020). Gris uppgår till nästan hälften av den slaktade volymen kött i Sverige. Mängden mjölk som levererades till mejeri i Sverige år 2019 uppgick till 2 704 000 ton mjölk. Enligt statistik från jordbruksverkets skrift "Lantbruket i siffror" (Jordbruksverket, 2011a), som är en sammanställning av statistik från år 1866 till år 2007, uppgick antalet mjölkkor i Sverige till närmare två miljoner år 1936, medan vi i Sverige i juni 2019 hade 305 600 mjölkkor (Jordbruksverket, 2019c). Trenden för antal mjölkkor har varit starkt nedåtgående, och minskningen fortsätter, om än inte i samma snabba takt som mellan 1930 och 1960-talet. I Sverige består den genomsnittliga mjölkbesättningen i dag av 93,9 kor. Med den pågående utvecklingen av besättningsstrukturen kan vi förvänta att storleken på den genomsnittliga mjölkbesättningen fördubblas under de kommande 10 åren.

Motsvarande utveckling för grisproduktionen ser liknande ut, med en minskande trend sedan 1980-talet (LRF, 2015). Mängden producerade ägg år 1944 uppgick till 53 000 ton, medan motsvarande siffra för år 2007 var 95 000 ton⁷².



Figur3. Fördelning djurslag i andel av total slaktmängd i Sverige 2019.

⁷² http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__JO__JO1901__JO1901G/Kap6To7/

3.1 Djurvelfärd

Djurvelfärd är ett begrepp som ska beskriva djurets upplevelse av sin livssituation. Djurvelfärden kan säkerställas genom regelverk i form av lagar och genom önskemål i form av rekommendationer. Det finns många sätt att mäta djurvelfärd, till exempel genom att studera överlevnad, sjuklighet, fertilitet och beteendemönster. Djurskyddslagen är tydlig i sin ställning om att djur ska ha rätt till en miljö som främjar deras välfärd, att de ska vistas i en miljö som främjar deras naturliga beteende samt att miljön skall utformas så att beteendestörningar förebyggs (*Djurskyddslag (2018:1192) Svensk Författningssamling 2018:1192, 2018*). En hög överlevnad och en lång livslängd är faktorer som kan spegla en god djurvelfärd, och som är av stort ekonomiskt värde för lantbrukaren.

Begreppet kokomfort blir mer och mer viktigt för att uppnå en optimal mjölkproduktion med hög avkastning, bra hälsostatus och hög reproduktionsförmåga. En hög kokomfort innebär bland annat att produktionssystemet och stallet är utformat så att tidsbudgeten går ihop för den högvakastande kon, vilket ger henne tillräcklig tid för att äta, idissla, vila och mjölka.

Med ett varmare klimat kommer troligen sjukdomsalstrande mikroorganismer att öka. Samtidigt ökar behovet av ventilation och nerkylning i stallar. Tekniken för detektering av avvikande beteenden eller kroppsfunktioner går stadigt framåt, där tidigare välkänd teknik kan appliceras i nya miljöer och med nya funktioner. Mikrofoner kan till exempel detektera spridning av lunginflammation i smågrisproduktion, medan värmekameror kan upptäcka juverinflammationer på mjölkkor. Gemensamt för dessa två tillämpningar är att det gynnar djurvelfärden när sjukdomar kan upptäckas på ett tidigt stadium.

Utvecklingsmöjligheter och forskningsbehov

Aspekterna nedan ligger inom nivå 2–7 på TRL-skalan. Kylanläggningar för att undvika värmestress är också en viktig bidragare till god djurvelfärd.

Enligt yttrande, daterat 2019-10-21, från SLU:s vetenskapliga råd finns ett antal forskningsområden beskrivna. Nedan finns en kort summering av dom områden som rapporten belyser.

- Djurvelfärdsmässiga konsekvenserna av utomhushållning av både nötkreatur och får vintertid under svenska förhållanden.
- Liggplatsens egenskapers påverkan på djurens välfärd
- Djupare studier om beläggningsgrad och djurstorlek för att hålla betesmarker i gott skick
- Huruvida intag av snö kan täcka djurens vätskebehov
- Förbättrad stängsling mot rovdjur
- Lusangrepp och dess påverkan på djurvelfärden
- Vad kan viltkontakt under betessäsongen få för effekter på sjukdomsspridning
- Effektiva sätt för tillsyn av djur under betessäsongen

En längre växtsäsong och varmare klimat skapar möjlighet till en förlängning av betessäsongen. Inom nötkötts- och lammproduktionen bör mera extensiva system med enklare byggnader bli aktuellt, men mer forskning kring optimal utformning och funktion behövs.

Stallbyggnader som är anpassade efter djurens behov med hög kokomfort, byggda mot bakgrund av biologisk kunskap om kotrafik, för optimal rörelse och vila efterfrågas. Ett ökat fokus på att utveckla det optimala underlaget för god klövhälsa, såväl på stall som på bete.

3.2 Överlevnad och hållbarhet

Kunskapsläge idag

En hög överlevnad bland såväl kalvar, lamm, killingar och griskultingar är av central vikt för lantbrukarens ekonomi. Möjligheter till bättre övervakning och system som kan öka förutsägbarheten för tidpunkten för födseln kan i många fall öka överlevnaden hos avkomman (Andersson, 2015). Idag finns sensorer som med hjälp av förändringar i rörelsemönster kan förutsäga kalvning hos nötkreatur⁷³.

Hållbarhet och överlevnad är tätt kopplade till varandra, och båda bör beaktas vid avel (de Mello, 2014). Aveln av mjölkkor bör inte enbart fokusera på avkastning, utan också överlevnad, då den är starkt kopplad till företagets ekonomi konkluderar de Mello (2014). Överlevnad påverkas av flertalet faktorer, såsom inhysning i form av gruppstorlek och boxarnas underlag, antalet förflyttningar under uppväxten samt sjukdomsförekomst (Neerhof et al., 2000).

Utvecklingsmöjligheter och forskningsbehov

Aspekterna nedan ligger inom nivå 3–7 på TRL-skalan. Utveckling av avelsmålen inom mjölkproduktionen behövs så att de gynnar hållbarhet, exempelvis livstidsavkastning, flera hälsoparametrar, överlevnadsindex etcetera.

Råmjölkskvalitet och hygien har studerats mycket på nötboskap. Exempel på faktorer som skulle kunna påverka råmjölkskvaliteten hos tackor är tackans ålder, utfodringsnivå och proteintillförsel under sista tredjedelen av dräktigheten. Mer forskning inom området behövs.

Vilka faktorer påverkar lammöverlevnaden? Finns ett samband mellan kullstorlek, svagt värkarbete hos tackan, tackan ras eller brist på näringsämnen? Mer forskning behövs.

⁷³ <https://moocall.com/>

3.3 Teknik och managementsystem

Kunskapsläge idag

Osynliga stängsel möjliggör en helt ny typ av betesdrift där vissa djur kan stängas in och exempelvis låta kalven beta på näringsrikt bete där inte kon tar sig in. Kalvarna eller lammen kan på så sätt erbjudas parasitfritt bete trots att de delvis går i samma hage som dikon/tackan. I Sverige är stängselfria system än så länge inte tillåtna. I Norge och Skottland arbetar forskare med att utveckla metoden.

Inom lantbruket finns mycket tillgänglig teknik för att mäta och analysera såväl djurens beteende, hälsostatus, stallmiljö och klimat. Sensor- och analysteknik i olika former ökar möjligheten att upptäcka sjukdomar i tidigare stadier, vilket är positivt för djurhälsan. Lovande forskningsresultat har påvisats kring aktivitetsmätning på bete och kopplat det till parasitförekomst (Högberg et al., 2019). Analys av mjölk för innehåll av såväl hormoner som bakterier och somatiska celler finns tillgängligt. Digital övervakning med hjälp av kameror, kameror kopplade till bildanalys, värmekameror och 3D-kameror finns på marknaden eller är under utveckling för kommersialisering.

Forskning på nötboskap sker idag bland annat på Scotland Rural College⁷⁴ där en 3D-kamera kan bedöma djurens kroppsform och fettansättning hos växande ungdjur i kombination med att djuren vägs automatiskt. Med hjälp av information om djurkroppen får lantbrukaren ett beslutsunderlag för när djuret är mest lönsamt att slakta, eller om utfordringen bör ändras vid slutgödningen. Tekniken är idag mest tillämpad på växande nötkreatur, men bör gå att anpassa till andra djurkategorier. Utvecklingen av robotmjölkning har gått fort och år 2017 mjölkades 1/3 av Sveriges mjölkkor i robot⁷⁵.

Nofence⁷⁶ är ett exempel på teknik som kan användas på gårdsnivå med potential till flertalet fördelar, såsom arbetsbesparing, djurhälsomässiga fördelar och miljömässiga positiva effekter. Med hjälp av GPS-halsband och en mobil-anpassad applikation där djurägaren markerar det tillåtna betesområdet kan stängselfria lösningar bli framtidens sätt att hägna in djur på bete. Traditionella stängsel kräver underhåll, tillsyn och skötsel.

Det finns ett pågående arbete i Sverige kring hur digital teknik ska implementeras i och det är viktigt att kommande forskning koordineras väl med de rekommendationer som redan finns om risker och möjligheter med den nya tekniken (SLUs vetenskapliga råd för djurskydd, 2019).

Utvecklingsmöjligheter och forskningsbehov

Betesdriften och tekniken som kan användas inom djurhållningen har stor potential att utvecklas och ligger inom nivå 3–8 på TRL-skalan. Tekniken med 3D-kameror har med åren blivit billigare och kan mycket väl passa på den enskilda gården för att effektivisera

⁷⁴ <https://www.sruc.ac.uk/>

⁷⁵ <https://www.vxa.se/husdjur/nyheter/en-tredjedel-av-mjolken-ar-robotmjolkad>

⁷⁶ <https://nofence.no/en/>

produktionen. Tekniken att med hjälp av 3D-kamera bedöma djurens kroppsform och fettansättning bör provas på svenska nötköttsraser och även på andra djurslag. Tekniken bör kopplas till konkreta råd om hur man med hjälp av data från 3D-bilderna ska kunna effektivisera slutfodringen av ungnöt eller andra djurslag.

Möjlighet att koppla samman olika tekniker såsom sensorer och bildanalys kan öppna upp för en bättre prediktion om exempelvis kalvning, brunst, sjukdomsförekomst etcetera.

Forskningen på mobila mjölkrobotar har pågått i Danmark och Frankrike men har stannat av på grund av för höga kostnader för energiförsörjning och logistik. Med en modernare energiförsörjning finns potential att utveckla mer flexibla enheter för mjölkning i fält som i sin tur kan öka betesdriften i mjölkproduktionen.

Möjligheten att beta tillfälliga eller svårhågnade betesmarker med NoFencetekniken gör att betydligt mer mark än idag kan betas. Med ökad kunskap om alternativa metoder finns även potentialen att finna en stängslingslösning som minskar problematiken med rovdjursangrepp. För att kunna använda stängselfria system i stor skala krävs forskning, utvärdering och produktutveckling. Kontakter bör tas med forskare på NMBU i Norge och Scotland Rural College som under många år forskat på denna teknik. Tekniken bör också testas ur perspektivet djurvälstånd.

Ett annat viktigt område är hur tekniken följer med arbetsmiljön och företagsledningen. Med utvecklingen av storleken på mjölkbesätningarna kommer det genomsnittliga företaget med mjölkproduktion att ha 2–4 anställda i framtiden. Det ställer krav på management och personalledning i kombination med teknikutvecklingen.

3.4 Logistik och energieffektivisering

Kunskapsläget idag

Utvecklingen inom det svenska jordbruket präglas av stark strukturrationalisering där gårdarna växer och blir större. Studier har gjorts på transporter och logistik framförallt på gårdar med mjölkproduktion mellan fält och gården och mellan gårdar samt till och från gården. I rådgivning inom Greppa Näringens energikollen⁷⁷ kartläggs energianvändningen på gården och mycket data finns men har inte sammanställts. Om transportarbetet kunde effektiviseras med 25%, vilket enligt en rapport från JTI (2015) inte är orimligt, skulle det innebära besparingar på i storleksordningen 130 GWh energi, 36 000 ton växthusgasutsläpp (CO₂e) och 870 Mkr i kostnadsbesparingar för jordbrukets logistik (Engström et al., 2015).

Utvecklingsmöjligheter och forskningsbehov

Logistik är ett viktigt ämnesområde som har stor potential för tillämpad användning men spannet är stort på tekniken så aspekterna nedan ligger inom nivå 2–7 på TRL-skalan. Mer kunskap om effektivisering av inomgårdslastik efterfrågas av näringen. Nyckeltal som

⁷⁷ <http://greppa.nu/vara-tjanster/radgivning/radgivningsbesok/klimat/klimatkollen-for-djurgardar.html>

beskriver transport- och logistikkostnader saknas för lantbruksföretag i stort. Hur stor spridningen är mellan företagen är oklar. Detsamma gäller för potentialen i att spara kostnader i det enskilda företaget. Det finns mycket att utveckla kring logistiken på mjölkgården för att uppnå en resurseffektiv hantering av gödsel, grovfoder, kraftfoder och djur med mera.

I studier som gjorts framgår att gott ledarskap är viktigt för en väl fungerande verksamhet. Att studera betydelsen av management och hur man delegerar ansvar och initiativförmåga är alltså av största vikt.

3.5 Utfodring och idisslarnas fodersmältning

Kunskapsläge idag

Metan från idisslarnas fodersmältning står för en stor andel av deras klimatpåverkan. Det pågår en hel del forskning om metanbildningen i våmmen, dess mekanismer och hur den kan påverkas av olika utfodringsstrategier och fodertillsatser. Det finns nu mer kunskap om vilka mikroorganismer som står för metanbildningen i våmmen, men än är mycket okänt kring kopplingen mellan olika grupper av mikroorganismer och hur olika substrat påverkar hela mikroorganismssamhället i våmmen (Landquist et al., 2019).

Det har gjorts *in vitro*- och utfodringsförsök med olika typer av tillsatser under många år där preparaten initialt hämmat metanbildning, men där effekten avtagit med tiden. Nu riktas blickarna mot rödalger som gett mycket lovande resultat *in vitro* och utfodringsförsök⁴⁷.

I utfodringsförsök har man också sett större skillnad i metanproduktion mellan olika individer än mellan olika foderstater, vilket tyder på att medveten avel skulle kunna vara ett sätt minska metanemissionerna från idisslare (Landquist et al., 2019)

Åtgärder för att öka det ekonomiska incitamentet för att minska metanproduktion krävs för att förändringen ska få ett stort genomslag i animalieproduktionen. Särskilt om åtgärderna inte har direkta ekonomiska fördelar eller praktisk nytta i produktionen. Sådana incitament skulle kunna vara att de inkluderas i befintliga eller nya certifieringssystem.

Utvecklingsmöjligheter och forskningsbehov

Forskningen om idisslarnas metabolism och utfodring ligger inom nivå 3–8 på TRL-skalan, beroende på undersökt aspekt. Ur ett tillämpat perspektiv vore det bra med studier som kan visa den långsiktiga effekten på metanproduktionen i våmmen med olika sorters tillsatsmedel i fodret. Mer kunskap behövs på makroplan om hur metanutsläpp fördelar sig mellan fossila utsläpp och biologiska källor.

Forskningen behövs också kring hur förändrade utfodringsstrategier, tillsatsmedel och/eller avelsarbete påverkar ekonomin och djurvälståndet på gården. Vinststabil proteinfoder är en bristvara och nödvändigt för den högavkastande mjölkkon - forskning som syftar till att minska vommerbrytningen av inhemska foderråvaror är angeläget

Forskning som kan leda till ökad vallfoderkonsumtion inom mjölkproduktionen är angelägen. Sverige har bra klimat och biologiska förutsättningar för vallodling. Det finns dubbla vinster i ökad vallfoderkonsumtion; ökad djurvälstånd och bättre lönsamhet, vilket samlat stärker

konkurrenskraften. Utfodring av färskt vallfoder har ökat vallfoderkonsumtionen i mjölkproduktionen i Danmark och är en möjlighet när växtsäsongen blir längre. Forskning som kombinerar modern slåtter- och utfodringsteknik för hantering av färskt vallfoder är aktuellt. Sortering av vallfoder efter kvalitet i samband med skörd och även vid utfodring är ett nytt lovande forskningsområde.

Fortsatt förädlingsarbete för vallfrösortiment för svenska förhållanden behövs. Utveckling av vallfröblandningar med örter för högre lammstillväxt, högt mineralinnehåll i fodret, hög proteinkvalitet och ökad motståndskraft mot parasiter och med hög avkastning.

Forskning krävs för att få klarhet i behovsnormer för tackor och växande lamm. I Sverige finns en stor spridning av raser och tillväxt i lammproduktionen. Nya officiella näringsrekommendationer behöver utvecklas och preciseras. Idag råder stor oenighet kring de officiella normerna. Mer enighet vore önskvärt!

Inom lammproduktionen finns ett stort behov av rationalisering. Kostnads- och tidseffektiva foderlagrings- och utfodringsmetoder anpassade till lammproduktion behövs för att lammproduktionen ska vara konkurrenskraftig. Småskaliga fullfoderlösningar, lammsäkra foderbord och god arbetsmiljö i arbetet med djuren är områden som behöver belysas.

3.6 Betesdrift i ett varmare klimat

Kunskapsläge idag

Nötboskap betar normalt sett en rad olika sorters marker, och kan lämpa sig för såväl åkermarksbete som skogsbete under rätt förutsättningar (Dahlström et al., 2018). Kravet på näringsförsörjning skiljer sig stort mellan djurslag, men även inom djurslag bland annat beroende på laktationsstadium, stallklimat, dräktighetsstatus och ålder. Växande djur kräver ett högre näringsvärde. Att förlägga beten av olika djurgrupper till olika sorters betesmarker är ett sätt att lösa olika krav på näringsbehov under sommaren, medan vinterhalvårets utfodring ställer krav på sorterade grovfoderpartier för att tillmötesgå olika djurkategoriers näringsbehov.

I Sverige idag är det tillåtet att ha nötkreatur ute året runt utan vindskydd om gården är ansluten till "Kontrollprogrammet för utegångsdjur utan ligghall". För får finns inte samma möjlighet trots att det finns en historisk tradition att hålla fåren ute året runt, bland annat på Gotland. Projektet Ökad utevistelse för får genom ranchdrift, har fått medel av Jordbruksverket för att undersöka om förändrad lagstiftning gällande utedrift under vinterhalvåret kan öka konkurrenskraften för svensk livsmedelsproduktion samtidigt som djurvelfärden bibehålls eller förbättras.

Utöver näringsbehovet skall även behovet av mineraler och vitaminer täckas såväl på stall som på bete. På bete finns dessutom en utmaning kopplad till parasiter⁷⁸. Parasiter kan agera kraftigt tillväxthämmande och orsaka stora ekonomiska förluster för lantbrukaren, men även ett lidande

⁷⁸ <https://www.sva.se/djurhalsa/djursjukdomar-a-o/magtarmparasiter-hos-notkreatur-betessmitta>

för djuren. För parasiter som angriper får har Sverige ett gott resistensläge jämfört med andra länder, vilket är en status väl värd att försöka bevara. År 2019 påvisades resistens i fyra nya besättningar, vilket är samma nivå som de senaste fyra åren.

Till skillnad från betets positiva effekter på rörelsemönster och hälsa leder också ett varmare klimat och en längre betesperiod till en ökad risk för att djuren skall infekteras med parasiter. Leverflundra är en parasit som är på uppgång i Sverige⁷⁹ och den kräver en mellanvärd i form av en snäcka som även den kan gynnas av ett varmare klimat med ökad nederbörd. Mot samma bakgrund riskerar även förekomsten av lungmask att öka. Även fästingburna sjukdomar riskerar att öka i stora delar av landet. Enligt Folkhälsomyndighetens statistik över fall av TBE 97YIMkop (fästingburen hjärninflammation) framgår tydligt att antalet rapporterade fall är som störst i södra och mellersta Sverige⁸⁰, men ett varmare klimat med mildare vintrar lär påverka fästingens utbredningsområde, vilket ökar risken för fästingburna sjukdomar som även kan infektera djur i stora delar av Sverige.

I Danmark används diagnostik för parasitsmitta på besättningsnivå framgångsrikt. På flertalet gårdar i Jylland används fält-anpassad diagnostik som möjliggör för djurägaren att själv diagnostisera parasitförekomst och problemets omfattning i besättningen. Prover kan då tas frekvent med kort svarstid. Detta är av stort värde då parasitförökning och dess påverkan på djurens hälsa ofta är snabba förlopp där mycket kan hända på kort tid.

Utvecklingsmöjligheter och forskningsbehov

Aspekterna nedan ligger inom nivå 4–8 på TRL-skalan. Med utvecklingen mot större mjölkbesättningar är det angeläget att betesdriften kan genomföras på ett rationellt sätt båda vad angår arrondering, djurflöde och arbetsmiljö. Forskning som lyfter lönsam betesdrift i stora besättningar gärna kombinerad med robotmjölkning är angeläget, exempelvis rotationsbete.

Forskning på nya betesväxter och betesblandningar för ett varmare klimat och ett högre betesintag till mjölkkor och snabbväxande ungdjur.

Vattenkonsumtion – vad påverkar vattenkonsumtionen hos lakterande tackor? Hur mycket påverkas mjölkproduktionen, lammstillväxten och hälsan av vattenkonsumtionen och vattenkvalitet på stall eller bete?

Ett ständigt ökande antal besättningar med resistens mot behandling av stor magmask är oroande. Resistensproblematiken och utbredningen behöver utredas ytterligare.

⁷⁹ <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.1dfa69ad1630328ad7c7edf3/1526068327354/stora-leverflundran.pdfref>

⁸⁰ <https://www.folkhalsomyndigheten.se/nyheter-och-press/nyhetsarkiv/2018/april/fler-fall-av-tbe-2017-an-nagonsin-tidigare/>

3.7 Biprodukter från animalieproduktionen

Intresset att använda svensk ull i textilindustrin har ökat avsevärt på senare år. Mycket av denna förnyelsebara, miljövänliga ullråvaran tas dock inte tillvara fullt ut utan stora mängder slängs eller bränns.

Utvecklingsmöjligheter

Potentiella användningsområden för svensk ull skulle kunna vara ull som marktäckning eller gödsling, ull som isoleringsmaterial, ull som absorberande material vid till exempel oljeläckage, ull i medicins användning vis till exempel liggsår eller ull som odlingsväv.

Forskningsbehov

Mer forskning behövs för att hitta nya användningsområden för detta unika material som på TRL-skalan är beläget på nivå 2-7 beroende på användningsområde.

4 Social hållbarhet

Landsbygden ska leva är mottot för många föreningar och politiker. Det finns så många aspekter som kommer på tal när landsbygdsutveckling och livsmedelsförsörjning men även jämställdhet omnämns. Nedan har vi tagit ut några få delar som vi anser är viktiga för en levande, hållbar, konkurrenskraftig och klimatsmart landsbygd.

4.1 Sveriges förändrade lantbruk – 1990 till 2018.

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU, driver en plattform för framtidens mat kallad SLU Future Food. I en rapport utgiven våren 2020: *Sveriges förändrade lantbruk - Lantbrukarnas egna röster om förändringar sedan 1990-talet och strategier inför framtiden* beskrivs hur lantbruket har förändrats under tre decennier (Hajdu et al., 2020). Nedan följer en sammanfattning av de lärdomar som finns i studien. Rapporten är högst relevant för den här syntesrapporten eftersom den behandlar förändringar som har skett under 30 år bakåt i tiden (1990-tal till 2018) och förmedlar lantbrukarnas tankar om förändringar i framtiden. Studien är en fortsättning på Bondehushållsstudien som gjordes i början av 1990-talet. Hajdu et al. (2020) har följt upp vad som hänt med jordbruksfastigheterna från 1990-talet och gjort djupintervjuer med ett antal lantbrukare. Studien följer därför samma geografiska gränser som Bondehushållsstudien och håller sig till Ångermanland, Västergötland och Skåne. Rapportförfattarna har identifierat åtta olika strategier som används av lantbrukare för att kunna fortsätta driva gårdarna:

- Satsa på stordrift och rationalisering – ökad arbetsproduktivitet och bulkproduktion
- Satsa på kostnadseffektivisering – optimera inkomster kontra utgifter
- Skaffa sig större inflytande på priset för produkterna
- Sälja direkt till/samarbeta med konsumenter
- Ställa om till en mindre arbetskrävande produktionsinriktning
- Diversifiera utifrån marken och resurserna på gården
- Ha andra inkomstkällor till hushållet, frikopplade från gården och lantbruksdriften
- Satsa lågintensivt med syfte att kunna bo kvar på gården

Förutom att beskriva strategierna, vilka är resultatet av studien, innehåller rapporten intressant information om förändringar i lantbruket inom en rad områden. Generellt har både den brukade arealen och antalet lantbruksföretag minskat sedan 1990-talet. De lantbruk som finns kvar har blivit större och antalet företag har minskat med 40 % i de tre områden som ingår i studien.

Förutom nedläggningen av lantbruksföretag och storleksrationalisering är de förändringar som är tydligast i alla tre områden i studien den snabba teknikutvecklingen. Den har gjort det möjligt att göra arbetsintensiva arbetsuppgifter på ett effektivt sätt, men kräver också stora kapitalinvesteringar och förutsätter att lantbrukaren har intresse av teknik. All ny teknik behöver dock inte vara dyr; i intervjustudien nämns att appar i telefonen och diskussionsgrupper på internet är billigt, användbart och enkelt.

En aspekt av lantbrukaryrket som lyfts i rapporten är de sociala frågorna, till exempel frågan om semester och ledighet. Några skillnader mot för 30 år sedan beskrivs inte, men svårigheterna att få arbete och fritid att gå ihop är en övergripande utmaning. Ytterligare en aspekt som undersökts är skillnaden mellan arbetsuppgifter mellan män och kvinnor. Av intervjuvären dras slutsatsen att både män och kvinnor märker av en tydlig attitydskillnad mellan generationer där de yngre är mer öppna för jämställdhet. Även uppgifter kopplade till barnen i familjen är beskrivet i rapporten och även här är slutsatsen att det finns stora skillnader mellan yngre och äldre generationer både vad gäller säkerhet för barn på gården och arbetsfördelning mellan föräldrarna. En social aspekt gäller lantbrukarens status i samhället i stort där intervjuvären visar att lantbrukare har fått högre status idag. Lantbrukarnas önskemål var att civilförsvaret byggs upp igen och att återbefolka landsbygden. Landsbygds länen har en befolkningsökning men det är mest i tätorterna. Det finns många bostäder på landsbygden men flera hus står tomma och kan rustas upp. Det kan vara lättare om det är nära till städer för då kan husen bli bostäder till pendlare eller sommarnöjen.

EU, politik och lagar och regler har förstås förändrats sedan 1990-talet, och fortsätter att förändras. Både känslor och åsikter går tydligt isär i intervjuerna med lantbrukare och det är svårt att dra generella slutsatser om ifall det är ett bättre eller sämre läge nu än på 90-talet för lantbruksföretag. Dock har det blivit större mängd pappersarbete med EU-regler och tätare kontroller.

Klimatförändringarna påverkar även det svenska lantbruket och de intervjuade lantbrukarna noterar att de märker av klimatförändringar på den egna gården med bland annat längre växtsäsong och varmare vintrar. Rapportens författare drar slutsatsen att det är viktigt att bygga upp kunskapen på varje enskild gård då förutsättningar och förändringar är och kommer att bli helt olika.

Slutsatsen för rapporten är att lantbruksföretag inte är en homogen bransch utan har vitt skilda förutsättningar. Gemensamma regler har hittills gynnat stordriftssatser och lantbruk som drivs som företag och missgynnat de som satsat på andra strategier.

4.2 Betydelsen av starka nätverk på landsbygden

Vad är det som gör att lantbruket i vissa bygder blomstrar medan andra läggs ner och ladugårdsdörrarna spikas igen en efter en? Lönsamheten spelar en stor roll för hållbarheten men även ett positivt nätverk i närheten har avgörande betydelse. Ofta är de duktiga företagare med en generös, positiv syn på utveckling och samarbete som fungerar som "lokomotiv" för en hel bygd. Branschorganisationer kan i vissa fall spela samma roll och fungera som mentorer för företagare som vill utvecklas. Att stötta nätverk av olika slag på landsbygden är ett väldigt effektivt sätt att skapa utveckling i en bygd eller en näring. Nätverk mellan och inom olika produktionsinriktningar och företag i livsmedelsbranschen ökar inspirationen, kompetensen, stärker företagen, föder nya idéer och leder till ökat engagemang och ökad produktion och nystarter. Mer forskning behövs på hur vi skapar nätverk och positiva utvecklingsspiraler. I en

artikel i Svenska Dagbladet⁸¹ debatterade ett sextiototal personer inom näringen, universitetsvärlden och samhällsnyttan om att de små gårdarna och matföretagen har en mycket viktig roll i att minska sårbarheten i samhället tack vare att de är utspridda över hela landet, vilket är en förutsättning för ett robust och uthålligt livsmedelssystem. De lyfter även upp att det behövs fler människor på landsbygden eftersom de tillsammans väver ett starkare socialt och kulturellt nät.

4.3 Generationsväxling eller brukarväxling?

Ärva, köpa eller arrendera. Att generationsväxla en lantbruksfastighet är många gånger en långdragen process med många steg, såväl skattetekniska, känslomässiga och praktiska. En generationsväxling föregås oftast av många års planering, och innebär inte sällan en del konflikter på vägen.

Kunskapsläge idag

Generellt finns det tre vägar att gå för att bli lantbrukare; ärva, köpa eller arrendera. Före den stora skattereformen år 1990 skedde över 25 000 överlåtelse av lantbruksföretag årligen, för att därefter sjunka till 5 000–15 000 överlåtelse per år. När kapitalvinstreglerna ändrades år 2000 ökade antalet överlåtelse igen till ca 20 000 fastigheter per år. Sedan arvs- och gåvoskatten togs bort år 2005 ligger antalet överlåtelse ganska konstant runt 10 000 per år⁸². Under samma period har en betydande förändring skett på den svenska kapitalmarknaden (Lantbrukarnas Riksförbund, 2015). I början av 1990-talet var låneräntan i Sverige mycket hög. Idag ser vi ett annat läge med starkare statsfinanser och lägre ränta där det är relativt billigt att låna pengar. Den låga räntan, ett litet utbud på jordbruksfastigheter samt den finansiella säkerheten i mark har bidragit till att driva upp markpriserna, med 55 % mellan 2004 och 2009 och därefter en mer stabil, men positiv prisutveckling. Den kraftiga prisökningen har skapat värden som ligger långt över fastigheternas avkastningsvärde och försvårat möjligheterna vid generationsskifte och förvärv av jordbruksfastigheter.

Fortsättningsvis är omsättningen av jordbruksfastigheter mycket låg, cirka 3 % i förhållande till antalet verksamma jordbruksföretag säljs varje år. Ungefär 70% av fastigheterna överläts som gåva eller säljs till underpris⁵⁰. Medelåldern bland lantbrukare i dom flesta av Sveriges län ligger över 55 år. Det innebär att majoriteten av gårdarna kommer att behöva byta ägare inom 10-15 år. I genomsnitt tar en generationsväxling 7 år. Det gör att många av de lantbrukare som påbörjar en generationsväxling hinner komma upp i, eller över, pensionsålder innan generationsväxlingen är klar. På grund av dess komplicerade natur medför det också en ökad risk för att den potentiellt kommande generationen hinner tappa intresset för gårdens verksamhet och skaffa sig utbildningar och arbeten inom andra branscher eller på andra geografiska platser.

⁸¹ <https://www.svd.se/gardar-anses-for-sma--men-gor-stor-nytta?> 22 maj 2020

⁸² <https://www.atl.nu/jobb-karriar/mycket-att-tank-pa-nar-foretaget-ska-skiftas>

På grund av den begränsade möjligheten för juridiska personer att förvärva mark drivs många lantbruksföretag idag som en kombination av enskilda firmor och aktiebolag (Enström & Pettersson, 2015). Att bedriva dubbla verksamheter med både aktiebolag och enskild firma ställer högre krav på verksamhetsutövarens ekonomiska kunskaper och är utöver det även mer tidskrävande. Begränsningen grundar sig dock i att juridiska personer, såsom bolag, kyrkan och kommuner, inte ska konkurrera ut enskilda personer och störa balansen mellan enskilt och juridiskt ägande (Jordbruksverket, 2011b)

Nedan har vi formulerat ett antal faktorer som påverkar lantbrukets attraktionskraft negativt:

- Avkastningsvärde i förhållande till ett stigande markvärde
- Inlåsnings effekter i samband med generationsskifte, kapitalbehov och pensionsförutsättningar
- Känslomässig koppling till gården gör den svår att sälja
- Lantbrukare och rådgivare bör räkna på de ekonomiska aspekterna med även belysa mjuka värden.

Utvecklingsmöjligheter

Samtidigt som priserna på jordbruksfastigheter stiger ökar även snittålderns på lantbrukare. Då lantbruksfastigheter ofta förvärvas och drivs av samma ägare under flera årtionden har värdet ofta mångdubblats fram till dagen då fastigheten skall säljas eller skiftas. Ett lågt anskaffningsvärde i förhållande till försäljningsvärde innebär att överlåtaren kan komma att beskattas för hela sin nettovinst. Det bidrar till inlåsnings effekterna som gör överlåtelser mycket svåra och gör samtidigt att produktiv jordbruksmark inte nyttjas fullt ut.

Det finns ett stort antal entreprenörer som vill starta upp jordbruksverksamhet och företagare som ville expandera. Men försämrad lönsamhet och ökad skuldsättning är en stor utmaning. Det finns ett ökat behov på rörelsekapital i branschen, där det är viktigt att se över hur lantbruksfastigheter kan överföras till den yngre generationen och samtidigt behålla kapital i företaget för investeringar i maskiner, byggnader och att fortsatt utveckla företaget. Krasst sett kan rörelsekapital i jordbruksföretag öka genom högre priser på jordbruksprodukter och ökad svensk livsmedelsproduktion. Ser vi till de företagsekonomiska aspekterna ser vi ett ökat krav på jordbrukare som företagare att kunna bättre effektivitet i driften samt en ökad förmåga att hantera risk och skapa kapital.

Forskningsbehov

Aspekterna nedan ligger inom nivå 2–5 på TRL-skalan. Utifrån föregående analys finns det ett behov att ta fram nya strukturer för fastighetsöverlåtelser. Det behövs även tas fram nya affärsmodeller för att underlätta successivt övertagande, brukarskiftet och flexibla arrendeavtal. Ägare av jordbruksfastigheter vill äga suveränitet i företaget men i samband med ökat krav på rörelsekapitalet i företaget krävs förmågan att attrahera externt kapital och externa investerare. Vidare finns det ett behov att ta fram modeller för att underlätta inträdet för unga lantbrukare, som exempelvis skattereduktioner och etableringslån. För att underlätta driften av jordbruket och variationer i marknadspriser finns ett behov att se över risker och finansiell stress. Till detta hör att se över om det är möjligt att utveckla försäkringssystem för att minska företagets sårbarhet för yttre faktorer och prisfall.

4.4 Verkt yg för att utvärdera gårdens resurshushållning och hållbarhet

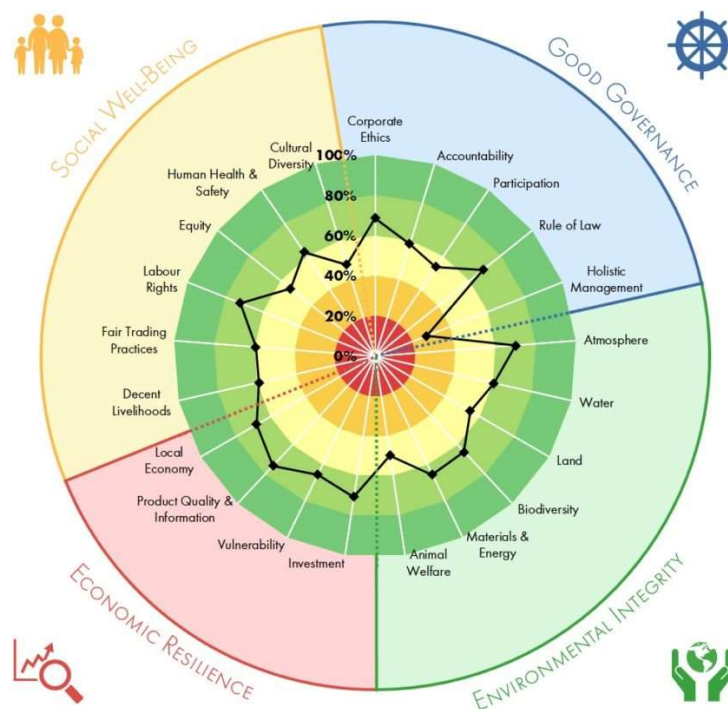
Detta avsnitt har vi lagt till utifrån ett resurshushållande perspektiv. Det har utvecklats digitala verktyg för att hjälpa till i utvärderingen av produktionssystem och kan användas av både rådgivare och lantbrukare men oftast i samarbete för att tolka resultaten. Ramverken ger ett helhetsperspektiv på gårdens produktionssystem och finns flertalet på marknaden.

Kunskapsläge idag

Det så kallade SMART-verktyget (*Sustainability Monitoring and Assessment Routine Tool*) har utvecklats för att systematiskt analysera en gård utifrån h llbarhets vervakning och utv rderingsrutiner. SMART-verktyget kan användas för systematiska analyser av olika hållbarhetsdimensioner och teman på gårdsnivå (Schader et al., 2016, 2019). Författarna ingår i arbetsgruppen f r *Sustainable Food*⁸³ (SFS). Systemet grundar sig på FAO:s riktlinjer för resurshushållande livsmedelsförsörjning och lantbruk: SAFA Guidelines (Sustainability Assessment of Food and Agriculture), med 58 olika hållbarhetsaspekter. Verktyget arbetar med ”trade-offs” och synergier mellan de 300 indikatorer som används för att utvärdera gården på en femgradig skala (r d till mörkgrön, Figur 1) som även omvandlas till procent uppnått mål.

Det finns andra verktyg i Sverige f r beräkningar av hållbarhetsaspekter som kan utvärdera hela gårdens produktion, ett enskilt odlingssystem eller enskilda grödor. En forskargrupp vid SLU har gjort en genomgång av tre indikatorbaserade ramverk (RISE, SAFA, IDEA) med fokus på europeiska och svenska förhållanden, vilka kan ligga till grund för verktyg anpassade till svenska förhållanden. Resultaten från sammanställningen av indikatorer och verktyg presenterades i en rapport och sedermera en vetenskaplig artikel (Röös et al., 2019; Tidåker et al., 2018). Deras slutsatser var att verktygen uppvisar stor variation i val av indikatorer, hur detaljerade verktygen var, kvantifieringsmetod f r olika effekter samt hur olika teman och dimensioner viktas i varje verktyg. Utfallet av de resultatbaserade indikatorerna visar hur en gård ligger till i relation till andra gårdar eller till ett övergripande mål för att följa upp jordbrukets hållbarhet. I dagsläget är det betydligt vanligare att lantbrukare, ofta tillsammans med rådgivare, arbetar med kvalitetssäkringssystem som bygger på att kontrollera brister och att se till att åtgärder genomförs. Forskarna vid SLU konstaterade att det behövs ett ingående arbete för att ta fram ramverk för hållbarhet, vilket både  r tidskrävande och förutsätter att många aktörer samarbetar (Röös et al., 2019). Tidåker och medförfattare (2018) påpekar att ramverken och indikatorerna behöver testas på gårdsnivå och graderas utmed en skala, vilket görs i SMART-verktyget utvecklat av forskarna knutna till SFS (Schader et al., 2019).

⁸³ <https://www.sustainable-food-systems.com/en/smart/>



Figur 4. Diagram utfärdat med hjälp av SMART-verktyget där en gård har utvärderats utifrån fyra aspekter: delaktighet och arbetssätt, miljöintegritet, ekonomisk hållbarhet och sociala aspekter. Källa: Sustainable food systems (www.sustainable-food-systems.com).

Utvecklingsmöjligheter

Beräkningar av gårdens fotavtryck inom miljö och samhällsekonomi kommer troligtvis att få en större betydelse i framtiden. Förutsättningarna för gårdens produktion kommer, liksom idag, att påverkas av ekonomiska drivkrafter på alla nivåer i samhället. Lantbrukets övergång till en hållbar produktion kommer att behöva strategier för att välja åtgärder som är anpassade till den egna gården. För att stimulera till ökad hållbarhet inom jordbruket är det viktigt med en kombination av strategier som inkluderar fastställda åtgärder som alla ska följa, möjligheter att välja de för gården mest lämpade åtgärderna bland en portfölj av olika åtgärder och uppföljning av nyckeltal över tid för att säkerställa att utvecklingen går i rätt riktning.

Verktygen behöver utvecklas. De indikatorbaserade ramverk som finns idag kan med fördel implementeras i arbetet mot ett resurshushållande lantbruk som drivs i en socialt hållbar anda. Rådgivarna har ett stort ansvar för att föra processen framåt med verktygen. Detta kräver kompetens att kunna hantera och sammanställa mycket information för att sedan bearbeta data och tolka dessa tillsammans med lantbrukaren. Tidåker och medförfattare (2018) konstaterade också att det finns goda möjligheter att bygga vidare på de verktyg som redan används inom produktions- och miljørådgivning för att bilda indikatorbaserade verktyg eftersom de täcker in aspekter som energianvändning, klimatpåverkan, kväveutlakning och växtnäringsutnyttjande, kombinerat med socioekonomiska indikatorer.

Forskningsbehov

Verktygen för att vidareutveckla lantbruket nedan ligger inom nivå 4–7 på TRL-skalan. SMART-verktyget är globalt och kan användas på svenska gårdar, men frågan kvarstår om ramverken behöver anpassas till eller omformuleras för svenska förhållandena. Framför allt finns det en god potential till förbättringar på gårdsnivå, men vi behöver få incitament till att arbeta mer med dem. Ett annat forskningsområde är hur implementeringen ute bland lantbrukarna ska fortgå. Flertalet studier har påvisat att aspekterna som analyseras i ramverken eller SMART-verktyget är bra för att beräkna gårdarnas klimatavtryck såväl som sociala förhållanden. Dock saknas det uppföljande studier om verktygen har drivit lantbruksföretagen framåt i utvecklingen mot en hållbar produktion i ett hållbart samhälle. Tidåker och medförfattare (2018) tillägger att utvecklingen av indikatorer även bör komma till användning av exempelvis uppköpare och handel samt ligga till grund för konsumentkommunikation. Forskning fordras därmed i alla samhällslinjer för att utforma välpassande och välfungerande verktyg inom alla tänkta användningsområden.

4.5 Proteinskiftet inom humankonsumtion

Odling av proteingrödor behandlas i avsnittet 1.1.1 men texten nedan fokuserar på samhällseliga aspekter. Det är ett stort forskningsområde och politiska och samhällseliga aspekter och det finns oklara riktlinjer och det behövs styrande dokument och riktlinjer. Samtidigt är frågorna många hur det kommer att bli i framtiden med vårt val av mat utifrån ett produktionsperspektiv och klimatperspektiv. Kan vi behöva ransonering av köttet i framtiden eftersom den springande frågan är om hur mycket kött vi kan äta i förhållande till klimatavtrycken? Hur kan den svenska konsumtionen och produktionen gå samman till en helhet? Vi behöver verifiera och kvantifiera miljökonsekvenserna av konsumtion och produktion samtidigt som det finns behov av att i detaljnivå undersöka produktionen och olika födoämnen. Det finns en stor variation inom varje produktionsgren och det är svårt att kvantifiera det faktiska klimat- och miljöavtrycken.

Ett exempel från forskningen om klimatavtrycket är om så kallad "Transition", dvs det som måste till för att det ska finnas någon chans att nå klimatmålet om 1,5-2 graders temperaturökning (Bos & Grin, 2012; Rust et al., 2020). Det kan komma att behövas verkliga och stora förändringar i konsumtionen och i produktionen, inte bara lite finputsning på det vi redan håller på med. Det så kallade RIO-metodologin (Reflexive Interactive Design) bygger på forskning kring systeminnovation där omfattande förändring av socioteknologiska system krävs (Bos & Grin, 2012).

För att begränsa klimatpåverkan behövs mer konsumtion av lokalproducerat baljväxtprotein och minskning av importerat kött ger en kraftig minskning av klimatpåverkan från vår kost⁸⁴. Det finns en stor potential att ersätta marknadens många importerade sojaprodukter, som i dag i huvudsak är processade i andra länder, med lokala inhemska baljväxtprodukter (se avsnitt 1.1.1). Tempeh, tofu, oumph, miso, sojaglass, sojayoghurt, sojamjolk och sojabaserade ersättare

⁸⁴ <https://www.wwf.se/mat-och-jordbruk/kottguiden/protein-fran-vaxtriket/>

för fetaost är bara några exempel på produkter som kan eller borde kunna tillverkas av andra baljväxter än soja. En ökad förädlingsgrad leder till bättre prisbild för baljväxter för primärproducenterna och gynnar även potentialen för lokal livsmedelsförädling avsevärt. Det ger även en utvecklingsmöjlighet för primärproducenter som vill ta ett steg ner (downstream) i värdekedjan, det vill säga komma närmare konsumentledet, genom egen småskalig produktförädling. Lokala marknader är ett sätt att stäkra livsmedelssäkerheten och stimulera lokala och regionala värdekedjor skriver FAO i de framtagna kriterierna för hållbart lantbruk⁸⁵.

Ytterligare en effekt av ökad produktion och konsumtion av lokala baljväxter är minskade produktionskostnader för primärproducenten, i form av minskat gödselbehov och minskade gödselkostnader samt ett minskat fossilenergianvändande. Genom att ge lantbrukarna förutsättningar att ta in baljväxter i växtföljden, med god avsättning, skapas ytterligare möjligheter att ersätta importerade produkter till humankonsumtion mot produkter baserade på svenskproducerade baljväxter.

4.6 Hälsoaspekter av emissioner av ammonium, koldioxid och metan från lantbrukskällor

Vi har valt att lägga till en utmaning om emissioner av växthusgaser från lantbruket och hur de påverkar människans hälsa, vilket borde innefatta alla levande varelser på jorden. Det är en aspekt som uppkom i och med att luften i städerna förändrades våren 2020, speciellt i Paris och New Delhi, men även i Wuhanprovinsen i Kina där covid-19 hade sina första framgångar på sjukdomsmarschen världen över. Luften blev klarare och andra lukter spreds sig i städerna.

Kunskapsläge idag

Den europeiska miljöorganisationen *European Environmental Bureau* (EEB) skriver på sin hemsida 2 april 2020 om hur gödsellukt spred sig över Europa när avgaserna från transporterna upphörde i städerna, det som annars ”motar bort” luftflödena från landsbygden⁸⁶.

Miljöorganisationen ingår i ett stort forskningsprojekt kallat *Clean air farming* om bland annat hälsoaspekterna av emissioner av växthusgaser från lantbruket och hur det kan förhindras.

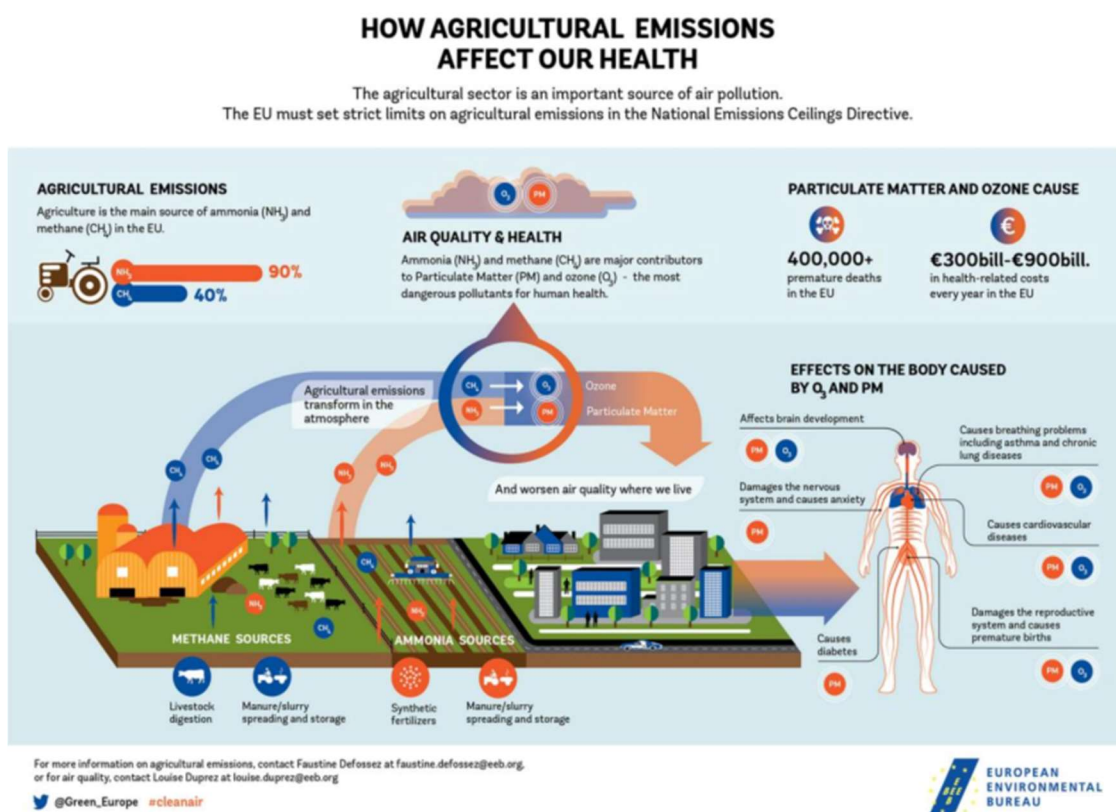
Liknande material är sammanställt i en stor artikel skriven av några forskare på Cypern som har räknat på förlängningen i levnadstid i Europa (Giannakis et al., 2019). Figuren nedan är hämtad från European Environmental Bureaus hemsida och illustrerar hur flödena av metangas och ammoniak förenas i luften, bildar partiklarna PM_{2.5} och som förs med vindarna till befolkningen, inte bara i städerna utan på landsbygden (Figur 2). Detta fenomen är globalt. Vi vill dock påpeka att det är diabetes typ 2 som avses eftersom diabetes typ 1 ej har samma

⁸⁵ <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-the-post-2015-development-agenda/sustainable-agriculture/en/>

⁸⁶ <https://meta.eeb.org/2020/04/02/the-big-stink-europes-lockdown-uncovers-a-surprising-source-of-air-pollution/>

orsakssamband. Dock famlar forskarna i mörker om varför andelen som utvecklar typ1-diabetes är så hög i Norden (www.barndiabetesfonden.se).

De hälsoaspekter som framkom i de ovan nämnda studierna var att ammoniak reagerar med kväveoxider och svaveldioxid och formar ammoniumsulfider och nitrater. Dessa partiklar är de som kallas PM_{2.5} beroende på att de har en diameter på 2,5 mikrometer. Det vetenskapliga namnet är "secondary inorganic aerosols" (SIA) och kan gå ner långt i lungorna och orsaka lungbesvär och hjärtkärlsjukdomar (Grande et al., 2020). Vidare kan partiklarna orsaka cancer och fertilitetsproblem, liksom demens (Grande et al., 2020; Gustafsson et al., 2014; Segersson et al., 2017). I Sverige anses årligen 3500 personer dö i förtid på grund av luftföroreningar (Gustafsson et al., 2014) medan det globalt kan vara flera miljoner människor som dör i förtid (Apte et al., 2015; Xie et al., 2019). För att inte tala om vilka enorma ekonomiska förluster i mångbiljonbelopp, i kronor räknat, som det medför i förlorade arbetsinkomster och sjukvårdskostnader (Giannakis et al., 2019; Xie et al., 2019).



Figur 5. Flödesschema över metangasemissioner och ammoniakavgång och hur partiklarna förenas och bildar partiklar som kallas PM_{2.5}, vilka kan ha stor påverkan på människors hälsa i form av andningsproblem, nervstörningarproblem och endokrin metabolism. Bildkälla: Clean air farming⁸⁷

⁸⁷ <https://www.clean-air-farming.eu/en/background/impacts>

Metangasemissioner är ett stort ämne för diskussion huruvida nötkreaturen bidrar till växthuseffekten med sin produktion av metangas i våmmen. Två internationella forskarlag har räknat på metangasutsäpp från jordbruk, industri och naturliga metangasutsläpp (Christensen et al., 2019; Hmiel et al., 2020). De stora utsläppen har antropogena källor, likt framställning och annan hantering av fossila bränslen samt att kärnkraftverk avger en liten metangas (Hmiel et al., 2020; Zazzeri et al., 2018). Den ena forskargruppen mätte metangashalten i isborrkärnor från preindustriell tid, runt 1800-talets början, för att mäta den naturliga metangasemissionen från vulkanaktivitet eller naturliga miljöer, exempelvis torvmossar. I jämförelse med dagens totala metangasutsläpp skrevs dagens antropogena metangasemissionen då upp med 38–58 teragram metan per år, vilket motsvarar 25 % till 40 % ytterligare metangasutsläpp utifrån de tidigare uträkningarna av antropogena källor (Hmiel et al., 2020). Forskarna påpekar att en minskad användning av fossila bränslen, och hanteringen av det, kommer att bli avgörande för att kunna minska metangashalten i atmosfären.

Metangasen återfinns i atmosfären i cirka nio år, vilket är kort tid i relation till koldioxid som kan ha en livslängd i atmosfären på ett århundrande. Metangasens ursprung kan räknas ut genom kol-14-metoden då fossilt metan inte innehåller kol-14 på grund av nedbrytning av isotopen (Hmiel et al., 2020). Metan med biologiskt ursprung innehåller kol-14 eftersom det har skapats ur nyare kolinnehållande material men kan även avges från vårmarker eller antropogena källor såsom deponier, torvtäkter och risfält. Nötkreaturen tillhör den antropogena källan.

Hälsoeffekterna av koldioxid är relativt välstuderade i höga koncentrationer men hur effekten blir av koldioxidhalten i atmosfären torde vara ett långtgående forskningsprojekt. Vid koldioxidhalter över 600 ppm, det vill säga höga nivåer, under en kort tidsperiod ökar koldioxidhalten i blodet vilket leder till koncentrationssvårigheter och yrsel (Bierwirth, 2014). Kroppen kan kompensera för förhöjda koldioxidvärden men mekanismerna kan avta vid långvarig exponering av koldioxid, vilket kan leda till njurproblem, kronisk inflammation, benskörhet och minskad funktion av hjärnas aktiviteter. Ett annat allvarligt sjukdomstillstånd är att cellerna blir förkalkade eftersom enzymet kolandrydras som omvandlar koldioxid och vatten till kolsyra minskar, vilket kan bli det stora existentiella problemet för människor och djur (Bierwirth 2014).

Utvecklingsmöjligheter

Biogasanläggningar som utvinnet metangas och kvävehushållningen avhandlas i andra delar av denna syntesrapport. Det viktiga ur den hälsofarliga aspekten är att mängderna metangas och kvävgaser i alla dess former minskar i luften. De cypriotiska forskarna påpekar att om det europeiska lantbruket minskar utsläppen gentemot EU-direktivet 2016/2284/EU mellan år 2020 och 2029 kan detta ge stora positiva ekonomiska effekter och hälsopositiva följder men utan behöva kosta en förmögenhet (Giannakis et al., 2019). Utvecklingen för minskad ammoniakavgång behöver ligga såväl på gårdsnivå som globalt och drivas av ekonomiska aspekter på alla nivåer i samhället.

Forskningsbehov

Forskningen om hälsoproblem torde ligga inom nivå 3–7 på TRL-skalan. I denna syntes kan vi inte gå in på hur vi medicinskt kan förebygga hälsoproblemen på grund av växthusgaserna men vi kan formulera tankar om vad som behöver göras för att minska utsläppen. De forskningsbehov som anspelar på växthusgasemissioner behandlas i avsnitten om stallgödsel,

biogas och kolinlagring (avsnitt 1.4; 1.5; 2 samt 3.4–6). Dock vill vi påpeka att gödselhanteringen står för så stor del av emissionerna, vilket påverkar eutrofieringen som i sin tur leder till försämrad folkhälsa. Vi anser därför att forskning inom gödselhantering är ett mycket högt prioriterat område (se avsnitt 1.4 om stallgödsel). En annan stor aspekt är lantbrukarnas och rådgivarnas inställning till tidpunkter för kvävegivan. Ett forskningsbehov är tidpunkten för tillväxtstart på våren och därmed tidpunkten för kvävebehovet, det vill säga det som styr tidpunkten för gödslingen. Riskerna med tidig spridning måste också belysas då det finns lantbrukare som i dagsläget kan ge sig ut på tjälen i mars, enligt våra personliga observationer.

5 Två scenarier för lantbruksföretaget: Typgårdarna år 2032.

Lantbrukaren Kim var 24 år vid övertagandet år 2020 och nu presenteras två olika alternativ för driften på gården på gården år 2032. När Kim köpte gården, belägen i Götaland, av sin morfar kunde hen välja om gården skulle fortsätta med mjölkproduktion eller om Kim skulle driva gården som en växtodlingsgård. Under årens lopp har Kim utvecklat sin produktion och driver efter bästa förmåga gården mot en långsiktig hållbarhet med anseende på klimat, biologisk mångfald, ekonomi och social hållbarhet. Gården drivs nu av det aktiebolag som arrenderar gården av den enskilda firmas som Kim startade i samband med gårdsköpet. Det första scenariot, Typgård 1, är en mjölkgård med foderproduktion och Typgård 2 är en växtodlingsgård. Åkerarealen är densamma som vid övertagandet med 300 ha åker, 100 ha naturbetesmark och 75 ha skog. Jordarten är mellanlera med inslag av sten och naturbetesmarken och skogen har mycket inslag av moränmarker och inlandsisavlagringar och kuperad terräng. Arronderingen på åkermarken är god men det ligger några åkrar bortom naturbetesmarkerna som morfar en gång i tiden köpte av en granne. Det är god produktionsjord där borta så det bär sig att göra bra insatser, trots att det är en bit bort. Naturbetesmarkerna ligger utefter en sjö och gränsar till skogsarealen som består av blandskog eller planterad gran som inom en tioårsperiod är mogen för uttag av timmer. För skötsel och förvaltning av skogen tar Kim årligen hjälp av skogsrådgivare genom ett individanpassat rådgivningsavtal där de går igenom och planerar skogsbruksplanen samt de aktiviteter som behövs för att anpassa skogsbruket för betande djur.

I alla grödor, förutom vallen, sköter flera självgående, solcellsdrivna maskin radrensningen med hjälp av GPS-navigering och bildanalys. I vissa grödor kan de rensa inne i raden och Kim hoppas på att den utvecklingen kommer snart för alla grödor. Eftersom det är många fält hinner ibland inte robotarna med så Kim eller någon anställd får stundtals åka ut med harven eller radhacken för att hålla undan ogräset. Kim jämför effekten av denna överfart med en kemisk bekämpning eftersom hackningen sällan skadar grödan tack vare förbättrad kamera- och rensteknik samt att traktorn drivs med biodiesel.

En stigande medeltemperatur och ostadigare väder har ökat Kims sårbarhet för torka i framförallt betesvallarna, och en investering i en bevattningsanläggning känns mer och mer aktuellt. Som ett första steg har Kim påbörjat projekteringen av en bevattningsdamm som ligger i anslutning till ett av dom största betesområdena. Viss osäkerhet råder vad gäller tillrinning (återfyllnadshastighet) kontra bevattningsbehov under växtsäsongen, men Kim har fått hjälp av rådgivare som räknat på behovet och de praktiska möjligheterna på gården. Genom att utnyttja en mindre sänka där vatten från en större stamledning kan ledas från högre nivåer, minimeras grävarbetet och därmed kostnaden. En utgrävning av i genomsnitt 1,7 m på 0,9 ha och möjligheter till viss dämning (ca 0,9 m) ger en magasineringsvolym på 25 000 m³ för en utgrävning av ca 15 000 m³ schaktmassor. Eftersom delar av bevattningsdammen blir något grundare och därmed kommer att fungera dels för näringsrening, dels för biologisk mångfald, har Kim fått 80 % av anläggningskostnaden finansierad via Landsbygdsprogrammet.

Driften på gården, likväl som hushållet, är inte självförsörjande men tillsammans med all produktion i Sverige har självförsörjningsgraden ökat till 70 % och andelen livsmedel och andra produkter som Sverige är helt självförsörjande på har ökat markant.

När Kim övertog gården för tolv år sedan fanns det ingen respektive. Idag finns det en respektive och två barn. Kim arbetar inte lika många timmar per dag längre, då tekniken gjort att övervakning och skötsel av verksamheten inte är lika tidskrävande, och vissa arbetsmoment har helt försvunnit. Behovet av personal är något mindre idag men det finns anställda året runt för att minska arbetsbördan för alla som arbetar på gården. De tekniska hjälpmedlen och moderna jordbruksredskapen har framförallt gjort det lättare för Kim att ha kontroll över vad som behöver göras i verksamheten och hur det genomförs. Kim köper in en hel del rådgivning, och sitter också med i tre olika grupper för utveckling och erfarenhetsutbyte tillsammans med andra lantbrukare, rådgivare och forskare. De tre grupperna Kim är medverkande i driver innovation inom områdena växtodling, energieffektivisering och mjölkproduktion respektive markbördighet beroende på produktionsinriktning. Grupperna ger en kollegialitet och gemenskap som ofta är viktig för det psykiska välmåendet när det gäller att samtala kring problem och lösningar eller bara att ha någon att snacka strunt med ibland. Det finns flertalet aspekter och insikter från syntesen ovan (avsnitt 1–4) som gäller för båda typgårdarna. Ett är att lantbrukaren har börjat använda sig av SMART-verktyget för att analysera sin produktion i ett hållbart perspektiv. Produktionen och driften för den enskilda typgården beskrivs var för sig nedan.

5.1 Typgård 1: Mjölkgård

Kim tog över gården år 2020 och har nu drivit mjölkproduktion på gården i tolv år. Under årens lopp har Kim utvecklat sin produktion och driver efter bästa förmåga gården mot en långsiktig hållbarhet med anseende på klimat, biologisk mångfald, ekonomi och social hållbarhet.

Växtodling

På gården brukas 300 hektar åkermark, varav 200 hektar i vallodling och 100 hektar i proteinodling. Höstvetet säljs som kvarnvet och övrig spannmål skördas vid degmognad och ensilerar den tillsammans med gårdens tredje vallskörd. Fördelen med detta är att Kim blir mindre väderberoende och kan använda samma maskiner till spannmålen som till resten av vallkedjan. I samband med skörd har Kim möjlighet att sortera ut olika fraktioner av vallgrödan eller helsäden för optimerat kvalitet då ny teknik har gjort det möjligt att sortera grönmassan genom ny slåtterteknik och löpande NIR-analys. En annan fördel med samensilering är att både smakligheten och ensilagekvaliteten ökar när det samensileras med spannmålen. Kim odlar grenad foderlupin, åkerböna och raps för att tillgodose kornas behov av proteinfoder. När lupinfröna och åkerbönorna är tröskade, torkas och rostas dessa med hjälp av värmen från den biogasanläggning som Kim har på gården för förädling till biogas från kornas gödsel.

Höstrapsen sås ihop med en frostkänslig baljväxt för att nyttja kvävet som frigörs vid förmultningen av baljväxten tidigt på våren. Kim väljer en känslig sort eftersom det ibland kan bli milda vintrar. I annat fall rensar den bort tidigt på våren. Rapsen kallpressas vid en samägd anläggning i närheten och kakan är ett utmärkt proteinfoder till korna. En del av oljan tappas upp i flaskor och säljs vidare till humankonsumtion medan majoriteten raffinerar till RME och används som bränsle för gårdens dieselfordon samt säljs till ett bolag som tillhandahåller tankstationer.

Den stora andelen vall gör att ogräsen hålls i schack och baljväxtinslaget ger en välbehövlig kvävetillförsel. Mullhalten i jorden ökar, och därmed likaså kolinlagringen, samtidigt som

jordstrukturen luckras upp av den underjordiska biomassan och faunan tack vare de långliggande vallarna (insådd plus tre vallår). Kim låter en fårägare ha sina får på bete på vallarna vid, för vällen, lämpliga tidpunkter för att hålla skräppa och andra ogräs i schack. Fåren är skonsamma mot vällen tack vare att deras spillning fördelas bättre och det blir mindre trampskador av får jämfört med kor. Det passar dessutom bra i tid för fårägaren som tidvis har ont om bete.

Växtföljd 1	Växtföljd 2
Höstkorn +sådd efter skörd	Havre + insådd
Vall 1	Lusern 1
Vall 2	Lusern 2
Vall 3	Höstvete + mellangröda
Höstraps + frostkänslig baljväxt	Ärt + mellangröda
Höstvete + mellangröda *	qiunoa + mellangröda
Åkerböna	Lupin

* mellangröda som ej uppförökar patogener

Rotröten hos vallbaljväxterna kan stundtals vara ett problem men på senare år har förädlingen kommit fram med tåligare sorter och arter. Fördelen med foderlupin som Kim ser i sin växtodling är att den är en kvävefixerande baljväxt som inte riskerar att uppföröka patogener som är vanliga växtföljdsjukdomar, såsom ärtrotröta, bomullsmögel och *Phytophthora*-rotröta. Rapsen är ett bra inslag i växtföljden och tack vare den långa växtföljden minskar risken för klumprotsjuka och bomullsmögel.

Jordbearbetningstekniken har förändrats på dessa tolv åren. Maskiner och redskap har vidareutvecklats och Kim använder sig av den teknik som lämpar sig bäst inför varje ny gröda. Vallbrotten kräver djupare jordbearbetning medan det i de andra grödorna går bra med lättare bearbetningar. Alla tekniska hjälpmedel har utvecklats till en användarvänlig teknik.

Grödorna i växtföljden är olika känsliga för torka, men alla är såbara under etableringsfasen. För att säkerställa god vattenförsörjning finns ett bevattningssystem med bevattningsdamm och nedgrävda ledningar.

Energiförsörjning

Tekniken går snabbt framåt, och i dagsläget har Kim investerat i en biogasanläggning för utvinning av metangas, som renas på gården. Förutom kornas gödsel tar Kim emot avrens från en närliggande spannmålsanläggning och hästgödsel från privata stall som finns runt omkring i nejden. Kim kan själv välja om gasen ska lagras i form av el i batteripaket på gården eller användas som drivmedel till traktorerna på gården. Kim överväger att investera i en anläggning som kan separera gödseln till en fast och en flytande fraktion men är tveksam eftersom det är en god balans mellan antalet djur, spridningsareal och växtodling på gården samt att ett matarslangsystem inköptes för några år sedan. Fördelarna med gödselseparering är att den fasta fraktionen kan återgå i systemet i form av strö till djuren och att det finns teknik som kan separera den flytande fasen till pelleterad torr näring (N, P, K, S) och vatten, vilket kommer att leda till enklare och mer precisionsmässig gödsling.

Elenergin från biogasanläggningen räcker inte riktig till för att försörja kostallet, bostadshusen och övriga fordon på gården som är elfordon. Därför har en solcellsanläggning byggts på ladugårdstaket och batterierna har en mycket stor lagringskapacitet så att gården är självförsörjande på el året runt.

Animalieproduktion.

Kim bedriver mjölkproduktion med 250 mjölkande kor plus rekrytering. Kim har valt konceptet säsongskalvning med kalvning på våren för att kunna nyttja betet så effektivt som möjligt. Ett mobilt mjölkstall som enkelt kan flyttas för att passa ihop med betesdriften var en viktig investering. Mjölkstallet transporteras ut på en större vagn och mjölken körs tillbaka till gårdens ordinarie mjölkstank dagligen. Mjölkanläggningen drivs och mjölken kyls med hjälp av energi från solceller på mjölkstallets tak. Räcker inte energin finns det batteripaket på gården som kan kopplas till vid behov. När korna mjölkar och äter som mest sparar Kim mycket pengar på att inte behöva utfodra korna med gräs som kostat mycket att skörda, lagra och tillreda. Betesfällorna är virtuella och helt utan stängsel. NoFence-systemet fungerar utmärkt och Kim slipper lägga tid på att stängsla och laga hagar. Kvigorna betar en stor del av den naturbetesmark som finns till gården. Småkalvarna har dock inhägnade hagar på grund av rovdjuren som ibland stryker kring om natten. Naturbetesmarken är värdefull ur flera aspekter, inte minst som tillhåll för pollinatörer som krävs för att få bra avkastning på raps, åkerböna och lupin.

Vintertid mjölkas korna i ett mjölkstall med automatisk avläsning av kroppshull via en kamera och temperaturmätning för att avgöra djurhälsan tillsammans med de analyser som görs av mjölken, däribland progesteron som visar kons brunstcykel. All data samlas i ett gårdsprogram. Här finns tekniska lösningar för beslutsstödsystem som i realtid skickar notiser till ladugårdsförmannen. Stödsystemen programmeras efter givna önskemål och kan anpassas efter säsong. Mejeriföreningarna har övergått mer och mer till kontraktproduktion med avtal som skrivs mellan mejeri och producent för vissa volymer under viss tid på året. Eventuellt mjölköverskott säljs mot ett lägre avräkningspris samtidigt som det kan utfärdas vitesålägganden kopplade till underproduktion. Diskussioner om mjölkens hållbarhet har pågått under många år och mejeriernas egenkontrollprogram har utvecklats mycket de sista tio åren. Varken mjölk eller kött kan idag säljas utan att beräknade klimatavtryck finns tryckta på förpackningen. Växtodlingssäsongen tros bli längre på grund av klimatförändringar och en liten tendens kan redan ses. Detta ser Kim som en möjlighet då driften redan har anpassats så att den till stor del vila på bete. Kostnaden för att flytta och frakta mjölkanläggning och mjölk kan motiveras med en lägre produktionskostnad för grovfodret.

Kim producerar i stort sett hela foderåtgången själv på gården. Proteinförsörjningen till djuren upprätthålls med grovfoder av hög kvalitet, återtag av rapsfrökakor och med värmebehandling av de egenodlade lupinfröna som ökar andelen aminosyror som tas upp i tarmen (AAT-innehållet). Denna kombination minimerar behovet av foderinköp, vilket är i linje med visionen om att mjölkproduktionen har en fullständig spårbarhet och hög andel grovfoder i foderstaten. Foderlupin avkastar ca 2,9 ton per hektar med en vattenhalt motsvarande ca 14 % per år motsvarar detta i foderstaten till korna ca 3 kilo proteinfoder, vilket gör att Kim ett normalår med god skörd inte behöver köpa in något annat proteinfodermedel. För att säkra upp tillgången på egenodlat protein, och eftersom skörden av lupin är något osäker, odlar Kim också åkerbönor som på samma sätt som lupinen värmebehandlas för att öka mängden vomstabil protein (AAT).

5.2 Typgård 2: Växtodlingsgård

Valet av att ställa om till enbart växtproduktion grundar sig i den tolkning av beräkningar av framtida kött- och mjölkkonsumtion som kan förekomma för att klara en minskad global uppvärmning. Politiker och världsorganisationer har beslutat att det behövs drastiska åtgärder för att minska klimatförändringarna och att säkerställa en god livsmedelsförsörjning. Kim upplåter dock sin naturbetesmark och skogen till beten för får och mjölkkrasungdjur ägda av lantbrukare i grannskapet. Fåren betar även vallarna vid vissa tidpunkter.

Växtföljd

Gårdens areal omfattar 300 ha åker som till stor del är mellanlera med inslag av sten. De åkrar som är belägna bortom naturbetesmarken har mindre andel sten och mullhalten är högre, varvid den klassas som mer bördig än åkrarna runt gårdscentret. Det finns två växtföljder på gården som roterar för att få in variationen av grödorna och en förteckning finns nedan. Båda växtföljderna innehåller höstvetete och antingen havre eller korn till avsalu. Halmpressningen lejs in från en granne och halmen från höstvetetet säljs medan korn- och havrehalmen går till biokolstillverkningen (se nedan). På andra delar i växtföljden odlas tvåårig blandvall som sås in i havre på våren eller direktsådd i höstkornet då halmen tagits bort. Fördelen med att så direkt efter höstkorn är att det går att skörda redan nästkommande sommar. Skötseln av vallen utförs både av Kim och av en granne som har specialiserat sig på hästfoder. Grannen sköter all hela skördeförarandet medan Kim ser till att vallen gödslas och bevattnas vid behov. För att minska spridningen av jordbundna växtskadegörare eller invasiva ogräs låter grannen leja in ett specialsökande hundekipage för att söka igenom maskinerna mellan gårdarna så att inga oönskade organismer följer med till nästa åker.

Växtföljd 1

Höstkorn + sådd av vallfrö på hösten

Vall 1

Vall 2

Höstvetete + mellangröda*

Quinoa

Höstraps + frostkänslig baljväxt

Lins + mellangröda

Växtföljd 2

Havre + insådd

Lusern 1

Lusern 2

Höstvetete + mellangröda

Ärt + mellangröda

Lin + mellangröda

Lupin

* mellangröda som ej uppförökar patogener, sås efter skörd

Några fält odlas med renbestånd av lupin respektive lusern som skickas till en samägd proteinextraktionsanläggning till livsmedelsindustrin där grannen förmedlar pressresterna som foder eller till en biogasanläggning i närheten. Första året av lusernodlingen går till mogen fröskörd för avsalu. Lusernhalmen och den vallskörd som inte kan säljas på grund av överskott eller önskad kvalitet skickas också till proteinextraktionsanläggningen. På mindre bördiga jordar odlas industrihampa till avsalu för fibertillverkning samt att fröna används till olja. Hampan varierar med två års odling av lusern eller lupin för att hålla uppe kvävenivåerna och mullhalten.

Andra inslag i växtföljden är trindsäd som åkerböna och kulturarvssorter av ärt men även nya grödor som quinoa och hampa. Det var lite trixigt att lära sig att odla quinoan men med hjälp av erfarenhets- och utvecklingsgruppen inom växtodling kunde de tillsammans hitta ett odlingsförfarande som verkar gå bra. Forskarna i gruppen hjälpte till med att söka kunskap från internationell vetenskaplig litteratur och odlarna hittade mycket tillämpbar kunskap på internet från kollegor i andra länder. Odlarna hjälptes också åt att genomföra odlarexperiment för olika odlingssätt och fick tillslut en god uppfattning om under vilka förutsättningar som quinoan trivdes i vid detta odlingsklimat.

Oljeväxter odlas också på gården i form av lin eller höstraps. Höstrapsen sås tillsammans med en frostkänslig baljväxt för att tillgodose kvävebehovet på vårvintern eftersom det fortfarande är tillräckligt med frost i området där. Kim väljer dock en känslig sort eftersom det ibland kan bli milda vintrar. I annat fall rensar den bort tidigt på våren. Före samtliga vårsådda grödor sås en mellangröda så att marken är bevuxen året om. Val av art/artsammansättning är viktigt på grund av växtskadegörarna som finns i jorden för efterföljande gröda.

Andra typer av avsalugrödor är nypon, hasselnötter och valnötter. Längs vissa åkerkanter odlas hassel- och nyponbuskar i rad som lähäckar till skydd för vinderosion och som tillhåll för fåglar, insekter och vilda djur. Andra åkerkanter är sådda med fleråriga blomsterremsor och jämt utspritt över gården står gamla halmbalar till pollinatörerna, där framför allt humlorna gärna bygger bon. Nypon och hasselnötter odlas till mogen skörd och skördemaskinen är utvecklad från olivskördarna men Kim var inte delaktig i denna process. Det var däremot en av forskarna i en av utvecklingsgrupperna, vilket väckte Kims intresse för odlingen. För att få volym i nypon- och nötodlingen sattes rader av buskar på ett fält vardera av markerna bortom naturbetesmarkerna. Raderna är satta på sådant avstånd att en vallskördemaskin kan komma in mellan och skörda den lusern som såtts mellan raderna av buskar. Efter några år byts lusern ut mot lupin för att få en omväxling både vad gäller värdväxt för skadegörare och förnyad växtkraft som ger god biomassaproduktion.

All handel med grödorna sker med odlingsavtal som i vissa fall är gynnsamma men som kan vara utsatta för konkurrens när tillgången på vissa grödor ökat så mycket i och med det nya europeiska stödsystem som inrättades år 2023 för att gynna den växtbaserade proteinproduktionen.

Näringstillgång och växtskyddsstrategier

Andelen kvävefixerande grödor på gården är stor men det räcker inte till att försörja hela växtföljdens grödor med kväve. Därför köper Kim in torkad och pelleterad rötrest från biogasanläggningen dit en del av resterna från proteinextraktionsanläggningen skickas enligt avtal. Det blir ett fullgott gödselmedel som sprids utifrån sensormätning av grödan eller de markkarteringar som regelbundet görs på fälten med avseende på fosfor- och kaliuminnehållet i jorden. Kaliumbehovet kan ibland bli i underkant för vissa grödor men det märks inte av särskilt mycket på skördarna tack vare att jordegenskaperna ofta är goda tack vare växtföljd och val av jordbearbetning. Maskinparken på gården har förändrats på tolv år. Förutom att fyrhjulingar och små lastmaskiner drivs på el drivs traktorerna på biodiesel från en anläggning i närheten. Redskapen har förfinats utvecklats under åren men vissa redskap används fortfarande då det inte varit ekonomiskt motiverat att köpa en ny som inte har förbättrats nämnvärt på tolv år.

Insatserna inom växtskyddet mot svampangrepp och insekter har förändrats efter att växtstärkande medel har forskats fram och godkänts för användning i vissa grödor, oftast som

komplement till kemisk bekämpning. Lagstiftningen är på gång att förändras samtidigt som Kemikalieinspektionen arbetar med registrering så att växtstärkande medel ska bli tillåtet i alla grödor. Kim använder sig av växtstärkande medel som kan användas utan kemiska medel och har distraherande blommor i blomsterremsor som håller borta några av insekterna från grödorna. Problemet med ogräs har minskat betydligt sedan andelen vall, inklusive lucernvall och lupin, har ökat och att de inhyrda fåren betar av dem regelbundet.

Naturbetesmark och skog

De 100 hektaren naturbetesmark och blandskogen betas av grannarnas mjölkkrasungdjur eller får från tidig vår när lammen är tillräckligt stora. I början på säsongen behövs stängsel för fåren på grund av att lodjur och rävar gärna tar lammen men framåt hösten när de är stora kan de läras upp, likt tackorna, baggen och ungdjuren, att ha GPS-halsband och NoFencetekniken som innebär att ljudsignaler ljuder när djuret gått utanför digitalt avgränsad yta och djuret lär sig oftast att vända åter. På senhösten får fåren även beta av en del av granplanteringen som gränsar till ett rikt naturbete för skydd mot väder och vind. Kim låter även fåren beta på vallarna och lucernfröodlingarna vid tidpunkter som är lämpliga för de grödorna. Fördelen med att ha samarbete med en fårägare är dubbelt, eftersom Kims marker betas och fårägaren kan ha fler får. Kim, någon anställd eller livspartnern, ser till djuren och vattenförsörjningen medan får- och ungdjursägaren sköter resten. Vintertid klarar sig djuren bra på betesmarkerna där det finns vindskydd men fårägaren tar hem tackorna inför lamningen.

Biokolstillverkning

Kim har byggt en biokolanläggning som har varit igång ett par år och fungerar bra med de råvaror som finns på gården. Efter att ha testat sig fram kan nu både grot, flis, halm och annat växtmaterial som har ungefär samma dimensioner användas. För att biokolsanläggningen inte ska belasta klimatet (det krävs trots allt mycket energi för att driva den) tas spillvärmes till vara genom att anläggningen är ansluten till det lokala fjärrvärmenätverket. På fjärrvärmenätet finns både privata hus i samhället, stallar på närliggande gårdar och växthus anslutna. Odlingssäsongen för grönsaksodlingen i växthusen har förlängts betydligt, eftersom det går att starta redan i mars och driva odlingen in i december. Både husen i samhället och stallarna värmdes tidigare upp med fossila bränslen, men när Kim byggde sin biokolpanna kunde de gå över till förnybar och hållbar uppvärmning. Det blev en stor uppmärksamhet i media när Kim valde att koppla på sin värmekälla på fjärrvärmenätet och det märks tydligt att lokalsamhället stöttar och uppmärksammar de bra effekterna av att gårdens drivs på ett hållbart sätt. Det biokol som produceras använder Kim till att förbättra sin odlingsmark och har under åren märkt en ökad produktion på fälten. De år som vädret är gynnsamt med lagom mycket regn är ökningen i produktion liten, men de år då det varit antingen för mycket eller för lite regn har åkrar med biokol producerat mellan 3 och 10 procent mer än de åkrar som inte hunnit förbättras med biokol. Biokol är, förutom en jordförbättrare, även en kolsänka och det har gett Kim möjligheten att sälja kolsänksrätter. Kolsänksrätterna har certifierats för att kunna visa att de inte dubbelräknas och för att de ska kunna spåras till just denna gård. Det är inte utan viss stolthet som Kim nu får betalt för att vara en klimathjälte!

Övriga förutsättningar och faciliteter på gården

Det finns fortfarande mycket takyta på gården och solcellspaneler täcker nu en yta som gott och väl motsvarar behovet på hela gården, inklusive de två bostadshusen. Batterierna som laddas av solenergin har stor lagringskapacitet som gör att det finns tillräckligt med el under vinterhalvåret också. Alla arbetsfordon, förutom traktorerna, och bilarna, även de anställdas, på gården laddas med solenergin. Elen räcker också till den svampodling och salladsodling som ett företag startat efter att ha byggt om den gamla stenladugården till ett mörkt utrymme respektive ett odlingsrum med belysta hyllor. Företaget säljer till livsmedelsgrossisten och restauranggrossisten i närområdet. Höskullen har utrymmts och inretts till en stor sal med köksdel och toalett som ofta använts av grupperna för utveckling och erfarenhetsutbyte eller när Kim vill ställa till med kulturevenemang eller något annat festligt.

6 Slutsats

För att vi i Sverige och globalt ska kunna uppnå målet *Hållbar produktion inom jordbruks- & miljöteknik* kommer vi att behöva mycket forskning och teknikutveckling inom samtliga utmaningar som Stiftelsen JTI har utformat inom de fyra målområdena.

Vi behöver forskning på helheten av hela produktionssystem ur ett holistiskt perspektiv där vi undersöker hur det fungerar i praktiken inom odling, gödselhantering, betesdrift mm. Ett exempel är att vi behöver titta på hela hanteringskedjan för till exempel gödselhantering, från svans till rot, så att lantbrukaren vid en nyinvestering vet om var kedjan är som svagast och kan göra ett aktivt val för att optimera sina resurser. På så sätt kan resursen gödsel och växtnäring användas på ett hållbart sätt. Det finns moment som ibland inte görs optimalt utan att vi behöver undersöka hur alla moment ska genomföras för att uppnå ett hållbart lantbruk. Forskningen behöver innefatta storskaligheten och naturliga förändringar såsom årsvariationer i vädret och jordegenskaper, det vill säga undersöka skillnader och gemensamma parametrar i tid och rum.

Grundforskning finns ofta på detaljnivå och modeller finns i flera områden men frågan är vad som behöver göras för att se skillnad på hur jordens olika egenskaper påverkar odlingssystemet. Därför bör projekt prioriteras som länkar grundforskning till praktiken. All forskning kan inte leda till resultat men av det som kommer fram behöver vi vara tydliga med att förmedla. Den tillämpade forskningen behöver lyftas fram i rådgivningen och tas ett steg längre ut i praktiken, vilket med fördel görs genom att rådgivare och lantbrukare medverkar i projekten. Det räcker inte med att skriva faktablad och vetenskapliga artiklar utan kunskapen behöver komma ut till lantbrukare, vilket oftast görs i samarbete med rådgivare. Implementeringen av nya metoder, såväl teknik som åtgärdsmetoder, beskrivs ibland i policydokument, men sedan stannar det där. Det är en punkt som går att förbättra. Det tas ofta fram arbetspaket om hur kunskapen ska användas i praktiken men få ser till att det når praktikerna. De sammanställningar och kortversioner av rapporterade projekt som Stiftelsen Lantbruksforskning skickar ut i nyhetsbrev är tacksamma att använda i rådgivningen.

Jordbearbetningen är ett annat exempel där vi ser att det finns ett stort forskningsbehov inom redskapsutveckling och bearbetningsmetod, framför allt för att visa på vilka processer i jorden som påverkas i och med valet av jordbearbetningsmetod. Forskningen behöver undersöka fördelar och nackdelar med reducerad och minimerad bearbetning inom området jordhälsa.

I frågan om biokol finns stor potential att göra skillnad för klimatet, men då behöver marknaden för både biokol och kolsänkor utvecklas. Det skulle kunna ske genom att skapa en standard för kolsänksrätter och genom att förädla produkten biokol. Det krävs fortfarande mycket både tillämpad forskning och grundforskning och det bör fokuseras på långtidseffekter av biokol på jordar och då särskilt under svenska förhållanden. Det finns en oro i lantbrukarled att oseriösa biokolstillverkare använder restprodukter som på lång sikt kan läcka exempelvis tungmetaller som skadar jorden.

Energiförsörjning på gårdsnivå har stor potential i och med solenergi och biogasproduktion. Utvecklingen av fordon som drivs på fossilfria medel leder till en klimatanpassning på ytterligare en nivå på gården.

Inom lantbruket behöver vi undersöka aspekter i olika skalor: på landskapsnivå och helfältsskala gällande aspekter som växtskadegörare, biologisk mångfald och jordhälsa. Genom triangulering ur olika perspektiv och i olika nivåer, såsom handpollinering och burförsök för att undersöka insekternas betydelse på skördarna på gårdsnivå, kan odlingssystem och ekosystemtjänster undersökas på systemnivå och få en praktisk tillämpning. Detaljstudier kan få fram interaktioner mellan organismer och hur de påverkas av odlingsförutsättningarna och kan sedan skalas upp i stora försök. Dock behövs flera års studier för att få fram årsvariationerna och se vilka effekter som berörs av exempelvis vädervariationer. Kortfattat skrivet: de stora försöken ersätter inte de småskaliga försöken och vice versa men tillsammans ger det oss en tydligare bild av processerna i odlingslandskapet.

I en värld med begränsade resurser behöver vi se helheten och att framtida energiförsörjning till matproduktion är förberedd. Ofta uppkommer frågor att belysa genom lantbrukarnas funderingar men ibland väcks frågor här och nu. Torkan under sommaren 2018 var ett exempel då forskare djupdök i gammal litteratur, men då är det för sent att agera utan vi behöver forska nu om framtida kommande scenarier. Det ger oss tid för att förbereda oss och att agera förebyggande vilket ger en resiliens och hållbarhet. Det behövs forskning och utveckling om metoder och växtmaterial för att vi ska förbättra livsmedelsförsörjningen. Exempelvis är det möjligt att locka fram torka och vattenmättnad för att se vilka arter och metoder/system som bidrar till en säkrad livsmedelsproduktion.

I samma förberedande anda behövs forskning och utveckling inom det probiotiska området för att motverka sjukdomar och därmed antibiotikaresistens. Likaså behövs en resistensförädling inom samtliga grödor för att hantera växtskadegörare.

Vallodlingen har stora miljöfördelar och är gynnsam för många ekosystemtjänster. Det finns en stor potential att öka lönsamheten i mjölk-, nötkötts- och lammproduktionen genom att öka mängden vallfoder och bete i djurens foder med bibehållen produktion, samtidigt som det är positivt för djurvälståndet. Ett helhetsgrepp om vallproduktionen från frö till animalieprodukt med 10 års tidsperspektiv är ett angeläget forskningsområde i Sverige som lämpar sig väl för en tvärvetenskaplig satsning.

Vallen, men även lusern och lupin i renbestånd, kommer fortfarande vara en viktig del i växtodlingen även på gårdar utan djur. Detta tack vare den kvävefixerande förmågan, ogräsdämpande effekten, tillverkningen av livsmedel med växtbaserat protein samt att antalet hästar fortsatt kommer att vara högt. Vallen kan även ha stor betydelse för en förlängd betesdrift med fällsystem, vilket leder till en jämnare och inte lika intensiv avbetning.

Utvecklingen av digital teknik och olika former av sensorer och bildanalys har bara sett sin början i animalieproduktionen. Här finns en stor utvecklingspotential där det kommer att finnas synergieffekter i Sverige mellan traditionen för hög djurvälstånd och vår höga kompetens inom IT-området. Spännande möjligheter finns inom GPS-teknik och betesdrift, men även styrning av djurproduktionen med olika sensorer i stallmiljö.

7 Tack!

Denna syntes finansierades av Stiftelsen JTI som utlystes i samarbete med Stiftelsen Lantbruksforskning. Författarna vill tacka alla de personer som bidragit till inspel och diskussionsupplägg samt givmilt svarat på frågor. Ett särskilt stort tack riktas till Anders Adholm, HIR Skåne, som granskat rapporten och kommit med bra synpunkter. Vi är mycket tacksamma för att Maria Berglund, Hushållningssällskapet Halland, Karin Ahlberg Eliasson, Hushållningssällskapet Jämtland, och Cattis Eke-Göransson, Hushållningssällskapet HS Konsult AB, för att ha skrivit valda delar av rapporten samt läst igenom och gett synpunkter på valda delar av syntesen.

8 Referenser

- Abrahamsson, L. (2012). *Förluster i olika ensileringssystem*. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Achinas, S., & Willem Euverink, G. J. (2020). Rambling facets of manure-based biogas production in Europe: A briefing. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 119, p. 109566). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109566>
- Acreman, M., & Holden, J. (2013). How wetlands affect floods. In *Wetlands* (Vol. 33, Issue 5, pp. 773–786). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13157-013-0473-2>
- Ahlberg-Eliasson, K., Nadeau, E., Levén, L., & Schnürer, A. (2017). Production efficiency of Swedish farm-scale biogas plants. *Biomass and Bioenergy*, 97, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.12.002>
- Ahlberg Eliasson, K. (2018). *Swedish farm-scale biogas production - substrates and operating parameters*. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Alegbeleye, O. O., Singleton, I., & Sant'Ana, A. S. (2018). Sources and contamination routes of microbial pathogens to fresh produce during field cultivation: A review. In *Food Microbiology* (Vol. 73, pp. 177–208). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.01.003>
- Älmefur, M. (2020). *Potentialen hos "Mattenklee" (mattbildande klöver) – en ny typ av rödklöver i Sverige* [Sveriges lantbruksuniversitet]. <https://stud.epsilon.slu.se>
- Alskaf, K., Sparkes, D. L., Mooney, S. J., Sjögersten, S., & Wilson, P. (2020). The uptake of different tillage practices in England. *Soil Use and Management*, 36(1), 27–44. <https://doi.org/10.1111/sum.12542>
- Andersson, S. (2015). *Möjligheter att förutsäga kalvningstidpunkt* [Sveriges lantbruksuniversitet]. <http://epsilon.slu.se>
- Apte, J. S., Marshall, J. D., Cohen, A. J., & Brauer, M. (2015). Addressing Global Mortality from Ambient PM_{2.5}. *Environmental Science and Technology*, 49(13), 8057–8066. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01236>
- Armengot, L., Berner, A., Blanco-Moreno, J. M., Mäder, P., & Sans, F. X. (2014). Long-term feasibility of reduced tillage in organic farming. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1), 339–346. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0249-y>
- Aronsson, H., Bergkvist, G., Stenberg, M., & Wallenhammar, A.-C. (2012). *Gröda mellan grödorna-samlad kunskap om fånggrödor. Rapport 2012:21*.
- Arvidsson, J., & Håkansson, I. (1996). Do effects of soil compaction persist after ploughing? Results from 21 long-term field experiments in Sweden. *Soil and Tillage Research*, 39(3–4), 175–197. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)01060-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01060-4)
- Asaduzzaman, M., Pratley, J. E., An, M., Luckett, D. J., & Lemerle, D. (2015). Metabolomics differentiation of canola genotypes: toward an understanding of canola allelochemicals. *Frontiers in Plant Science*, 5(JAN), 765. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00765>
- Bachheti, A., Sharma, A., Bachheti, R. K., Husen, A., & Pandey, D. P. (2020). Plant Allelochemicals and Their Various Applications. In *Co-Evolution of Secondary Metabolites* (pp. 441–465). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96397-6_14
- Bar-On, Y. M., Phillips, R., & Milo, R. (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(25), 6506–6511. <https://doi.org/10.1073/pnas.1711842115>
- Barzee, T. J., Edalati, A., El-Mashad, H., Wang, D., Scow, K., & Zhang, R. (2019). Digestate Biofertilizers Support Similar or Higher Tomato Yields and Quality Than Mineral Fertilizer

- in a Subsurface Drip Fertigation System. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 58. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00058>
- Battersby, E. (2014). *Helsäd som alternativt grovfoder till mjölkkor och växande nötkreatur* [Sveriges lantbruksuniversitet]. <http://epsilon.slu.se>
- Belsky, A. J. (1986). Does herbivory benefit plants? a review of the evidence. *American Naturalist*, 127(6), 870–892. <https://doi.org/10.1086/284531>
- Bender, S. F., Wagg, C., & van der Heijden, M. G. A. (2016). An Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 31, Issue 6, pp. 440–452). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016>
- Bending, G. D., Turner, M. K., & Jones, J. E. (2002). Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(8), 1073–1082. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00040-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00040-8)
- Bergland, W. H., Dinamarca, C., Toradzadegan, M., Nordgård, A. S. R., Bakke, I., & Bakke, R. (2015). High rate manure supernatant digestion. *Water Research*, 76, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.051>
- Berglund, G., Huhtasaari, C., & Ingevall, A. (1984). *DRÄNERING AV JORDAR MED ROSTPROBLEM -DRÄNERING AV TRYCKVATTEN. Rapport 138.*
- Bernard, G. C., Egnin, M., & Bonsi, C. (2017). The Impact of Plant-Parasitic Nematodes on Agriculture and Methods of Control. In *Nematology - Concepts, Diagnosis and Control*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68958>
- Bienert, K., Schumacher, B., Rojas Arboleda, M., Billig, E., Shakya, S., Rogstrand, G., Zieliński, M., & Dębowski, M. (2019). Multi-Indicator Assessment of Innovative Small-Scale Biomethane Technologies in Europe. *Energies*, 12(7), 1321. <https://doi.org/10.3390/en12071321>
- Bierwirth, P. N. (2014). *Carbon dioxide toxicity and climate change: a major unapprehended risk for human health*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16787.48168>
- Bommarco, R., Kleijn, D., & Potts, S. G. (2013). Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 28, Issue 4, pp. 230–238). Elsevier Current Trends. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012>
- Borgström, P., Jasarevic, M., Wallenhammar, A.-C., Anderson, P., Friberg, H., Lars-son, M., & Lundin, O. (2019). *Växtskydd i raps, åkerbönor och ärter: kunskapsbehov och forskningsinriktningar.*
- Börjesson, T., Nyberg, A., Stenberg, M., & Wetterlind, J. (2002). *Handburen Hydro sensor i vall - prediktering av torrsubstansavkastning och kvalitetsegenskaper.*
- Bos, A. P., & Grin, J. (2012). *Reflexive interactive design as an instrument for dual track governance* (pp. 132–153). INRA.
- Brandsæter, L. O., Mangerud, K., Andersson, L., Børresen, T., Brodal, G., & Melander, B. (2020). Influence of mechanical weeding and fertilisation on perennial weeds, fungal diseases, soil structure and crop yield in organic spring cereals. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 70(4), 318–332. <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1728371>
- Brandsæter, L. O., Mangerud, K., Helgheim, M., & Berge, T. W. (2017). Control of perennial weeds in spring cereals through stubble cultivation and mouldboard ploughing during autumn or spring. *Crop Protection*, 98, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.03.006>
- Cadoux, S., Sauzet, G., Valentin Morison, M., Pontet, C., Champolivier, L., Robert, C., Lieven, J., Flénet, F., Mangenot, O., Fauvin, P., & Landé, N. (2015). Intercropping frost-sensitive legume crops with winter oilseed rape reduces weed competition, insect damage, and

- improves nitrogen use efficiency. *OCLEléagineux Corps Gras Lipides* 3 (22), . (2015).
- Carrasco, S., Wüstholtz, J., & Bellof, G. (2016). The effect of chopped, extruded and pelleted alfalfa silage on the egg quality of organic laying hens. *Animal Feed Science and Technology*, 219, 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.06.001>
- Christensen, T. R., Arora, V. K., Gauss, M., Höglund-Isaksson, L., & Parmentier, F. J. W. (2019). Tracing the climate signal: mitigation of anthropogenic methane emissions can outweigh a large Arctic natural emission increase. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37719-9>
- Concepción, E. D., Aneva, I., Jay, M., Lukanov, S., Marsden, K., Moreno, G., Oppermann, R., Pardo, A., Piskol, S., Rolo, V., Schraml, A., & Díaz, M. (2020). Optimizing biodiversity gain of European agriculture through regional targeting and adaptive management of conservation tools. *Biological Conservation*, 241, 108384. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108384>
- Connolly, J., Sebastià, M.-T., Kirwan, L., Finn, J. A., Llurba, R., Suter, M., Collins, R. P., Porqueddu, C., Helgadóttir, Á., Baadshaug, O. H., Bélanger, G., Black, A., Brophy, C., Čop, J., Dalmanndóttir, S., Delgado, I., Elgersma, A., Fothergill, M., Frankow-Lindberg, B. E., ... Lüscher, A. (2018). Weed suppression greatly increased by plant diversity in intensively managed grasslands: A continental-scale experiment. *Journal of Applied Ecology*, 55(2), 852–862. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12991>
- Dahlström, F., Hessle, A., & Kumm, K.-I. (2018). *Bete i skog som en foderresurs. Rapport 44*.
- Dainese, M., Martin, E. A., Aizen, M. A., Albrecht, M., Bartomeus, I., Bommarco, R., Carneiro, L. G., Chaplin-Kramer, R., Gagic, V., Garibaldi, L. A., Ghazoul, J., Grab, H., Jonsson, M., Karp, D. S., Kennedy, C. M., Kleijn, D., Kremen, C., Landis, D. A., Letourneau, D. K., ... Steffan-Dewenter, I. (2019). A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances*, 5(10), eaax0121. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0121>
- de Mello, F. (2014). *Longevity in Dairy Cattle*. <https://doi.org/10.4172/2329-888X.1000126>
- Diederichsen, E., Frauen, M., Linders, E. G. A., Hatakeyama, K., & Hirai, M. (2009). Status and perspectives of clubroot resistance breeding in crucifer crops. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28(3), 265–281. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9100-0>
- Dinuccio, E., Berg, W., & Balsari, P. (2008). Gaseous emissions from the storage of untreated slurries and the fractions obtained after mechanical separation. *Atmospheric Environment*, 42(10), 2448–2459. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.12.022>
- Egan, P. A., Dicks, L. V., Hokkanen, H. M. T., & Stenberg, J. A. (2020). Delivering Integrated Pest and Pollinator Management (IPPM). In *Trends in Plant Science* (Vol. 25, Issue 6, pp. 577–589). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.01.006>
- EIP-AGRI Focus Group. (2020). *Non-chemical weed management in arable cropping systems*. https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/eip-agri_fg_non-chemical_weed_management_final_report_2020_en.pdf
- Ekqvist, I., Rööf, E., & Tidåker, P. (2019). *Grain legumes on the Swedish market: origin and pesticide use in the production*. <http://epsilon.slu.se>
- El-Naggar, A., El-Naggar, A. H., Shaheen, S. M., Sarkar, B., Chang, S. X., Tsang, D. C. W., Rinklebe, J., & Ok, Y. S. (2019). Biochar composition-dependent impacts on soil nutrient release, carbon mineralization, and potential environmental risk: A review. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 241, pp. 458–467). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.044>
- Energigas Sverige. (2019). *Produktion och användning av biogas och rötresten år 2018. ER 2019:23*. www.energimyndigheten.se
- Engström, J., Gunnarsson, C., Baky, A., Sindhöj, E., Eksvård, J., Orvendal, J., & Sjöholm, N. (2015). *Energieffektivisering av jordbrukets logistik-pilotprojekt för att undersöka potentialer. JTI-rapport 2015, Lantbruk & Industri nr 441*.

- Enström, M., & Pettersson, T. (2015). *Val av företagsform i lantbruksföretag -Beslutsprocessen och riskhantering* [Sveriges lantbruksuniversitet]. <http://stud.epsilon.slu.se>
- EPPO. (2016). PM 7/41 (3) *Meloidogyne chitwoodi* and *Meloidogyne fallax*. *EPPO Bulletin*, 46(2), 171–189. <https://doi.org/10.1111/epp.12292>
- Eriksson, J., & Olaison, V. (2014). *Ammoniäkförluster vid flytgödselhantering: myllning och surgörning som metoder för att minska avgång vid spridning*. [Sveriges lantbruksuniversitet]. <https://stud.epsilon.slu.se/7335/>
- Eriksson, N. (2017). *Odling av baljväxter för humankonsumtion i Sverige*. <http://stud.epsilon.slu.se>
- Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F. G., Crist, T. O., Fuller, R. J., Sirami, C., Siriwardena, G. M., & Martin, J. L. (2011). Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters*, 14(2), 101–112. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x>
- Farooq, M., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2012). Micronutrient application through seed treatments: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(1), 125–142. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162012000100011>
- Ferawati, F., Hefni, M., & Witthöft, C. (2019). Flours from Swedish pulses: Effects of treatment on functional properties and nutrient content. *Food Science & Nutrition*, 7(12), 4116–4126. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1280>
- Fuentes-Rodriguez, F., Juan, M., Gallego, I., Lusi, M., Fenoy, E., Leon, D., Penalver, P., Toja, J., & Casas, J. J. (2013). Diversity in Mediterranean farm ponds: trade-offs and synergies between irrigation modernisation and biodiversity conservation. *Freshwater Biology*, 58(1), 63–78. <https://doi.org/10.1111/fwb.12038>
- Gabriel, D., Sait, S. M., Hodgson, J. A., Schmutz, U., Kunin, W. E., & Benton, T. G. (2010). Scale matters: The impact of organic farming on biodiversity at different spatial scales. *Ecology Letters*, 13(7), 858–869. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01481.x>
- Garibaldi, L. A., Sáez, A., Aizen, M. A., Fijen, T., & Bartomeus, I. (2020). Crop pollination management needs flower-visitor monitoring and target values. *Journal of Applied Ecology*, 57(4), 664–670. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13574>
- Giannakis, E., Kushta, J., Bruggeman, A., & Lelieveld, J. (2019). Costs and benefits of agricultural ammonia emission abatement options for compliance with European air quality regulations. *Environmental Sciences Europe*, 31(1), 93. <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0275-0>
- Grande, G., Ljungman, P. L. S., Eneroth, K., Bellander, T., & Rizzuto, D. (2020). Association between Cardiovascular Disease and Long-term Exposure to Air Pollution with the Risk of Dementia. *JAMA Neurology*. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2019.4914>
- Graversgaard Dalgaard, T., Hoffmann, C-C. Jacobsen B.H. Kjærgaard, C., Powell, N., Strand, J. A., Feuerbach, P., & Tonderski, K. (2020). *Policies for wetlands creation in Denmark and Sweden – historical lessons and emerging issues*. *Land Use Policy*.
- Grela, E. R., Knaga, S., Winiarska-Mieczan, A., & Zięba, G. (2020). Effects of dietary alfalfa protein concentrate supplementation on performance, egg quality, and fatty acid composition of raw, freeze-dried, and hard-boiled eggs from Polbar laying hens. *Poultry Science*, 99(4), 2256–2265. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.030>
- Gronle, A., Lux, G., Böhm, H., Schmidtke, K., Wild, M., Demmel, M., Brandhuber, R., Wilbois, K.-P., & Heß, J. (2015). *Effect of ploughing depth and mechanical soil loading on soil physical properties, weed infestation, yield performance and grain quality in sole and intercrops of pea and oat in organic farming*.
- Gugino, B. K., Ludwig, J. W., & Abawi, G. S. (2008). An on-farm bioassay for assessing *Meloidogyne* hapla infestations as a decision management tool. *Crop Protection*, 27(3–5), 785–791. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.11.004>

- Gunnarsson, A., & Norup, S. (2018). *Lokalproducerade gödselmedel från biogasrötning - steg 1 receptutveckling och teknikadaptering*.
- Gustafsson, M., Forsberg, B., Orru, H., Åström, S., Tekie, H., Sjöberg, K., & Munthe, J. (2014). *Quantification of population exposure to NO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ and estimated health impacts in Sweden 2010*. <http://www.ivl.se/publikationer>
- Haddaway, N. R., Hedlund, K., Jackson, L. E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I. K., Jørgensen, H. B., & Isberg, P. E. (2017). How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. In *Environmental Evidence* (Vol. 6, Issue 1, p. 30). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s13750-017-0108-9>
- Hajdu, F., Eriksson, C., Waldenström, C., & Westholm, E. (2020). *Sveriges förändrade lantbruk-Lantbrukarnas egna röster om förändringar sedan 1990-talet och strategier inför framtiden. Future Food Reports 11*. SLU Future Food-a research platform for a sustainable food system.
- He, Y., Yuan, Q., Mathieu, J., Stadler, L., Senehi, N., Sun, R., & Alvarez, P. J. J. (2020). Antibiotic resistance genes from livestock waste: occurrence, dissemination, and treatment. *Npj Clean Water*, 3(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41545-020-0051-0>
- Hellsten, S., André, H., Stadmark, J., & Mattsson, E. (2019). *Åtgärder och väg framåt för att minska kväve-och fosforanvändningen i samhället Utredning för Regeringskansliet*. www.ivl.se
- Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A., Fenelon, M., & Tiwari, B. (2017). Future Protein Supply and Demand: Strategies and Factors Influencing a Sustainable Equilibrium. *Foods*, 6(7), 53. <https://doi.org/10.3390/foods6070053>
- Henriksson, M., Stenberg, M., Berglund, M., & Halland, H. (2015). *Lustgas från jordbruksmark Konkreta råd för att minska lustgasavgången på gårdsnivå*.
- Heywood, V. H. (Vernon H., Watson, R. T., & United Nations Environment Programme. (1995). *Global biodiversity assessment*. Cambridge University Press.
- Hidås, U., & Malm, P. (2010). *KRAFTSAMLING VÄXTODLING Bevattningsdammar*.
- Hmiel, B., Petrenko, V. V., Dyonisius, M. N., Buizert, C., Smith, A. M., Place, P. F., Harth, C., Beaudette, R., Hua, Q., Yang, B., Vimont, I., Michel, S. E., Severinghaus, J. P., Etheridge, D., Bromley, T., Schmitt, J., Faïn, X., Weiss, R. F., & Dlugokencky, E. (2020). Preindustrial 14CH₄ indicates greater anthropogenic fossil CH₄ emissions. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-1991-8>
- Hoffmann, M. (1999). *Assessment of leaching loss estimates and gross load of nitrogen from arable land in Sweden*. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Hofmeijer, M., Krauss, M., Berner, A., Peigné, J., Mäder, P., & Armengot, L. (2019). Effects of Reduced Tillage on Weed Pressure, Nitrogen Availability and Winter Wheat Yields under Organic Management. *Agronomy*, 9(4), 180. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040180>
- Högberg, N., Lidfors, L., Hesse, A., Arvidsson Segerkvist, K., Herlin, A., & Höglund, J. (2019). Effects of nematode parasitism on activity patterns in first-season grazing cattle. *Veterinary Parasitology: X*, 1, 100011. <https://doi.org/10.1016/j.vpoa.2019.100011>
- Holgado, R., Skau, K. A. O., & Magnusson, C. (2009). Field damage in potato by lesion nematode *Pratylenchus penetrans*, its association with tuber symptoms and its survival in storage. In *Nematol. mediterranea* (Vol. 37).
- Hufnagel, J., Reckling, M., & Ewert, F. (2020). *Diverse approaches to crop diversification in agricultural research. A review*. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00617-4>
- Husted, S., Thomsen, M. U., Mattsson, M., & Schjoerring, J. K. (2005). Influence of nitrogen and sulphur form on manganese acquisition by barley (*Hordeum vulgare*). *Plant and Soil*, 268(1), 309–317. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0317-1>
- Huyghe, C. (2020). Resilience of grassland-based production systems, addressing climatic, environmental and economic issues. In Institutionen för växtproduktionsekologi (Ed.),

Vallkonferens 2020 (pp. 7–12).

- IPBES. (2016). *The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production*. <https://ipbes.net/assessment-reports/pollinators>
- Isaksson, K. (2014). *Soja eller inhemskt proteinfoder till mjölkkor?* [Sveriges lantbruksuniversitet]. <http://epsilon.slu.se>
- Jain, P. K., Bhattacharya, R., Kohli, D., Aminedi, R., & Agrawal, P. K. (2018). RNAi for resistance against biotic stresses in crop plants. In *Biotechnologies of Crop Improvement, Volume 2: Transgenic Approaches* (pp. 67–112). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90650-8_4
- Jaleta, M., Baudron, F., Krivokapic-Skoko, B., & Erenstein, O. (2019). Agricultural mechanization and reduced tillage: antagonism or synergy? *International Journal of Agricultural Sustainability*, 17(3), 219–230. <https://doi.org/10.1080/14735903.2019.1613742>
- Jarpa-Parra, M. (2018). Lentil protein: a review of functional properties and food application. An overview of lentil protein functionality. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(4), 892–903. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13685>
- Jensen, E. S., Carlsson, G., & Hauggaard-Nielsen, H. (2020). Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. In *Agronomy for Sustainable Development* (Vol. 40, Issue 1, pp. 1–9). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>
- Joel, A., Wesström, I., & Linner, H. (2003). *Reglerad dränering Topografiska och hydrologiska förutsättningar i södra Sveriges kustnära jordbruksområden*. <http://www-nrciws.slu.se/TRKlindex.html>
- Johansen, M., Hellwing, A. L. F., Lund, P., & Weisbjerg, M. R. (2017). Metabolisable protein supply to lactating dairy cows increased with increasing dry matter concentration in grass-clover silage. *Animal Feed Science and Technology*, 227, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.02.018>
- Jordbruksverket. (2011a). *Jordbruket i siffror. Åren 1866–2007*. Jordbruksverket.
- Jordbruksverket. (2011b). *Vem behöver jordförvärvstillstånd?* www.jordbruksverket.se
- Jordbruksverket. (2014). *Att sprida organiska gödselmedel. Jordbruksinformation 9 – 2014*.
- Jordbruksverket. (2018). *Avvattning av jordbruksmark i ett förändrat klimat. Rapport 2018:19*.
- Jordbruksverket. (2019a). *Jordbruksstatistisk sammanställning 2019 med data om livsmedel - tabeller*.
- Jordbruksverket. (2019b). *Rekommendationer för gödsling och kalkning. Jordbruksinformation 12 – 2019*.
- Jordbruksverket. (2019c). *Sveriges officiella statistik. Statistiska meddelanden JO 20 SM 1901*.
- Jordbruksverket. (2020). *Sveriges officiella statistik. Statistiska meddelanden JO 48 SM 2006*.
- Jørgensen, L. N., Matzen, N., Ficke, A., Nielsen, G. C., Jalli, M., Ronis, A., Andersson, B., & Djurle, A. (2020). Validation of risk models for control of leaf blotch diseases in wheat in the Nordic and Baltic countries. *European Journal of Plant Pathology*, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02025-6>
- Kätterer, T., Roobroeck, D., Andrén, O., Kimutai, G., Karlton, E., Kirchmann, H., Nyberg, G., Vanlauwe, B., & Röing de Nowina, K. (2019). Biochar addition persistently increased soil fertility and yields in maize-soybean rotations over 10 years in sub-humid regions of Kenya. *Field Crops Research*, 235, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.02.015>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117822>
- Keller, T., Sandin, M., Colombi, T., Horn, R., & Or, D. (2019). Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. *Soil and Tillage Research*, 194, 104293. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293>
- Keller, T., Trautner, A., & Arvidsson, J. (2002). Stress distribution and soil displacement under a rubber-tracked and a wheeled tractor during ploughing, both on-land and within furrows. *Soil and Tillage Research*, 68(1), 39–47. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00082-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00082-X)
- Khanh, T. D., Chung, M. I., Xuan, T. D., & Tawata, S. (2005). The exploitation of crop allelopathy in sustainable agricultural production. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191(3), 172–184. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2005.00172.x>
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. In *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 274, Issue 1608, pp. 303–313). Royal Society. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Knutsson, J. (2014). *Hur olika fånggrödor påverkar klumprotsjuka* [Sveriges lantbruksuniversitet]. <http://stud.epsilon.slu.se>
- Kragbæk Damborg, V., Krogh Jensen, S., Johansen, M., Ambye-Jensen, M., & Weisbjerg, M. R. (2019). Ensiled pulp from biorefining increased milk production in dairy cows compared with grass–clover silage. *Journal of Dairy Science*, 102(10), 8883–8897. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16096>
- Kumari, A., & Chaudhary, H. K. (2020). Nutraceutical crop buckwheat: a concealed wealth in the lap of Himalayas. *Critical Reviews in Biotechnology*, 40(4), 539–554. <https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1747387>
- Kupper, T., Häni, C., Neftel, A., Kincaid, C., Bühler, M., Amon, B., & Vanderzaag, A. (2020). Agriculture , Ecosystems and Environment Ammonia and greenhouse gas emissions from slurry storage - A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 300(April), 106963. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106963>
- Lam, Y., Sze, C. W., Tong, Y., Ng, T. B., Tang, S. C. W., Ho, J. C. M., Xiang, Q., Lin, X., & Zhang, Y. (2012). Research on the allelopathic potential of wheat. *Agricultural Sciences*, 03(08), 979–985. <https://doi.org/10.4236/as.2012.38119>
- Landquist, B., Berglund, M., Ahlgren, S., Woodhouse, A., Axel-Nilsson, M., Svensson, A., & Lind, A.-K. (2019). *Underlag för uppdatering av IP-standardens klimatmodul för klimatcertifiering. RISE Rapport 2019:121*.
- Landsbygdsnätverket. (2009). *Reglerad dränering*.
- Lantbrukarnas Riksförbund. (2015). *Kapital till jordbruket – varifrån och till vem?* <https://www.google.com/search?q=Kapital+till+jordbruket+-+varifrån+och+till+vem%3F&oq=Kapital+till+jordbruket+-+varifrån+och+till+vem%3F&aqs=chrome..69i57j33l2.1026j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Larsson, C., Boke Olén, N., & Brady, M. (2020). *Naturbetesmarkens framtid - en fråga om lönsamhet*.
- Li, E. Q., Liu, J. S., Li, X. F., Xiang, H. Y., Yu, J. P., & Wang, D. L. (2014). Animal saliva has stronger effects on plant growth than salivary components. *Grass and Forage Science*, 69(1), 153–159. <https://doi.org/10.1111/gfs.12016>
- Liljeroth, E., Lankinen, Å., Andreasson, E., & Alexandersson, E. (2020). Phosphite integrated in late blight treatment strategies in starch potato does not cause residues in the starch product. *Plant Disease*, PDIS-11-19-2296-RE. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-19-2296-RE>

- Liljeroth, E., Lankinen, Å., Wiik, L., Burra, D. D., Alexandersson, E., & Andreasson, E. (2016). Potassium phosphite combined with reduced doses of fungicides provides efficient protection against potato late blight in large-scale field trials. *Crop Protection*, 86, 42–55. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.04.003>
- Lindahl, B. D., Nilsson, R. H., Tedersoo, L., Abarenkov, K., Carlsen, T., Kjølner, R., Kõljalg, U., Pennanen, T., Rosendahl, S., Stenlid, J., & Kauserud, H. (2013). Fungal community analysis by high-throughput sequencing of amplified markers - a user's guide. *New Phytologist*, 199(1), 288–299. <https://doi.org/10.1111/nph.12243>
- Longhurst, P. J., Tompkins, D., Pollard, S. J. T., Hough, R. L., Chambers, B., Gale, P., Tyrrel, S., Villa, R., Taylor, M., Wu, S., Sakrabani, R., Litterick, A., Snary, E., Leinster, P., & Sweet, N. (2019). Risk assessments for quality-assured, source-segregated composts and anaerobic digestates for a circular bioeconomy in the UK. *Environment International*, 127, 253–266. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.044>
- Lorin, M., Jeuffroy, M. H., Butier, A., & Valantin-Morison, M. (2016). Undersowing winter oilseed rape with frost-sensitive legume living mulch: Consequences for cash crop nitrogen nutrition. *Field Crops Research*, 193, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.03.002>
- LRF. (2015). *Korta fakta om svensk grisuppfödning*. <https://www.lrf.se/mitt-lrf/bestall-material/djur/korta-fakta-om-svensk-grisuppfodning/>
- Mahl, U. H., Tank, J. L., Roley, S. S., & Davis, R. T. (2015). Two-Stage Ditch Floodplains Enhance N-Removal Capacity and Reduce Turbidity and Dissolved P in Agricultural Streams. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 51(4), 923–940. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12340>
- Maron, M., Mitchell, M. G. E., Runting, R. K., Rhodes, J. R., Mace, G. M., Keith, D. A., & Watson, J. E. M. (2017). Towards a Threat Assessment Framework for Ecosystem Services. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 32, Issue 4, pp. 240–248). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.12.011>
- Martin, A. E., Collins, S. J., Crowe, S., Girard, J., Naujokaitis-Lewis, I., Smith, A. C., Lindsay, K., Mitchell, S., & Fahrig, L. (2020). Effects of farmland heterogeneity on biodiversity are similar to—or even larger than—the effects of farming practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 288, 106698. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106698>
- Martin, E. A., Dainese, M., Clough, Y., Báldi, A., Bommarco, R., Gagic, V., Garratt, M. P. D., Holzschuh, A., Kleijn, D., Kovács-Hostyánszki, A., Marini, L., Potts, S. G., Smith, H. G., Al Hassan, D., Albrecht, M., Andersson, G. K. S., Asís, J. D., Aviron, S., Balzan, M. V., ... Steffan-Dewenter, I. (2019). The interplay of landscape composition and configuration: new pathways to manage functional biodiversity and agroecosystem services across Europe. *Ecology Letters*, 22(7), 1083–1094. <https://doi.org/10.1111/ele.13265>
- Martin, G., Durand, J. L., Duru, M., Gastal, F., Julier, B., Litrico, I., Louarn, G., Médiène, S., Moreau, D., Valentin-Morison, M., Novak, S., Parnaudeau, V., Paschalidou, F., Vertès, F., Voisin, A. S., Cellier, P., & Jeuffroy, M. H. (2020). Role of ley pastures in tomorrow's cropping systems. A review. In *Agronomy for Sustainable Development* (Vol. 40, Issue 3, pp. 1–25). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00620-9>
- Martin, M. (2015). Potential of biogas expansion in Sweden: Identifying the gap between potential studies and producer perspectives. *Biofuels*, 6(5–6), 233–240. <https://doi.org/10.1080/17597269.2015.1090769>
- Mašauskas, V., Mašauskiene, A., Repšienė, R., Skuodiene, R., Braziene, Z., & Peltonen, J. (2008). Phosphorus seed coating as starter fertilization for spring malting barley. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 58(2), 124–131. <https://doi.org/10.1080/09064710701398917>
- Matches, A. G. (1992). Plant Response to Grazing: A Review. *Journal of Production Agriculture*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/10.2134/jpa1992.0001>
- McCarrick, R. B., & Wilson, R. K. (1966). EFFECTS OF NITROGEN FERTILIZATION OF MIXED SWARDS ON HERBAGE YIELD, DRY MATTER DIGESTIBILITY AND

- VOLUNTARY FOOD INTAKE OF THE CONSERVED HERBAGES. *Grass and Forage Science*, 21(3), 195–199. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1966.tb00472.x>
- MEA. (2005). *Millennium Ecosystems Assessment - Ecosystems and human well-being*. www.islandpress.org
- Mehdizadeh, M., & Mushtaq, W. (2020). Biological Control of Weeds by Allelopathic Compounds From Different Plants: A BioHerbicide Approach. In *Natural Remedies for Pest, Disease and Weed Control* (pp. 107–117). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819304-4.00009-9>
- Meiss, H., Le Lagadec, L., Munier-Jolain, N., Waldhardt, R., & Petit, S. (2010). Weed seed predation increases with vegetation cover in perennial forage crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 138(1–2), 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.03.009>
- Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten, H., & Appel, T. (2001). Plant Nutrients. In *Principles of Plant Nutrition* (pp. 1–13). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-010-1009-2_1
- Mogren, L., Windstam, S., Boqvist, S., Vågsholm, I., Söderqvist, K., Rosberg, A. K., Lindén, J., Mulaosmanovic, E., Karlsson, M., Uhlig, E., Håkansson, A., & Alsanus, B. (2018). The hurdle approach-A holistic concept for controlling food safety risks associated with pathogenic bacterial contamination of leafy green vegetables. A review. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 9, Issue AUG). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01965>
- Nadeau, E. ;, Richardt, W. ;, & Nørgaard, P. (2016). *Fibre and Protein Quality of Silages and their Effects on Ruminant Performance*. APA.
- Nadeem, S., Steinshamn, H., Sikkeland, E. H., Gustavsson, A., & Bakken, A. K. (2019). Variation in rate of phenological development and morphology between red clover varieties: Implications for clover proportion and feed quality in mixed swards. *Grass and Forage Science*, 74(3), gfs.12427. <https://doi.org/10.1111/gfs.12427>
- Näringsdepartementet. (2017). *En livsmedelsstrategi för Sverige – fler jobb och hållbar tillväxt i hela landet*.
- Djurskyddslag (2018:1192) Svensk författningssamling 2018:1192, (2018) (testimony of Näringsdepartementet). https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/djurskyddslag-20181192_sfs-2018-1192
- Naturvårdsverket. (2010). *Konventionen om biologisk mångfald och svensk naturvård-Sammanfattning av Sveriges fjärde nationella rapport till sekretariatet för konventionen om biologisk mångfald ISBN 978-91-620-6389-4*. www.naturvardsverket.se
- Naturvårdsverket. (2020). *Fördjupad utvärdering av miljömålen 2019. En sammamnfattning*.
- Nawaz, A., Sarfraz, M., Sarwar, M., & Farooq, M. (2020). Ecological Management of Agricultural Pests Through Allelopathy. In *Co-Evolution of Secondary Metabolites* (pp. 543–574). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96397-6_17
- Neerhof, H. J., Madsen, P., Ducrocq, V. P., Vollema, A. R., Jensen, J., & Korsgaard, I. R. (2000). Relationships between mastitis and functional longevity in Danish Black and White dairy cattle estimated using survival analysis. *Journal of Dairy Science*, 83(5), 1064–1071. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74970-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74970-8)
- Neina, D. (2019). The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation - PubAg. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019, 9. <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/6768203>
- Nesse, A. S., Sogn, T., Børresen, T., & Foereid, B. (2019). Peat replacement in horticultural growth media: the adequacy of coir, paper sludge and biogas digestate as growth medium constituents for tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 69(4), 287–294. <https://doi.org/10.1080/09064710.2018.1556728>

- Nilsson, R. (2014). *Ensilering, en jämförelse mellan olika ensileringssystem* [Sveriges lantbruksuniversitet]. <http://epsilon.slu.se>
- Njåstad, K. M., Adler, S. A., Hansen-Møller, J., Thuen, E., Gustavsson, A. M., & Steinshamn, H. (2014). Gastrointestinal metabolism of phytoestrogens in lactating dairy cows fed silages with different botanical composition. *Journal of Dairy Science*, 97(12), 7735–7750. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8208>
- Norrlund, L., & Edin, E. (2020). Vad innebär kolvsjuka i gräs? In N. Nilsdotter-Linde & K. E. Bøe (Eds.), *Vallkonferens 2020 Report nr 30* (pp. 104–107). Sveriges lantbruksuniversitet Institutionen för växtproduktionsekologi.
- Öckinger, E., & Smith, H. G. (2007). Semi-natural grasslands as population sources for pollinating insects in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 44(1), 50–59. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01250.x>
- Odhner, P. B., Sernhed, K., Svensson, S.-E., & Juhlin, M. (2015). *Biogödsel i Skåne - En inventering och marknadsanalys. Rapport 2015:25*.
- Ogle, S. M., Alsaker, C., Baldock, J., Bernoux, M., Breidt, F. J., McConkey, B., Regina, K., & Vazquez-Amabile, G. G. (2019). Climate and Soil Characteristics Determine Where No-Till Management Can Store Carbon in Soils and Mitigate Greenhouse Gas Emissions. *Scientific Reports*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47861-7>
- Olsson, Å., Persson, L., & Wikström, M. (2016). *Effekt av senap och oljerättika som mellangrödor för sanering av rotröta i ärter, spenat och sockerbetor samt betcystnematoden*. www.nordicbeet.nu/
- Otte, B. A., Rice, C. P., Davis, B. W., Schomberg, H. H., Mirsky, S. B., & Tully, K. L. (2020). Phenolic acids released to soil during cereal rye cover crop decomposition. *Chemoecology*, 30(1), 25–34. <https://doi.org/10.1007/s00049-019-00295-z>
- Panwar, N. L., Pawar, A., & Salvi, B. L. (2019). Comprehensive review on production and utilization of biochar. *SN Applied Sciences*, 1(2), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0172-6>
- Parida, M. M., Sannarangaiah, S., Dash, P. K., Rao, P. V. L., & Morita, K. (2008). Loop mediated isothermal amplification (LAMP): A new generation of innovative gene amplification technique; perspectives in clinical diagnosis of infectious diseases. In *Reviews in Medical Virology* (Vol. 18, Issue 6, pp. 407–421). Rev Med Virol. <https://doi.org/10.1002/rmv.593>
- Park, J. H., Choppala, G. K., Bolan, N. S., Chung, J. W., & Chuasavathi, T. (2011). Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant and Soil*, 348(1–2), 439–451. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0948-y>
- Pauly, T., & Boström, U. (2007). *Lupiner, ett nytt proteinfoder för mjölkkor? Odling & konservering Varför odla lupiner?*
- Payne, L., & Gish, C. (1943). *Grass and alfalfa as silage, forage and meal for poultry*.
- Pe'er, G., Dicks, L. V., Visconti, P., Arlettaz, R., Baldi, A., Benton, T. G., Collins, S., Dieterich, M., Gregory, R. D., Hartig, F., Henle, K., Hobson, P. R., Kleijn, D., Neumann, R. K., Robijns, T., Schmidt, J., Schwartz, A., Sutherland, W. J., Turbé, A., ... Scott, A. V. (2014). EU agricultural reform fails on biodiversity. In *Science* (Vol. 344, Issue 6188, pp. 1090–1092). American Association for the Advancement of Science. <https://doi.org/10.1126/science.1253425>
- Peigné, J., Messmer, M., Aveline, A., Berner, A., Mäder, P., Carcea, M., Narducci, V., Samson, M. F., Thomsen, I. K., Celette, F., & David, C. (2014). Wheat yield and quality as influenced by reduced tillage in organic farming. *Organic Agriculture*, 4(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s13165-013-0055-x>
- Peltonen-Sainio, P., Kontturi, M., & Peltonen, J. (2006). Phosphorus seed coating enhancement on early growth and yield components in oat. *Agronomy Journal*, 98(1), 206–211. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0141>

- Petersen, J. (2008). Manganese Deficiency in Winter Barley affected by Slurry Application Method and Slurry Alkalinity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39(13–14), 2119–2132. <https://doi.org/10.1080/00103620802135310>
- Pilling, D., Bélanger, J., & Hoffmann, I. (2020). Declining biodiversity for food and agriculture needs urgent global action. *Nature Food*, 1(3), 144–147. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0040-y>
- Popay, I., & Field, R. (1996). Grazing Animals as Weed Control Agents. *Weed Technology*, 10(1), 217–231. <https://doi.org/10.1017/s0890037x00045942>
- Pregitzer, K. S., & King, J. S. (2005). Effects of Soil Temperature on Nutrient Uptake. In *Nutrient Acquisition by Plants* (pp. 277–310). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/3-540-27675-0_10
- Pusz-Bochenska, K., Perez-Lopez, E., Dumonceaux, T. J., Olivier, C., & Wist, T. J. (2020). A Rapid, Simple, Laboratory and Field-Adaptable DNA Extraction and Diagnostic Method Suitable for Insect-Transmitted Plant Pathogen and Insect Identification. *Plant Health Progress*, 21(1), 63–68. <https://doi.org/10.1094/PHP-09-19-0063-FI>
- Rajapaksha, A. U., Chen, S. S., Tsang, D. C. W., Zhang, M., Vithanage, M., Mandal, S., Gao, B., Bolan, N. S., & Ok, Y. S. (2016). Engineered/designer biochar for contaminant removal/immobilization from soil and water: Potential and implication of biochar modification. In *Chemosphere* (Vol. 148, pp. 276–291). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.043>
- Reardon, P. O., Leinweber, C. L., & Merrill, L. B. (1974). Response of Sideoats Grama to Animal Saliva and Thiamine. *Journal of Range Management*, 27(5), 400. <https://doi.org/10.2307/3896502>
- Rehman, S., Shahzad, B., Bajwa, A. A., Hussain, S., Rehman, A., Cheema, S. A., Abbas, T., Ali, A., Shah, L., Adkins, S., & Li, P. (2019). Utilizing the Allelopathic Potential of Brassica Species for Sustainable Crop Production: A Review. In *Journal of Plant Growth Regulation* (Vol. 38, Issue 1, pp. 343–356). Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9798-7>
- Reinhart, B. D., Frankenberger, J. R., Hay, C. H., & Helmers, M. J. (2019). Simulated water quality and irrigation benefits from drainage water recycling at two tile-drained sites in the U.S. Midwest. *Agricultural Water Management*, 223, 105699. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105699>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. In *Nature* (Vol. 461, Issue 7263, pp. 472–475). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., Wetterstrand, H., DeClerck, F., Shah, M., Steduto, P., de Fraiture, C., Hatibu, N., Unver, O., Bird, J., Sibanda, L., & Smith, J. (2017). Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46(1), 4–17. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0793-6>
- Rodhe, L., Mathisen, B., Wikberg, A., & Malgeryd, J. (2005). *Tillsatsmedel för flytgödsel-litteraturoversikt och utveckling av testmetod. JTI-rapport 333*.
- Röös, E., Carlsson, G., Ferawati, F., Hefni, M., Stephan, A., Tidåker, P., & Witthöft, C. (2018). Less meat, more legumes: Prospects and challenges in the transition toward sustainable diets in Sweden. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 35(2), 192–205. <https://doi.org/10.1017/S1742170518000443>
- Röös, E., Fischer, K., Tidåker, P., & Nordström Källström, H. (2019). How well is farmers' social situation captured by sustainability assessment tools? A Swedish case study. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 26(3), 268–281. <https://doi.org/10.1080/13504509.2018.1560371>

- Rufino, C. A., Tavares, L. C., Brunes, A. P., Lemes, E. S., & Villela, F. A. (2013). Treatment of wheat seed with zinc, fungicide, and polymer: seed quality and yield. *Journal of Seed Science*, 35(1), 106–112. <https://doi.org/10.1590/S2317-15372013000100015>
- Ruggiero, A., Céréghino, R., Figuerola, J., Marty, P., & Angélibert, S. (2008). Farm ponds make a contribution to the biodiversity of aquatic insects in a French agricultural landscape. *Comptes Rendus - Biologies*, 331(4), 298–308. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.01.009>
- Rust, N. A., Ridding, L., Ward, C., Clark, B., Kehoe, L., Dora, M., Whittingham, M. J., McGowan, P., Chaudhary, A., Reynolds, C. J., Trivedy, C., & West, N. (2020). How to transition to reduced-meat diets that benefit people and the planet. In *Science of the Total Environment* (Vol. 718, p. 137208). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137208>
- Rutter, S. M. (2006). Diet preference for grass and legumes in free-ranging domestic sheep and cattle: Current theory and future application. *Applied Animal Behaviour Science*, 97(1), 17–35. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.11.016>
- Sannö, J.-O., Cederberg, C., Gustafsson, G., Hultgren, J., Jeppsson, K.-H., Karlsson, S., & Nadeau, E. (2003). *LIFE Ammoniak Bärkraftig mjölkproduktion genom minskning av ammoniakförluster på gårdsnivå Projekttrapport LIFE Ammonia Sustainable milk production through reduction of on-farm ammonia losses Project report*.
- Schader, C., Baumgart, L., Landert, J., Muller, A., Ssebunya, B., Blockeel, J., Weissshaidinger, R., Petrasek, R., Mészáros, D., Padel, S., Gerrard, C., Smith, L., Lindenthal, T., Niggli, U., & Stolze, M. (2016). Using the Sustainability Monitoring and Assessment Routine (SMART) for the Systematic Analysis of Trade-Offs and Synergies between Sustainability Dimensions and Themes at Farm Level. *Sustainability*, 8(3), 274. <https://doi.org/10.3390/su8030274>
- Schader, C., Curran, M., Heidenreich, A., Landert, J., Blockeel, J., Baumgart, L., Ssebunya, B., Moakes, S., Marton, S., Lazzarini, G., Niggli, U., & Stolze, M. (2019). Accounting for uncertainty in multi-criteria sustainability assessments at the farm level: Improving the robustness of the SMART-Farm Tool. *Ecological Indicators*, 106, 105503. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105503>
- Schmidt, J. H., Bergkvist, G., Campiglia, E., Radicetti, E., Wittwer, R. A., Finckh, M. R., & Hallmann, J. (2017). Effect of tillage, subsidiary crops and fertilisation on plant-parasitic nematodes in a range of agro-environmental conditions within Europe. *Annals of Applied Biology*, 171(3), 477–489. <https://doi.org/10.1111/aab.12389>
- Schulz, M., Marocco, A., Tabaglio, V., Macias, F. A., & Molinillo, J. M. G. (2013). Benzoxazinoids in Rye Allelopathy - From Discovery to Application in Sustainable Weed Control and Organic Farming. *Journal of Chemical Ecology*, 39(2), 154–174. <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0235-x>
- Segersson, D., Eneroth, K., Gidhagen, L., Johansson, C., Omstedt, G., Nylén, A. E., & Forsberg, B. (2017). Health impact of PM10, PM2.5 and black carbon exposure due to different source sectors in Stockholm, Gothenburg and Umea, Sweden. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph14070742>
- Silfving, C. (2006). *Konsekvenser av NORFOR-systemet vid beräkning av foderstater för mjölkkor*. SLU, Institutionen för husdjurens utfodring och vård (HUV).
- Sirami, C., Gross, N., Baillod, A. B., Bertrand, C., Carrié, R., Hass, A., Henckel, L., Miguet, P., Vuillot, C., Alignier, A., Girard, J., Batáry, P., Clough, Y., Violle, C., Giralt, D., Bota, G., Badenhauer, I., Lefebvre, G., Gauffre, B., ... Fahrig, L. (2019). Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(33), 16442–16447. <https://doi.org/10.1073/pnas.1906419116>
- SLUs vetenskapliga råd för djurskydd. (2019). *Yttrande från SLUs vetenskapliga råd för djurskydd om digital tillsynsteknik i djurhållning utomhus* (PROMEMORIA SLU ID:

- SLU.scaw.2019.2.6-21).
- Smith, R. F., Apple, J. L., & Bottrell, D. G. (1976). The Origins of Integrated Pest Management Concepts for Agricultural Crops. In *Integrated Pest Management* (pp. 1–16). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7269-5_1
- SOU, S. offentliga utredningar. (2020). *Hållbar slamhantering Betänkande av Betänkande av Utredningen om en giftfri och cirkulär återföring av fosfor från avloppsslam SOU 2020:3*. www.nj.se/offentligapublikationer
- SOU Statens offentliga utredningar. (2019). *Mer biogas! För ett hållbart Sverige. Betänkande av Biogasutredningen*. www.nj.se/offentligapublikationer
- Sousa, D. O., Hansen, H. H., Nussio, L. G., & Nadeau, E. (2019). Effects of wilting and ensiling with or without additive on protein quality and fermentation of a lucerne-white clover mixture. *Animal Feed Science and Technology*, 258, 114301. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114301>
- Ståhl, P. (2015). *Etablering av ekologiskt gräsfrö på hösten i höstvet i samma rad*. <https://docplayer.se/amp/23650472-Etablering-av-ekologiskt-grasfro-pa-hosten-i-hostvete-i-samma-rad.html>
- Ståhl, P., Wallenhammar, A.-C., & Stoltz, E. (2014). *Etablering av ekologiskt gräsfrö på hösten i höstvet. Slutrapport Jordbruksverket*. <http://stud.epsilon.slu.se>
- Statens energimyndighet. (2010). *Förslag till en sektorsövergripande biogasstrategi 2010:23*. <https://www.google.com/search?q=.+Förslag+till+en+sektorsövergripande+biogasstrategi+2010%3A23.&aq=.+Förslag+till+en+sektorsövergripande+biogasstrategi+2010%3A23.&aqs=chrome..69j57.954j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Stenberg, M., & Gruvaeus, I. (2010). *Onlandplöjning på lerjord-kan vi förbättra markstrukturen? HS Skaraborg rapport nr 2/10*.
- Stoate, C., Baldi, A., Beja, P., Boatman, N. D., Herzon, I., van Doorn, A., de Snoo, G. R., Rakosy, L., & Ramwell, C. (2009). Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe - A review. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 91, Issue 1, pp. 22–46). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.07.005>
- Stoltz, E., & Wallenhammar, A. C. (2019). Influence of seed treatment with mineral nutrient products on emergence and growth in spring oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Agricultural and Food Science*, 28(4), 145–154. <https://doi.org/10.23986/afsci.83308>
- Strand, J., Feuerbach-Wengel, L., & Feuerbach, P. (2018). Multi-functionality and holistic approach when ecologically improving an agricultural stream – A case study introducing Integrated Buffer Zones as a landscaping tool in the project LIFE-Goodstream. In *Novel Methods and Results of Landscape Research in Europe, Central Asia and Siberia* (pp. 141–145). <https://doi.org/10.25680/3078.2018.69.72.005>
- Strand, J., & Weisner, S. (2013). Effects of wetland construction on nitrogen transport and species richness in the agricultural landscape-Experiences from Sweden. *Ecological Engineering*, 56, 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.087>
- Svanström, P. (2017). *Utsädesbehandling med mineralnäring för att förbättra uppkomst och tidig tillväxt hos våraps*. SLU, Institutionen för mark och miljö.
- Swensson, C., Davidsson, M., & Fogelberg, F. (2015). *Rostning av åkerböna för ökat fodervärde*. www.zia.ch
- Szogi, A. A., Vanotti, M. B., & Ro, K. S. (2015). Methods for Treatment of Animal Manures to Reduce Nutrient Pollution Prior to Soil Application. *Current Pollution Reports*, 1(1), 47–56. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0005-1>
- Tassew, B. G., Belete, M. A., & Miegel, K. (2019). Application of HEC-HMS Model for Flow Simulation in the Lake Tana Basin: The Case of Gilgel Abay Catchment, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Hydrology*, 6(1), 21. <https://doi.org/10.3390/hydrology6010021>
- ten Hoeve, M., Hutchings, N. J., Peters, G. M., Svanström, M., Jensen, L. S., & Bruun, S. (2014).

- Life cycle assessment of pig slurry treatment technologies for nutrient redistribution in Denmark. *Journal of Environmental Management*, 132, 60–70.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.10.023>
- Tidåker, P., Carlsson, G., & Rööf, E. (2018). *Hur kan hållbarhet mätas på gården? Indikatorer och ramverk för att utvärdera växtodling från olika perspektiv*. <http://epsilon.slu.se>
- Tillväxtverket & Jordbruksverket. (2019). *Uppdrag att föreslå åtgärder till handlingsplan för arbetet med livsmedelsstrategin 2020-2022 (N2018/03649/JM)*.
[http://djur.jordbruksverket.se/download/18.18346daa16b7dd89195cad40/1561369212857/Slutrapport åtgärder handlingsplan för livsmedelsstrategin 2020-2022.pdf](http://djur.jordbruksverket.se/download/18.18346daa16b7dd89195cad40/1561369212857/Slutrapport%20åtgärder%20handlingsplan%20för%20livsmedelsstrategin%202020-2022.pdf)
- Truog, E. (1947). Soil Reaction Influence on Availability of Plant Nutrients. *Soil Science Society of America Journal*, 11(C), 305–308.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1947.036159950011000c0057x>
- Tschumi, M., Albrecht, M., Entling, M. H., & Jacot, K. (2015). High effectiveness of tailored flower strips in reducing pests and crop plant damage. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1814), 20151369. <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.1369>
- Verbič, J., Ørskov, E. R., Žgajnar, J., Chen, X. B., & Žnidaršič-Pongrac, V. (1999). The effect of method of forage preservation on the protein degradability and microbial protein synthesis in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 82(3–4), 195–212.
[https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(99\)00102-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00102-9)
- Vieira, P., Eves-van den Akker, S., Verma, R., Wantoch, S., Eisenback, J. D., & Kamo, K. (2015). The *Pratylenchus penetrans* Transcriptome as a Source for the Development of Alternative Control Strategies: Mining for Putative Genes Involved in Parasitism and Evaluation of in planta RNAi. *PLOS ONE*, 10(12), e0144674. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144674>
- Wahlquist, K. (2019). *No effect of manganese coating or seed content*. SLU, Institutionen för mark och miljö.
- Wallenhammar, A.-C. (1996). Prevalence of *Plasmodiophora brassicae* in a spring oilseed rape growing area in central Sweden and factors influencing soil infestation levels. *Plant Pathology*, 45(4), 710–719. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.1996.d01-173.x>
- Wallenhammar, A.-C. (2012). Konsten att hantera klumprotsjuka. *Svensk Frötidning*.
<https://www.svenskraps.se/kunskap/pdf/01494.pdf>
- Wallenhammar, A.-C., Almquist, C., Söderström, M., & Jonsson, A. (2012). In-field distribution of *Plasmodiophora brassicae* measured using quantitative real-time PCR. *Plant Pathology*, 61(1), 16–28. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02477.x>
- Wallenhammar, A.-C., Omer, Z., Edin, E., & Granstedt, A. (2020). Hållbar produktion av vallbaljväxter i ekologiska odlingssystem. *Vallkonferens 2020*, 129–131.
- Wallenhammar, A.-C., Ståhl, P., & Stoltz, E. (2013). *Utveckling av vallfröodling genom deltagardriven forskning för lärande och utveckling*.
- Wang, G., Govinden, R., Chenia, H. Y., Ma, Y., Guo, D., & Ren, G. (2019). Suppression of *Phytophthora blight* of pepper by biochar amendment is associated with improved soil bacterial properties. *Biology and Fertility of Soils*, 55(8), 813–824.
<https://doi.org/10.1007/s00374-019-01391-6>
- Watt, T. A., & Gibson, C. W. D. (1988). The effects of sheep grazing on seedling establishment and survival in grassland. *Vegetatio*, 78(1–2), 91–98.
<https://doi.org/10.1007/BF00045643>
- Weidow, B. (2018). *Växtodlingens grunder*. Bengt Weidow.
https://www.adlibris.com/se/bok/vaxtodlingens-grunder-9789163955556?gclid=CjoKCQjwoPL2BRDxARIsAEMmgy8eRMq6mItz6fQaiTpJOfrXHQ_WS4dbYNS6rZUz9VNU5nORkfvFPVEaAspAEALw_wcB
- Wesström, I., Och, A. H., & Tonderski, K. (2017). *Miljökonsekvenser av markavvattning och dikesrensning En kunskapssammanställning. Rapport 6777*.

- Williams, H., Colombi, T., & Keller, T. (2020). The influence of soil management on soil health: An on-farm study in southern Sweden. *Geoderma*, 360, 114010. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114010>
- Xie, Y., Dai, H., Zhang, Y., Wu, Y., Hanaoka, T., & Masui, T. (2019). Comparison of health and economic impacts of PM_{2.5} and ozone pollution in China. *Environment International*, 130, 104881. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.075>
- Zak, D., Stutter, M., Jensen, H. S., Egemose, S., Carstensen, M. V., Audet, J., Strand, J. A., Feuerbach, P., Hoffmann, C. C., Christen, B., Hille, S., Knudsen, M., Stockan, J., Watson, H., Heckrath, G., & Kronvang, B. (2019). An Assessment of the Multifunctionality of Integrated Buffer Zones in Northwestern Europe. *Journal of Environmental Quality*, 48(2), 362–375. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.05.0216>
- Zaller, J. G. (2006). Sheep grazing vs. cutting: Regeneration and soil nutrient exploitation of the grassland weed *Rumex obtusifolius*. *BioControl*, 51(6), 837–850. <https://doi.org/10.1007/s10526-005-5272-0>
- Zangarini, S., Pepè Sciarria, T., Tambone, F., & Adani, F. (2020). Phosphorus removal from livestock effluents: recent technologies and new perspectives on low-cost strategies. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(6), 5730–5743. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07542-4>
- Zazzeri, G., Yeomans, E. A., Graven, H. D., Acuña Yeomans, E., & Graven, H. D. (2018). Global and regional emissions of radiocarbon from nuclear power plants from 1972 to 2016. *Radiocarbon*, 60(4), 1067–1081. <https://doi.org/10.1017/RDC.2018.42>
- Zhang, Z., Xu, Z., Song, X., Zhang, B., Li, G., Huda, N., & Luo, W. (2020). Membrane Processes for Resource Recovery from Anaerobically Digested Livestock Manure Effluent: Opportunities and Challenges. In *Current Pollution Reports*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s40726-020-00143-7>
- Zikeli, S., & Gruber, S. (2017). Reduced Tillage and No-Till in Organic Farming Systems, Germany—Status Quo, Potentials and Challenges. *Agriculture*, 7(4), 35. <https://doi.org/10.3390/agriculture7040035>
- Zubair, H. M., Pratley, J. E., Sandral, G. A., & Humphries, A. (2017). Allelopathic interference of alfalfa (*Medicago sativa* L.) genotypes to annual ryegrass (*Lolium rigidum*). *Journal of Plant Research*, 130(4), 647–658. <https://doi.org/10.1007/s10265-017-0921-9>
- Zubair, M., Wang, S., Zhang, P., Ye, J., Liang, J., Nabi, M., Zhou, Z., Tao, X., Chen, N., Sun, K., Xiao, J., & Cai, Y. (2020). Biological nutrient removal and recovery from solid and liquid livestock manure: Recent advance and perspective. In *Bioresource Technology* (Vol. 301, p. 122823). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122823>