



# **Energieffektivisering i lantbruket**

## **– en litteraturstudie med fokus på svenska förhållanden**

Sven Bernesson, Hanna Karlsson Potter och Per-Anders Hansson



**Mistra Food Futures Report #19**  
**Energieffektivisering i lantbruket – en litteraturstudie med fokus på svenska förhållanden**

*Energy saving in agriculture*

*- a literature study with an emphasis on Sweden*

Authors: Sven Bernesson, Hanna Karlsson Potter och Per-Anders Hansson,  
Sveriges lantbruksuniversitet, inst. f energi och teknik

The overarching vision of the programme Mistra Food Futures is to create a science-based platform to enable transformation of the Swedish food system into one that is sustainable (in all three dimensions: environmental, economic and social), resilient and delivers healthy diets. By taking a holistic perspective and addressing issues related to agriculture and food production, as well as processing, consumption and retail, Mistra Food Futures aims to play a key role in initiating an evidence based sustainability (including environmental, economic and social dimensions) and resilience transformation of the Swedish food system. This report is a part of Mistra Food Future's work to identify agricultural systems with potential to make agriculture net-zero, one of the central issues within Mistra Food Futures.

Mistra Food Futures is a transdisciplinary consortium where key scientific perspectives are combined and integrated, and where the scientific process is developed in close collaboration with non-academic partners from all parts of the food system. Core consortium partners are Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Stockholm Resilience Centre at Stockholm University and RISE Research Institutes of Sweden.

[www.mistrafoodfutures.se](http://www.mistrafoodfutures.se)

**Publication:** Mistra Food Futures Report #19  
**Year of publication:** 2023  
**Publisher:** Swedish University of Agricultural Sciences  
**Print:** SLU Grafisk Service, Uppsala  
**ISBN:** 978-91-8046-678-3 (electronic), 978-91-8046-677- (print)





## Sammanfattning

Inom jordbruket används stora mängder energi. Det finns dock möjlighet att effektivisera och reducera energianvändningen på många ställen inom de olika produktionsgrenarna. Även användningen av indirekt energi är stor inom jordbruket, vilket medför att effektivare användning av förnödenheter med flera insatsvaror leder till energisparande. Då flertalet studier som gjorts över energianvändningen och möjligheter till energieffektivisering är ganska gamla, och jordbruket under senare år genomgått en stor strukturomvandling mot allt större enheter samtidigt som mycket ny teknik utvecklats, finns ett behov av mera djupgående studier inom området.

Syftet med den här studien är att sammanställa tillgänglig litteratur om energieffektivisering inom lantbruket. Fokus är på svenska förhållanden.

I studien ingår åtgärder inom både fältarbeten och animalieproduktion. Inom fältarbeten har åtgärder såsom optimering och planering av arbetet för att minska körning och transporter stor betydelse. Arbetsstrategi, underhåll och skötsel av maskiner är viktigt, liksom investeringar i de energieffektivaste maskinerna. Inom animalieproduktion och byggnader kan åtgärderna ofta delas in i tre nivåer: den första nivån är inställningar, skötsel och underhåll såsom rengöring och planering m.m. som handlar om beteende; den andra nivån handlar om ombyggnad och komplettering av utrustning; och den tredje nivån innebär åtgärder som kräver större investeringar, såsom byte av system. Detta gäller bland annat för utfodring, mjölkning, gödselhantering, belysning och spannmålstorkning. Precisionsstyrning kan komma in som en typ av fjärde nivå inom både animalieproduktion och fältarbeten.

Inom fältarbeten kan stora mängder energi sparas in genom att reducera jordbearbetningen. Framöver kan elektrifiering och automatiseringen av fältarbetena leda till betydande energibesparingar.

Inom mjölkning, gödselhantering, uppvärmning, ventilation, belysning och spannmålstorkning finns en mängd åtgärder som tillsammans kan leda till betydande energibesparingar. Även i gårdsverkstäder kan mycket energi sparas in om dessa planeras och utformas på ett bra sätt, särskilt om de används mycket under den kalla årstiden.

Inom jordbruket används stora mängder indirekt energi, bunden till förnödenheter såsom konstgödsel, foder, ensilageplast och drivmedel men även i mindre grad bekämpningsmedel, maskiner, byggmaterial, transporter, produktionsanläggningar, kalk och utsäde.

I lantbruket utgör energianvändningen en del av mera omfattande system, vilka interagerar och påverkar varandra på en mängd olika sätt. Åtgärder för att reducera energianvändningen behöver därför normalt utvärderas med ett systemperspektiv.

*Nyckelord:* energieffektivisering, lantbruk, vegetabilieproduktion, animalieproduktion, fältarbeten, inom gårds

## Abstract

Large amounts of energy are used in agriculture. Energy conservation and energy saving are, however, possible in many places within the various production branches. The use of indirect energy is also large in agriculture, which means that more efficient use of supplies leads to energy savings. Since the majority of studies that have been done on energy use and opportunities for energy conservation are quite old, and agriculture in recent years has undergone a major structural transformation towards increasingly larger units at the same time as much new technology has been developed, there is a need for more in-depth studies in the area.

The purpose of this study is to compile available literature on energy conservation in agriculture. The focus is on Swedish conditions.

The study includes measures in both field work and animal production. In field work, measures such as optimisation and planning of the work to reduce driving and transport are of great importance. Behavior, maintenance and care of machines is important, as well as investments in the most energy efficient machines. In animal production and buildings, the measures can often be divided into three levels: the first level is settings, care and maintenance such as cleaning and planning etc. which deals with behavior; the second level is about rebuilding and completing equipment; and the third level involves measures that require larger investments, such as changing systems. This applies, among other things, to feeding, milking, manure handling, lighting and grain drying. Precision control can be described as a type of fourth level in both animal production and field work.

In field work, large amounts of energy can be saved through reduced tillage. Going forward, electrification and the automation of field work can lead to significant energy savings.

In milking, manure handling, heating, ventilation, lighting and grain drying, there are a number of measures that together can lead to significant energy savings. Even in farm workshops, a lot of energy can be saved if these are planned and designed in a good way, especially if they are used a lot during the cold season.

In agriculture, large amounts of indirect energy are used which are tied to necessities such as mineral fertilisers, fodder, silage plastic and fuel but also to a lesser extent pesticides, machinery, building materials, transport, production facilities, lime and seed.

In agriculture, energy use is part of more extensive systems, which interact and influence each other in a variety of ways. Work to reduce energy use must therefore normally be done with a systems perspective.

*Keywords:* energy conservation, agriculture, vegetable production, animal production, field work, inside the farm

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Fältarbeten</b> .....	<b>8</b>
2.1. Arbetsmaskiner (optimerad körning) .....	8
2.2. Precisionsodling .....	11
2.3. Reducerad jordbearbetning .....	13
2.4. Bevattning (dimensionering/underhåll).....	14
<b>3. Animalieproduktion</b> .....	<b>16</b>
3.1. Utfodring .....	16
3.2. Precisionsstyrning i animalieproduktionen .....	21
3.3. Mjolkning och mjölkkyllning .....	22
3.3.1. Mjolkning.....	23
3.3.2. Mjolkkyllning .....	23
3.3.3. Värmeåtervinning vid mjölkkyllning och diskning .....	24
3.3.4. Robotmjolkning .....	25
3.4. Gödselhantering .....	26
<b>4. Byggnader</b> .....	<b>29</b>
4.1. Uppvärmning .....	29
4.1.1. Djurstallar.....	30
4.1.2. Smågrisar.....	31
4.1.3. Slaktsvin.....	32
4.1.4. Slaktkycklingar .....	33
4.1.5. Nötboskap.....	33
4.1.6. Varmvatten.....	33
4.1.7. Vattenkoppar/vattentråg .....	34
4.2. Ventilation .....	34
4.2.1. Värmeväxlare och värmepumpar.....	38
4.2.2. Omfördelning av värme .....	38
4.2.3. Kylning .....	39
4.3. Belysning .....	40
<b>5. Brukningsenhetens storlek</b> .....	<b>43</b>

5.1.	Inverkan av produktionsenheternas storlek med mera .....	43
5.2.	Skiftning av mark för bättre arrondering .....	44
<b>6.</b>	<b>Elektrifiering</b> .....	<b>45</b>
6.1.	Elektrifiering av arbetsmaskiner och traktorer .....	45
6.2.	Byte till effektivare elmotorer .....	47
<b>7.</b>	<b>Spannmålstorkning</b> .....	<b>48</b>
7.1.	Varmluftstorkning .....	50
7.2.	Kallluftstorkning .....	52
7.3.	Förvärmning/solfångare .....	52
<b>8.</b>	<b>Gårdsverkstaden</b> .....	<b>54</b>
<b>9.</b>	<b>Indirekt energi och energieffektivisering</b> .....	<b>56</b>
9.1.	Konstgödsel .....	56
9.2.	Bekämpningsmedel .....	57
9.3.	Drivmedel .....	57
9.4.	Foder .....	58
9.5.	Maskiner .....	59
9.6.	Byggmaterial .....	59
9.7.	Produktionsanläggningar .....	60
9.8.	Transport av förnödenheter .....	60
9.9.	Plast .....	61
9.10.	Kalk .....	61
9.11.	Utsäde .....	61
<b>10.</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>62</b>
10.1.	Hög produktion viktigt .....	62
10.2.	Generell diskussion .....	62
	<b>Referenser</b> .....	<b>64</b>

# 1. Inledning

Vad gäller energieffektivisering och energibesparing finns det en hel del kunskap tillgänglig. Mycket är känt, sedan lång tid tillbaka, angående på vad och var energi kan sparas in. Några författare har gjort omfattande och viktiga sammanställningar, i Sverige (Neuman, 2013a, 2013b), USA (Farm energy: Beard, 2019; Grubinger & Sanford, 2019; Hellevang & Pedersen, 2019a, 2019b; Helsel & Grubinger, 2019; Johnson & Pederson, 2019; Nowatzki & Pedersen, 2019; Pedersen, 2019; Pedersen & Hellevang, 2019; Sanford, 2019; Scherer & Pedersen, 2019), Storbritannien (Farmers weekly: James, 2018; Farm Carbon Cutting Toolkit: FCCT, 2023), Nya Zeeland (Sims, 2022a) och Polen (Bartkowiak, 2021). De flesta sammanställningarna grundas till stor del på kunskap som togs fram efter oljekriserna på 1970-talet. Det finns dock ett antal energianalyser där energianvändningen inom jordbruket analyseras mer eller mindre ingående. Dessa ger en hel del information om var inom jordbruket energibesparing är lämplig, även om de inte har energieffektivisering eller energibesparing som sitt huvudsyfte (Odum & Odum, 1976; Fluck & Baird, 1980; Stout, 1990; Smil, 1991; Fluck, 1992; Odum, 1994; Conforti & Giampietro, 1997; CIGR, 1999; Kitani m.fl., 1999; Kuesters & Lammel, 1999; Hülsbergen & Kalk, 2001; Vlek m.fl., 2004; Sartori m.fl., 2005; Saunders m.fl., 2006; Pimentel m.fl., 2007; Pimentel & Pimentel, 2008; USDA, 2008; Safa & Samarasinghe, 2011; Tester m.fl., 2012; Randolph & Masters, 2018; Ilyas m.fl., 2020; Lin m.fl., 2021; Safa, 2022; Sims, 2022a). Det som är nytt under senare år är att digitaliseringen med sensorer, insamling av mätdata och avancerad processtyrning ger ökade möjligheter till precisionsstyrning och därmed optimering av användningen av insatta resurser såsom bland annat energi. Även ökad automatisering, robotisering och elektrifiering medför möjligheter att minska och optimera energianvändningen ytterligare.

Åtgärder för att effektivisera och minska energianvändningen har till stor del sitt ursprung i de oljekriser med höga priser och minskad tillgång till fossil olja som inträffade under 1970-talet och det tidiga 1980-talet (Kesicki, 2010; Jensen m.fl., 2022; Sims 2022a). Då orsakades energibristen av handlingar av de oljeproducerande ländernas samarbetsorganisation OPEC (Organisation of Petroleum Exporting Countries). I nutid har betydelsen av energieffektivisering till stor del blivit aktuellt genom internationella överenskommelser mellan stater för att minska klimatpåverkan (Paris Climate Agreement 2015 och Glasgow Climate Pact 2021), men även av Rysslands anfallskrig mot Ukraina 2022 med en väsentligt högre konfliktnivå globalt som lett till betydligt högre energipriser.



Detta har påverkat jordbruket som drabbats av betydligt högre priser på insatsvaror som fossil dieselolja, konstgödsel, el och inköpt djurfoder.

Historiskt sett har energikostnaderna varit en liten andel av de totala driftskostnaderna för många jordbruk och livsmedelsföretag (Sims, 2022a, 2022b). Därför har de politiska åtgärderna och incitamenten för att minska energiefterfrågan inte varit starka. Men allt eftersom energikostnaderna ökar och fler företag sätter upp mål för att minska sina koldioxidavtryck, kommer ett förnyat intresse för att förbättra energieffektiviteten att vinna fördelar. Detta leder till att frågan om energieffektivisering blir extra aktuell igen.

I lantbruket används stora mängder energi både direkt på gården och indirekt för att producera insatsmedel såsom konstgödsel. Direkt energianvändning på gården innefattar t.ex. bränsle till fältarbeten och energianvändning i byggnader och djurstallar. Jordbruket använder ungefär 4 procent av den totala användningen av fossil dieselolja på 58,5 TWh, motsvarande ca 2,3 TWh (SOU, 2021). Energianvändningen för uppvärmning, belysning m.m. exklusive bostäder och växthus uppgår till 3,3 TWh varav 1,5 TWh är el (Energimyndigheten, 2014). Användningen av indirekt energi i förnödenheter uppgick till 3,6 TWh 2007, varav den största posten konstgödsel stod för 2,3 TWh följt av produktionen av inköpt foder på 0,7 TWh (Baky m.fl., 2010; SOU, 2021).

Energieffektivisering går ut på att använda den tillförda energin så effektivt som möjligt, dvs. användning av mindre energi för att uträtta samma arbete eller producera samma produkt. Detta innebär i ett första steg främst beteendeförändringar, dvs. sådant som inte kräver en investering, såsom t.ex. förbättrad planering av logistiken kring fältarbeten, användningen av dragkraften, användningen av belysning och ventilation i djurstallar samt rengöring av ventilationsdon, radiatorer/element och annat där värme eller kyla överförs. Det innebär i ett andra steg att ny teknik tas i bruk, såsom t.ex. för optimering och styrning av processer som använder energi på så sätt att de bara är inkopplade då de behövs. De regleras för att bara använda den energi som behövs till det arbete som ska utföras, och det gäller precisionsstyrning inom både växtodlingen och animalieproduktionen. Man letar efter alla ställen där energi förloras i onödan och gör åtgärder för att minimera dessa förluster där så möjligt med tillgänglig teknik, eller efter uppgradering av tillgänglig teknik. I ett sista steg kan det bli byte av system, t.ex. övergång från förbränningsmotorteknik till elmotorteknik och självkörande maskiner, eller i ett stall byte till självdragsventilation. Den bästa kilowattimmen är den som aldrig behövs.

Energieffektivisering innebär att en stor mängd åtgärder genomförs på olika ställen i produktionen. Enskilt är betydelsen normalt inte så stor, men tillsammans kan den bli betydande.

Energieffektivisering leder nästan alltid till att utsläppen av växthusgaser minskar (Pelletier m.fl., 2011).

Syftet med denna rapport är att sammanställa tillgänglig litteratur om energieffektivisering inom lantbruket. Fokus är på svenska förhållanden. Vi skiljer på direkt energianvändning, definierad som den energi som används på gården, såsom el och bränslen för t.ex. uppvärmning, ventilation, fältoperationer, spannmålstorkning osv., och indirekt energi.

Indirekt energi används för att producera insatsmedel till lantbruket, t.ex. mineralgödsel och foder, men även maskiner och byggnader. Indirekt energi ingår primärt inte i den sammanställning som gjorts till den här rapporten och sammanfattas därför i ett avslutande delkapitel.

## 2. Fältarbeten

Med fältarbeten menas alla åtgärder som görs i fält, dvs. jordbearbetning, sådd, gödning, bekämpning av skadegörare, skörd m.m. Då mycket energi används i dessa arbeten så finns här mycket energi att spara genom bättre planering, optimering, precisionsodling och andra val av brukningsmetoder.

### 2.1. Arbetsmaskiner (optimerad körning)

Jordbruksverket (2012) anger att sparsam körning, effektivare maskiner, utveckling av motorer m.m. leder till en minskad bränsleförbrukning på mellan 15 och 45 procent för jordbrukets arbetsmaskiner. Utöver detta finns ett antal ytterligare åtgärder som kan vidtas i syfte att minska utsläppen från jordbrukets arbetsmaskiner.

Det finns ett antal åtgärder som har potential (Jordbruksverket, 2012) men vars effekt och klimatnytta är svår att fastställa. Dessa åtgärder är:

- Brukningsmetoder för minsta möjliga diesel-/drivmedelsåtgång.
- Grödor för minsta möjliga diesel-/drivmedelsåtgång.
- Infrastruktur/arrondering för minsta möjliga diesel-/drivmedelsåtgång.
- Tydliga instrument som visar på sparsam eller slösande körning.
- Ekonomiskt stöd till maskinringar som har energisåla och anpassade maskiner att erbjuda för olika arbetsmoment.
- Ekonomiskt stöd till lantbrukare som delar maskinpark med andra, för att kunna hålla fler energisåla och anpassade maskiner för olika arbetsmoment.

Det finns även mycket att hämta vad gäller underhåll, skötsel och körteknik för traktorer (Pang m.fl., 1985; Grogan m.fl., 1987; Pellizzi m.fl., 1988; Barber, 2004; Grisso m.fl., 2004; Serrano m.fl., 2007; Hoy m.fl., 2014; Al-Aani m.fl., 2016; Energimyndigheten, 2018; Nowatzki & Pedersen, 2019; Helsel & Grubinger, 2019; Herbert m.fl., 2022; Hashemi m.fl., 2022; Safa, 2022; Jensen m.fl., 2022; Sims, 2022a; FCCT, 2023). Man listar en mängd åtgärder för att minska bränsleförbrukningen:

- Investera i traktorer som har en dokumenterat låg bränsleanvändning.
- Välj rätt traktor till det arbete som ska utföras. Undvik att använda små redskap till stora traktorer. För den mest effektiva driften bör redskapet köras med den bäst anpassade traktorn vad gäller storlek. Om en större traktor används med

små redskap, använd principen att växla upp och minska gaspådraget för att bibehålla rätt hastighet för att minska bränsleförbrukningen. Var noga med att inte överbelasta motorn när du använder denna metod. Att använda en stor traktor för lätt last är ineffektivt eftersom extra kraft används för att förflytta den större traktorn. Att använda en mindre traktor för att utföra fältoperationer som kräver mer kraft än den är konstruerad för kan överbelasta en mindre traktor, vilket minskar effektiviteten och traktorns livslängd och kan leda till högre bränsleförbrukning.

- Välj den optimala traktorstorleken och körhastigheten till aktuell fältoperation. De flesta traktormotorer har den högsta bränsleeffektiviteten när de arbetar nära nominell hastighet och belastning, eller maximal effekt. För primära jordbearbetningsredskap som är korrekt anpassade till traktorn, uppnås den bästa bränsleeffektiviteten i fält genom att låta traktorerna dra laster med den högsta möjliga hastigheten inom det acceptabla hastighetsintervallet för redskapet. Säkerställ att det lämpligaste redskapet för det jobb som ska utföras används.
- Om det finns, utnyttja traktorns elektroniska system/arbetsdator för att använda det fullt ut som ett hjälpmedel för att optimera körningen utifrån lägsta möjliga bränsleförbrukning för det utförda arbetet.
- Underhåll traktorerna, dvs. byt olje-, bränsle- och luftfilter i tid efter servicescheman eller då behov finns. Byt motorsmörjolja och andra oljor enligt rekommendation. Underhåll och rengör bränsleinsprutarna vid behov. Reparation av läckande ventiler och kolvringar förbättrar motorns prestanda och därmed energieffektiviteten.
- Underhåll motorerna i skördetröskor och andra självgående skördemaskiner på samma sätt som de i traktorerna.
- Återvinn gamla bränslen och oljor så att energianvändningen minimeras genom att behovet att använda fossila bränslen minskar.
- Kombinera arbetsmoment där så är möjligt, t.ex. harvning och gödsling eller sådd och gödsling. Färre passager över marken leder till bränslebesparing.
- Sträva efter att upprätthålla lagom/optimal hjulslirning, i allmänhet mellan 10 och 15 procent för tvåhjulsdrivna traktorer och 8 till 10 procent för fyrehjulsdrivna traktorer. Hjulslirning utanför detta område innebär att traktorn inte är korrekt avvägd. Om hjulslirningen är större än den rekommenderade när en tung last dras, bör mer vikt läggas på i form av hjulvikter, frontvikter eller vätska i däcken. Endera formen av vikt är lika effektiv som den andra. Om hjulslirningen är mindre än den rekommenderade, bär traktorn för mycket vikt. Detta kommer att få däcken att sjunka ner djupare i marken än nödvändigt och öka kraftbehovet för att förflytta traktorn över fältet, vilket resulterar i lägre effektivitet. Rätt vikt på de dragande hjulen är viktig för minimering av slirning och därmed bränsleförbrukning. Dubbelmontage, fler drivande hjul och hjul

med större diameter minskar också slirningen. Optimalt däckstryck för den valda arbetsoperationen är viktigt för att optimal slirning ska nås. Viss hjulslirning behövs för att skapa den önskade dragkraften.

- Optimera fältarbetet så det blir så effektivt som möjligt. Att spendera orimligt mycket tid på att vända i ändarna av korta, breda åkrar eller överlappande jordbearbetning inom ett fält resulterar i högre bränsleförbrukning. Att planera vägtransporterna så att dessa minimeras sparar också bränsle.
- Reducerad jordbearbetning är ett sätt att minska energianvändningen vid fältarbeten. Reducerad jordbearbetning påverkar fler parametrar för utsläpp av växthusgaser än bara drivmedelsförbrukningen, se Kapitel 2.3. Reducerad jordbearbetning.
- Undvik ej nödvändiga arbetsoperationer i fält.
- Vid jordbearbetning, såsom plöjning och harvning, är det viktigt att bearbetningsdjupet är optimalt då för stort bearbetningsdjup leder till ökad bränsleåtgång.
- Skärp/slipa markbearbetningsredskap för att möjliggöra bearbetning av jorden med mindre motstånd.
- Om möjligt, undvik fältarbeten under ogynnsamma förhållanden.
- Kontinuerligt variabla transmissioner (CVT) eller steglöst variabla transmissioner (IVT) är tekniker som hjälper till att förbättra bränsleeffektiviteten genom att använda elektronisk styrning av transmissionen och motorvarvtalet för att uppnå den mest effektiva driften. Operatören ställer in drifhastigheten och styrenheten bestämmer motorvarvtal och transmissionsinställning baserat på belastning. Dessa system ändrar automatiskt utväxlingen upp eller ned samt justerar gaspådraget till optimal nivå.
- Använd styr- och autostyrningssystem för att minska överlappning vid fältarbete, öka förmågan att arbeta längre arbetsdagar (underlätta arbete i mörker), minska förarens trötthet och förbättra effektiviteten i verksamheten. För utförligare redogörelse se Kapitel 2.2. Precisionsodling.
- Använd timer till motorvärmaren så att denna ej står på i onödan men samtidigt ser till att motorn är optimalt uppvärmd inför planerade starter. Lämna inte motorvärmarna inkopplade över natten, om möjligt. Motorer i dieseltraktorer kräver vanligtvis 1 till 2 timmars drift av värmaren vid kallt väder innan start.
- Minimera förlusterna av bränsle vid lagringen på gården genom att förvara det svalt. Undvik direkt solsken på lagringstankar ovan jord. Skugga tankarna och/eller måla dem med en ljus färg som reflekterar solljuset.

Drivmedelsförbrukningen vid transporter är betydligt lägre för lastbilstransporter än för traktortransporter (Baky m.fl., 2010). Som exempel anges att vinsten med en medelstor lastbil jämfört med en traktor kan bli 38 procent och med en tung lastbil med släp 74

procent mätt per tonkm, räknat med 100 procent fyllnadsgrad. Det kan därför vara viktigt att där så är möjligt använda lastbil istället för traktor för jordbrukets transporter. Ju längre transportsträcka, desto mer bränsle kan sparas.

Om energieffektiviseringen även syftar till att minska användningen av fossila drivmedel är ett sätt att spara fossil dieselolja till traktorer att ersätta denna med biodrivmedel såsom HVO (hydrerade vegetabiliska oljor), FAME (fettsyrametylestrar), RME (rapsmetylester), biogas eller syntetiska bränslen från skogsavfall eller trädbränslen. Ett annat sätt är elektrifiering (se Kapitel 6.1. Elektrifiering av arbetsmaskiner).

## 2.2. Precisionsodling

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

GPS (Global Positioning System) är det mest kända och använda av flera satellitbaserade navigations- och positionsbestämningssystem. Ett samlingsnamn som ofta används för dessa är GNSS (Global Navigation Satellite Systems) (Lantmäteriet, 2022).

Precisionsodling kan konkret betyda att ett fält som tidigare betraktades som en helhet nu uppdelas i sektioner, varefter den tekniska utrustningen bearbetar grödorna baserat på jordmån, jordart, tillgång till näringsämnen och vatten med mera för att uppnå optimal resursförbrukning och avkastning (AG Precision, 2022).

För att möjliggöra detta, registreras avkastningen och kartläggs över fältet via GPS-utrustning. I nästkommande arbetsmoment kan tillförsel av näringsämnen, gödsel, kalk, vatten vid bevattning, samt behovet av växtskyddsmedel styras (Pelletier m.fl., 2011; Lantmännen, 2021; AG Precision, 2022; RISE 2022a; Edman m.fl., 2022; Safa, 2022; Sims, 2022a). Ett sätt att få mer precis information om tillstånden i fälten är att placera ut sensorer i dessa, sensorer som kan ge information om t.ex. växtnäringsbehov, växtskyddsbehov eller bevattningsbehov (Lantmännen, 2021; Fredriksson, 2019; RISE, 2022a). Dessa sensorer kan vara möjliga att avläsa via internet av datorer både på kontoret

och i maskinerna. Bättre precision hela vägen i hantering, lagring och spridning av stallgödsel leder till minskade förluster och gör att en större andel av näringen kan återföras till växterna. Förlusterna av växtnäring via läckage och lustgasavgång kan minskas (Lantmännen, 2019; Karlsson Potter m.fl., 2022). Grödornas tillstånd kan även avläsas med drönare, styrda med GPS, som från luften kan analysera grödornas behov (Lantmännen, 2021; Fredriksson, 2019). Vid dränering kan utläggningen av dräneringssystemet styras utifrån behov, nivåkurvor, lutning och avkastningspotential.

Med hjälp av drönare, maskininlärning och artificiell intelligens kan storleken på en skörd av till exempel vitkål beräknas, vilket gör att producenten kan ge en mer exakt prognos och slipper överproducera för att vara säker på att leverera det som utlovats (RISE, 2022a). Man använder, redan nu, också maskininlärning för beslutsstöd för bland annat äppel- och vinodling.

Vid jordbearbetning såsom t.ex. plöjning, stubbearbetning och harvning kan traktorn styras med hjälp av GPS så att man garanterar att alla delar av fälten bearbetas, samt att överlapp undviks (Helsel & Grubinger, 2019; AG Precision, 2022; Edman m.fl., 2022; FCCT, 2023). Vid vändning kan styrning ske så redskapet alltid ligger optimalt i linje bakom traktorn både då vändningen påbörjas och avslutas i samband med att redskapet går ner i jorden igen. Vändningarna optimeras på så sätt. Bearbetningsdjupet kan regleras efter behov på olika delar av fälten. Bränsle sparas och obearbetade ytor där ogräs kan få fäste minimeras. Tidsåtgången för arbetsåtgärderna minimeras även. Vid skörd kan skördetröskor, potatis- och betupptagare och andra skördemaskiner styras på samma sätt liksom såmaskiner, gödselspridare och sprutor. Även traktorernas och skördemaskinernas hastighet kan styras så den blir optimal för det utförda arbetet. Det finns redan exempel på robotar för skörd och plockning i bruk (Fredriksson, 2019).

Det kan även vara möjligt att skicka ut robotar för växtskydd och ogrärensning i fälten (Fredriksson, 2019; RISE, 2022a). Siffror från John Deere har visat att dessa skulle, i vissa fall, kunna minska kemikalieanvändningen med upp till 90 procent. Även appar till mobiltelefoner som kan analysera vilket ogräs eller annan växtskadegörare man har, och föreslå val av bekämpningsmedel och dos kan användas.

Elektrifiering av fältmaskinerna underlättar införande av autonom drift och precisionsstyrning (Engström & Lagnelöv, 2018).

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

Den nya tekniken innebär dock ett ökat krav på kompetens hos lantbrukarna för att hantera den avancerade tekniken och omsätta denna till beslut, vilket leder till nya behov av rådgivning och utbildning (Lantmännen, 2021).

## 2.3. Reducerad jordbearbetning

Reducerad jordbearbetning kan leda till betydande energibesparing genom minskat drivmedelsbehov, då jordbearbetning är en av de mest energiintensiva insatserna i jordbruket. Detta leder till en tydlig minskning av klimatpåverkan genom den minskade dieselanvändningen per hektar, då den diesel som används nästan alltid har fossilt ursprung (Pimentel m.fl., 2008b; Andersson m.fl., 2010; Nemecek m.fl., 2011; Pelletier m.fl., 2011; Nowatzki & Pedersen, 2019; Hessel & Grubinger, 2019; Lantmännen, 2021; Jensen m.fl., 2022; Sims, 2022a). Den bör dock ställas i relation till eventuella effekter på skördenivå som olika brukningsmetoder kan ha. Minskad jordbearbetning minskar energianvändningen och tillhörande koldioxidutsläpp med 33-64 procent för jordbearbetningen, beroende på metod och teknik enligt danska beräkningar (Olesen m.fl., 2018). Detta motsvarar en minskning med 30-90 kg koldioxid per hektar med reducerad jordbearbetning och 100 kg koldioxid per hektar med direktsådd (Olesen m.fl., 2013, 2018). Nowatzki & Pedersen (2019) anger att drivmedelsbehovet kan halveras vid reducerad jordbearbetning.

Idén med reducerad jordbearbetning och plöjningsfri odling är att markens mullhalt, och därmed bördighet, ska bevaras, dvs. marken ska behålla sin mullhalt och helst om möjligt öka denna, men risken är att kolhalten minskar i djupare liggande skikt som inte tillförs skörderester som tidigare. Reducerad jordbearbetning betyder i praktiken vanligen att man direktsår, inte plöjer marken eller plöjer grundare (Andersson m.fl., 2010; Baky m.fl., 2010; Olesen m.fl., 2018; Nowatzki & Pedersen, 2019; Hessel & Grubinger, 2019; Jensen m.fl., 2022; Sims, 2022a). Vid plöjningsfri odling ersätts plöjningen vanligen av att marken bearbetas med stubbkultivator och/eller tallriksredskap istället. Vid direktsådd besås marken utan föregående omfattande jordbearbetning direkt med en kraftigare byggd såmaskin. Skörderester måste vanligen avlägsnas innan direktsådd kan ske. För att reducerad jordbearbetning ska kunna tillämpas är det viktigt att ogrästrycket inte är för högt. Om så sker kan man ändå behöva plöja marken under vissa år. Det finns även en risk att användningen av kemiska ogräsmedel måste ökas. Ofta inträffar en skördeminskning på några procent vid reducerad jordbearbetning men denna uppvägs av besparingen på drivmedel och arbetstid. Vid reducerad jordbearbetning finns det ett särskilt behov av fokus på bra grödetablering och etablering av en god ogräsbekämpning (Pelletier m.fl., 2011; Olesen m.fl., 2018). På grund av dessa behov har man i Danmark rekommenderat att reducerad jordbearbetning kombineras med en mångsidig växtföljd, användning av fånggrödor och kvarhållning av halm (detta kallas även Conservation Agriculture (Baker



m.fl., 2007)). Vid reducerad jordbearbetning kan behovet av utsäde öka (Pimentel m.fl., 2008b).

Reducerad jordbearbetning är i första hand lämpligt vid (Andersson m.fl., 2010):

- tyngre jordar (styvare lerjordar),
- gynnsam förfrukt till exempel odling av vete efter oljeväxter eller baljväxter,
- höstsådd,
- konventionell odling.

## 2.4. Bevattning (dimensionering/underhåll)

Bevattning i jordbruket är en energikrävande verksamhet och åtgärder för energieffektivisering har diskuterats av en mängd författare (Stout, 1990; Kitani m.fl., 1999; CIGR, 1999; Vlek m.fl., 2004; Pimentel m.fl., 2008b; Smil, 2008; Abadia m.fl., 2008; Pelletier m.fl., 2011; Rothausen & Conway, 2011; Scherer & Pedersen, 2019; Safa, 2022; Reardon-Smith m.fl., 2022; Sims, 2022a). Det är därför viktigt att den energi som används för pumpningen kan nyttjas så effektivt som möjligt och med undvikande av onödiga förluster. Trycksatta bevattningssystem, särskilt installationer med centralt vridbara spridare som använder en pump med hög flödes hastighet och kräver en stor elmotor eller förbränningsmotor, använder mycket energi. I Sverige används sådana spridare i bevattningsmaskiner av en mängd olika typer samt i rörbevattningsanläggningar. Den vanligaste typen av bevattningsmaskin i Sverige är den där en stor spridare på hjul är placerad i änden på en slang som långsamt rullas in på en stor trumma. De främsta orsakerna till energiförluster är förknippade med rörledningsläckor, förluster i motorer och effektivitet/strömningsförluster i pumpar samt strömningsförluster/strömningsmotstånd i hydranter och ledningar. Höga strömningsförluster leder till att mer energi krävs för att pumpa vattnet till spridarna. Det är därför viktigt att effektiva och korrekt dimensionerade pumpar används och att dessa drivs av så effektiva motorer som möjligt. Elmotorer är att föredra då de är betydligt effektivare än förbränningsmotorer. Ledningar/rör, hydranter och spridare bör dimensioneras för att minimera strömningsförlusterna, likaså valet av material/ytskikt i ledningarna. Utrustning som ej fyller kraven, enligt ovan, bör bytas ut då så är möjligt. Det är viktigt att pumpar, ledningar/rör och spridare underhålls, och byts ut då slitaget påverkar strömningsförluster/funktion i allt för hög grad. Det är vidare viktigt att spridare och sprinkler ger en jämn applicering av vattnet i hela sitt spridningsområde. Spridare och sprinkler, liksom antalet av dessa, måste vara anpassade till det bevattningssystem där de finns. Eventuellt läckage måste åtgärdas snarast möjligt. Skräp och annat oönskat material i ledningar/rör måste tas bort så fort som möjligt. Inspektioner av utrustningen bör ske regelbundet. Underhållet är viktigt. Det är viktigt att ha kontroll på avdunstning/evapotranspiration och markfuktighet genom hela växtsäsongen så det säkerställs att grödan inte underbevattnas eller överbevattnas (Scherer & Pedersen, 2019;

Reardon-Smith m.fl., 2022; Sims, 2022a). Ofta kan energianvändningen till bevattningen minskas med 7 till 30 procent (Scherer & Pedersen, 2019).

I bevattningssystem där vattnet sprids från spridare med lägre tryck samt fördelas över fältet med hög precision har man i en amerikansk studie visat att man kunnat minska energianvändningen för bevattningen med 19 procent, vilket lett till att utsläppen av växthusgaser kunnat minskas med 15 procent (McCarthy m.fl., 2020).

Bevattningen kan övervakas elektroniskt och styras efter behov med GPS/GIS, vilket gör att delar av ett fält med olika bevattningsbehov kan få sina respektive optimala vattenmängder. Vatten och energi kan på så sätt sparas (Reardon-Smith m.fl., 2022; Sims, 2022a).

Bevattning kan leda till ökad mikrobiell aktivitet i marken som leder till ökade utsläpp av växthusgaserna lustgas och koldioxid från marken (Trost m.fl., 2013). Ökad styrning av hur och när bevattningen sker kan minska eller eliminera det här problemet (Trost m.fl., 2013; Maris m.fl., 2015).

## 3. Animalieproduktion

Det finns många processer inom animalieproduktionen som är bundna till djurens skötsel där mycket energi används såsom inom utfodring, mjölkning och gödselhantering. Det medför att här finns stor potential till energibesparing. Dessutom finns det många processer som är knutna till byggnaderna där djuren inhyses där mycket energi används såsom till ventilation, belysning och uppvärmning. För fodret gäller att det även används mycket energi i fält vid odling och eventuella transporter samt även vid beredningen innan det når fram till utfodringsanläggningen.

### 3.1. Utfodring

Hantering av foder och foderberedning står för en stor del av djurgårdarnas energianvändning inomgårds. Inom mjölkproduktionen står utfodring och foderberedning för mellan 25 och 30 procent av energianvändningen inomgårds (Neuman, 2013a, 2013b). Till slaktsvin är motsvarande siffra ca 33 procent (Neuman, 2013a, 2013b). Skillnaderna är stora mellan olika gårdar. Detta beror på att utfodringen kan ske på många olika sätt på gårdar med mjölkproduktion eller med uppfödning av slaktsvin. De olika utfodringssystemen är mer eller mindre energikrävande med stor variation. Detta visar att potentialen till energibesparing är stor.

En orsak till stora skillnader mellan gårdarna är om man har foderberedningen på gården eller om man köper in färdigt foder (Neuman, 2013a). Köper man in färdigt foder har man i princip flyttat energianvändningen för foderberedningen från gården till foderfabriken.

Energibesparingsåtgärder inom utfodringen kan delas in i tre nivåer beroende på hur lätta de är att genomföra (Neuman, 2013a, 2013b; Energimyndigheten, 2018): lättast att genomföra är de som handlar om rutiner och beteenden, inställning, kalibrering, rengöring, planering m.m. såsom sparsam körning, kontroll av tryckluftsläckage; på den andra nivån ingår åtgärder som kräver inköp eller utbyte av utrustning och komponenter, t.ex. att man sätter frekvensstyrning på foderpumpen eller byter till energisnålare transportörer; samt den tredje nivån där det krävs större investeringar såsom till exempel utbyte av utfodringssystem.

För transportörer gäller att det allmänt krävs mer energi om man ska blåsa spannmål än om man förflyttar den med mekaniska transportörer (Neuman, 2013a; Energimyndigheten, 2018). I jämförelse med mekaniska transportörer använder lufttransportörer 3-6 gånger mer energi. Mekaniska transportörer bör därför väljas i första hand. På många gårdar kan, trots

detta, lufttransport vara den bästa lösningen beroende på att det finns många krökar och vinklar längs transportvägen. Är man hänvisad till lufttransport är det viktigt att välja metod för hur spannmålen ska matas in i luftströmmen då olika metoder har olika energibehov. Matning med injektor är ett billigare alternativ men inte så energieffektivt samt att den inte har den bästa kapaciteten. Ska fläkten även suga till sig spannmålen så ökar energibehovet per transporterad spannmål än mer. En cellhjulsmatare ökar kapaciteten, gör transporten energieffektivare och ger ett jämnare flöde samt undviker inläckage av luft om den är väl underhållen. Det är viktigt att hindra onödigt insug av luft till cellhjulsmataren, då detta leder till ökad energianvändning.

Vad gäller skruvtransportörer så har u-skruven lägre energibehov än rörskruven (se Tabell 1) eftersom själva skruven är lagrad i röråret, dvs. skruvens ytterkanter kommer ej i direkt kontakt med höljet såsom för rörskruven (Neuman, 2013a). Nackdelen med detta är att den ej töms helt. Flex-skruven är en centrumlös böjlig variant av rörskruven. Dess böjlighet underlättar anpassning till byggnaden. En rak centrumlös skruv har en energianvändning som en motsvarande skruv med centrumaxel. Många och skarpa böjar ökar friktionen och därmed energianvändningen och slitaget, och bör därför om möjligt undvikas. En kedjetransportör använder något mer energi än en centrumlös skruv men har den fördelen att den klarar lutning samt är flexibel. Bandtransportören är det transportslag som använder minst energi vid horisontell transport.

Elevatorer är bättre anpassade för vertikal spannmålstransport än skruvar (Neuman, 2013a). De är dock betydligt dyrare i inköp. En skopelevator behöver knappt 0,1 kWh per ton för 10 m vertikal transport, medan en kedjeelevator behöver något mer på grund av högre friktion, vanligen 0,15-0,2 kWh per ton för 10 m vertikal transport (se Tabell 1).

Tabell 1. Riktvärden för energibehov hos mekaniska transportörer vid ca 10 m transportsträcka (Neuman, 2013a).

Transportör	Energibehov, kWh/ton	Anmärkning
Rörskruv	0,2-0,3	Horisontell
Rörskruv	0,4-0,6	70 graders lutning
U-skruv	0,1-0,2	Endast horisontellt
Flex-skruv (centrumlös skruv)	0,4-1,0	Beroende på antal böjar och stigning
Elevator, skop-	< 0,1	10 m vertikalt
Elevator, kedje-	ca 0,2	10 m vertikalt
Kedjetransportör	0,15-0,2	Horisontellt och viss lutning
Bandtransportör	< 0,1	Endast horisontellt

Slitna lager ska bytas och kilremmar och remskivor måste ligga i rak linje för att minimera friktionsförluster i form av värme (Neuman, 2013a). Kilremmarnas kondition, dragning och spänning är viktig. Slitna remskivor, dåligt spända remmar och slitna remmar leder till sämre verkningsgrad och högre elanvändning.

Det finns två huvudtyper av kvarnar för malning av foder, hammarkvarnar och skivkvarnar. I hammarkvarnar sönderdelas materialet med hjälp av roterande slagor och ett såll (Neuman 2013a). Kvarnens slagor trycker de bildade partiklarna genom sållet samt ger fläktverkan så kvarnen kan suga till sig råvaran och blåsa iväg det malda fodret. Partikelfördelningen liksom till en del energibehovet styrs av sållets hålstorlek, slagornas

hastighet, råvarans fysikaliska egenskaper, råvarans vattenhalt, samt förslitning av såll och slagor. I skivkvarnar rivs och trycks materialet sönder mellan räfflade stålskivor. Graden av sönderdelning justeras genom att man ändrar avståndet mellan skivorna. Partikelfördelningen liksom en del av energibehovet styrs av trycket mellan skivorna, råvarans fysikaliska egenskaper, råvarans vattenhalt och förslitningen av skivorna. Skivkvarnen använder betydligt mindre energi än hammarkvarnen (se Tabell 2). Den ger dessutom en jämnare fördelning av partiklarnas storlek.

Energibehovet ökar vid malning till finare partikelstorlek. Om andelen partiklar under 1 mm ökar med 10 procentenheter så ökar energianvändningen med ca 2,4 kWh per ton spannmål (Neuman, 2013a). Malning till grövre partikelstorlek är dock något som man bör se upp med att tillämpa då foderutnyttjandet hos grisar blir sämre om fodret är för grovmalet, vilket kan leda till att mer foder krävs för att producera samma mängd kött. Ökad vattenhalt leder vanligen till ökad energianvändning vid malningen, elbehovet ökar med ca 2 kWh per ton för varje procentenhets högre vattenhalt. Det är även viktigt att kvarnarna är väl underhållna för att hålla nere energianvändningen. Elbehovet ökar om slagor, såll eller skivor är slitna. Om fuktig spannmål som lagrats lufttätt ska malas så ökar energianvändningen för malningen, men här är det viktigt att vara medveten om att vid varmluftstorkning till en procentenhet lägre vattenhalt så ökar energianvändningen med 18-19 kWh per ton spannmål, jämfört med att vid fuktigare spannmål ökar elenergianvändningen för malningen med ca 2 kWh per ton spannmål.

I krossar valsas kärnorna mellan två metallrullar som är fjäderbelastade på ett sådant sätt att rullarna trycks mot varandra (Neuman, 2013a). Fjäderbelastningen mellan rullarna liksom avståndet mellan dessa kan justeras beroende på vilka typer av kärnor och vid vilken vattenhalt som ska bearbetas. Krossning i ett steg mellan två valsar görs vanligen med spannmål, medan krossning i två steg då tre valsar används brukar göras med stora frön såsom ärtor och bönor. Elanvändningen ökar inte med stigande vattenhalt som sker för kvarnar, utan minskar snarare. Vid krossning är energianvändningen betydligt lägre än vid malning (se Tabell 2).

Tabell 2. Exempel på energibehov vid sönderdelning av spannmål (Neuman, 2013a).

Malsystem	Energibehov, kWh per ton
Skivkvarn	9
Hammarkvarn utan lufttransport	10
Hammarkvarn med sug	15
Hammarkvarn med sug/tryck	15-30
Kross	3-9

Energisparåtgärder vid malning av spannmål är (Neuman, 2013a; Energimyndigheten, 2018):

- underhåll kvarnen och byt ut de delar som slits i tid;
- malfinheten påverkar energianvändningen vid malningen, mal därför ej finare än nödvändigt;
- vattenhalten påverkar energianvändningen vid malning;

- använd skivkvarn istället för hammarkvarn, då skivkvarnen maler mer energieffektivt och är lättare att ställa in;
- använd mekaniska transportörer till hammarkvarnen då dessa använder mindre energi än de fläktbaserade;
- samt använd kross till nötkreatursfoder då krossning kräver betydligt mindre energi än malning samt att kross passar nötkreaturens matsmältning bättre än malt foder.

Till grisar förekommer foder både i torr och i flytande (blöt) form (Neuman, 2013a, 2013b). Blötutfodring har blivit allt vanligare på grund av att det från ett centralt beläget foderkök är lättare att få ut foder till olika avdelningar och byggnader. Man blir även mer flexibel om man kan använda flytande fodermedel som t.ex. vassle. Emellertid så använder blötutfodring mer energi än torrutfodring.

Vid blötutfodring är blandartank och foderpump viktiga delar (Neuman, 2013a). Mycket energi används till omrörningen i blandningstanken, nära hälften av energin som används till foderköket. Om fodret inte innehåller en stor andel mindre partiklar och om det är lättflytande så går både pumpar och omrörare lättare och drar mindre energi. En låg torrsbstanshalt har den nackdelen att grisarna får i sig mindre mängd foder. Men för bästa möjliga tillväxt vill man ha ut så mycket foderenergi per liter foder som möjligt. Detta medför att det får bli en avvägning av vad som är optimalt och oftast rekommenderas ett blandningsförhållande mellan foder och vatten på 1:3, vilket ger kortast blandningstid. Torrsbstanshalten i foderblandningen bör hamna i området 25-30 procent.

För att pumpa runt foderblandningen till avdelningarna och byggnaderna kan en centrifugalpump eller en skruppump användas (Neuman, 2013a). Centrifugalpumpen är energieffektivare än skruppumpen men mer känslig för höga mottryck och passar därför bäst till att pumpa lättflytande blandningar eller vatten. Skruppumpen som är en displacementpump klarar höga mottryck bättre, är inte så tryckkänslig och passar bättre om man har en trögflytande blandning. Vid höga mottryck är skruppumpen energieffektivare än centrifugalpumpen då flödet ej minskar särskilt mycket. Man bör vara noga med att välja rätt typ av pump till rätt plats beroende på vad som ska pumpas, hur trögflytande det är och hur långt det ska pumpas, för bästa energieffektivitet. Pumpen bör vara varvtalsstyrd genom frekvensomvandling för att minimera energianvändningen (Neuman, 2013a; Energimyndigheten, 2018; James, 2018; FCCT, 2023).

Ventilerna i blötutfodringsanläggningar öppnar och stänger med hjälp av gummimembran som vanligen aktiveras med tryckluft (Neuman, 2013a). Det är viktigt att hålla koll på läckage i dessa tryckluftssystem, då om systemtrycket är 7 bar, så ger varje hål med 1 mm diameter en förlusteffekt på 0,4 kW, vilket ger en årlig energiförlust på 730 kWh om tryckluften är i drift 5 timmar per dygn.

Vid foderberedning till torrutfodring bör satsblandare fyllas till hela volymen och blandningstiden bör hållas nere till minsta möjliga för att få en homogen produkt (Neuman, 2013a, 2013b). Torra och homogena komponenter minskar blandningstiden. Ökande

malfinhet leder till ökande elanvändning och minskande kapacitet. För blandning av torrfoder anges riktvärdet 2-3 kWh per ton foder. Fodret transporteras sedan ut med skruvar eller med vajer/kedja med medbringare i rör. Det är viktigt för att torrutfodringsanläggningen ska vara så energieffektiv som möjligt, att alla mekaniska delar går så lätt som möjligt så att kedjor och lager går lätt. Kedjor och drivhjul får inte vara slitna och kilremmar måste ha rätt spänning. Foderledningen bör inte fyllas till mer än 75 procent då högre fyllnadsgrad ökar friktionen och därmed energianvändningen.

Vad gäller vallfoder så lagras det idag vanligen i plansilor, i inplastade rundbalar eller i stora fyrkantbalar (Neuman, 2013a, 2013b). Mindre mängder lagras i tub eller i tornsilor. Energibehovet för intransport av vallfodret är en logistikfråga. Plansilor och balar bör så långt möjligt ligga nära ladugården eller foderköket, vilket minskar den dagliga körningen med traktorer och lastmaskiner. Plansilor ligger nästan alltid hemma på gården, medan ensilagebalar ofta lagras längre bort. Dagens kombinerade balpressar och inplastare gör att balarna vanligen hamnar på fälten där man skördar. Det mest rationella och energieffektivaste är att lasta balarna på en vagn och köra hem dessa som ett större lass. Det förekommer emellertid att lantbrukare åker ut till fältet för att bara hämta en eller två balar. Det förekommer många utfodringsystem för ensilage. Mycket energi används i de system där man använder sig av en traktordragen mixervagn beroende på traktorns dåliga verkningsgrad (25-30 %) jämfört med effektivare eldrivna systems verkningsgrad (85-90 %). Ett alternativ är att foderblandningen sker i en eldriven stationär mixer och sedan utfodringen med eldrivna bandfoderfordelare eller automatiska rälsgående vagnar. Flera andra eldrivna alternativ finns för utfodringen.

Energisparåtgärder vid utfodring av vallfoder är (Neuman, 2013a, 2013b; Energimyndigheten, 2018):

- planera logistiken för uttagning och intransport av ensilage så att onödig körning undviks och körsträckorna mellan lager, ex. plansilor, och foderkök eller ladugård blir så korta som möjligt;
- använd ett sparsamt körsätt dvs. jämnt varvtal och så hög växel som möjligt, ofta kan 10-15 procent bränsle sparas utan att kapaciteten försämras;
- om dieseldrivna maskiner används, använd elektrisk motorvärmare med tidur, som sparar både bränsle och minskar motorslitaget;
- samt ersätt traktorbaserad utfodring med elektriska maskiner där så är möjligt. Eldrivna maskiner har betydligt lägre energianvändning.
- Måste traktor ändå användas, använd gärna en traktor med växlingsbart kraftuttag som gör att motorn kan köras på lägre varvtal, samt undvik äldre och mindre bränsleeffektiva traktorer.

## 3.2. Precisionsstyrning i animalieproduktionen

Precisionsstyrning i animalieproduktionen innebär vanligen att man styr utfodringen av enskilda djur så att dessa får precis den mängd foder och med den näringssammansättning som det här djuret behöver för optimal tillväxt eller mjölkproduktion (Edman m.fl., 2022). Detta medför att det inte går åt mer foder än nödvändigt för produktionen av en viss mängd kött eller mjölk. Foder kan på så sätt sparas in. Då det krävs en stor mängd energi för att producera fodret, vid odlingen i fält och vid beredningen antingen på gården eller centralt i en foderfabrik, så innebär detta en energibesparing som dessutom leder till lägre utsläpp av växthusgaser.

Foderförlusterna vid foderbordet kan minskas genom en mer precis utfodring (Lantmännen, 2021; Bartkowiak, 2021; Edman m.fl., 2022). Det enskilda djurets foderintag kan mätas och utfodringen anpassas därefter.

Utfodringsteknik som mäter foderintag och bidrar till bättre precision och förbättrad matsmältning gör det enklare att ge rätt foderstat från början (Lantmännen, 2021).

Det finns flera sätt att upptäcka avvikelser som tyder på försämrad hälsa för enskilda djur (Bartkowiak, 2021). Hälsa hos mjölkkor kan detekteras genom visuella bilder, accelerometerdata från apparater monterade på kornas ben, tryckkänsliga dynor som registrerar hur korna fördelar sin vikt, och även från ljudet av deras steg eller förändringar i beteende, såsom t.ex. hur länge enskilda djur ligger ner och tuggar (idisslar). Digital bildteknik kan också användas för att upptäcka svansbitning hos grisar, eller hälsa hos slaktkycklingar på grund av onormala kroppsvängningar, frekvens och steglängd. Hos stora djur (kor, grisar) kan markörer, spårare eller mätanordningar placeras på eller inuti kroppen på varje djur för individuell övervakning, eller visuell kontroll av enskilda djur med kameror.

Andra exempel på precisionstekniker inom djurproduktionen är automatisk mjölkstyrning och virtuella stängsel (Lantmännen, 2021). Automatiska mjölkningssystem kan ge en effektiv och skonsam tömning av juvret, utan att mängden mjölk påverkas. Sensorer kan registrera djurens välmående, hälsa och om något djur blivit sjukt (Lantmännen, 2021; Bartkowiak, 2021; Edman m.fl., 2022). Förekomst av mastit, dvs. juverinflammation, kan registreras på ett tidigt stadium. Djurens rörelser och aktivitet kan registreras och avvikelser som bl.a. kan tyda på brunst, hälsa eller tid för idissling kan upptäckas. Även beteendeförändringar som beror på avvikelser/förändringar i mikroklimatet i stallet kan upptäckas. Allt kan tillsammans leda till ett underlättande av att optimera djurens avkastning.

Även virtuella stängsel, främst för naturbetesmarker, testas (Lantmännen, 2021). De minskar arbetsinsatsen och skapar flexibilitet, samt underlättar strategier för utökat bete.

Effekterna av ökad precisionsstyrning och digitalisering inom animalieproduktionen kan vara svår att kvantifiera (Lantmännen, 2021). Klart är dock att den ger ett stöd för en optimering av driften där man får ökad kontroll över de enskilda djurens prestationsförmåga, behov och hälsoläge. Man har hittat studier som har visat att traditionell utfodring ger ett spill på ca 10 procent som kan minskas till två till fyra procent



vid optimal utfodring av mjölkbesättningar. Sensorer och algoritmer som vid sammankoppling leder till tidig upptäckt av avvikelser med förbättrad djurhälsa som följd leder till fler laktationer och mer mjölk per ko, förkortad uppfödningstid och lägre andel rekryteringsdjur (Lantmännen, 2021; Edman m.fl., 2022). Digitaliseringen ger även en förbättrad teknik för att automatisera och effektivisera mjölkning och automatisk hullbedömning. Tillsammans gör detta att energianvändningen, kostnaderna och emissionerna av växthusgaser för att producera en viss mängd animalier minskar (Bartkowiak, 2021).

Den nya tekniken innebär dock ett ökat krav på kompetens hos lantbrukarna för att hantera den avancerade tekniken och omsätta denna till beslut, vilket leder till nya behov av rådgivning och utbildning (Lantmännen, 2021).

### 3.3. Mjölkning och mjölkkyllning

Energianvändningen vid mjölkning utgör nära 30 procent av den totala energianvändningen på mjölkgården (Jordbruksverket 2012). Andelen varierar lite beroende på om korna går i lösdrift eller är uppbundna. I energianvändningen vid mjölkningen ingår energi för mjölkning, mjölkkyllning och diskning. Den största skillnaden mellan systemen är att elanvändningen vid mjölkning blir högre för lösdrift med robotmjölkning än vad den blir för övrig lösdrift eller uppbundna kor. Detta främst beroende på att i system med robotmjölkning går vakuumpumpen nästan kontinuerligt. I övrigt är energianvändningen relativt likartad (Hörndahl, 2007, 2008; Jordbruksverket, 2012; Baky m.fl., 2010; Shine m.fl., 2022; Sims, 2022a). Förkyllning av mjölken, med vattnet från gårdens vattenkälla, till mjölkkyllaren är en åtgärd som Baky m.fl. (2010) framhäver som effektiv. Vattnet som används vid förkyllningen kan senare användas som dricksvatten för korna, eller till att förvärma vatten till en varmvattenberedare (Neuman, 2009; Jordbruksverket, 2012; Sanford, 2019; Shine m.fl., 2022; Sims, 2022a). Internationella studier av elanvändningen på mjölkgårdar i flera länder visar att mjölkkyllningen är den största elkonsumenten (31 %), följt av mjölkningen (29 %) och uppvärmning av vatten (19 %) (Shine m.fl., 2022; Sims, 2022a).

Viktigt att notera är att variationen i energianvändning är stor mellan gårdar, vilket tyder på att det finns en stor potential till energibesparing. Vissa gårdar har sämre rutiner och sämre teknik (Neuman, 2013a, 2013b). Energibesparingsåtgärderna kan delas in i olika nivåer beroende på hur lätta de är att genomföra och hur stor investering som erfordras. Den första nivån kostar ingenting utan handlar om rutiner och beteenden såsom inställning av utrustning, kalibrering, rengöring av t.ex. kondensorn regelbundet, planering av arbetet m.m. Den andra nivån kräver mindre investeringar såsom byte av viss utrustning och införskaffande av ny utrustning, t.ex. frekvensstyrning av vakuumpumpen, installation av förkyllning av mjölken, eller flytt av kylaggregatet till ett svalare utrymme. Den tredje nivån kräver större investeringar såsom byte av mjölkningssystem.

De energisparåtgärder som kan göras vid mjölkningen kan delas upp i vilka delar av mjölkningsanläggningen som de berör, såsom vakuumsystemet, mjölkkyllningen, värmeåtervinningen och diskningen (Neuman, 2013a, 2013b). Åtgärder inom robotmjölkning kan behandlas separat då de skiljer sig en del från de andra systemen.

### 3.3.1. Mjölkning

Det finns flera åtgärder som kan göras för energibesparing i vakuumsystemet (Hartman & Sims, 2006; Baky m.fl., 2010; Neuman, 2013a; Energimyndigheten, 2018; Hashemi m.fl., 2022; Shine m.fl., 2022; Sims, 2022a; FCCT, 2023). Med frekvensstyrning kan vakuumpumpens varvtal, kapacitet och därmed effektuttag anpassas efter behovet. Behovet av vakuum är lägre vid mjölkningen än vid diskningen. Ju mindre andel av den totala gångtiden som är diskning desto mer energi kan sparas med frekvensstyrning under mjölkningen. Frekvensstyrning av vakuumpumpen är särskilt viktigt i robotmjölkningssystem där vakuumpumpen går mer eller mindre kontinuerligt. Det lägre varvtalet vid frekvensreglering leder även till att vakuumpumpens livslängd ökar samt att slitaget minskar. I normalfallet bör besparingen med frekvensstyrning av vakuumpumpen vara 30-50 procent, medan upp till ca 70 procent kan sparas vid robotmjölkning. Det är viktigt att vakuumregulatorn rengörs med jämna mellanrum då felaktigt vakuum ger längre mjölkningstider och sämre urmjölkning. Det är viktigt att kontinuerligt kontrollera så att inte luftläckage förekommer i mjölkningsanläggningen, då detta leder till att vakuumpumpen får arbeta mer med ökad energianvändning som följd. Vakuumläckage kan avslöjas av luftbubblor i vattnet vid diskning. Luftläckage kan även leda till att mjölkfettet skadas med smakfel som följd. Vakuumpumpen avger värme och bör därför inte placeras i anslutning till kondensorn i mjölkkyllningen eller i mjölk tankrummet. Detta innebär i så fall att kylkompressorn får arbeta mer med åtföljande högre energianvändning. Värmeenergin från vakuumpumpen bör istället tas tillvara för att användas exempelvis till att värma personalrum eller förvärma varmvatten. Vakuumpumpar kan konstrueras enligt olika principer och scrollpumpar är både energieffektivare och tystare än andra konstruktioner. Används en mjölkpump för att pumpa mjölken genom en värmeväxlare för värmeåtervinning, så bör denna varvtalsregleras så att mjölkflödet genom värmeväxlaren blir mer kontinuerligt, och därmed värmeväxlaren fungerar effektivare och även elenergi till mjölkpumpen sparas.

### 3.3.2. Mjölkkylning

Även mjölkkylningen använder mycket elenergi och även där kan flera energisparåtgärder göras (Hartman & Sims, 2006; Neuman, 2013a; Energimyndigheten, 2018; Shine m.fl., 2022; Sims, 2022a; FCCT, 2023). Det är viktigt att kylaggregatet servas och justeras så att kompressorn arbetar optimalt, med rätt tryck, rätt vätskemängd och en bra funktion i övrigt. Felaktig inställning kan innebära längre gångtid för kompressorn innan mjölken blivit nedkyld med åtföljande högre elförbrukning. Det är viktigt att kondensorn hålls ren, då

smuts och damm hindrar värmen från att passera från köldmediet till omgivningen. Viktigt är även att ventilationen kring kondensorn är tillräcklig så att temperaturen hålls nere. Energianvändningen för kylningen ökar annars. Det är viktigt att tankrummet inte blir för varmt, då en varmare omgivning till tanken ökar energibehovet för att kyla mjölken. 10 graders temperatursänkning kring kondensorn sparar ca 20 procent av den energi som behövs för att kyla mjölken. Det är viktigt att kontinuerligt mäta elanvändningen och följa resultatet av insatta åtgärder. Det går även att mäta kylkompressorns gångtid för att få en uppfattning om effekten hos insatta energisparåtgärder. Kompressorns livslängd ökar då slitaget minskar när gångtiden minskar. Förkyls mjölken med kallvatten behöver kylkompressorn arbeta mindre och använder därmed mindre elenergi (Hartman & Sims, 2006; Karlsson m.fl., 2012; Neuman, 2013a; Sanford, 2019; Bartkowiak, 2021; Hashemi m.fl., 2022; Shine m.fl., 2022; Sims, 2022a). Uppvärmat kallvatten kan t.ex. ges till korna eller ledas till varmvattenberedare. En värmeväxlare kan kopplas in på mjölkledningen innan tanken och sedan kopplas in på ingående kallvatten till korna. Kylbehovet till mjölken reduceras, och därmed energibehovet. Energianvändningen vid kylning minskar med drygt 50 procent om man förkyler med vattnet från gårdens vattenkälla i en motströms plattvärmeväxlare (Baky m.fl., 2010). Mjölken kan kylas till en temperatur på 2-5 grader över det ingående kallvattnets temperatur (Neuman, 2013a). Om all mjölk förkyls med kallvatten kan runt 27 GWh el sparas nationellt (Neuman, 2009; Jordbruksverket, 2012; Sanford, 2019). Förkylningen medför även att mjölken kyls snabbare, vilket är en fördel för mjölk kvalitén (Neuman, 2013a). För mjölkens kvalitet är det viktigt att den har så låg temperatur som möjligt då den når tanken. Det förekommer även att mjölken till tanken förkyls med en förångare kopplad till kompressorn, men denna åtgärd leder inte till lägre energianvändning. Åtgärden har särskild betydelse ihop med mjölkkningsrobotar där man nästan hela tiden har ett flöde av varm mjölk. Varmare vatten till korna innebär lägre foderförbrukning och därmed sparas den energin in som skulle åtgått för att producera detta foder.

### 3.3.3. Värmeåtervinning vid mjölkkyllning och diskning

Det finns ytterligare åtgärder som kan göras för värmeåtervinning från mjölken (Neuman, 2013a; Energimyndigheten, 2018; Bartkowiak, 2021; FCCT, 2023). Värmeåtervinning från kylningen av mjölk tanken kan normalt ge 25-30 kWh per ton kyld mjölk. Energin från mjölken avges via kylaggregatets kondensorn och kan tas ut vid en högre temperatur än i den ovan nämnda förkylaren. När mjölken kyls till 4°C så är det 30-35 kWh som kyls bort per ton mjölk. Det finns en viss variation beroende på mjölkledningarnas längd och på om dessa är isolerade eller inte. Kylkompressorn använder normalt 12-25 kWh per ton mjölk. Scrollkompressorer är 15 till 20 procent effektivare än traditionella kolvkompressorer samt har färre rörliga delar och är bara något dyrare än kolvkompressorer (Sanford, 2019). Om man investerar i en ny mjölk tank eller byter ut en defekt kolvkompressor bör man se till att få en kompressor av scrolltyp. Tilläggsinvesteringen är en blygsam kostnad för effektivitetsförbättringen. Via kondensorn avges förutom värmemängden från mjölken

även den energi som tillförs systemet via kompressorn (Baky m.fl., 2010; Neuman, 2013a; Bartkowiak, 2021; FCCT, 2023). Ungefär en tredjedel av den till kompressorn tillförda energin försvinner som förluster i motor och kompressor, resten 7-15 kWh per ton mjölk avges vid kondensorn tillsammans med värmen från mjölken. Efter kompressorn transporteras 37-48 kWh per ton mjölk i systemet. Ungefär två tredjedelar av denna energi kan återvinnas. Värmeåtervinningen ger en temperatur på 40-55°C. Om vatten till diskning värms till 80°C, så är det ju en stor andel av denna uppvärmning av grundvattnet som kan göras med återvunnen värme. Till försköljning är 40-gradigt vatten tillräckligt och kan klaras nästan helt av värmeåtervinningen. Om mjölkvärme kan användas till att värma en bostad beror på bostadens värmebehov, kulvertens längd och hur mycket värme som finns tillgängligt dvs. hur mycket mjölk som ska kylas. Temperaturen som är tillgänglig, 40-50°C innan förluster, passar dock bäst för golvvärme. Annan värmekälla krävs som tillägg om högre temperatur önskas. Värmen kan även nyttjas för att värma personalutrymmen, utrymme för mjölkningsrobot eller gårdsverkstad m.m. Rör och värmeväxlare måste förses med isolering för att hålla nere värmeförlusterna.

Värme kan även återvinnas från diskvattnet (Hartman & Sims, 2006; Neuman, 2013a; Shine m.fl., 2022; Sims, 2022a). Mjölkleddningen och alla varmvattenrör bör isoleras för att hålla nere värmeförlusterna. Har man en termometer vid slutändan på returledningen så kan man hålla koll på temperaturen och om möjligt ha en lägre ingångstemperatur på vattnet vid diskningen och på så sätt spara energi. Temperaturen på diskvattnet får aldrig understiga 42-45°C, samt vid diskningen med kemikalier inte understiga 60-70°C under 8-10 minuter beroende på använt diskmedel. Om man värmer vattnet till disken med el, kan det förutom att förvärmas med mjölkvärme, även förvärmas med varmvatten från solfångare eller från en panncentral för att spara el.

### 3.3.4. Robotmjölkning

För system med robotmjölkning gäller lite speciella förutsättningar, då vakuumpumpen och belysningen ofta är igång hela eller nästan hela dygnet, samt att extra uppvärmning kan behövas (Neuman, 2013a). Energianvändningen är normalt större i system med robotmjölkning än i system med mjölkningsgrop (Hörndahl, 2007, 2008; Neuman, 2013a; Shine m. fl., 2022; Sims, 2022a). Frekvensstyrning av vakuumpumpen blir särskilt viktig vid långa driftstider där full kapacitet bara behövs en liten del av tiden. Besparingar på mer än 10 000 kWh per robot och år kan troligen vara möjliga i vissa fall (Neuman, 2013a). Förvärmning av vatten till varmvattenberedaren vid mjölkroboten är även viktigt här och besparingar på 5 000 kWh per robot och år är möjliga. Då många av robotens manövrer ofta drivs med pneumatik som kräver tryckluft kan energi sparas genom att tryckluftssystemet underhålls för undvikande av läckage. Hydraulisk drift av roboten och robotarmen är mindre energikrävande än pneumatisk. Då belysningen är på nästan dygnet runt är det viktigt att denna är så effektiv som möjligt och därför bör LED-belysning väljas om möjligt. Utrymmet där roboten står värms ofta upp för att minska risken för halkskador hos djuren, förbättra driftsäkerheten, förlänga utrustningens livslängd och undvika

frostskador. Detta gör att man ofta bygger in roboten i ett utrymme med väggar och tak. Köldridåer av plastremсор, som korna går igenom, kan användas för att hindra luftrörelser. Ofta används golvvärme vid mjölkkningsrobotar. Att energianvändningen vid mjölkkningsroboten varierar mycket mellan olika gårdar, enligt en dansk undersökning mellan 0,019 till 0,058 kWh per kg mjölk eller från 204 till 456 kWh per ko och år, tyder på att det i vissa fall kan finnas en betydande potential till energibesparing.

### 3.4. Gödselhantering

Utgödslingen står ofta för en ganska liten andel av energianvändningen inomgårds inom lanthuset, oftast mindre än 5 procent (Neuman, 2013a, 2013b). Undantag kan finnas på gårdar med värmekabel i gödselrännor och tvärkulvert, där utgödslingen av någon anledning har långa gångtider och där utgödslingen sker med dieseldrivna traktorer. Inom smågrisuppfödningen ligger energiandelen inomgårds för utgödslingen ofta kring 4 procent och för slaktsvinsstallar kring 2 procent.

Utgödslingen ska klara av att transportera gödseln från stallet till ett lager (Neuman, 2013a, 2013b). Kraven på utgödslingsanläggningar är hårda. De ska stå emot en fuktig och korrosiv miljö, klara en heterogen gödsel med främmande föremål, samt klara den svenska vintern. Dessutom ska de göra ett snabbt och bra arbete och fordra lite underhåll. Driftsavbrott är dyra, irriterande och försvårar arbetet i djurstallarna betydligt.

Gödselhanteringen inomgårds sker idag huvudsakligen med eldrift (Neuman, 2013a, 2013b; FCCT, 2023). Omrörare som kräver stor effekt drivs ofta med kraftuttaget från en jordbrukstraktor. Genom eldrivna omrörare och täckta behållare kan en besparing på 50-70 procent av energin vid omrörning uppnås (Jordbruksverket, 2012; Baky m.fl., 2010). Denna besparing är dock relativt liten eftersom energianvändningen vid gödselhanteringen på gården (exklusive de delar som handlar om transport och spridning av gödsel i fält) som tidigare nämnts, är en liten del av jordbrukets totala energianvändning (Baky m.fl., 2010). Av den anledningen har Jordbruksverket (2012) antagit att besparingen ryms inom antagandet om 15 procent allmän effektivisering.

Spridningen i fält sker nästan alltid med jordbrukstraktorer. Det förekommer även att eldriven spridning sker med bevattningsmaskiner eller annan bevattningsutrustning (här bör man observera risken för stora förluster genom ammoniakavdunstning).

Energibesparingarna inom gödselhanteringen kan delas upp i åtgärder i tre nivåer (Neuman, 2013a, 2013b; Energimyndigheten, 2018): den första nivån är inställningar, skötsel och underhåll såsom rengöring och planering m.m. som handlar om beteende och inte fordrar några investeringskostnader; den andra nivån handlar om ombyggnad och komplettering av utrustning och kräver inköp av eller utbyte av vissa komponenter och viss utrustning; och den tredje nivån innebär åtgärder som kräver större investeringar, såsom byte av system, samt behöver planeras väl.

Energibesparingar som ingår i kategorin inställningar, skötsel och underhåll är (Neuman, 2013a, 2013b; Energimyndigheten, 2018):

- låt gödselskraporna gå lagom länge dvs. tillräckligt länge för att erhålla en bra djurmiljö men inte längre;
- undvik tomkörning;
- underhåll utgödslingsanläggningen inklusive eventuella pumpar regelbundet;
- samt stäng av eventuella värmekablar då de inte behövs.

Energibesparingar som ingår i kategorin ombyggnad och komplettering är (Neuman, 2013a, 2013b; Energimyndigheten, 2018):

- automatisera driften av pumpar, skrapor och värmekablar;
- lindrift har som regel lägre energianvändning än hydrauldrivna skrapor och bör därför väljas i första hand. Lindrivna slädskrapor med lång slaglängd som går från ena änden av gödselrännan till den andra har även lägre energianvändning än klaffskrapor som har en kort slaglängd (Hörndahl, 2007, 2008; Hörndahl & Neuman, 2012). Rundgående kedja använder mer energi än klaffskrapor. Hydrauldrivna skrapor använder mest energi;
- samt byt till skärande pump där det finns problem med pumpbarhet och homogenitet.

Energibesparingar som ingår i kategorin val av system i nya stallar är (Neuman, 2013a, 2013b; Energimyndigheten, 2018):

- utforma nya stallar med så få och raka skrapgångar som möjligt för att minska ner på antalet motorer som behövs för utgödslingen;
- planera för självflyt i kulvertar om förutsättningar finns;
- planera för självflyt till gödselbehållaren om förutsättningar finns;
- anpassa rörens diameter till pumpens kapacitet, för kläna dimensioner innebär större energibehov;
- undvik traktorbaserade system för att skrapa rent gångar i stallar, då traktorernas dieselmotorer både är ineffektiva och oftast drivs med fossilt bränsle;
- samt välj flytgödselsystem hellre än fastgödselsystem då dessa är bättre med avseende på både direkt och indirekt energianvändning. Sämst för indirekt energianvändning är djupströbädden. Med indirekt energianvändning menas här produktion av handelsgödsel för att ersätta kvävet i den ammoniak som avdunstat.

Det är viktigt att gödselsystemet ej ger upphov till drag i stallet, drag som kan leda till försämrad djurkomfort och ökat värmebehov och därmed energibehov (Neuman, 2013a). Vidare ska gödselsystemet fungera vid kall väderlek med frost och minimera mängden gödselgaser som uppstår i stallet.

Hantering av flytgödsel kräver en mindre insats av energi, arbete och tid än vad fastgödselhantering gör (Neuman, 2013a, 2013b). Fastgödselsystem kräver oftast dubbla lagringssystem, en platta för gödseln och en behållare för urinen. Flytgödsellagring ger även en bättre kvävehushållning då ammoniakförlusterna normalt blir lägre. Det finns även en annan typ av utgödslingssystem med låg energianvändning, nämligen vakuumutgödsling. Denna variant passar i t.ex. slaktsvinsstallar eller tillväxtstallar, där endast små mängder strö används och gödseln är lättflytande. Det finns inga rörliga delar som kräver underhåll eller energi. Under spalten lagras gödseln i rännorna för att sedan tömmas genom att man öppnar luckor till de rör som ligger under rännorna. Gödseln rinner sedan via ett vattenlås till en pumpbrunn. Utgödslingen som endast tar ett par minuter för varje tömningspropp sker med högst 2 veckors intervall.

De pumpar som används till att pumpa gödseln från en pumpbrunn till lagerbehållaren är ofta centrifugalpumpar med elmotorer (Neuman, 2013a). De är generellt de effektivaste pumparna för ändamålet. De behöver ofta ha en skärande funktion, vilket sänker energibehovet för pumpningen av gödseln.

Omrörare kan finnas i både pumpbrunnen och lagerbehållaren (Neuman, 2013a). Omrörarens uppgift är att röra om och homogenisera gödseln innan överpumpning till lagerbehållaren. Den bör inte köras mer än vad som behövs för att säkerställa överpumpningen. Har man traktordriven pump och/eller omrörare i pumpbrunnen bör ett utbyte av den/dessa övervägas då en elpump har mycket högre verkningsgrad än en som drivs av en traktor med fossil dieselolja som bränsle.

Det förekommer att gödsel pumpas med elektriska pumpar ut till fält för spridning, men det är inte så vanligt (Neuman, 2013a; Energimyndigheten, 2018). Spridningen sker vanligen på konventionellt sätt med jordbrukstraktorer. Energianvändningen för transportarbetet mellan stall och fält blir betydligt lägre då elektriska pumpar används för transporten.

Det finns exempel där man har en slang ingjuten i gödselkølverten där man kan ta tillvara gödselvärmén till en värmepump (Neuman, 2013a). När man på detta sätt kyler gödseln så minskar ammoniakavdunstningen. Det ger fördelar för både kvävehushållningen och stallmiljön.

Utgödsling av djupströbäddar, som bl.a. förekommer i ligghallar vid uppfödning av köttdjur, grisar vid ekologisk produktion och andra djur som ofta går ute året om, görs idag nästan enbart med dieseldrivna traktorer (Neuman, 2013b) eller lastmaskiner. Här finns en möjlighet att spara energi och utsläpp av växthusgaser vid övergång till eldrivna lastmaskiner eller traktorer. Så mycket som 75 procent av energin skulle kunna vara möjligt att spara (Pettersson m.fl., 2016). Emellertid så gödslas djupströbäddar ut sällan, kanske bara en gång per år.

## 4. Byggnader

I byggnader för inhysning av djur behövs mycket energi för ventilation och belysning beroende på typ av stallar och djurslag. För vissa djurslag, främst smågrisar och kycklingar, behövs även uppvärmning. Då mycket energi behövs är potentialen till besparing stor.

### 4.1. Uppvärmning

Inom jordbruket finns det ett behov av uppvärmning främst vid produktion av smågrisar och kycklingar. Även verkstäder och personalutrymmen har uppvärmningsbehov. Djurstallar har ofta ett värmeöverskott som måste ventileras bort och denna värme kan återvinnas med hjälp av värmepumpar. Även mjölkkyllning i kostallar leder till värmeöverskott som kan återvinnas (se Kapitel 3.3.3. Värmeåtervinning vid mjölkkyllning och diskning).

I en byggnad som värms upp sker värmeförluster till omgivningen genom ventilation, ledningsförluster (transmissionsförluster) genom väggar, golv, tak, fönster och dörrar, samt avloppsvatten, läckage vid främst dörrar och fönster, värmestrålning m.m. (Neuman, 2013a; FCCT, 2023). Finns det en panna i huset sker även värmeförluster med rökgaserna. Värme tillförs från uppvärmningen (kan ske med t.ex. fastbränsle, värmepump, el, fjärrvärme, solfångare), djur, personer, belysning, elektrisk utrustning m.m. Bättre isolering i väggar, tak och golv samt dörrar och fönster som håller kvar värmen bättre bidrar till minskade transmissionsförluster. Tätning av läckage samt styrd och optimerad ventilation bidrar till lägre ventilationsförluster. Isoleringen i byggnader bör kapslas in på ett sådant sätt att den skyddas från skador från insekter, fåglar och gnagare (James, 2018; Pedersen & Hellevang, 2019; Bartkowiak, 2021; Liang, 2022; Sims, 2022a). Den får inte sjunka ihop och måste behålla sin form över tiden. Isoleringen bör även vara motståndskraftig mot svampangrepp, mögel, bakteriell nedbrytning och förruttelse samt de gaser som finns i stallmiljön (Bartkowiak, 2021; Liang, 2022; Sims, 2022a). Den bör dessutom inte absorbera fukt. Isoleringsmaterialet bör ha en så låg värmeledningskoefficient som möjligt dvs. ha bra värmeisolerande egenskaper. I alla byggnader som har centralvärme eller luftkonditionering bör, då dessa används, alla fönster och dörrar vara stängda för undvikande av onödiga värmeförluster (FCCT, 2023). De termostater som styr värmesystemet bör placeras där påverkan från fönster och dörrar inte förekommer, samt att det är fritt från drag.



Vad gäller uppvärmning finns besparingar att göra (Jordbruksverket, 2012) genom t.ex. installation av värmepumpar och golvvärme i grisstallar (gäller främst produktion av smågrisar).

#### 4.1.1. Djurstallar

I djurstallar är det idag vanligt att uppvärmningen sker med värmepump eller fastbränslepanna (Neuman, 2013a, 2013b; Pedersen & Hellevang, 2019; Bartkowiak, 2021). Värmepumparna utviner värme från gödsel, mark eller berg via vätska som cirkulerar i en kollektorslang som ligger nedgjuten i gödselkylverten, alternativt nergrävd i marken eller i ett borrhål i berg. Om kollektorslangen ligger ingjuten i gödselkylverten kyls gödseln vilket minskar avgången av växthusgasen metan samt ammoniak från denna.

Om det finns uppvärmningsbehov i andra byggnader, såsom bostäder, tork, verkstad eller andra stallar i närheten kan med fördel en fastbränslepanna väljas för uppvärmningen. Till detta bör en så effektiv panna som möjligt väljas till det bränsle man har. En effektiv panna ska ha en verkningsgrad som överstiger 90 procent (Pedersen & Hellevang, 2019). Till torkar anger Hörndahl (2007, 2008) pannverkningsgraden från 80 procent för en ny värmepanna till 60 procent om den är mycket sotig. Skorstensfejarmästarna (2022) skriver att moderna vedpannor har cirka 90 procent verkningsgrad, medan äldre vedpannor utan keramisk brännkammare ligger på 60-65 procent. Skillnaderna är alltså stora vilket indikerar att här finns en stor potential till energibesparing. För att förbränningen i pannan ska bli så effektiv som möjligt krävs normalt att denna kopplas ihop med en ackumulatortank (Neuman, 2013a). Eldningen i pannan kan då ske med en hög effekt som ger en betydligt högre verkningsgrad än vid eldning på låglast. En väl fungerande temperaturstyrning av värmesystemet, välisolerade kulvertsystem och effektiva varvtalsreglerade cirkulationspumpar är viktiga för att hålla nere förlusterna och göra distributionen av värmen så energieffektiv som möjligt (Neuman, 2013b).

Ackumulatortankar installeras vanligen tillsammans med fastbränslepannor, oftast ved- eller halmeldade, för att pannan ska kunna eldas med hög effekt och då ha en högre verkningsgrad. Ackumulatortankar installeras även i solvärmesystem för att möjliggöra att värme sparas till dygnets mörka timmar eller till dagar med lägre solinstrålning. Ofta kombineras solvärmesystemen med en fastbränslepanna som då inte behöver användas så mycket under sommarhalvåret. Ackumulatortankar kan även användas tillsammans med värmepumpar eller elvärme för att kunna utnyttja elen då den är som billigast och spara värmen till perioder med dyr el. Det är viktigt att ackumulatortankarna är välisolerade för att minska värmeförlusterna från dessa. Några exempel (Neuman, 2013a): En cylindrisk tank på 2 m<sup>3</sup> som har 10 cm isolering förlorar ca 4-5 kWh per dygn. Om man tilläggsisolerar denna tank med ytterligare 20 cm minskar förlusterna till 1-1,5 kWh per dygn. På 9 månader sparas då 800-900 kWh. En större cylindrisk tank på 20 m<sup>3</sup> som är försedd med 20 cm isolering förlorar ca 10-15 kWh per dygn. Om man tilläggsisolerar denna tank med ytterligare 20 cm minskar förlusterna till 6-8 kWh per dygn. På 9 månader sparas då 1400-1500 kWh.

Betydande energibesparingar kan uppnås genom zonklimatkontroll (Pedersen & Hellevang, 2019; FCCT, 2023). Dessa besparingar kommer från att man endast värmer eller ventilerar de rum eller områden i byggnaderna som används eller behöver mer av klimatkontroll/klimatstyrning.

I djurstallar är luftomsättningen mycket större än i bostadshus, vilket innebär att värmeförlusterna genom ventilationen får en mycket större andel av de totala värmeförlusterna jämfört med bostadshus (Neuman, 2013a). Värmeförlusterna genom byggnadsskalet blir därför små i förhållande till ventilationsförlusterna. Stallet måste dock vara så välisolerat att kondens på väggar och i tak undviks. Bättre isolering leder till ett lägre energibehov även i stallar (Neuman, 2013a; James, 2018). Detta gäller väggar, tak, fönster och dörrar. Värmeförlusterna vintertid genom ventilationen kan i ett djurstall vara 50-75 procent jämfört med från en villa ca 15 procent.

I isolerade stallar går det åt mer foder för att djuren ska hålla sig varma (Pelletier m.fl., 2010; Neuman, 2013a, 2013b). Till att producera detta foder åtgår både direkt och indirekt energi. Per varje 5 grader under +15°C måste mängden foder till sissuggor öka med 1 MJ per dag. Liknande gäller till andra djurslag. Till spädgrisar rekommenderas en temperatur 32-33°C och till nyavvanda tillväxtgrisar och yngre slaktsvin rekommenderas en temperatur på 22-24°C, vilket gör att uppvärmning kan krävas.

#### 4.1.2. Smågrisar

Då nyfödda smågrisar behöver en temperatur på 32-33°C krävs tillskottsvärme, vanligen från värmelampa, värmerör, värmetak eller annan infravärme (Neuman, 2013a, 2013b; Pedersen & Hellevang, 2019; Bartkowiak, 2021; Johnston & Hammers, 2022; Sims, 2022a). Man strör även ofta rikligt med halm för att hålla kvar värmen hos grisarna. Tidigare och även fortfarande i äldre stallar är det vanligt att smågrishörnan är öppen med värmelampa och/eller golvvärme där värmen till smågrisarna regleras genom att man ökar eller minskar avståndet mellan grisarna och lampan eller tidvis stänger av denna. Detta är inte särskilt energieffektivt. Till viss del kan detta lösas med en sparknapp eller sladdimmer som t.ex. reducerar lampans effekt från 150 W till 75 W. Lampan kan då sättas i sparläge efter smågrisarnas första, mera känsliga, dagar. Om en 150 W lampa under halva tiden får effekten reducerad till 75 W kan ungefär 25 kWh per kull sparas.

Ett alternativ till värmelampor är infravärmare, som håller längre än värmelamporna, är inte nämnvärt mer energieffektiva och kan regleras på liknande sätt som värmelamporna (Neuman, 2013a, 2013b; Pedersen & Hellevang, 2019; Bartkowiak, 2021; Johnston & Hammers, 2022; Sims, 2022a). Möjligheten till energieffektivisering ligger här i att ha en avancerad styrning och automatik.

Golvvärme är även vanligt. Idag byggs de flesta nya stallar med golvvärme (Neuman, 2013a, 2013b; Pedersen & Hellevang, 2019). Man har ofta dubbla slingor i grisionsavdelningen, en slinga där suggan ligger och en annan slinga i smågrishörnan där smågrisarna ligger. Dubbla slingor med egna shuntar och egen styrning möjliggör att man kan få ett varmare golv till smågrisarna och ett svalare golv till suggan. Uppvärmda

krypdyner till smågrisarna kan vara ett alternativ i äldre stallar och där golvvärme inte kan installeras så lätt. Man får ett klimat avpassat till suggan och ett annat till smågrisarna, och värmeenergi kan på så sätt sparas.

Användningen av värmelampor till smågrisarna skiljer rätt mycket mellan olika gårdar, men då de ofta står för en tredjedel eller mer av energianvändningen finns här en del att göra för energibesparing (Neuman, 2013a, 2013b; Johnston & Hammers, 2022; Sims, 2022a). Ofta används värmelampor på 100-250 W, som ger värmestrålning över smågrisarna i upp till 5 veckor. Lampan tänds vanligen så långt före grisningen så att det är varmt i smågrishörnan när grisningen sker. Valet av lampa är betydelsefullt, 250 W bör undvikas. Risken är att den ger för stark värme för grisarna, och om man löser det genom att höja lampan så blir det inte energieffektivt utan istället en källa till energiförluster. Ofta används 150 W lampor. Det finns på marknaden en typ av lampor (med beteckning PAR - Parabolic Aluminized Reflector) som ger mer värme i förhållande till märkeffekten då dessas inbyggda reflektorer riktar mer av värmestrålningen åt rätt håll. Tillverkaren av dessa anger att 90 procent av den tillförda elenergin blir till värme på den bestrålade ytan. Det finns studier som pekar på att värmespridningen kan vara ganska ojämn så här finns mer att göra. Ett sätt att energieffektivisera kan vara att använda 100 W PAR-lampor istället för 150 W. Värmelamporna värmer inte bara lokalt utan bidrar även till hela avdelningens uppvärmning.

En effektiviseringsåtgärd är att med en konstruktion med tre väggar och tak samt eventuellt med en gardin skapa ett avgränsat krypin för smågrisarna som värms med golvvärme eller en mindre värmelampa eller infravärmare (Baky m.fl., 2010; Neuman, 2013a, 2013b; James, 2018; Bartkowiak, 2021; Johnston & Hammers, 2022; Sims, 2022a). Förutom att spara energi och förbättra smågriskomforten så medverkar dessa krypin till att minska lampornas värmeeffekt på suggan samt värmeförluster till rummet. Svalare suggor har högre foderintag och det hjälper till med mjölkproduktionen.

Energianvändningen till smågrisarna bör kunna optimeras med automatisk styrning som ser till att det inte blir för kallt eller varmt (Neuman, 2013a, 2013b). Sådan utrustning finns på marknaden och består av ett tak med värmelampa och elektronik med IR-sensor, som känner av temperaturen och en dimmer som reglerar värmelampans effekt. Värmestrålare kan även användas för att värma större ytor. De värmer djuren och föremålen i byggnaden utan att direkt värma luften, vilket minskar uppvärmningsbehovet, jämfört med att hela stallet värms upp.

### 4.1.3. Slaktsvin

Slaktsvin föredrar lägre temperatur på natten än på dagen (Johnston & Hammers, 2022; Sims, 2022a). Man kan därför i stallar som värms, sänka temperaturen med 6-8 grader nattetid och därmed spara energi. Grisarna äter mer och går upp snabbare i vikt. I vissa studier rapporteras inga hälsoeffekter, men i andra en något högre frekvens av diarré hos grisarna. Förfarandet kan dock vara svårt att tillämpa då det under större delen av året ofta råder värmeöverskott i slaktsvinsstallar.

#### 4.1.4. Slaktkycklingar

Vid uppfödning av slaktkycklingar så behöver kycklingen mycket tillskottsvarme i början av uppfödningensperioden för att klara av att hålla rätt kroppstemperatur (Helgstrand & Weijber, 2010; Pedersen & Hellevang, 2019; FCCT, 2023). I takt med att kycklingen växer, producerar den mer och mer "egen" värme. I ett stall bör man ha en temperatur på cirka +33°C vid insättning av kycklingar och sedan successivt sänka temperaturen ner till cirka +18°C då de ska slaktas. Detta gör att värme tidvis behöver tillföras. Under uppfödningstiden sänks temperaturen i kycklingstallet med 2 grader i veckan, och detta måste kunna göras oberoende av utomhustemperaturen. I kycklingstallar används ofta aerotemperar för uppvärmning medan överskottsvarmen ventileras bort. I kycklingstallar krävs även många fläktar för ventilationen och det är därför viktigt att dessa är så energieffektiva som möjligt (se Kapitel 4.2. Ventilation). I slaktkycklingstallar går ofta större delen av energibehovet till uppvärmning och kan vara 85-90 procent av den tillförda energin (Baky m.fl., 2010; Neuman, 2013b). Här är det viktigt med ett effektivt och väl fungerande och genomtänkt värmesystem för att minimera värmebehovet. I kyckling- och värphönsstallar, där djuren går på golvet, borde golvvärme precis som till smågrisar vara ett alternativ för att få en energieffektiv uppvärmning. Även värmestrålare borde i vissa fall kunna vara ett alternativ i dessa typer av stallar.

#### 4.1.5. Nötboskap

Nötboskap för kött- och mjölkproduktion behöver normalt ingen tillsatsvärme i stallarna. Kalvar för kött- eller mjölkproduktion behöver vanligen inte tillskottsvarme om de inte föds vid väldigt kall och fuktig väderlek (Pedersen & Hellevang, 2019). En "hot box" eller ett litet rum eller en tillsluten kalvbox med värmestrålning kan vara användbart för detta ändamål. Utrymmen för mjölkkningsrobotar kan behöva värmas (Neuman, 2013a).

#### 4.1.6. Varmvatten

Inom lantbruket används varmvatten till, t.ex. för rengöring/disk av mjölkkningsutrustning, mjölkkrörledningar m.m. inom mjölkproduktionen (se även Kapitel 3.3. Mjölkning och mjölkkyllning), rengöring av stallar, rengöring av maskiner, tvätt m.m. (Beard, 2019). Det finns därför besparingar att göra här. Alla rör som transporterar varmvatten bör vara väl isolerade liksom alla varmvattenberedare (James, 2018; Beard, 2019). Läckage av vatten bör tätas så snart det upptäcks. Anläggningarna bör inspekteras och regelbundet underhållas. Förbrukningen av varmvatten bör hållas nere genom installation av effektiva munstycken som gör jobbet med en lägre vattenförbrukning. Vid nyinstallation av varmvattenberedare är det viktigt att välja en som är välisolerad och har så små värmeförluster som möjligt i stand-by läge. Placeras varmvattenberedaren i ett uppvärmt utrymme kommer värmeförlusterna från denna utrymme till godo som uppvärmning, och då kan denna uppvärmningsenergi sparas in.

### 4.1.7. Vattenkoppar/vattentråg

Vattenkoppar/vattentråg i ouppvärmade stallar, kalla lösdrifter samt utomhus behöver värmas vid temperaturer under 0°C (Johnson & Pederson, 2019). Det finns olika typer av eluppvärmda vattenkoppar/vattentråg av olika slag. +0-2°C räcker för att förhindra frysning. Viktigt är att termostaterna ses över och ställs in så vattnet till djuren inte värms mer än nödvändigt och att funktionen hos värmarna säkras. För att undvika att värmaren slås på då djur dricker måste termostaten vara inställd på en temperatur under den i området aktuella grundvattentemperaturen. Vattenläckage måste undvikas då detta leder till högre energianvändning förutom förluster av vatten. Ventiler, kopplingar och ledningar måste kontinuerligt ses över. Vattenkopparna/vattentrågen kan isoleras för att minska energianvändningen för värmningen. De kan även placeras delvis nedgrävda i marken för att minska värmeavgången. Det finns även vattenkoppar/vattentråg som klarar frost utan tillförsel av värme via el. För undvikande av frysning kan dessa vattenkoppar/vattentråg vara försedda med kulor som täcker vattenytan, lock eller små öppningar för att minska värmeförlusterna. De behöver ingen extra energi men kräver ett minimum av djur som kontinuerligt dricker från vattenkopparna/vattentrågen som annars fryser. De kan även placeras i direkt kontakt med marken eller delvis nedgrävda för att förhindra att vattnet fryser. Nackdelen är att de inte klarar sträng kyla. Delvis nergrävda vattenkoppar/vattentråg kan klara mer frost om markytan runt omkring isoleras. Vattenkopparnas/vattentrågens tålighet mot frysning ökar om de skyddas från vindpåverkan. För eluppvärmda sådana kan elförbrukningen på så sätt minskas.

## 4.2. Ventilation

Djurstallar behöver ventileras för att undvika att temperaturen blir för hög, och dessutom får luftfuktigheten och koldioxidhalten inte bli för hög, liksom halten av gödselgaser. Ventilation ger också luftcirkulation som främjar kylning och förbättrar luftkvaliteten för instängda djur. Vinsterna från djurhållningen kan minska avsevärt om ventilationen inte är korrekt utformad (James, 2018; Grubinger & Sanford, 2019; Tabler, 2022; Liang, 2022; Sims, 2022a).

Ventilationen av djurstallar är en av de stora elförbrukarna inom lantbruket (Baky m.fl., 2010). Här finns stora besparingar att göra genom optimering av ventilationen samt om man kan gå över till självdragsventilation. Till växande grisar är det ventilationen som använder störst andel, ofta 40-50 procent, av den tillförda energin (Neuman, 2013b), motsvarande 9-12 kWh per slaktfärdig gris. Med de här grisarnas behov av stallklimat är det inte möjligt att ordna ventilationen på annat sätt än med fläktar. System med djupströbbad som används i ekologisk produktion kan dock vara undantagna. Inom ägg- och slaktkycklingproduktion är mekanisk ventilation enda alternativet och står vanligen för mer än 50 procent av elanvändningen. Besparing av upp till hälften av elanvändningen är

möjlig i äldre stallar vid övergång till frekvensstyrda fläktmotorer och effektivare fläkthjul (Hörndahl, 2007, 2008; Hörndahl & Neuman, 2012; Neuman, 2013b).

Viktiga begrepp inom ventilation av djurstallar är (Neuman, 2013a):

- Minimiventilation som är det minsta luftflöde som krävs, under kalla dagar, i ett stall för att inte tillåtna värden på relativ luftfuktighet (80 procent) och koldioxidhalt ska överskridas.
- Maximiventilation är det ventilationsluftflöde som krävs under varma dagar för att begränsa temperaturhöjningen i stallet till 4°C då det är 21°C utomhus.
- Olika djurslag har olika krav på minimiventilation och maximiventilation.

Det finns några olika huvudtyper av ventilation som fungerar på olika sätt som används i djurstallar: naturlig ventilation, neutraltrycksventilation och undertrycksventilation (Hörndahl, 2007, 2008; Hörndahl & Neuman, 2012; Neuman, 2013a; Pedersen & Hellevang, 2019; Grubinger & Sanford, 2019; Bartkowiak, 2021; Tabler, 2022; Sims, 2022a). Ett samlingsbegrepp för neutraltrycksventilation och undertrycksventilation är mekanisk ventilation. Vid naturlig ventilation eller självdragsventilation drivs ventilationen av vinddrag eller av skorstenseffekten dvs. temperaturskillnader mellan insidan och utsidan av byggnaden. Vid neutraltrycksventilation används fläktar till både tilluften och frånluften. Vid undertrycksventilation eller frånluftsventilation används fläktar för att skapa ett undertryck så att luft förs in via luftintagen.

Vid undertrycksventilation och neutraltrycksventilation skapas luftrörelserna av fläktar, termostater och luftintag (Hörndahl, 2007, 2008; Hörndahl & Neuman, 2012; Neuman, 2013a; Pedersen & Hellevang, 2019; Grubinger & Sanford, 2019; Bartkowiak, 2021; Tabler, 2022; Sims, 2022a). De används där lufttemperaturen och rörelsen måste kontrolleras, till exempel i stallar för djur som är känsliga för kyla, plötsliga temperaturförändringar och dragiga förhållanden. Undertrycks- och neutraltrycksventilation är vanliga i grisnings- och smågrisstall, kycklingstall, värphönsstall, lammingsstall, varma ladugårdar för mjölk kreatur, kalvstallar och mjölkningsgropar. Vid undertrycksventilation används fläktar för att suga ut luft ur byggnaden, medan frisk luft då dras in genom inloppen på annan plats i byggnaden. Vid neutraltrycksventilation används även fläktar till att blåsa in luft i byggnaden. Den största fördelen med mekanisk ventilation, dvs. undertrycks- och neutraltrycksventilation, är att den ger bättre kontroll över temperatur och luftflöde inom anläggningen – även under dagar då det inte blåser. Nackdelarna med mekanisk ventilation är en större investeringskostnad och driftskostnad samt förlust av djurvärme på vintern, om återvinning av värme ej finns i frånluften, vilket gör att ett uppvärmningssystem kan krävas för att önskad temperatur ska uppnås i stallarna.

Låga lufthastigheter i luftkanalerna och låga varvtal på fläktarna leder till lägre energianvändning (Bartkowiak, 2021; Tabler, 2022; Liang, 2022; Sims, 2022a).

Fläktarna och fläktmotorerna bör ha så hög verkningsgrad som möjligt (Neuman, 2013a; James, 2018; Pedersen & Hellevang, 2019; Bartkowiak, 2021; Tabler, 2022; Liang, 2022; Sims, 2022a). Fläkthjul av axialtyp har i sitt bästa arbetsområde vanligen verkningsgrader på 50-75 procent, enfas asynkronmotorer på 60-70 procent och trefas asynkronmotorer på 65-75 procent. Detta innebär att en enfas asynkronmotor tillsammans med sin fläkt kan ha verkningsgrader på 30-53 procent under dessa förhållanden, vilket innebär att rätt val av fläkt och motor är viktigt för energianvändningen. Fläktar med diffusor eller utloppskonor är 12 till 26 procent effektivare än fläktar utan dem (Pedersen & Hellevang, 2019; Tabler, 2022; Sims, 2022a; FCCT, 2023).

Åtgärder som kan minska energiåtgången från ventilationen i djurstallar kan delas in i tre huvudkategorier (Neuman, 2013a, 2013b): Inställningar, skötsel och underhåll; Ombyggnad och komplettering; samt Val av system i nya stallar.

Åtgärder inom kategorin inställningar, skötsel och underhåll är t.ex. (Baky m.fl., 2010; Neuman, 2013a, 2013b; Energimyndigheten, 2018; James, 2018; Pedersen & Hellevang, 2019; Tabler, 2022; Liang, 2022; Sims, 2022a; FCCT, 2023):

- regelbunden rengöring av fläktar, don och kanaler för att minska strömningsförluster;
- kontroll av spjäll och luftintag så dessa rör sig på avsett sätt och kan öppnas helt, detta för undvikande av onödiga strömningsförluster;
- rörliga don såsom spjäll, luckor och jalousier bör smörjas med torra smörjmedel såsom grafit som ej drar till sig smuts;
- regelbunden kontroll och rengöring av jalousier och luckor då smutsiga jalousier och luckor som inte öppnas helt kan minska luftflödet med upp till 40 procent;
- förekommer remmar som överför kraften till fläktarna, är det viktigt att dessa är korrekt spända för undvikande av slirning, detta då slirande remmar lätt kan leda till att luftflödet minskar med upp till 30 procent, och därför rekommenderas att självspännande anordningar till remmarna installeras;
- kontroll av styrning och givare är viktigt så att dessa fungerar på rätt sätt för att ett bra stallklimat ska uppnås och energikrävande fläktning ej ska ske i onödan;
- undvik oönskat drag, särskilt vid dörrar och fönster, täta vid behov;
- punktera inte undertrycksventilationen för att säkra en jämn lufttillförsel och ett lagom undertryck som gör att avsett luftflöde finns i alla luftintag, dvs. håll dörrar, foderintag och andra öppningar som inte ingår i ventilationssystemet stängda.

Åtgärder inom kategorin ombyggnad och komplettering är (Neuman, 2013a, 2013b; Energimyndigheten, 2018; Pedersen & Hellevang, 2019; Bartkowiak, 2021; Tabler, 2022; Sims, 2022a; FCCT, 2023):

- samreglera ventilation och värme då det t.ex. i stallar när tilläggsvärme används är viktigt att den samregleras med ventilationen så att värmen bara är på när ventilationen går på minimiventilation, för undvikande av onödiga värmeförluster;
- med fuktsensor kan värmen istället kopplas in när det blir för fuktigt i stallet;
- förbättra systemet för kapacitetsreglering genom att ta bort alla spjäll och strypningar och istället varvtalsreglera fläktarna genom frekvensreglering eller med reglercentral smartstyra fläktarna;
- om spjäll ändå måste användas, använd sådana med så lågt luftmotstånd som möjligt, t.ex. av fjärlstyp;
- bygg om alla befintliga ventilationskanaler med syfte att dessa ska bli mer strömlinjeformade genom att strömningsförluster i vassa inlopp, skarpa hörn och strömningshinder byggs bort;
- byt ut fläktar då äldre fläktar ofta drar mer energi och är ofta högvarvigare än modernare mer energieffektiva fläktar.

Vidare bör luftintagens storlek vara lika med eller större än vad som krävs för fläktkapaciteten, annars kommer fläktarna att arbeta vid ett högre statiskt tryck än nödvändigt och använda mer energi än nödvändigt för ventilationen (Pedersen & Hellevang, 2019).

Det är viktigt att dimensionera fläktarna korrekt för byggnadsventilation (Pedersen & Hellevang, 2019). Fläktar som är större än nödvändigt slösar energi och ger en alltför kall luftinblåsning under vintern, medan underdimensionerade fläktar inte kommer att byta ut luften i byggnaden tillräckligt snabbt.

Fläktar med stor diameter är effektivare än fläktar med mindre diameter (Pedersen & Hellevang, 2019; Tabler, 2022; Sims, 2022a; FCCT, 2023). Detta beror på att den luftmängd en fläkt transporterar är direkt proportionell mot dess varvtal, medan energianvändningen ökar med 30 procent då fläktens varvtal ökar 10 procent, dvs. ökar exponentiellt med varvtalet. En metod för att kombinera energieffektiviteten hos en stor fläkt med användbarheten hos flera små fläktar är att installera en variabel hastighetsregulator på en stor fläkt tillsammans med en temperatursensor. Fläkthastigheten kan ändras vid förinställda temperaturpunkter för att minska överventilation samtidigt som temperaturen bibehålls. Fläkten kommer att fungera som en bank av små fläktar; när temperaturen ökar kommer fläkthastigheten att öka. När fläkten går med lägre hastighet minskar energianvändningen med kuban av procentandelen av full lufthastighet. Till exempel: en fläkt som går på halvfart (0,5) kommer att flytta halva luftflödet som den skulle göra vid full hastighet, men använder bara cirka 15 procent av den energi som krävs om fläkten kördes med full hastighet (0,5 x 0,5 x 0,5).



Åtgärder inom kategorin val av system i nya stallar är (Neuman, 2013a, 2013b; Energimyndigheten, 2018):

- försök så långt det är möjligt att välja självdrags- eller naturlig ventilation till de djurslag och stalltyper där det är möjligt;
- välj undertrycksventilation framför neutraltrycksventilation som kräver mer energi för att driva fläktarna;
- använd frekvensreglerade och/eller smartstyrda fläktar för kapacitetsreglering;
- undersök fläktarnas energiprestanda, men glöm ej att andra värden såsom tryckstabilitet och buller har betydelse.

Inom djurhållningen finns många vinster att göra vid nybyggnation genom nya systemlösningar och effektivare utrustning (Jordbruksverket, 2012; Bartkowiak, 2021). Ett exempel är att använda sig av naturlig ventilation i mjölkstallar. År 2008 var den totala energianvändningen i mjölkstallar 459 GWh per år, varav runt 16 procent användes till ventilation (Baky m.fl., 2010). Om alla stall byter till naturlig ventilation kan därmed en besparing på ungefär 62 GWh el göras. I nybyggnation till köttdjur bör naturlig ventilation användas (Neuman, 2013b; Bartkowiak, 2021). Naturlig ventilation används vanligtvis på byggnader med öppna sidor med gardinväggar och öppna taktoppar, såsom t.ex. mjölkstallar med kall lösdrift (Pedersen & Hellevang, 2019). Gardinens sidovägg kan stängas vid kallt eller dåligt väder för att skydda djuren. Naturlig ventilation är vanligast i stallar för stora djur (Grubinger & Sanford, 2019).

#### 4.2.1. Värmeväxlare och värmepumpar

Det finns även möjligheter till energibesparing med värmeväxlare och värmepumpar i ventilationsluften (Baky m.fl., 2010; Neuman, 2013a, 2013b; Liang, 2022; Sims, 2022a). Det finns mycket energi i frånluften från djurstallar, men i relation till de vanligen låga årsvärmebehoven för dessa, blir de ökade investeringskostnaderna för höga. Förvärmning av tilluft med hjälp av värmeväxlare förutsätter att tilluften fördelas över stallet med ett kanalsystem vilket medför mycket högre investerings- och driftskostnader jämfört med traditionella system. Ett annat alternativ är att använda frånluftsvärmeväxlare för att hämta värmeenergi till värmepumpar för uppvärmning av bostäder och liknande lokaler. Emellertid så har damm- och korrosionsproblem ofta medfört höga driftskostnader och kort livslängd för den här utrustningen.

#### 4.2.2. Omfördelning av värme

Luften i särskilt kycklingstallar, där stallutrymmet går upp till taknocken och kycklingarna går på golvet, blir ofta varmast ovanför kycklingarna uppe vid taket (FCCT, 2023). Värmen från kycklingarna stiger uppåt. Men det är kycklingarna som behöver värmen och då särskilt vid kall väderlek. Därför kan energi sparas om luften i stallarna kan recirkuleras

med fläktar så att denna värme kommer kycklingarna tillgodo och en jämnare temperatur i stallet då kan erhållas. För att detta ska fungera krävs ett mer avancerat reglersystem i stallarna med flera termostater på olika nivåer och på olika platser.

### 4.2.3. Kylning

I vissa fall kan tilluften till stallarna behöva kylas. Andra lokaler än stallar brukar normalt kylas med elektriskt drivna kylmaskiner, så kallade luftkonditioneringssystem, som både är för dyra och energikrävande för att användas till stallar, där enklare och mindre energikrävande system måste till. I Vitt m.fl. (2017) studeras tre metoder för kylning av tilluften till stallar: a) jord-luftvärmväxlare, b) direkt avdunstningskylning med kylkuddar och c) indirekta förångningskylningssystem som kombinerar förångningskyla (t.ex. kylkuddar) med ett efterföljande värmeåtervinningssystem. Resultaten visade att jord-luftvärmväxlaren a) är den mest effektiva luftbehandlingsanordningen. Den eliminerar värmestress genom en effektiv dämpning av kortvariga temperaturfluktuationer och har även den fördelen att kunna användas under vintertid för att höja insugningsluftens (tilluftens) temperatur. I de försök som gjordes, togs uteluft in genom rör med 0,1-1,0 m diameter och en längd på 20-200 m, nergrävda på 1-3 m djup. De andra två (b och c) studerade systemen kan minska värmestressen med cirka 90 procent. Kylkuddar b) fungerar på så sätt att kuddarna hålls fuktiga och den luft som då passerar dessa tar upp vattenånga från kuddarna och då kyls ner med motsvarande förångningsvärmeför den vattenånga som luften tar upp vid kuddpassagen. Detta kan leda till en hög relativ luftfuktighet på mellan 75 och 100 procent i inloppsluften, vilket kan orsaka problem inne i stallbyggnaderna, t.ex. genom att öka fukthalten i strömaterialet. Den indirekta kylanordningen c) kan undvika denna nackdel på bekostnad av en reducerad temperatursänkning av inloppsluftens temperatur och högre investeringskostnader. I det här systemet så värmväxlas den fuktiga och kalla luften som passerat kylkuddarna med tilluften till stallet som då kyls, men ej lika mycket som i systemet med enbart kylkuddar. Fördelen är att man får en torrare tilluft till stallet. Nackdelar är att man får ett mer komplicerat och dyrare system som drar mer energi då fläktar krävs för att pumpa luften genom ytterligare ett system. En fördel är att värmväxlaren ger en möjlighet att vid kall väderlek värmväxla den varma frånluften till den kalla tilluften och då spara uppvärmningsenergi. Detta kräver dock att frånluften via ett kanalsystem kan ledas till och genom värmväxlaren.

I en studie av Botermans m.fl. (2014) kom man fram till att genom att ta in luften i slaktsvinsstall via kanaler under stallet och sedan fördela tilluften nära djurens vistelsezon, kunde luftflödena minskas med mellan 8 och 45 procent. Därmed kunde man spara energi för driften av ventilationsfläktar. Dessutom jämnades lufttemperaturen ut över dygnet. En nackdel var att under riktigt varma dagar försämrades boxhygien men detta kunde lösas genom att då tillfälligt öka luftflödet.

### 4.3. Belysning

Då belysningen drivs med el så finns det möjligheter att spara elenergi om man väljer belysning med så lågt energibehov som möjligt och ser till att den bara är tänd då den behövs.

Någon form av belysning behövs i de flesta byggnader för vårt och djurens välbefinnande och för att vi ska kunna arbeta. Olika djurslag har olika krav på belysningen (Neuman, 2013a, 2013b; James, 2018; Bartkowiak, 2021; Tabler, 2022; Sims, 2022a; FCCT, 2023). För mjölkkor kan belysningen inverka på mjölkproduktionen, brunstsignalen och fertiliteten (Reksen m.fl., 1999; Hörndahl m.fl., 2013; Neuman, 2013a; Penev m.fl., 2014). Även ungdjurs tillväxt påverkas (Mossberg & Jönsson, 1996; Hörndahl m.fl., 2013; Neuman, 2013a; Penev m.fl., 2014). Smågrisars och slaktsvins tillväxt påverkas av ljuset och dess längd över dygnet, liksom avelssvins brunst och pubertet (Hörndahl m.fl., 2013). Äggproduktionen hos höns styrs av dagslängden (Hörndahl m.fl., 2013; Neuman, 2013a; Ockert, 2019). Ljusets färgtemperatur och intensitet påverkar stresskänsligheten och tillväxten hos slaktkycklingar (Hörndahl m.fl., 2013; Archer, 2017).

Det är viktigt att belysningen är energieffektiv då den står för en betydande del av elanvändningen i djurstallarna (Neuman, 2013a, 2013b; James, 2018; Bartkowiak, 2021; Tabler, 2022; Sims, 2022a; FCCT, 2023). Numer används nästan enbart energieffektiv LED-belysning. I ägg- och slaktkycklingproduktion har det varit vanligast med artificiell belysning i fönsterlösa stallar då fåglarna ska ha jämnt ljus utan skuggor och utan direkt solbelysning (Neuman, 2013b). Belysningen utgör en stor del av energianvändningen i ägg- och slaktkycklingproduktion, särskilt i äldre anläggningar med traditionella glödlampor. Baky m.fl. (2010) skriver att belysningen vid äggproduktion står för knappt 40 procent och vid slaktkycklingproduktion för ungefär två tredjedelar av elanvändningen i stallen exklusive uppvärmning. Hörndahl & Neuman (2012) rapporterar liknande, men med något högre andel el till belysningen vid äggproduktion. Det kan vara svårt att använda traditionella lysrör då djuren störs av deras flimmer, T5 lysrör med högre blinkfrekvens är bättre än T8 lysrör (Neuman, 2013b). I nyare stallar försöker man nyttja dagsljus i större utsträckning samt använder LED-belysning som fungerar bättre än lysrören. Det finns exempel på nya slaktkycklingstallar där man reglerat inläppet av dagsljus med elektroniskt styrda gardiner. Byte till LED-belysning kan i vissa fall påverka stallarnas värmebelastning och leda till minskat ventilationsbehov, vilket sparar ännu mer elenergi.

Ett nytt sätt att tillföra naturligt ljus i stallar är att bygga ljustunnlar genom takkonstruktionen (von Wachenfelt m.fl., 2015a, 2015b, 2015c). Dessa består av ett rör med ett ljusreflekterande material på insidan, som överst ovan yttertakets försetts med prismor som samlar in ljus från omgivningen, och nederst i stallet försetts med en diffusor som sprider ljuset i stallet. De är främst tänkta att användas i stallar för djur vars produktion påverkas positivt av dagsljus, dvs. grisar, slaktkycklingar och värphöns. Kombinerat med dimbar och styrd belysning som styrs så att den enbart är i gång då det naturliga ljuset ej når upp till den nivå som krävs under dagtid för det aktuella djurslaget, kan mycket av energin till belysningen sparas in.

När man ska effektivisera elanvändningen till belysning i stallar kan det vara en god idé att dela upp åtgärderna i hur lätta de är att genomföra (Neuman, 2013a, 2013b). Lättast att genomföra är de åtgärder som handlar om rutiner, beteenden, inställning, kalibrering, rengöring, planering etc. Nästa nivå kräver inköp av eller utbyte av armaturer. Slutligen finns en nivå som kräver utbyte av system och kräver större investeringar.

Åtgärder som ingår i kategorin inställningar, skötsel och underhåll är (Neuman, 2013a, 2013b; Energimyndigheten, 2018; FCCT, 2023):

- ta reda på behovet av ljus i olika delar av byggnaden (vad behöver personalen och vad behöver djuren?);
- rengör fönster för att dra nytta av naturligt ljus;
- rengör armaturer;
- rengör väggar och tak så att ljuset reflekteras;
- samt släck belysning som inte behöver vara tänd.

Åtgärder som ingår i ombyggnad och komplettering är (Neuman, 2013a, 2013b; Energimyndigheten, 2018; Bartkowiak, 2021; FCCT, 2023):

- styr (automatisera) belysningen, vad gäller: a) tid, b) närvaro och c) ljus (naturligt ljus);
- gruppera (dela upp armaturer i mindre grupper för att kunna tända bara där det behövs);
- investera i dimmer-system, bäst är om dessa styrs automatiskt efter närvaro, tillgång till naturligt dagsljus och/eller det aktuella djurslagets ljusbehov;
- använd så långt möjligt ljusa färger i lokalerna, vilket innebär att man väljer färger och ytor som reflekterar ljuset och ej absorberar det, då olika material i golv, väggar och tak reflekterar ljus olika bra;
- investera i ljusstunnlar där så är möjligt (von Wachenfelt m.fl., 2015a, 2015b, 2015c);
- byt till energieffektivare armaturer och/eller ljuskällor (färgåtergivning, upptändningstid och spridningsvinkel är viktigt);
- samt använd LED-belysning på alla platser där det går.

Åtgärder som ingår i val av system i nya stallar är (Neuman, 2013a, 2013b):

- välj belysning utifrån livscykelkostnaden (LCC), dvs. tag hänsyn till både investeringskostnader och driftskostnader;
- begär ljusberäkning och garanti på uppnådd ljusnivå;
- planera för naturligt ljus.

Nya ljuskällor har oftast en högre investeringskostnad, men energikostnaderna är lägre och oftast även underhållskostnaderna (Tabler m.fl., 2008; Neuman, 2013a, 2013b; Stober m.fl., 2017; Tabler, 2022; Sims, 2022a). Ju längre brinntider, desto mer betyder

energikostnaden och desto mindre betyder investeringskostnaden. Detsamma gäller för livslängden. LED-lampor är dessutom möjliga att tillverka av material som inte är skört och lätt går sönder såsom glas. De innehåller heller inte någon giftig beståndsdel. Dimrar anpassade för LED-belysning krävs för att LED-belysningen inte ska flimra eller få avsevärt förkortad livslängd. LED-lampor kan tillverkas för att avge ljus vid olika våglängder (färger eller färgtemperaturer) vilket gör att belysningen kan anpassas till olika tillämpningar med olika krav på färgtemperatur, t.ex. i djurstallar och växthus. Billigare LED-lampor är kanske inte anpassade för att tåla den aggressiva miljön i ett djurstall.

I förbindelsegångar där man oftast bara passerar är det oftast onödigt med full belysning och det är onödigt att den alltid är tänd, detta är exempel på var belysning kan sparas in, dessutom behöver den vara närvarostyrd (Neuman, 2013a, 2013b).

Installera timers, fotosensorer och rörelsedetektorer för att säkerställa att lamporna släcks under de timmar när de inte används (Pedersen, 2019; Bartkowiak, 2021; FCCT, 2023). De kan ställas in för att tända belysningen när det är mörkt eller när det är rörelse och sedan stänga av automatiskt när aktiviteten är mindre. Flera företag tillverkar fotosensorer med inbyggda klockor/timer för yttre belysningsbehov. Använd rörelsesensorer för att tända ljus i områden när någon kommer in i rummet eller när det är rörelse utomhus. Dessa sensorer släcker lamporna efter en tid då ingen rörelse känns av, vilket eliminerar onödig elektrisk användning.

Att ofta tända och släcka lampor, av glödlampstyp eller lågenergityp, förkortar lampans livslängd (Pedersen, 2019; Bartkowiak, 2021; Tabler, 2022; Sims, 2022a). LED-lampor har ej detta problem och går bra att tända och släcka ofta (Stober m.fl., 2017; Bartkowiak, 2021; Ellevio, 2022; Tabler, 2022; Sims, 2022a). Långvarig exponering för fukt, till exempel i en sluten byggnad som hyser djur, kommer att minska lampans livslängd (Pedersen, 2019; Tabler, 2022; Sims, 2022a). Lampor installerade i djurstallar bör vara i armaturer med fuktbeständighet. Rengöring av damm på reflekterande ytor på armaturer för att bibehålla ljusutbytet är viktigt. Damm absorberar ljusvågor och kommer att minska uteffekten av ljus.

Tillhandahåll punktbelysning för arbetsytor så att behovet av starkare belysning som kostar mer och kräver mer energi minskar i rummet (Pedersen, 2019). Antalet armaturer och layouten som krävs beror på lampornas effekt, typen och formen av reflektorn på armaturen och på området som ska belysas.

## 5. Brukningsenhetens storlek

Brukningsenhetens storlek har stor betydelse för hur den kan brukas samt vilka val av bruksmetoder som är möjliga. Större fält möjliggör användandet av större och effektivare maskiner samt färre vändningar, kilar och överlapp vilket leder till energibesparing. Även arronderingen, dvs. fältens avstånd till brukscentrum och deras inbördes placering är viktig, då bättre arrondering leder till minskade transporter och därmed energibesparing. Större bruksenheter medför skalfördelar som gör att större ekonomiska resurser kan finnas för att möjliggöra investering i mer avancerade åtgärder som leder till en ökad energieffektivitet. Detsamma gäller inom djurskötseln. Tyngre maskiner, andra bruksmetoder och annan djurhållning leder dock inte alltid till en energibesparing då bakomliggande faktorer såsom jordpackning och djurs välbefinnande med mera kan ha en negativ inverkan.

### 5.1. Inverkan av produktionsenheternas storlek med mera

I den internationella litteraturen finns studier som visar att större produktionsenheter kan nyttja energin effektivare än mindre (Shahin m.fl., 2008; Alig m.fl., 2010; Pelletier m.fl., 2011).

I mer industrialiserade länder, såsom i Sverige, är de flesta jordbrukare beroende av mekanisering, och större gårdar kan då utnyttja sin utrustning bättre (Shahin m.fl., 2008; Pelletier m.fl., 2011), vilket ökar bränsleeffektiviteten per enhet. En studie av schweiziska mjölkgårdar tyder på att större gårdar är mer energieffektiva än mindre gårdar (Alig m.fl., 2010; Pelletier m.fl., 2011).

Vid jämförelse av produktion av lantbruksprodukter i produktionsenheter av olika skala, är det viktigt att även hålla reda på vilka produktionsmetoder och råvaror som används, då dessa kan ha större inverkan på energianvändningen och växthusgasemissionerna än skillnaderna i storlek (Weiner m.fl., 1992; Pimentel m.fl., 2008a; Pelletier m.fl., 2011).

Man har funnit en högre energieffektivitet per enhet levande vikt griskött producerat i små jämfört med stora nischade svinproduktionsanläggningar i USA, vilket ifrågasätter förekomsten av energiskalfördelar i denna delsektor (Pelletier m.fl., 2010, 2011).

Förutom storleken är energiproduktiviteten på gårdar mycket beroende av klimat, vattentillgång, jordtyp och förvaltningsmetoder (Pelletier m.fl., 2011).

## 5.2. Skiftning av mark för bättre arrondering

I Sverige minskar antalet gårdar allteftersom, medan deras storlek ökar för att kunna hålla verksamheten konkurrenskraftig på marknaden, och underlätta användandet av allt större och effektivare maskiner (Casimir m.fl., 2019). En vanlig situation är att gården vill expandera snabbare än det finns tillgänglig mark nära gårdscentrum. Detta leder till att gården får längre avstånd till sin åkermark. Arronderingen blir allt sämre. Detta extra avstånd har en kostnad, både för gårdens lönsamhet och för miljön. Längre transporter leder till ökat energibehov och därmed ökade utsläpp av växthusgaser.

Ett problem är att hantera att alla fält inte är lika bördiga, och hur ska en lantbrukare kompenseras som skiftar till sig fält med sämre avkastningspotential.

Casimir m.fl. (2019) redovisar att man teoretiskt i deras studie kom fram till att man kan spara 33-60 procent av det bränsle som åtgår för transporter mellan fälten genom att skifta mark mellan brukningsenheter för att få marken mer samlad nära brukningscentrum. Man väljer här att skifta marken på ett sätt som minimerar transporterna mellan brukningscentrum och fälten. Läger man in att ingen gård ska behöva få sämre mark än de tidigare haft så minskar potentialen till mellan 30 och 52 procent lägre bränslebehov för transporterna. Inför man ytterligare restriktioner såsom att varje gård kan byta fält med max två andra gårdar och att ingen ska förlora i form av mark med sämre avkastningspotential så minskar den teoretiska potentialen till en besparing på 8-17 procent.

Av den energi som åtgår för transporterna, i Sverige, mellan fält och brukningscentrum, är 55 procent transport av skörden till gården, 22 procent transport av gödsel till fälten och 23 procent transporter av redskap mellan gården och fälten eller mellan olika fält (Casimir m.fl., 2019).

Casimir m.fl. (2019) bedömer att potentialen, i teorin, för energibesparing för transporter mellan brukningscentrum och fält, är upp till ca 50 procent **på Sverigenivå**, medan den för enskilda gårdar kan vara betydligt högre än så, beroende på de lokala förhållandena.

## 6. Elektrifiering

Ökad elektrifiering leder till ett lägre energibehov då elektriska motorer är effektivare än förbränningsmotorer. Ökad användning av elenergi inom jordbruket kan göras genom att i allt högre grad elektrifiera de maskiner som används. Inomgårdar har man redan en hög elektrifieringsgrad, medan fältarbeten är betydligt svårare att elektrifiera. Det är även viktigt att välja så effektiva elmotorer som möjligt och särskilt då inom applikationer där de får långa årliga gångtider. Det är även viktigt att hålla reda på från vilka energislag elen har sitt ursprung.

### 6.1. Elektrifiering av arbetsmaskiner och traktorer

Elektriska motorer är mycket effektivare än förbränningsmotorer då de har verkningsgrader på upp till och över 90 procent, medan förbränningsmotorer normalt ligger på 20-40 procent beroende på arbetsuppgifter, belastning och motorstorlek (Hörndahl & Neuman, 2012; Neuman, 2013a). Dessutom har förbränningsmotorer ett större behov av underhåll vilket indirekt bidrar till ett högre energibehov. En annan fördel med elmotorerna är att vid intermittent drift och stopp-go körning så kan bromsenergi återvinnas.

Idag är nästan alla stationära maskiner som används inomgårdar elektrifierade. Utveckling pågår även för att elektrifiera mobila inomgårdsmaskiner samt vissa fältmaskiner. De mera energikrävande fältarbetena är betydligt svårare att elektrifiera.

Transportsektorn elektrifieras nu i en snabb takt, och elektriska personbilar finns på marknaden sedan flera år tillbaka. Inom den tunga trafiken, entreprenadmaskiner och jordbruksmaskiner sker mycket forskning och utvecklingen är snabb (Moreda m.fl., 2016; Markensten m.fl., 2018; Lagnelöv m.fl., 2020; Lagnelöv, 2023). På längre sikt är det också möjligt att elektrifiera delar av maskinflottan på gårdarna (Moreda m.fl., 2016; Volpato m.fl., 2016; Lagnelöv m.fl., 2020; Lantmännen, 2019, 2021; Lagnelöv m.fl., 2021b, 2022; Lagnelöv, 2023). Kostnaderna för batterielektriska system förväntas bli lika eller lägre jämfört med dieselbaserade system beroende på lägre kostnader för drivmedel och underhåll (Lagnelöv m.fl., 2021a, 2022; Lagnelöv, 2023). Inom lantbruket finns studier av eldrift på olika nivåer (Moreda m.fl., 2016; Volpato m.fl., 2016; Markensten m.fl., 2018; Lagnelöv m.fl., 2020, 2022; Lagnelöv, 2023). Traktorer i jordbruk och övriga sektorer skiljer sig mycket åt. I industrin och den kommunala sektorn där arbetsplatsen är mera kontrollerad är det enklare att få fram infrastruktur för eltillförsel och därigenom stötta en utveckling mot till exempel elhybrider. Inom jordbruket finns inte dessa förutsättningar i



lika stor utsträckning. Inom jordbruket är effektuttaget för vissa arbetsmoment också extremt högt, och ofta under långa arbetspass, vilket gör det praktiskt mycket svårt att åstadkomma en elektrifiering (WSP, 2017; Markensten m.fl., 2018; Lantmännen, 2019; Lagnelöv, 2023). Biodrivmedel kan därför bli viktiga och tillgången till dessa behöver ökas. Det finns dock en identifierad grupp maskiner som skulle passa bra för ren eldrift. Denna grupp utgörs av lasttraktorer, teleskoplastare och lastmaskiner som framförallt arbetar med foderhantering på djurgårdar. På JTI, numera RISE, har man beräknat att det 2012 fanns cirka 1700 traktorer som skulle vara lämpliga att ställa om enligt dessa kriterier (Pettersson m.fl., 2014). Dessutom så medför elektrifiering att automatisering och införande av precisionsstyrning vid arbetsmoment i fält att traktorer och andra maskiner lättare kan göras självkörande (Engström & Lagnelöv, 2018; Lagnelöv m.fl., 2022; Lagnelöv, 2023). Till exempel om en 160 kW dieseltraktor ersätts av två självkörande elektriska traktorer på 36 kW som kör dygnet runt så möjliggör detta en reduktion på 58 procent av energianvändningen och 92 procent av utsläppen av växthusgaser.

Det finns studier som visar att energianvändningen för en eldriven kompaktlastare utgör ca 25 procent av energianvändningen för en dieseldriven maskin vid samma arbetsmoment (Pettersson m.fl., 2016). Vid beräkningar av utsläppen av koldioxid har man utgått från att en genomsnittlig användning av maskinen är ca 2,5 timmar per dag. Med det körmönster som bedömts vara representativt för den typ av arbete som dessa maskintyper normalt kommer att utföra på framförallt djurgårdar, och en årlig användning under 300 dagar per år, så skulle de årliga koldioxidutsläppen på en gård bli enligt följande: Utsläpp från en diesel-maskin: 4 721 kg; Utsläpp från produktionen av elen till en el-maskin: 581 kg. Detta skulle alltså ge en minskning i koldioxidutsläppen på 4 140 kg per gård och år. Om samtliga 1 700 maskiner som bedömts möjliga, skulle bytas ut, skulle 7 000 ton koldioxid till atmosfären sparas per år. Ekonomiskt beräknades en eldriven maskin ha en ökad investeringskostnad på cirka 50 000 kronor jämfört med en motsvarande dieseldriven, men det är troligt att marknaden och priset kan komma att ändras i framtiden. Dock är bränslekostnaderna och servicekostnaderna lägre, och man har därför beräknat att skillnaden skulle bli ca 5 000 kronor per år sett över en tioårsperiod med de valda förutsättningarna. Kostnaden för att spara 1 kg koldioxid till atmosfären skulle då i detta exempel bli 0,828 kronor.

En stor utmaning för jordbruket kopplat till elektrifiering eller hybridisering av maskiner är det svenska jordbrukets affärsmodell och den lågintensiva användningen av maskinerna (Markensten m.fl., 2018; Lagnelöv, 2023). De flesta svenska jordbruk är familjeföretag med flera verksamheter som inte har möjlighet att införskaffa de specialiserade fordon som större jordbruk i Nordamerika eller mer specialiserade jordbruk i västra och södra Europa har. Detta gör att de inomgårdstraktorer som utvecklats sannolikt kommer att ha svårt att hitta en marknad i Sverige (WSP, 2017; Markensten m.fl., 2018). Maskinerna i jordbruket och skogsbruket har två problem gemensamt när det kommer till att implementera styrmedel. Det första är att det saknas förutsättningar för att ställa krav på vilka maskiner som används inom de olika sektorerna. Det andra är att de är utsatta för

internationell konkurrens vilket innebär att styrmedel i sektorerna kan påverka näringarna negativt. Detta är skälet till att till exempel höjningar av koldioxidskatten inte är oproblematiskt ur näringspolitisk synvinkel (WSP, 2017; Markensten m.fl., 2018).

## 6.2. Byte till effektivare elmotorer

Elmotorer används inom lantbruket till ventilation och mycket inomgårdsarbete men även till bevattning. Kraven på elmotorers verkningsgrad har ökat under senare år (Neuman, 2013a, 2013b; FCCT, 2023). Sedan år 2000 ska elmotorns verkningsgradsklass anges på märkskylten. Materialval och minskade toleranser i tillverkningen har bidragit till allt högre verkningsgrader. För motorer i samma storlek, men från olika tillverkare och/eller olika modeller, kan det skilja flera procentenheter i verkningsgrad. En sämre verkningsgrad innebär även mer värme som måste kylas bort. Generellt har mindre motorer lägre verkningsgrad. Exempelvis varierar verkningsgraden för motorer på 0,75 kW mellan 72 och 82 procent beroende på verkningsgradsklass och varvtal, och för motorer på 45 kW mellan 92 och 94 procent beroende på verkningsgradsklass och varvtal. Verkningsgraden varierar även med belastningen, där den är högst vid högst belastning. Motorer som går många timmar per år kan det löna sig att byta ut, då elkostnaden överstiger investeringskostnaden.

Elmotorernas varvtal kan regleras med frekvensreglering för att t.ex. strypning av luftflödet inte ska behövas i ventilationsanläggningar. Frekvensreglering innebär att man styr växelströmmens frekvens istället för spänningen (Neuman, 2013a, 2013b; James, 2018; FCCT, 2023). Det får till följd att asynkronmotorernas verkningsgrad inte försämras när varvtalet minskar eftersom rotorerna eftersläpning i förhållande till växelströmmens frekvens är densamma. Energi kan sparas genom att elmotorerna mjukstartas elektroniskt med frekvensreglering.

Det finns även en annan typ av elmotorer, s.k. EC-motorer (Electronically Commutated) (Neuman, 2013a). I dessa motorer är det permanentmagneter som skapar det magnetiska fältet och inbyggd styrelektronik som styr magnetfältets rotationshastighet och därmed motorernas varvtal. De kopplas till växelströmsnätet, men jobbar internt med likström efter likriktning av nätets växelström. Konstruktionen får till följd att en större del av den tillförda elenergin skapar rotation och en mindre del blir till förlustvärme. Därmed blir verkningsgraden högre. EC-motorn behåller en hög verkningsgrad och ett högt vridmoment även vid lägre varvtal. De är dyrare men mycket effektiva. De passar särskilt bra till ventilationen vid nybyggnation. En nackdel med EC-motorerna kan vara att det i vissa fall kan krävas att sällsynta jordartsmetaller ingår i permanentmagneterna (SGU, 2022).

## 7. Spannmålstorkning

Spannmålstorkar använder mycket energi under korta perioder av året (Jordbruksverket, 2012). Det finns en potential att minska energianvändningen genom regelbundet underhåll, värmeåtervinning m.m. Även alternativa sätt att konservera spannmålen kan minska energianvändningen. I Tabell 3 ges en översikt över konserveringsmetoder för spannmål och deras begränsningar vad gäller vattenhalt. Hög energianvändning och hög investeringskostnad ger större potential att investera i energieffektivisering.

Beroende av den torkningstemperatur som används vid spannmålstorkningen så delas torkningsmetoderna in i varmluftstorkning och kallluftstorkning (Neuman, 2013a). Vid varmluftstorkning är torkningen färdig efter ett par timmar. Lufttemperaturer på 40-70°C används vanligen. Torkningen är energikrävande och det finns goda skäl och även möjligheter att spara energi. Vid kallluftstorkning används ouppvärmad eller svagt uppvärmd luft (temperaturhöjning 5-7°C) och lägre specifika luftmängder vilket gör att torkningen tar längre tid, ofta flera dygn. Energinvändningen blir mindre än vid varmluftstorkning. Emellertid så används det vid kallluftstorkning mer energi för fläktningen än vid varmluftstorkning. Det finns flera alternativa konserveringsmetoder för spannmål som är mindre energikrävande såsom lufttät lagring, krosssilering och syrabehandling (Neuman, 2013a; Energimyndigheten, 2018), se Tabell 3, nedan.

Tabell 3. Översikt över konserveringsmetoder för spannmål och deras begränsningar vad gäller vattenhalt (Neuman, 2013a).

Konserveringsteknik	Energianvändning*, 1 = lägst	Investering, 1 = lägst	Ingångs- vattenhalt
Varmluftstork	5	6	Ingen begränsning
Silotork med omrörning	6	5	Begränsad
Kallluftstork m tillsatsvärme	4	4	Begränsad
Kyllagring	4	4	Max 17 %
Lufttät lagring	1	3-6	Begränsad
Ensilering (krossad)	2	2	Vanl. > 30 %
Syrabehandling	1	1	< ca 25 %

\* Energinvändningen avser driften med direkt energi dvs. elenergi och bränslen som eldningsolja, gasol eller biobränsle. Indirekt energianvändning ingår inte.

Utformningen av värmeanläggningen till varmluftstorkar har inverkan på energianvändningen (Neuman, 2013a). Är det så att torkpannans effekt inte behövs efter det att torkningen avslutats finns tre alternativ för hur man kan gå till väga:

- Pannan får gå med låg belastning utanför torkningssäsongen. Det är inte alla pannor som fungerar bra vid låg belastning och verkningsgraden blir sämre.

Särskilt vedeldade och halmeldade pannor brukar få betydligt lägre verkningsgrad vid drift på låglast.

- b) Pannan kombineras med en ackumulatortank, vilket gör att pannan inte behöver gå kontinuerligt med låg belastning. Denna lösning är vanligast vid satseldade pannor såsom halmpannor och vedpannor. Verkningsgraden blir betydligt bättre jämfört med det tidigare alternativet.
- c) Tvåpanelösning. Med dubbla pannor kan man köra båda under torkning, när effektbehovet är stort, och efter torkningssäsongen behöver bara en av pannorna gå. Pannorna får på detta vis gå med gynnsammare belastning och man får en bättre verkningsgrad. Denna lösning är vanlig vid flis- eller pelletseldning. Även med denna lösning kan verkningsgraden förbättras med en ackumulatortank, men det blir inte lika mycket som i det föregående fallet och därför blir lönsamheten sämre.

Värmeåtervinning, genom att ta tillvara på den utgående värmen i torkluften och återföra denna till den ingående torkluften, beräknas kunna leda till energibesparingar på mellan 7 och 10 procent (Jordbruksverket, 2012). Kan 10 procent värme sparas in leder detta till att energianvändningen till torkning skulle minska med runt 76 GWh. Genom att bara torka den foderspannmål som ska lagras en kort tid under vintern, ner till en vattenhalt på 16 procent, kan en gård spara närmare 25 procent av energianvändningen till torken (Edström m.fl., 2008; Jordbruksverket, 2012). Om detta skulle gälla för 10 procent av spannmålen skulle det innebära en besparing på runt 17 GWh. Tillsammans innebär de båda åtgärderna för spannmålshantering en möjlig besparing på 93 GWh.

Det finns ytterligare potential i alternativ spannmålslagring (Jordbruksverket, 2012), så som lufttät lagring, men den är svår att kvantifiera.

Vid spannmålstorkning finns det en mängd åtgärder som kan vidtagas för att minska energianvändningen (Neuman, 2013a; Energimyndigheten, 2018). De enklaste handlar om t.ex. beteenden, rutiner, rengöring, inställningar och kalibrering. På nästa nivå krävs inköp av eller utbyte av utrustning och komponenter. Exempel på sådana åtgärder är isolering av varmluftskanalen och ombyggnad av luftningsfickor. Slutligen kommer större åtgärder såsom utbyte av system eller byte av bränsle såsom övergång till biobränslen.

Åtgärder som är viktiga att tänka på vid torkning är att (Shouse m.fl., 2010; Neuman, 2013a; Energimyndigheten, 2018; Hellevang & Pedersen, 2019a):

- spannmålen är väl rensad (agnar, boss, halmrester, ogräsfrön och trasiga kärnor ska bort) för att luftflödet genom spannmålen ska bli bättre samt att det ska bli mindre mängd att torka;
- tröskningen sker vid rätt vattenhalt, dvs. att man om möjligt inväntar lägre skördevattenhalter och ser upp så det sist tröskade inte blir för fuktigt;
- torka till rätt slutvattenhalt, görs detta på gården kan energi för transporten av spannmålen till centrallagret sparas in;

- inte övertorka, då detta leder till högre energianvändning samt minskar den vikt man får betalt för vid leverans;
- man har god styrning av torken så att man når den önskade vattenhalten;
- fläktarna är korrekt dimensionerade så luftflödet blir optimalt;
- under vintersäsongen kan foderspannmål lagras vid högre vattenhalt om den luftas då och då.

## 7.1. Varmluftstorkning

Åtgärder att tänka på till varmluftstorkar är att (Neuman, 2013a; Energimyndigheten, 2018):

- driftstermostaten är korrekt placerad i varmluftskanalen och fungerar på avsett sätt;
- vattenhaltsmätaren är kalibrerad och fungerar på avsett vis;
- pannan är välskött, dvs. sotad, rengjord och väl underhållen;
- varmluftskanalen är välisolerad;
- kylningen kan flyttas till en luftningsficka för att öka varmluftstorkens kapacitet;
- en högre torktemperatur ökar både torkens kapacitet och effektivitet (spar energi) och fungerar särskilt bra till foderspannmål (Mckenzie m.fl., 1980; Shouse m.fl., 2010; Neuman, 2013a);
- gasbrännare, som drivs med biogas, naturgas eller gasol, ger tillräckligt rena avgaser för att dessa ska kunna användas till torkningen (Neuman, 2013a), vilket spar energi;
- värmen från kylning och dåligt vattenmättad våtluft kan användas i den otorkade spannmålen och då leda till energibesparing;
- luften blir tillräckligt vattenmättad då den passerar genom spannmålen då dåligt vattenmättad luft ger dålig energihushållning, samt att luften inte får passera torken för snabbt.

Vad gäller vattenhaltsmätare så ger vissa av dessa inte ett korrekt resultat vid mätningar vid förhöjd temperatur (Hellevang & Pedersen, 2019a). Det är därför viktigt att känna till vad som gäller för den vattenhaltsmätare som man använder och om denna har någon form av temperaturjustering av de mätvärden som den visar. Den mest energieffektiva varmluftstorkningen använder den maximala torktemperaturen som inte skadar spannmålen (Mckenzie m.fl., 1980; Shouse m.fl., 2010; Hellevang & Pedersen, 2019a). Ju högre torktemperatur, desto mer energieffektiv blir torken. För varmluftstorkar med kontinuerligt flöde kan temperaturen ligga i intervallet 80 till 105°C, medan man i satstorkar vanligtvis använder en temperatur på cirka 60°C. Vid temperaturer på 90-95°C finns det risk att spannmålen börjar bli brun och att kvalitén kan sjunka.

För kontinuerliga varmluftstorkar kan vakuumkylning eller ett värmeåtervinningssystem användas för att öka energieffektiviteten med cirka 20 procent (Hellevang & Pedersen, 2019a). Vakuumkylning fungerar genom att den torkade spannmålen, då den blivit nertorkad till en lagom vattenhalt över den önskade, förs över till en vakuumkammare där lufttrycket sänks så lågt att vattnet (ytfukten) på spannmålskärnornas yta förångas (kokar) vid en lägre temperatur. I och med att spannmålskärnorna är varma är ångtrycket i dessa högre än i den omgivande luften som håller ett lågt tryck och därmed sker en fukttransport till kärnornas yta där vattnet sedan förångas. Den förångningsenergi som behövs för förångningen av detta vatten tas från spannmålskärnorna som då kyls ner tills ett jämviktsläge nås. Den ingående vattenhalten och spannmålstemperaturen anpassas så att efter vakuumkylningen, spannmålen får både önskad vattenhalt och temperatur. En annan fördel med vakuumkylningen är att spannmålen efter varmluftstorkningen snabbare kyls ner till önskad lagringstemperatur.

Man kan även tillämpa vad som på engelska kallas ”dryeration” där spannmålen vid en vattenhalt på ett par procentenheter över den önskade slutvattenhalten, förs över till en luftningsficka där den långsamt får temperaturutjämnas och svalna från ca 55°C under 4-12 timmar (Mckenzie m.fl., 1980; Shouse m.fl., 2010; Hellevang & Pedersen, 2019a). Härefter luftas spannmålen så vattenhalten sjunker 2-2,5 procentenheter till den önskade nivån. Energibehovet för torkningen kan minska med ca 25 procent, jämfört med varmluftstorkning, vid denna metod (Shouse m.fl., 2010; Hellevang & Pedersen, 2019a). Dessutom ökar torkningskapaciteten (Mckenzie m.fl., 1980; Shouse m.fl., 2010; Hellevang & Pedersen, 2019a). Metoden är särskilt lämplig för spannmålslag med stora kärnor då den minskar risken för sprickbildning i sådana kärnor. Neuman (2013a) kallar en liknande torkningsmetod under svenska förhållanden för att man torkar med vattenhaltsutjämnning. Denna metod innebär att man avbryter torkningen i varmluftstorken vid 2-3 procentenheter över önskad slutvattenhalt. Sedan flyttas spannmålen till en luftningsficka där den får ligga några timmar tills vattenhalten utjämnats. Därefter startas fläkten för att lufta, färdigtorka och kyla. Luftningen och kvarvarande värme gör att det samtidigt sker en torkning till rätt vattenhalt. Därmed sparas energi för torkningen. Även här anger man att torkningsmetoden minskar risken för problem med sprickor och kvalitén i kärnorna/fröna, samt att metoden passar för storfröiga spannmålslag som majs, ärtor och bönor. Det tar tid för fukten i kärnornas inre delar att vandra ut.

Det finns en typ av varmluftstorkar, column dryers, där spannmålen initialt utsätts för högre torkningstemperatur och sedan för allt lägre torkningstemperatur mot slutet av torkningen (Shouse m.fl., 2010). Dessa torkar blir på så sätt energieffektiva samtidigt som de är skonsamma mot spannmålen.

Ett annat liknande sätt att spara energi vid varmluftstorkning är att kombinera med kallluftstorkning. Vid denna kombinationstorkning torkar man spannmålen ner till 20 procent vattenhalt i varmluftstorken. Sedan förs spannmålen över till en kallluftstork där torkningen till önskad slutvattenhalt slutförs. Energibesparingen blir omkring 10-20 procent jämfört mot varmluftstorkning. Att återcirkulera kyl luften och även torkluften från

den sista delen av torkfasen till den torkande luftströmmen kan skapa energibesparingar på 10-20 procent (Shouse m.fl., 2010). Den torkade spannmålen blandas om för att uppnå ökad torkeffektivitet.

## 7.2. Kallluftstorkning

Åtgärder att tänka på vid kallluftstorkning (Neuman, 2013a; Hellevang & Pedersen, 2019a) är att:

- fördela spannmålen i jämna skikt för att undvika ojämnheter som ger ojämn torkning;
- fördela spannmålen vid inläggningen så att packning och ojämn torkning undviks;
- anpassa skiktjockleken efter vattenhalten vilket innebär att skiktjockleken begränsas vid höga vattenhalter, samt att för tjocka skikt som begränsar lufthastigheten och därmed torkningsresultatet och spannmålskvaliteten undviks;
- i centralrörssilor där skiktjockleken inte kan varieras måste man flytta och blanda om spannmålen vid högre vattenhalter;
- ta luften till fläkten utifrån för att undvika rundgång av torkluften;
- kanalsystemet måste vara tätt för undvikande av läckage och därmed energiförluster;
- övergångar från fläkten till torken bör ha en tvärsnittsarea som är större än fläkten för att hålla strömningsförlusterna låga;
- fläkta tillräckligt så att ej temperaturen i spannmålen stiger;
- hålla koll på tryck och flöde så att energin till fläkten används på bästa sätt;
- automatisk styrning efter luftens relativa fuktighet ger bättre utnyttjande av energin till fläktarna;
- luftning kan även behövas under lagringen;
- tillsatsvärme vid behov höjer kapaciteten och ökar torkningssäkerheten.

## 7.3. Förvärmning/solfångare

Det går även att spara energi genom att förvärma luften i en solfångare (Foster m.fl., 2015). Solfångare är särskilt lämpliga att använda till kallluftstorkar beroende på att den relativt långsamma torkningsprocessen i dessa påskyndas vid den måttliga uppvärmning som sker i en luftsolångare. Detta beroende på att då luften värms 5-10 grader sjunker dess relativa luftfuktighet och därmed ökar dess fuktupptagande förmåga. Tillsatsvärme till torkningen i dessa torkar kan då undvaras. Till varmluftstorkar fungerar luftsolångare sämre då de inte förmår att värma luften till de temperaturer som krävs. Dessutom skulle den solfångaryta som krävs bli orealistiskt stor för att komma upp i de effekter som krävs.

Solfångare värmer också luften bara dagtid samt huvudsakligen vid solsken och en varmluftstork vill man ofta av kapacitetsskäl köra dygnet runt. Finns det redan en solfångare installerad som värmer luften till t.ex. ett stall kan denna med fördel användas för att förvärma luften till en varmluftstork då värme som tillförs luften från solfångaren reducerar behovet av värme till torken i motsvarande grad.

Det största hindret mot att installera en solfångare för torkning är investeringskostnaden för denna (Foster m.fl., 2015). I princip måste tak och/eller väggar byggas/läggas om till solfångaren. Luftkanaler för att transportera den uppvärmda luften till torken måste byggas. Detta är ett omfattande arbete. Det är positivt ju längre användningstid per år och ju fler år solfångaren kan nyttjas, dvs. avskrivningstiden har stor betydelse. Det är även positivt om solfångaren kan värma luft till annat än till spannmålstorkningen. Kan kostnaderna för materialet och byggarbetet hållas nere är det positivt. Solfångarens riktning har betydelse, där placering mot söder är fördelaktigast men även solfångarens lutning har betydelse. Under sommaren är en måttlig lutning mest fördelaktig medan under senhösten är en mer vertikal placering t.ex. i en vägg mest fördelaktig.

Det finns ett flertal exempel på solfångare till torkar (Foster m.fl., 2015), där de enklaste består av ett svart tunnfilmplaströr omgivet ett transparent sådant med något större diameter där lufttryck och flöden med fläktar anpassats så att den svarta ligger uppblåst inne i det transparenta, samtidigt som luften genom dessa blåses till torken. Denna variant finns även med styvare plaströr. Nackdelen är att då den inte används, måste den skyddas mot solstrålning för att plasten ej ska brytas ner. Det finns även mer avancerade varianter där solfångaren omger en cylindrisk silo där spannmålen torkas.



## 8. Gårdsverkstaden

Gårdsverkstaden är på många gårdar den plats efter bostaden där lantbrukaren/personalen tillbringar mest tid under vintern (Hellevang & Pedersen, 2019b). Det är därför viktigt att denna är välisolerad och värms upp på ett effektivt sätt. Det är viktigt att alla delar av verkstaden isoleras: väggar, tak och dörrar. Även grunden behöver isoleras (Hellevang & Pedersen, 2019b). All betong som exponeras ovan marknivå behöver isolering och isoleringen ovan jord måste täckas för att förhindra fysisk skada från fåglar, gnagare och solljus. Dörrar bör minst ha isolering motsvarande 5 cm skumisolering (Hellevang & Pedersen, 2019b). Fönster bör vara av treglastyp eller tvåglastyp med en inert gas mellan rutorna. Förutom att ge bättre isolering så motverkar denna typ av fönster risken att kondens bildas. Fönstren bör vara så få och små som möjligt, detta då de ökar värmeförlusten, mer ju större de är. Dessutom ger de vanligtvis lite ljus i verkstaden eftersom dagarna är korta under vintern och ljuset de ger är vanligtvis nära väggen där de är installerade. Dörrarna och portarna till verkstaden bör vara ordentligt tätade. Tätningslister anpassade för sådana här portar bör vara installerade. Detta då det kan vara ett betydande luftinsläpp genom dörrarna och portarna, och luftinfiltration är en av de största värmeförlusterna i många byggnader.

Stora portar för förflyttning av maskiner in och ut ur verkstaden bör om möjligt placeras så att de vetter bort från rådande vintervindar (Hellevang & Pedersen, 2019b). Att installera de stora portarna i en riktning mot där vinden sällan blåser kommer att förhindra en betydande mängd värmeförluster när portar och dörrar öppnas. Det är viktigt att ta in kall utrustning/maskiner i verkstaden kvällen/dagen innan så att den långsamt hinner värmas upp natten innan man börjar arbeta med den.

För belysning i verkstaden bör så energieffektiva ljuskällor som möjlig användas, se Kapitel 4.3. Belysning.

Värm endast de områden som behöver värmas, och använd gärna riktnings- eller strålningsvärmare (infravärmare) över arbetsbänkar och arbetsytor (Hellevang & Pedersen, 2019b). De värmer föremålen men inte luften direkt. Viktigt är även att skilja verkstaden från maskinhallen. Värm ej större område än nödvändigt. Verkstaden och maskinhallen bör separeras med isolerade portar, men går inte detta så kan även en plastgardin bestående av plastremor spara en betydande mängd värme. Värmen bör stängas av eller sänkas då den inte behövs då ingen arbetar i verkstaden.

Träd och häckar för lä minskar vindhastigheten runt verkstaden och bidrar då till att energi för uppvärmningen kan sparas (Hellevang & Pedersen, 2019b). Korta täta träd

(häckar) bör placeras i ytterkanten av läbältet och högre träd i mitten. Lähäckarna/läträden bör placeras minst 60 meter från verkstaden eller andra byggnader för att minska problemen med snöansamling.

## 9. Indirekt energi och energieffektivisering

I den här studien studeras huvudsakligen inbesparing av direkt energi såsom el, dieselolja och fasta bränslen. Även besparing av indirekt energi kan i vissa fall vara viktig. Indirekt energi är sådan energi som används för att producera de förnödenheter, såsom konstgödsel, foder, ensilageplast och bekämpningsmedel, som används inom jordbruket, men även de maskiner som används både i fält och inomgårds samt det byggmaterial som ingår i byggnaderna. Det finns studier som visar att insatserna av indirekt energi är stora i jordbruket, t.ex. finns siffror på så mycket som 70 procent på mjölk- och grisgårdar och 50 procent på gårdar med huvudsakligen vegetabilieproduktion (Wells, 2001; Meul m.fl., 2007; Bailey m.fl., 2008; Baky m.fl., 2010; SOU, 2021; Safa, 2022; Shine m.fl., 2022; Sims, 2022a). Även ökad produktion per insatt resurs/förnödenhet kan ses som en energieffektivisering beroende på att dessa då nyttjas mer effektivt med en högre verkningsgrad. Optimering av produktionsprocesser samt logistiken för att transportera förnödenheterna till jordbruket erbjuder möjligheter till energieffektivisering och inbesparing av indirekt energi.

### 9.1. Konstgödsel

För produktionen av konstgödsel krävs en hel del energi (Kitani m.fl., 1999; Jenssen & Kongshaug, 2003; Pimentel, 2009b; Safa, 2022; Jensen m.fl., 2022; Sims, 2022a). Denna kan ha olika ursprung men vanligen används fossil naturgas. Det är även möjligt att använda el och då helst förnybar sådan för lägsta möjliga utsläpp av växthusgaser. Beroende av bland annat anläggningarnas ålder och de varierande kraven på energieffektiv produktion och rening av utsläpp i olika länder så varierar energianvändningen mycket mellan olika partier av konstgödsel. Det är därför viktigt att ha kunskap om konstgödselns ursprung. Potentialen till energieffektivisering och minskade utsläpp av växthusgaser blir därför stor vid produktionen av konstgödsel. I litteraturen finns uppgifter på den energimängd som behövs för att producera de olika ingående komponenterna (näringsämnen) i konstgödsel: kväve 32,2-75,63 MJ/kg N; fosfor -8,9-10,0 MJ/kg fosfat ( $P_2O_5$ ); kalium 1,1-12,6 MJ/kg ( $K_2O$ ); och svavel -7,4-10,1 MJ/kg ( $SO_3$ ) (Jenssen & Kongshaug, 2003; Zentner m.fl., 2004; Pimentel, 2009b; Jensen m.fl., 2022; Sims, 2022a). Några av de lägsta angivna värdena gäller produktion med bästa tillgängliga teknik i Europa (Jenssen & Kongshaug, 2003). Skillnaderna beror bl.a. på hur P, K och S utvinns, om avgiven värme återvinns/kan nyttjas i andra processer, om de är biprodukter till andra

industriprocesser m.m. Det faktum att så mycket energi behövs vid produktionen av konstgödsel gör att en effektivare användning, mer precis användning och undvikande av användning av konstgödsel inom jordbruket innebär en betydande potential till energibesparing.

## 9.2. Bekämpningsmedel

Inom jordbruket används en stor mängd, olika typer av och varianter av bekämpningsmedel, som för sin produktion kräver olika mycket energi och energi av olika ursprung (Pimentel, 2009b; Helsel, 2019; Jensen m.fl., 2022; Sims, 2022a). Dessutom används olika slag av energi och el med olika ursprung till produktionen av bekämpningsmedlen. Detta gör att energiinsatsen och miljöbelastningen mellan produktionen av olika bekämpningsmedel varierar stort. Ofta används små eller väldigt små doser av bekämpningsmedlen i fält, vilket gör att deras genomslag i den totala energianvändningen, utsläppen av växthusgaser och miljöbelastning vanligen blir liten. I många fall försummas eller tas deras bidrag ej med i beräkningar av energianvändningen, utsläppen av växthusgaser och miljöbelastningen. Emellertid finns vissa uppgifter att mycket energi krävs för att producera kemiska bekämpningsmedel (Stout, 1990; Kitani m.fl., 1999; Pimentel, 2009a, 2009b; Helsel, 2019; Safa, 2022; Jensen m.fl., 2022; Sims, 2022a). Dessutom har råmaterialen oftast sitt ursprung i den petrokemiska industrin och har därmed fossilt ursprung. För några herbicider anges att energianvändningen för produktionen är 61-538 MJ/kg motsvarande 10-1045 MJ/ha (Zentner m.fl., 2004; Pimentel, 2009b; Helsel, 2019; Jensen m.fl., 2022; Sims, 2022a). Även här finns en potential till energibesparing genom effektivare, mer precis eller undvikande av användning inom jordbruket.

## 9.3. Drivmedel

I jordbruket är användningen av drivmedel till fältmaskinerna hög (Baky m.fl., 2010; Nowatzki & Pedersen, 2019; Helsel & Grubinger, 2019; SOU, 2021; Safa, 2022; Sims, 2022a). Energianvändningen för produktionen av biodrivmedel är normalt högre än för produktionen fossila drivmedel beroende på att dessa kommer från råvaror som först måste odlas och sedan processas i en mer komplicerad process innan drivmedlet är färdigt. För dessa inverkar både hur de produceras och vilken typ av energi som används vid produktionen och denna energis miljöpåverkan, liksom hur stor reduktion man kan få av växthusgaserna vid produktionen jämfört med fossila drivmedel (Börjesson m.fl., 2010a, 2010b; Gode m.fl., 2011; Börjesson m.fl., 2013, 2016). Detta leder till att variationen i energianvändningen för produktionen av biodrivmedel blir betydligt större än vad den blir för produktionen av fossila drivmedel. Råvaran till produktionen av fossila drivmedel är mer enhetlig och kräver normalt färre processteg innan slutprodukten, det önskade

drivmedlet, är färdig. För biodrivmedel har typ av drivmedel och dess ursprung stor betydelse. Drivmedel producerade från avfall kräver en betydligt lägre insats av energi, i vissa fall lägre än för fossila drivmedel, men här är det även betydelsefullt vilka allokeringssantaganden som gjorts och hur beräkningarna utförts. Hur drivmedlen transporteras och hur långt är även av betydelse. Biodrivmedel är ett alternativ som kan ge en betydande reduktion av utsläppen av växthusgaser jämfört med fossila drivmedel. Variationen är stor både inom samma drivmedel och mellan olika drivmedel. Då stora mängder drivmedel används i jordbrukets fältarbeten och för transporterna får de en stor inverkan på energianvändningen i jordbruket. Detta betyder att energieffektiviseringar i produktionen av drivmedlen innebär möjligheter till energibesparing.

I framtiden är det även möjligt med elektriska fordon för dragkraften som leder till en betydande minskning av energianvändningen (Pettersson m.fl., 2016; Moreda m.fl., 2016; Volpato m.fl., 2016; Markensten m.fl., 2018; Lagnelöv m.fl., 2020; Lagnelöv, 2023). Miljöpåverkan blir beroende av hur den använda elen producerats och med vilken energi, klimat- och miljöprestanda (Gode m.fl., 2011; Pettersson m.fl., 2016; Moreda m.fl., 2016; Volpato m.fl., 2016; Markensten m.fl., 2018; Lagnelöv m.fl., 2020; Lagnelöv, 2023). Effektivare produktion av elen och effektivare elnät innebär energibesparingar.

Detsamma som beskrivits för elen, ovan, gäller för den el som används inomgårds och till bevattning i jordbruket.

## 9.4. Foder

I inköpt foder ingår en stor del av den indirekta energin som används inom jordbruket (Baky m.fl., 2010; SOU, 2021). Ungefär 20 procent av den indirekta energin som används i jordbruket används vid produktionen av inköpt foder. Detta foder kan ha odlats på andra gårdar inom eller utom landet och då gäller för energieffektivisering det som anges i Kapitel 2. Fältarbeten, ovan. Grovfodret produceras vanligen med direkt energi på den egna gården. I det kraftfoder som kompletterar grovfodret och ges i sin helhet till grisar och fjäderfä är huvudbeståndsdelen spannmål som kan odlas på den egna gården eller köpas in. Dessutom ingår proteinfoder och mineral- och vitaminpreparat som kommer utifrån. För att producera proteinfodermedel används inhemska ärter och bönor, rapsfrö eller rapsmjöl från utvinningen av rapsolja samt importerade oljeväxtfoder som består av rester från utvinning av t.ex. fetter/olja från bl.a. sojaböna. Proteinfodret kan även vara restprodukter från industriella processer, t.ex. drank från produktion av etanol. Den energi som används vid produktionen av proteinfodret blir direkt energi på de gårdar där det produceras och indirekt energi på de gårdar som köper in detta foder. Den energi som används för produktionen av de industriellt producerade komponenterna i fodret blir indirekt energi då de köpts in. Dessutom tillkommer den energi som används för att transportera fodret till den gård där det konsumeras, även denna energi blir indirekt energi vid analys av energianvändningen på en gård. Viktigt för att hålla nere användningen av den indirekta

energin i fodret är att se till att foderförluster undviks och fodret utnyttjas optimalt, dvs. att utfodringen optimeras samt att djurens hälsa och välbefinnande är så bra som möjligt.

## 9.5. Maskiner

En stor mängd energi används för att producera det material som ingår i alla maskiner som används i jordbruket, både i fält och inomgårds (Pimentel, 1980; Bowers, 1992; Börjesson, 1994; Kitani m.fl., 1999; Bernesson, 2004; Safa, 2022; Jensen m.fl., 2022; Sims, 2022a). Det gäller brytning, förädling, tillverkning, distribution, användning och eventuell omhändertagande av materialet som avfall/skrotning efter användningstidens slut. Det är mest metaller som järn och koppar, gummi, olika plaster, glas, trä med mera. Denna energi kan ha fossilt ursprung såsom olja, kol och gas, eller kärnkraft, eller förnybart såsom sol, vind och vatten. Detta gör att energianvändningen för att producera en viss råvara, maskin, eller vara kan vara väldigt olika beroende på materialets ursprung och i vilket område den/det producerats. En ökande omställning till användning av förnybar energi eller annan fossilfri energi vid produktionen av det här materialet leder till en minskande klimatbelastning för detta. För att minska den indirekta energianvändningen som är bunden i maskinerna är det viktigt att dessa används så mycket som möjligt (får många timmars användningstid att sprida ut miljöbelastningen på) eller används så lång tid som möjligt (får många år att sprida ut miljöbelastningen på). Att maskiner delas mellan flera lantbrukare gör att den här energiinsatsen minskar per producerad livsmedelsenhet. Det finns uppgifter att 32-80 MJ/kg maskinvikt används till att producera det material som ingår i jordbrukets maskiner (Pimentel, 1980; Bowers, 1992; Bernesson, 2004; Zentner m.fl., 2004; Jensen m.fl., 2022; Sims, 2022a).

## 9.6. Byggmaterial

Det används även mycket energi för att producera allt byggmaterial som ingår i alla lantbrukets byggnader (Spugnoli m.fl., 1992; Bernesson, 2004; Liljenström m.fl., 2015). Olika material beter sig olika och har olika krav på energianvändning för sin produktion. Vid produktionen av cement och betong med kalksten som råvara, så måste denna brännas i processen, vilket leder till stora koldioxidutsläpp samt är energikrävande. Även stål och järn samt plaster, glas och gummi ingår i en byggnad liksom i maskiner, se Kapitel 9.5. Maskiner, ovan. Trä och andra växtmaterial beter sig annorlunda då dessa tar upp kol från atmosfären under fotosyntesen då de bildas, vilket medför att de blir kolsänkor som håller kol borta från atmosfären så länge de ingår i byggnaden. Processerna för att producera byggmaterial från dessa är dessutom enklare än för produktion av andra typer av byggmaterial. Detta leder till lägre energianvändning vid produktion av växtbaserade byggnadsmaterial. Energinvändningen, klimatprestandan och miljöbelastningen för produktionen av en byggnad är därför starkt beroende av vilka material som ingår i

byggnadskonstruktionen. Materialåtgången kan öka då byggnader byggs mer välisolerade för lägre behov av energi för uppvärmning, vilket leder till att mer energi används för produktionen av byggmaterialet till dessa byggnader. Det är även viktigt att byggnaden får stå under lång tid (många år), användas under sin hela livslängd samt användas effektivt för att dess klimat- och miljöbelastning ska bli så låg som möjligt. En annan sak är att det används energi för att uppföra byggnaden (Liljenström m.fl., 2015; Larsson m.fl., 2016; Erlandsson, 2020). Det gäller de drivmedel som behövs för att transportera byggmaterialet till byggarbetsplatsen, de drivmedel och den el som behövs för att uppföra byggnaden, den värmeenergi och den el som behövs till byggarbetarnas bodar för måltider, hygien med mera. Tillsammans är detta stora energimängder där besparingar är möjliga genom val av byggmaterial, effektivisering av processerna för produktion av byggmaterialet, optimering av logistik samt optimering av byggprocessen med mera.

## 9.7. Produktionsanläggningar

I de anläggningar där förnödenheter till jordbruket, såsom konstgödsel, bekämpningsmedel och drivmedel, produceras, ingår även maskiner och byggnader som vid sin tillverkning och uppförande behöver insatser av energi och förnödenheter på liknande sätt som för de maskiner och byggnader som ingår i jordbrukets produktion av livsmedel m.m. (Pimentel, 1980; Bowers, 1992; Spugnoli m.fl., 1992; Bernesson, 2004). Dessa anläggningar har vanligen ett mycket högt årligt utnyttjande då dess uppförande kräver stora investeringar, har krav på lönsamhet samt är konkurrensutsatta. Detta leder till att deras andel av jordbrukets energitillförsel, utsläpp av växthusgaser och klimatbelastning blir ytterst liten. Energieffektiviseringsåtgärder här får en ytterst marginell påverkan på jordbrukets energianvändning. Effektiviseringsåtgärderna här är dock av betydelse för de anläggningar där förnödenheterna produceras.

## 9.8. Transport av förnödenheter

Transporterna av förnödenheterna, maskinerna och byggnadsmaterialen har även en inverkan på dessas energi-, klimat- och miljöprestanda. Flyg- och vägtransport har större energibehov än järnvägs- och båttransporter och därmed högre klimat- och miljöbelastning (Stenkvist, 2003; Bernesson, 2004; NTM, 2023). Det drivmedel som används vid transporterna har stor betydelse, där det fossila är sämst, bioenergi bättre och el från förnybar energi är bäst om den finns och är möjlig att använda. Planeringen av transporterna har betydelse. Ju högre fyllnadsgrad transporterna har desto bättre. Finns det möjlighet att ta returlast så är det en fördel. Likaså om fordonen används under lång tid så det blir mycket material m.m. att fördela energianvändning, klimat- och miljöbelastning på. En noggrann analys av logistiken samt optimering av denna är därför viktig i ett energiavseende.

## 9.9. Plast

I det svenska jordbruket, liksom i flera andra länder i tempererade klimat, används numera en stor mängd plast till inplastningen av ensilagebalar. Plast används även vid andra ensileringsmetoder såsom t.ex. täckning av plansilos och vid ensilering i plastkorvar/-tuber, men i betydligt mindre omfattning. Ungefär 10 procent av den indirekta energin som används i det svenska jordbruket används för produktionen av ensilageplast (Baky m.fl., 2010; SOU, 2021). Materialet i den plast som används är eten (SOU, 2021). Denna plast kan produceras från både fossil och förnybar råvara. Den kan även produceras från återvunnen plast vilket leder till energibesparing. Det är därför viktigt att den återvinns i så hög utsträckning som möjligt.

## 9.10. Kalk

En liten andel av den indirekta energin som används i jordbruket används för att producera den kalk som används i jordbruket (Baky m.fl., 2010; SOU, 2021). Kalken används framför allt för att höja eller bibehålla pH-värdet i marken eller för att förbättra jordstrukturen. Kalk kan även användas som en tillsats i foder. Kalken har vanligen sitt ursprung i kalksten eller dolomit och bryts inom eller utom landet. Den kan även komma från industriella processer i form av biprodukter som t.ex. silikatalkaler eller sockerbrukskalk. Energianvändningen vid produktionen beror på vilken produktionsmetod som används och om den är en biprodukt. Bränning av kalk är energikrävande samt leder till utsläpp av den koldioxid som kemiskt är bunden till kalken. Det är viktigt att produktionsprocesserna optimeras vad gäller energianvändning.

## 9.11. Utsäde

En nästintill försumbar andel av den indirekta energin används för produktionen av utsäde (Baky m.fl., 2010; SOU, 2021). Detta utsäde kan ha odlats på andra gårdar inom eller utom landet och då gäller för energieffektivisering det som anges i Kapitel 2. Fältarbeten, ovan. Då det är viktigt med ett utsäde med god kvalitet, odlas och produceras detta vanligen på gårdar som är specialiserade på detta, samt att den efterföljande hanteringen sker på specialiserade utsädesföretag. Ofta betas utsädet, dvs. behandlas med växtskyddsmedel innan sådd för undvikande av växtsjukdomar. Allt utsäde som säljs i handeln i Sverige är certifierat. En god grobarhet och etablering leder till en säkrare och högre skörd och därmed att insatt energi utnyttjas effektivt.



## 10. Diskussion

### 10.1. Hög produktion viktigt

En så hög produktion i förhållande till insatt energi och insatta förnödenheter/ produktionsmedel är viktigt för att den insatta energin ska nyttjas så effektivt som möjligt.

Vid produktionen av vegetabilier och biomassa är en hög produktion i förhållande till insatta produktionsmedel, som konstgödsel, bekämpningsmedel och drivmedel, viktigt för en så energieffektiv produktion som möjligt (Spink m.fl., 2009; Lantmännen, 2019). Det är även viktigt med en hög avkastning baserad per arealenhet då brukandet av denna kräver insatser av energi vid t.ex. jordbearbetning och skörd. Det är därför viktigt att grödan har god tillgång till näringsämnen och vatten samt har en god hälsa. Detta gör att tillförseln av konstgödsel, naturgödsel, bekämpningsmedel, bevattning, god dränering, undvikande av markpackning, kontinuerlig växtförädling med mera även får en stor betydelse för hur väl den insatta energin kan utnyttjas.

Vid produktion av animalier, såsom kött, mjölk och ägg, är det en fördel om produktionsdjuren har en så hög produktion som möjligt i förhållande till insatt foder och andra förnödenheter. Det är även en fördel om mjölkkor, dikor, suggor och värphöns kan vara i produktion så länge som möjligt, för mjölkkor ha många laktationer, för dikor få många kalvar, för suggor få många smågrisar och för värphöns värpa många ägg, som energi-, klimat- och miljöbelastningen kan fördelas på. Det är en fördel om djuren så fort som möjligt kommer i produktion efter att de fötts eller kläckts. För mjölkkor, dikor och suggor är det fördelaktigt om djuren lätt blir dräktiga och får en frisk och högproducerande avkomma. Viktigt är även avelsdjurens och deras avkommas hälsoläge, då sjukdom och skador leder till avbräck i produktionen. Tillförd energi, foder och andra produktionsmedel kommer ju då inte till nytta. Djurens välbefinnande är därför viktigt för en energieffektiv produktion.

### 10.2. Generell diskussion

Då det används stora mängder energi inom jordbrukssektorn, både som direkt energi och indirekt energi, finns stora möjligheter att genom ändrat beteende, investeringar i bättre utrustning och bättre system göra effektiviseringar och därmed besparingar.

Det är vanligt att man i energibalansberäkningar, miljöbelastningsberäkningar och livscykelanalyser bortser från insatsen av den indirekta energi som används vid produktionen av de maskiner och byggnader som används vid produktionen av jordbruksgrödor. Detta då dess andelar av den totala energianvändningen vanligen ligger på ett par procentenheter upp till något tiotal procent (Bernesson, 2004). Det förekommer även att schablonvärden används för insatsen av indirekt energi. Det är dock viktigt att vara medveten om att den kan få en stor inverkan om produktionen skulle bli låg i förhållande till insatt energi och insatta förnödenheter, samt att den kan bli hög för en maskin som endast nyttjas ett litet antal timmar per år. Den indirekta energin går kanske inte att bortse från om man planerar att göra beräkningar för år med missväxt eller för djur som drabbas av ohälsa eller låg produktion av andra orsaker.

Då flertalet studier som gjorts över energianvändningen och möjligheter till energieffektivisering är ganska gamla, och jordbruket under senare år genomgått en stor strukturomvandling mot allt större enheter samtidigt som mycket ny teknik utvecklats, finns ett behov av mera djupgående studier inom området.

I den här rapporten ges en mängd förslag till hur energi kan sparas inom jordbrukets produktionsgrenar. Det görs en väldigt bred genomgång av hur energieffektivisering och energibesparing kan ske inom jordbrukets alla produktionsgrenar. Därför har det inte funnits möjlighet att gå så djupt i de olika delmomenten, så den som vill gå djupare i de olika delarna rekommenderas att ta del av den refererade litteraturen. Då energianvändningen i lantbruket utgör en del av mera omfattande system, vilka interagerar och påverkar varandra på en mängd olika sätt, måste därför arbete för att reducera energianvändningen normalt göras med ett systemperspektiv. . Materialet kan även användas av lantbruksnäringen och rådgivare för att sprida kunskap till lantbrukare.

## Referenser

Abadia, R., Rocamora, C., Ruiz, A., Puerto, H. 2008. Energy efficiency in irrigation distribution networks I: Theory. *Biosystems Engineering* 101(1), 21-27.

AG Precision. 2022. Precisionsjordbruk. AG Precision Aps, Trulstorpsvägen 218, 245 92 Staffanstorp. <https://ag-precision.com/sv/precisionsjordbruk>. Avläst: 2022-10-11.

Al-Aani, F.S., Darr, M.J., Covington, B.J., Powell, L.J. 2016. The Performance of Farm Tractors as Reported by Can-Bus Messages. ASABE Paper Number: 162461746. St. Joseph, MIC: American Society of Agricultural and Biological Engineers. <https://doi.org/10.13031/aim.20162461746>.

Alig, M., Mieleitner, J., Baumgartner, D. 2010. Umweltwirkung der Milchproduktion (Environmental impact of milk production). Presented at Ökobilanzierung Landwirtschaftlicher Betriebe, 24 November, Zürich, Switzerland.

Andersson, R., Bång, M., Frid, G., Paulsson, R. 2010. Minskade växtnäringsförluster och växthusgasutsläpp till 2016 – förslag till handlingsprogram för jordbruket. Jordbruksverket. Rapport 2010:10. 60 s.

Archer, G.S. 2017. Color temperature of light-emitting diode lighting matters for optimum growth and welfare of broiler chickens. *Animal* (2018), 12(5), 1015-1021. doi:10.1017/S1751731117002361.

Bailey, J.A., Gordon, R., Burton, D., Yiridoe, E.K. 2008. Energy conservation on Nova Scotia Farms: Baseline energy data. *Energy* 33(7), 1144-1154.

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

Baky, A., Sundberg, M., Brown, N. 2010. Kartläggning av jordbrukets energianvändning. Ett projekt utfört på uppdrag av Jordbruksverket. Uppdragsrapport, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala. 39 s.

Barber, A. 2004. Seven Case Study Farms: Total Energy & Carbon Indicators for New Zealand Arable & Outdoor Vegetable Production. AgriLINK New Zealand Ltd. [www.agrilink.co.nz/Portals/AgriLink/Files/Arable\\_Vegetable\\_Energy\\_Use\\_Main\\_Report.pdf](http://www.agrilink.co.nz/Portals/AgriLink/Files/Arable_Vegetable_Energy_Use_Main_Report.pdf).

Bartkowiak, A.M. 2021. Energy-saving and low-emission livestock buildings in the concept of a smart farming. *Journal of Water and Land Development*, 51 (X–XII), 272-278. DOI: 10.24425/jwld.2021.139935. e-ISSN 2083-4535. Polish Academy of Sciences

(PAN), Institute of Technology and Life Sciences – National Research Institute (ITP – PIB).

Beard, R. 2019. Energy-Efficient Hot Water for Farms. Farm energy, 3 April, 2019. <https://farm-energy.extension.org/energy-efficient-hot-water-for-farms/>. Avläst: 2022-10-21.

Bernesson, S. 2004. Life cycle assessment of rapeseed oil, rape methyl ester and ethanol as fuels – a comparison between large- and small-scale production. Miljö, teknik och lantbruk, Rapport 2004:01, Inst f biometri och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. ISSN 1652 3237. 273 s.

Botermans, J., Olsson, A.-C., Jeppsson, K.-H. 2014. Energiförbrukningen för att ventiler i slaktgrisstallar kan reduceras genom att använda ventilationskanaler under stallet. LTV-fakultetens faktablad Info nr. 2014:21, Fakta från Partnerskap Alnarp, Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp. 4 s.

Bowers, W. 1992. Agricultural Field Equipment. Section 10 in: Energy in Farm Production, Energy in World Agriculture, 6, editor Fluck, R.C. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands and New York, NY, USA. ISBN 0-444-88681-8. S. 117-129.

Brennen, J.S., Kreiss, D. 2016. Digitalization. In The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy (eds: Jensen, K.B., Rothenbuhler, E.W., Pooley, J.D., Craig, R.T.). Doi: <https://doi.org/10.1002/9781118766804.wbiect111>.

Börjesson, P. 1994. Energianalyser av biobränsleproduktion i svenskt jord- och skogsbruk - idag och kring 2015. Energy analyses of biomass production in Swedish agriculture and forestry – today and around 2015. Inst. f. miljö- och energisystem, Lunds universitet, Lunds tekniska högskola, Lund, Sweden. IMES/EESS Report No 17, Juli 1994. ISSN 1102-3651. ISBN 91-88360-20-2. 64 s.

Börjesson, P., Lundgren, J., Ahlgren, S., Nyström, I. 2013. Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel. Underlagsrapport från f3 till utredningen om FossilFri Fordonstrafik. Rapport f3 2013:13, f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. 209 s.

Börjesson, P., Lundgren, J., Ahlgren, S., Nyström, I. 2016. Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel – i sammandrag. 2016-03-31. Rapport f3 2016:03, f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. 28 s.

Börjesson, P., Tufvesson, L., Lantz, M. 2010a. Livscykelanalys av svenska biodrivmedel. Rapport Nr. 70, Avdelningen för miljö- och energisystem, Institutionen för teknik och samhälle, Lunds Tekniska Högskola, Lunds unversitet, Lund. ISSN 1102-3651. ISRN LUTFD2/TFEM--10/3061--SE + (1-88). ISBN 91-88360-96-2. 97 s.

Börjesson, P., Tufvesson, L., Lantz, M. 2010b. Life Cycle Assessment of Biofuels in Sweden. Lund University, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Report No 70. ISSN 1102-3651. ISRN LUTFD2/TFEM--10/3061--SE + (1-88). ISBN 91-88360-96-2. 100 s.

Casimir, J., Engström, J., Flisberg, P., Frisk, M., Hansson, E., Kihlstedt, A., Rönnqvist, M. 2019. Skiftning av åkermark för ett effektivare jordbruk. RISE - Research Institutes of Sweden AB, Rapport 2019:43. Uppsala. ISBN 978-91-88907-70-7. 44 s.

CIGR. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. International Commission of Agricultural Engineering. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers. Vol I: ISBN 978-1892769015, 570 s; Vol II: ISBN 978-0929355986, 359 s; Vol III: ISBN 978-1892769022, 660 s; Vol IV: ISBN 978-1892769039, 544 s; Vol V: ISBN 978-0929355979, 351 s.

Conforti, P., Giampietro, M. 1997. Fossil energy use in agriculture: An international comparison. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 65(3), 231-243.

Edman, F., Pourazari, F., Ahlgren, S., Behaderovic, D., Nielsen, P.P., Kardeby, V. 2022. Potential to reduce climate impact with digitalisation in agriculture – literature review and a case study of milk. *Mistra Food Futures Report No. 5 2022*. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. ISBN 978-91-8046-752-0 (electronic), 978-91-8046-753-7 (print). 43 s.

Edström, M., Jansson, L.E., Lantz, M., Johansson, L.-G., Nordberg, U., Nordberg, Å. 2008. Gårdsbaserad biogasproduktion, system ekonomi, klimatpåverkan. *JTI-rapport Kretslopp & Avfall 42*, JTI, Uppsala.

Ellevio. 2022. Så fungerar LED-lampor – 9 frågor och svar. *Privat/Energismart/Energi hemma*, 8 januari 2018. <https://www.ellevio.se/privat/energismart/energi-hemma/led-lampor/>. Avläst: 2022-12-29.

Energimyndigheten. 2014. *Energianvändning inom jordbruket 2013*. Energy use in the agricultural sector 2013. ES 2014:07, Energimyndigheten, Enheten för energistatistik, Eskilstuna och SCB, Enheten för lantbruksstatistik, Örebro. ISSN 1654-7543. 29 s.

Energimyndigheten. 2018. *Energihushållning i jordbruk*. En vägledning för bästa teknik. ET 2018:9, Energimyndigheten, Eskilstuna. ISSN 1404-3343. 16 s.

Engström, J., Lagnelöv, O. 2018. An Autonomous Electric Powered Tractor - Simulation of All Operations on a Swedish Dairy Farm. *Journal of Agricultural Science and Technology* 8(3), 182-187. <https://doi.org/10.17265/2161-6256/2018.03.006>.

Erlandsson, M. 2020. *Modell för bedömning av svenska byggnaders klimatpåverkan – inklusive konsekvenser av befintliga åtgärder och styrmedel*. IVL - Svenska Miljöinstitutet, Rapportnummer Nr. C 433, februari 2019, reviderad april 2020. Stockholm. ISBN 978-91-7883-095-4. 46 s.

FCCT. 2023. *Energy Efficiency to reduce costs and minimise Greenhouse Gas emissions*. Farm Carbon Cutting Toolkit. <https://farmcarbontoolkit.org.uk/toolkit/farmghgs/energy/energy-efficiency/>. Pdf 12 s. Avläst: 2023-03-21.

Fluck, R.C. (ed.) 1992. *Energy in World Agriculture (vol. 6)*. Energy in Farm Production. Amsterdam: Elsevier. ISBN 978-0-444-59781-6. 367 s.

Fluck, R.C., Baird, C.D. 1980. *Agricultural Energetics*. Westport, CT: AVI Pub. Co. 192 s.

Foster, G.H., McKenzie, B.A., DeForest, S.S. 2015. Solar Heat for Grain Drying – Selection, Performance, Management. Historical Documents of the Purdue Cooperative Extension Service. Paper 1078. Department of Agricultural Communication, Purdue e-Pubs, September 2015, Purdue University. <https://docs.lib.purdue.edu/agext/1078>.

Fredriksson, P. 2019. Precisionsjordbruk enda vägen framåt. Jordbruksaktuellt. Örebro. 7 januari 2019.

Gode, J., Martinsson, F., Hagberg, L., Öman, A., Höglund, J., Palm, D., Ekvall, T., Hallberg, L., Högberg, J., Ljunggren Söderman, M., Jerksjö, M., Rydberg, T. 2011. Miljöfaktaboken 2011. Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter. Estimated emission factors for fuels, electricity, heat and transport in Sweden. Rapport 1183, Projekt A08-833, Värmeforsk, Anläggnings och Förbränningsteknik. Värmeforsk Service AB, Stockholm, April 2011. ISSN 1653-1248. 161 s.

Grisso, R.D., Kocher, M.F., Vaughan, D.H. 2004. Predicting tractor fuel consumption. *Applied Engineering in Agriculture* 20(5), 553-561.

Grogan, J., Morris, D.A., Searcy, S.W., Stout, B.A. 1987. Microcomputerbased tractor performance monitoring and optimization system. *Journal of Agricultural Engineering Research* 38(4), 227-243. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(87\)90091-6](https://doi.org/10.1016/0021-8634(87)90091-6).

Grubinger, V., Sanford, S. 2019. Ventilation and Cooling Systems for Animal Housing. *Farm energy*, 3 April, 2019. <https://farm-energy.extension.org/ventilation-and-cooling-systems-for-animal-housing/>. Avläst: 2022-10-21.

Hartman, K., Sims, R. 2006. Saving energy on the dairy farm makes good sense. In: *Proceedings of the 4th Dairy Conference*. Centre for Professional Development and Conferences, Massey University, Palmerston North, New Zealand. S. 11–21.

Hashemi, M., Herbert, S., Chickering-Sears, C., Weis, S., Gradil, C., Purdy, S., Huyler, M., Prostack, R., Carlevale, J. 2022. Reducing Energy Use on the Dairy Farm. CDLE Pub. 11-55, University of Massachusetts Amherst. <https://ag.umass.edu/crops-dairy-livestock-equine/fact-sheets/reducing-energy-use-on-dairy-farm>. Avläst: 2022-10-20.

Helgstrand, S., Weijber, H. 2010. Ljudnivån i kycklingstallar. Mätningar i olika stallar och vid olika tidpunkter under uppfödningstiden. Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten. Lantmästarprogrammet 10 hp. Fakulteten för Landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet. Alnarp. 34 s.

Hellevang, K., Pedersen, C. 2019a. Grain Drying Energy Efficiency Checklist and Tips. *Farm energy*, April 3, 2019. <https://farm-energy.extension.org/grain-drying-energy-efficiency-checklist-and-tips/>. Avläst: 2022-10-21.

Hellevang, K., Pedersen, C. 2019b. Farm Shop Energy Efficiency Checklist and Tips. *Farm energy*, April 3, 2019. <https://farm-energy.extension.org/farm-shop-energy-efficiency-checklist-and-tips/>. Avläst: 2022-10-21.

Helsel, Z.R. 2019. Farm energy: Energy use and efficiency in pest control, including pesticide production, use, and management options. *Farm energy*, April 3, 2019. <https://farm-energy.extension.org/energy-use-and-efficiency-in-pest-control-including-pesticide-production-use-and-management-options/>. Avläst: 2023-03-29.

Helsel, Z.R., Grubinger, V. 2019. Introduction to Energy-Efficient Tractor and Field Operations. Farm energy, April 3, 2019. <https://farm-energy.extension.org/introduction-to-energy-efficient-tractor-and-field-operations/>. Avläst: 2022-10-21.

Herbert, S., Hashemi, M., Chickering-Sears, C., Weis, S., Carlevale, J., Campbell-Nelson, K. 2022. Energy Conservation and Efficiency. CDLE Pub 09-55, University of Massachusetts Amherst. <https://ag.umass.edu/crops-dairy-livestock-equine/fact-sheets/energy-conservation-efficiency>. Avläst: 2022-10-20.

Hoy, R.M., Rohrer, R., Liska, A., Luck, J.D., Isom, L. 2014. Agricultural industrial advanced vehicle technology: Benchmarkstudy for reduced petroleum use. Adam Liska Papers No. 19. INL/EXT-14-33118. Lincoln: University of Nebraska; Idaho Falls, Idaho. Idaho National Laboratory. 62 s. <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1018&context=bseliska>. Avläst: 2023-03-29.

Hülsbergen, K.J., Kalk, W.D. 2001. Energy Balances in Different Agricultural Systems – Can They Be Improved? Paper presented at the The International Fertiliser Society. ISBN 978-0-85310-112-3. 36 s.

Hörndahl, T. 2007. Energiförbrukning i jordbrukets driftsbyggnader - en kartläggning av 16 gårdar med olika driftsinriktning. Rapport 145, Inst. f jordbrukets biosystem och teknologi (JBT), Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp. 61 s.

Hörndahl, T. 2008. Energy Use in Farm Buildings—A Study of 16 Farms with Different Enterprises. Revised and translated second edition. Report 2008:8, Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agricultural Science, Swedish University of Agricultural Sciences. Alnarp. ISSN 1654-5427. ISBN 978-91-85911-76-9. <https://pub.epsilon.slu.se/3396/1/Eng-rapport145-v1.pdf>. 69 s.

Hörndahl, T., Neuman, L. 2012. Energiförbrukning i jordbrukets driftsbyggnader – En kartläggning av 16 gårdar 2005-2006 kompletterat med mätningar på två gårdar 2010-2012. Rapport 2012:19, Lantbrukets byggnadsteknik, Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp. ISSN 1654-5427. ISBN 978-91-87117-18-3. 63 s.

Hörndahl, T., von Wachenfelt, E., von Wachenfelt, H. 2013. Belysning i stallbyggnader - Energieffektiv belysning och god djurvälstånd. Lighting in animal houses - energy efficient lighting and animal welfare. Rapport 2013:8, Inst. f Lantbrukets byggnadsteknik, Sveriges lantbruksuniversitet. Alnarp. ISSN 1654-5427. ISBN 978-91-87117-39-8. 59 s.

Ilyas, H.M.A., Safa, M., Bailey, A., Rauf, S., Khan, A. 2020. Energy efficiency outlook of New Zealand dairy farming systems: An application of data envelopment analysis (DEA) approach. *Energies* 13(1), 251.

James, D. 2018. 6 energy efficiency tips for pig farmers. *Farmers weekly*, 21 March 2018. <https://www.fwi.co.uk/livestock/6-energy-efficiency-tips-for-pig-farmers>. Avläst: 2022-10-19.

Jensen, T.A., Tullberg, J.N., Antille, D.L. 2022. Improving farm machinery operation and maintenance to optimise fuel use efficiency. Chapter 3 in Sims, R.E.H. (ed.) 2022.

Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). S. 71-101.

Jenssen, T.K., Kongshaug, G. 2003. Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production. Proceedings No. 509. Paper presented to The International Fertiliser Society at a Meeting in London 3rd April 2003. The International Fertiliser Society, York, United Kingdom. 29 s.

Johnson, R., Pederson, C. 2019. Livestock Watering Systems Energy Efficiency Checklist and Tips. Farm energy, 3 April, 2019. <https://farm-energy.extension.org/livestock-watering-systems-energy-efficiency-checklist-and-tips/>. Avläst: 2022-10-21.

Johnston, L.J., Hammers, K.L. 2022. Energy-smart pig farming. Chapter 10 in Sims, R.E.H. (ed.) 2022. Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). S. 289-315.

Jordbruksverket. 2012. Ett klimatvänligt jordbruk 2050. Rapport 2012:35. 118 s.

Karlsson, A.E., Hörndahl, T., Nordman, R. 2012. Energy recover from milk cooling. Report 401. Agriculture & Industry. JTI—Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering, Uppsala, Sweden.

Karlsson Potter, P., Delin, S., Engström, L., Stenberg, B., Hansson, P.-A. 2022. Precision nitrogen application – potential to lower the climate impact of crop production. Mistra Food Futures Report No. 9, 2022, Swedish University of Agricultural Sciences. ISBN 978-91-8046-767-4 (electronic). 978-91-8046-766-7 (print). 37 s.

Kesicki, F. 2010. The third oil price surge – What's different this time? Energy Policy, 38(3), 1596-1606. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.11.044>.

Kitani, O. (ed.), Jungbluth, T., (co-ed.), Peart, R.M., (co-ed.), Ramdani, A. (co-ed.) 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Volume V: Energy and Biomass Engineering. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers. ISBN 978-0929355979. 351 s.

Kuesters, J., Lammel, J. 1999. Investigations of the energy efficiency of the production of winter wheat and sugar beet in Europe. European Journal of Agronomy 11(1), 35-43. doi: 10.1016/S1161-0301(99)00015-5.

Lagnelöv, O. 2023. Electric autonomous tractors in Swedish agriculture. A systems analysis of economic, environmental and performance effects. Doctoral Thesis No. 2023:13, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Swedish University of Agricultural Sciences (SLU). ISSN 1652-



6880. ISBN (print version) 978-91-8046-078-1. ISBN (electronic version) 978-91-8046-079-8. 192 s.

Lagnelöv, O., Dhillon, S., Larsson, G., Nilsson, D., Larsolle, A., Hansson, P.-A. 2021a. Cost analysis of autonomous battery electric field tractors in agriculture. *Biosystems engineering* 204, 358-376.

Lagnelöv, O., Larsson, G., Larsolle, A., Hansson, P.-A. 2021b. Life Cycle Assessment of Autonomous Electric Field Tractors in Swedish Agriculture. *Sustainability* 13, 11285. 24 s. <https://doi.org/10.3390/su132011285>.

Lagnelöv, O., Larsson, G., Larsolle, A., Hansson, P.-A. 2022. El-traktorers potential att minska Sveriges klimatpåverkan. – En studie av maskinsystem i lantbruket. *Mistra Food Futures Report No. 10, 2022*, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. ISBN 978-91-8046-769-8 (elektronisk). ISBN 978-91-8046-768-1 (tryckt). 38 s.

Lagnelöv, O., Larsson, G., Nilsson, D., Larsolle, A., Hansson, P.-A. 2020. Performance comparison of charging systems for autonomous electric field tractors using dynamic simulation. *Biosystems engineering* 194, 121-137.

Lantmännen. 2019. Vägen mot ett klimatneutralt jordbruk 2050. Rapport: Framtidens jordbruk. (Hjerpe, K. (red.)). Lantmännen. 36 s.

Lantmännen. 2021. Mjölk & Nötkött. Rapport: Framtidens jordbruk. HKScan, Arla, Växa, LRF, Lantmännen, Svenskt Kött, Yara, DeLaval. 48 s.

Lantmäteriet. 2022. GPS och andra GNSS. <https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/gps-geodesi-och-swepos/GPS-och-satellitpositionering/GPS-och-andra-GNSS/>.

Larsson, M., Erlandsson, M., Malmqvist, T., Kellner, J. 2016. Byggandets klimatpåverkan. Livscykelberäkning av klimatpåverkan för ett nyproducerat flerbostadshus med massiv stomme av trä. IVL – Svenska Miljöinstitutet, Stockholm, Rapport B2260. ISBN 978-91-88319-03-6. 67 s.

Liang, Y. 2022. Energy-smart poultry farming. Chapter 11 in Sims, R.E.H. (ed.) 2022. *Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability*. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). S. 317-337.

Liljenström, C., Malmqvist, T., Erlandsson, M., Fredén, J., Adolfsson, I., Larsson, G., Brogren, M. 2015. Byggandets klimatpåverkan. Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong. Rapport nr. C 68, IVL - Svenska Miljöinstitutet, Rapport nr. B2217, Sveriges Byggindustrier. 70 s.

Lin, X., Sun, X., Manogaran, G., Rawal, B.S. 2021. Advanced energy consumption system for smart farm based on reactive energy utilization technologies. *Environmental Impact Assessment Review* 86, 106496. doi: 10.1016/j.eiar.2020.106496.

Maris, S.C., Teira-Esmatges, M.R., Arbonés, A., Rufat, J. 2015. Effect of irrigation, nitrogen application, and nitrogen inhibitor on nitrous oxide, carbon dioxide and methane

emissions from an olive (*Olea europaea* L.) orchard. *Science of The Total Environment* 538, 966-978. Doi: <https://doi.org/10-1016/j.scitotenv.2015.08.040>.

Markensten, T., Bodin, P., Andersson, J., Hagerberg, A., Samuelsson, L., Loberg, J., Söderberg, T., Bång, M., Niemi Hjulfors, L., Frid, G., Franke, U. 2018. Hur kan den svenska jordbrukssektorn bidra till att vi når det nationella klimatmålet? Sammanställning av pågående arbete och framtida insatsområden. Jordbruksverket. Rapport 2018:1. 131 s.

McCarthy, B., Anex, R., Wang, Y., Kendall, A.D., Anctil, A., Haacker, E.M., Hyndman, D.W. 2020. Trends in water use, energy consumption, and carbon emissions from irrigation: Role of shifting technologies and energy sources. *Environmental Science and Technology* 54, 15329-15337.

Mckenzie, B.A., Foster, G.H., DeForest, S.S. 1980. Dryeration & Bin Cooling Systems For Grain. AE-107, Purdue University, Cooperative Extension Service, West Lafayette, IN 47907. 17 s.

Meul, M., Nevens, F., Reheul, D., Hofman, G. 2007. Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119(1-2), 135-144. doi: 10.1016/j.agee.2006.07.002.

Mondal, P., Tewair, V. 2007. Present status of precision farming, a review. *International Journal of Agricultural Research* 5(12), 1124-1133.

Moreda, G.P., Muñoz-García, M.A., Barreiro, P. 2016. High voltage electrification of tractor and agricultural machinery a review. *Energy Conversion and Management* 115, 117-131.

Mossberg, I., Jönsson, H. 1996. The influence of day length and temperature on food intake and growth rate of bulls given concentrate or grass silage ad libitum in two housing systems. *Animal Science* 62(2), 233-240.

Nemecek, T., Hugenin, O., Dubois, D., Gaillard, G., Schaller, B., Chervet, A. 2011. Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production. *Agricultural Systems* 104, 233-245.

Neuman, L. 2009. Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008. LRF Konsult.

Neuman, L. 2013a. Handbok om energieffektivisering. Energieffektivisering i djurproduktionen. LRF Konsult, Ulricehamn. 344 s.

Neuman, L. 2013b. Bra teknik för att spara energi i djurproduktion. Ett delprojekt inom projekt Underlag energieffektivisering. LRF Konsult, Ulricehamn. 60 s.

Nowatzki, J., Pedersen, C. 2019. Tractor and Field Operations Energy Efficiency Checklist and Tips. *Farm Energy*, April 3, 2019. <https://farm-energy.extension.org/tractor-and-field-operations-energy-efficiency-checklist-and-tips/>. Avläst: 2022-10-21.

NTM. 2023. Default and benchmark transport data. NTM – Network for Transport Measures, Stockholm. <https://www.transportmeasures.org/en/wiki/evaluation-transport-suppliers/>. Avläst: 2023-04-22.

Ockert, K. 2019. Decreasing daylight and its effect on laying hens. Michigan State University Extension - October 01, 2019. <https://www.canr.msu.edu/news/decreasing-daylight-and-its-effect-on-laying-hens>. Avläst: 2023-04-25.

Odum, H.T. 1994. *Ecological and General Systems: An Introduction to Systems Ecology* (rev. edn.). Niwot, CO: University Press of Colorado. 662 s.

Odum, H.T., Odum, E.C. 1976. *Energy Basis for Man and Nature*. New York: McGraw-Hill. 297 s.

Olesen, J.E., Jørgensen, U., Hermansen, J.E., Petersen, S.O., Eriksen, J., Sjøgaard, K., Vinther, F.P., Elsgaard, L., Lund, P., Nørgaard, J.V., Møller, H.B. 2013. Effekter af tiltag til reduktion af landbrugets udledninger af drivhusgasser. Aarhus Universitet, DCA Rapport nr. 27.

Olesen, J.E., Petersen, S.O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P., Lassen, J. 2018. Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. DCA Rapport nr 130 - September 2018. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 118 s.

Pang, S.N., Zoerb, G.C., Wang, G. 1985. Tractor monitor based on indirect fuel measurement. *Transactions of the ASABE* 28(4): 0994–0998. <https://doi.org/10.13031/2013.32375>.

Pedersen, C. 2019. Farm Lighting Energy Efficiency Checklist and Tips. *Farm energy*, 3 April, 2019. <https://farm-energy.extension.org/farm-lighting-energy-efficiency-checklist-and-tips/>. Avläst: 2022-10-21.

Pedersen, C., Hellevang, K. 2019. Livestock Buildings Energy Efficiency Checklist and Tips. *Farm energy*, 3 April, 2019. <https://farm-energy.extension.org/livestock-buildings-energy-efficiency-checklist-and-tips/>. Avläst: 2022-10-21.

Pelletier, N., Audsley, E., Brodt, S., Garnett, T., Henriksson, P., Kendall, A., Kramer, K.J., Murphy, D., Nemecek, T., Troell, M. 2011. Energy Intensity of Agriculture and Food Systems. *Annual Review of Environment and Resources* 36, 223-246.

Pelletier, N., Lammers, P., Stender, D., Pirog, R. 2010. Life cycle assessment of high- and low-profitability conventional and deep-bedded niche swine production systems in the upper midwestern United States. *Agricultural Systems* 103(9), 599-608.

Pellizzi, G., Guidobono Cavalchini, A., Lazzari, M. (eds.). 1988. *Energy Savings in Agricultural Machinery and Mechanization*. Commission of the European Communities. 1988. Elsevier Applied Science, London, New York. ISBN 978-94-009-1365-3. 152 s.

Penev, T., Radev, V., Slavov, T., Kirov, V., Dimov, D., Atanassov, A., Marinov, I. 2014. Effect of lighting on the growth, development, behaviour, production and reproduction traits in dairy cows. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 3(11), 798-810.

Pettersson, O., Engström, J., Lundgren, U., Welinder, J. 2014. Förstudie Eldriven inomgårdstraktor. Uppdragsrapport, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala. 36 s.

Pettersson, O., Malmsten, J., Welinder, J., Lagnelöv, O., Jobacker, U., Wennerberg Fahraeus, M., Kauhanen, H. 2016. Demonstration och fälttest av batteridriven kompaktlastare avsedd för inomgårdsarbeten på jordbruk. Uppdragsrapport, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala. 64 s.

- Pimentel, D. (ed.). 1980. Handbook of Energy Utilization in Agriculture. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, USA. ISBN 0-8493-2661-3. 486 s.
- Pimentel, D. 2009a. Reducing energy inputs in the agricultural production system. *Monthly Review*, 61(3), 99-101.
- Pimentel, D. 2009b. Energy inputs in food crop production in developing and developed nations. *Energies* 2(1), 1-24. <https://doi.org/10.3390/en20100001>.
- Pimentel, D., Doughty, R., Carothers, C., Lamberson, S., Bora, N., et al. 2008a. Energy inputs in crop production in developing and developed countries. S. 137-159, In: Pimentel, D., Pimentel, M. (eds.). *Food, Energy, and Society*. 3rd edition. CRC Press, New York.
- Pimentel, D., Gardner, J., Bonnifield, A., Garcia, X., Grufferman, J., Horan, C., Schlenker, J., Walling, E. 2007. Energy efficiency and conservation for individual Americans. *Environment, Development and Sustainability* 11, 523-546.
- Pimentel, D., Pimentel, M. 2008. *Food, Energy, and Society* (3:rd edn.). Boca Raton, FL: CRC Press. ISBN 978-1420046670. 400 s.
- Pimentel, D., Williamson, S., Alexander, C.E., Gonzalez-Pagan, O., Kontak, C., Mulkey, S.E. 2008b. Reducing Energy Inputs in the US Food System. *Human Ecology* 36, 459-471.
- Randolph, J., Masters, G.M. 2018. *Energy for Sustainability Foundations for Technology, Planning, and Policy*. Washington, DC: Island Press. ISBN 978-1610918213. 664 s.
- Reardon-Smith, K., Mushtaq, S., Scobie, M., Eberhard, J., Maraseni, T.N. 2022. Efficient water management and irrigation on farms. Chapter 4 in Sims, R.E.H. (ed.) 2022. *Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability*. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). S. 103-133.
- Reksen, O., Tverdal, A., Landsverk, K., Kommisrud, E., Bøe, K.E., Ropstad, E. 1999. Effects of Photointensity and Photoperiod on Milk Yield and Reproductive Performance of Norwegian Red Cattle. *Journal of Dairy Science* 82(4), 810-816.
- RISE. 2022a. Precisionsodling för hållbar livsmedelsproduktion. <https://www.ri.se/sv/berattelser/precisionsodling-for-hallbar-livsmedelsproduktion>. Avläst: 2022-10-12.
- RISE. 2022b. Digitalisering som verktyg för ett hållbart och lönsamt jordbruk. <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/expertiser/digitaliserat-jordbruk>. Avläst: 2022-10-12.
- RISE. 2022c. Testbädd för digitaliserat jordbruk. <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/test-demo/digitaliserat-jordbruk>. Avläst: 2022-10-12.
- Rothausen, S.G.S.A., Conway, D. 2011. Greenhouse-gas emissions from energy use in the water sector. *Nature Climate Change* 1, 210-219. Doi: <https://doi.org/10.1038/nclimate1147>.

Safa, M. 2022. Measuring and auditing on-farm energy use. Chapter 1 in Sims, R.E.H. (ed.) 2022. Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). S. 3-32.

Safa, M., Samarasinghe, S. 2011. Determination and modelling of energy consumption in wheat production using neural networks: "A case study in Canterbury Province, New Zealand". *Energy* 36(8), 5140-5147. doi: 10.1016/j.energy.2011.06.016.

Sanford, S. 2019. Refrigeration Systems for Milk Cooling. *Farm energy*, 3 April, 2019. <https://farm-energy.extension.org/refrigeration-systems-for-milk-cooling/>. Avläst: 2022-10-21.

Sartori, L., Basso, B., Bertocco, M., Oliviero, G. 2005. Energy use and economic evaluation of a three year crop rotation for conservation and organic farming in NE Italy. *Biosystems Engineering* 91(2), 245-256. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2005.03.010.

Saunders, C., Barber, A., Taylor, G. 2006. Food Miles: Comparative Energy/Emissions Performance of New Zealand's Agriculture Industry. Lincoln, New Zealand: Agribusiness & Economics Research Unit, Lincoln University. ISBN 978-0909042714. 105 s.

Scherer, T., Pedersen, O. 2019. Irrigation Energy Efficiency Checklist and Tips. *Farm energy*, 3 April, 2019. <https://farm-energy.extension.org/irrigation-energy-efficiency-checklist-and-tips/>. Avläst: 2022-10-21.

Serrano, J.M., Peça, J.O., Marques da Silva, J., Pinheiro, A., Carvalho, M. 2007. Tractor energy requirements in disc harrow systems. *Biosystems Engineering* 98(3), 286-296.

SGU. 2022. Sällsynta jordartsmetaller. <https://www.sgu.se/lree>. Avläst: 2022-08-22.

Shahin, S., Jafari, A., Mobli, H., Rafiee, S., Karimi, M. 2008. Effect of farm size on energy ratio for wheat production: a case study from Ardabil Province of Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 3(4), 604-608.

Shine, P., Murphy, M.D., Upton, J. 2022. Tools and technologies to reduce fossil energy use on dairy farms. Chapter 9 in Sims, R.E.H. (ed.) 2022. Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). S. 265-288.

Shouse, S., Hanna, M., Petersen, D. 2010. Managing High-Temperature Grain Dryers for Energy Efficiency. Iowa State University, *Farm Energy*, PM 2089f, 2 s.

Sims, R.E.H. 2022a. Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-

78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). 370 s.

Sims, R.E.H. 2022b. Energy-smart innovation and renewable energy systems on farms: an overview. Chapter 6 in Sims, R.E.H. (ed.) 2022. Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science. No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). S. 165-200.

Skorstensfejarmästarna. 2022. Värmepannor – en översikt. Uppdaterad 2022-01-07. Skorstensfejarmästarna Syd AB, Karlskrona. 9 s. <https://www.sotarna.com/varmepannor/>. Avläst: 2023-04-27.

Smil, V. 1991. General Energetics: Energy in the Biosphere and Civilization. New York: Wiley. ISBN 04-716-29057. 369 s.

Smil, V. 2008. Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems. Cambridge, MA: The MIT Press. ISBN 978-0262693561. 494 s.

SOU. 2021. Vägen mot fossiloberoende jordbruk. Statens offentliga utredningar, SOU 2021:67, Regeringskansliet, Stockholm. ISBN 978-91-525-0186-3 (tryck). ISBN 978-91-525-0187-0 (pdf). ISSN 0375-250X. 419 s.

Spink, J., Street, P., Sylvester-Bradley, R., Berry, P. 2009. The potential to increase productivity of wheat and oilseed rape in the UK. Report to the Government Chief Scientific Adviser, Professor John Beddington January 2009. London, UK: Gov. Off. Sci. 136 s. <https://www.commercialfarmers.co.uk/wp-content/uploads/2016/09/PotentialProductivity.pdf>. Avläst: 2022-11-04.

Spugnoli, P., Parenti, A., Baldi, F. 1992. Energy Consumption and Productivity of Agricultural Processes. International Conference on Agricultural Engineering, AgEng 1992, Uppsala-Sweden, June 1-4, 1992. Paper no. 9210 103. 9 s.

Stenkvist, M. 2003. Energianvändning i transportsektorn. En Faktarapport inom IVA-Projektet Energiframsyn Sverige i Europa. Kungliga ingenjörsvetenskapsakademien, IVA. 24 s.

Stober, K., Lee, K., Yamada, M., Pattison, M. 2017. Energy savings potential of SSL in horticultural applications, U. S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, December. Available at: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/12/f46/ssl\\_horticulture\\_dec2017.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/12/f46/ssl_horticulture_dec2017.pdf). 34 s. Avläst: 2023-03-28.

Stout, B.A. 1990. Handbook of Energy for World Agriculture. London; New York: Elsevier Science Publishing Co. ISBN 978-1-85166-349-1. 504 s.

Tabler, T. 2022. Advances in energy-efficient lighting and ventilation for food production systems. Chapter 2 in Sims, R.E.H. (ed.) 2022. Energy-smart farming - Efficiency, renewable energy and sustainability. Edited by Emeritus Professor Ralph E. H. Sims, Massey University, New Zealand. Burleigh Dodds series in Agricultural Science.

No. 115. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK. ISBN 978-1-78676-835-3 (Print), ISBN 978-1-78676-838-4 (PDF), ISBN 978-1-78676-837-7 (ePub), ISSN 2059-6936 (print), ISSN 2059-6944 (online). S. 33-69.

Tabler, G.T., Watkins, S.E., Watkins, P.A. 2008. Energy efficiency associated with poultry house lighting. *Avian Advice* 10(3), 1-3.

Tester, J.W., Drake, E.M., Driscoll, M.J., Golay, M.W., Peters, W.A. 2012. *Sustainable Energy: Choosing among Options*. 2:nd edition, Cambridge, MA: MIT Press. ISBN 978-0262017473. 1079 s.

Trost, B., Prochnow, A., Drastig, K., Meyer-Aurich, A., Ellmer, F., Baumecker, M. 2013. Irrigation, soil organic carbon and N<sub>2</sub>O emissions. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 33, 733-749. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0134-0>.

USDA. 2008. *U.S. Agriculture and Forestry Greenhouse Gas Inventory: 1990–2005*. Washington, DC: United States Department of Agriculture (USDA). 160 s. <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/Greenhouse%20Gas%20Inventory%201990-2005.pdf>.

Vitt, R., Weber, L., Zollitsch, W., Hortenhuber, S.J., Baumgartner, J., Niebuhr, K., Piringer, M., Anders, I., Andre, K., Hennig-Pauka, I., Schonhart, M., Schauburger, G. 2017. Modelled performance of energy saving air treatment devices to mitigate heat stress for confined livestock buildings in Central Europe. *Biosystems Engineering* 164, 85-97.

Vlek, P.L.G., Rodríguez-Kuhl, G., Sommer, R. 2004. Energy use and CO<sub>2</sub> production in tropical agriculture and means and strategies for reduction or mitigation. *Environment, Development and Sustainability* 6(1/2), 213-233.

Volpato, C.E.S., Rabelo de Paula, V., Barbosa, J.A., Volpato, E.L. 2016. Evaluation of the operational viability of the use of electricity as a source of power in agricultural tractors. 2016 ASABE Annual International Meeting, Orlando, Florida, USA, 17-20 July, 2016, 162458121. 10 s. <Go to ISI>://CABI:20173200350.

von Wachenfelt, H., Vakouli, V., Pacheco Diéguez', A., Gentile, N., Dubois, M.-C., Jeppsson, K.-H.,. 2015a. Lighting Energy Saving with Light Pipe in Farm Animal Production. *Journal of Daylighting*, 2, s. 21-31. doi:10.15627/jd.2015.5.

von Wachenfelt, H., Vakouli, V., Pacheco Diéguez', A., Gentile, N., Jeppsson, K.-H., Dubois, M.-C. 2015b. Kan ny teknik ge mindre elanvändning och mera dagsljus i grisstallar? - del 1, dagsljusmätningar från ljustunnlar. Can new technology reduce use of electricity and improve daylight in pig houses? – part 1, daylight measurements from light pipes. Rapport 2015:17, Inst. f biosystem och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp. ISBN 978-91-576-8907-8. 38 s.

von Wachenfelt, H., Vakouli, V., Pacheco Diéguez', A., Gentile, N., Jeppsson, K.-H., Dubois, M.-C. 2015c. Kan ny teknik ge mindre elanvändning och mera dagsljus i grisstallar? - del 2, simulering av dagsljus från ljustunnlar. Can new technology reduce use of electricity and improve daylight in pig houses? – part 2, daylight simulation of light pipes. Rapport 2015:18, Inst. f biosystem och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp. ISBN 978-91-576-8908-5. 37 s.

Weiner, D., Munslow, B., Moyo, S. 1992. Energy for sustainable agricultural development in Zimbabwe. *Growth Change* 23(3), 335-362.

Wells, C. 2001. *Total Energy Indicators of Agricultural Sustainability: Dairy Farming Case Study* (No. 0478079680 (pbk.)). Wellington, New Zealand: Ministry of Agriculture and Forestry.

WSP. 2017. *Fossilfrihet för arbetsmaskiner*. WSP Analys & Strategi. Stockholm. 54 s.

Zentner, R.P., Lafond, G.P., Derksen, D.A., Nagy, C.N., Wall, D.D., May, W.E. 2004. Effects of tillage method and crop rotation on non-renewable energy use efficiency for a thin Black chernozem in the Canadian Prairies. *Soil and Tillage Research* 77(2), 125-136. <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.11.002>.





