

Til NaturErhvervstyrelsen

Vedrørende bestillingen ”Opdatering af teknologirapport – DCA-oversigt over og vurdering af miljøteknologier i det primære jordbrug”

Hermed fremsendes opdatering af teknologirapport – DCA-oversigt over og vurdering af miljøteknologier i det primære jordbrug, bestilt d. 23. december 2014. Rapporten indeholder to indsatsområder: 1) ’Reduktion af lugtgener samt emission af klimagasser og ammoniak fra fjerkræproduktionen’ og 2) Reduktion af energi-, vand, næringsstof- eller pesticidforbruget i gartnerisektoren.

Opgaven er udført som led i ”Aftale mellem Aarhus Universitet og Fødevareministeriet om udførelse af forskningsbaseret myndighedsbetjening m.v. ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 2015-2018” (Punkt BT-2 i af-talens Bilag 2).

Rapporten er udarbejdet af seniorforsker Anders Peter S. Adamsen, konsulent Peter Kai, akademisk medarbejder Erik Fløjgaard Kristensen, adjunkt Michael Nørremark Institut for Ingeniørvidenskab, professor Hanne Damgaard Poulsen, Institut for Husdyrvidenskab, seniorforsker Jørn Nygaard Sørensen, lektor Carl Otto Ottosen, forskergruppeleder Karen Koefoed Petersen, Institut for Fødevarer, seniorforsker Peter Kryger Jensen og lektor Bo Melander, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet samt specialkonsulent Hanne Lindhard Pedersen, Gartnerirådgivningen.

Med venlig hilsen

Klaus Horsted
Specialkonsulent
Koordinator for myndighedsrådgivning, DCA

Kopi til: Center for Innovation

DCA - Nationalt Center for
Fødevarer og Jordbrug

Klaus Horsted

Specialkonsulent

Dato 18. marts 2015

Direkte tlf.: 87157975

Mobiltlf.:

Fax: 8715 6076

E-mail:

klaus.horsted@dca.au.dk

Afs. CVR-nr.: 31119103

Reference: khr

Journal 31487

Side 1/1

Miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet

DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, 18. marts 2015

Forord

Nærværende rapport er udarbejdet af forskere ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug (AU/DCA) på bestilling fra NaturErhvervstyrelsen (NAER) den 23. december 2014. Rapporten er udarbejdet som led i "Aftale mellem Aarhus Universitet og Fødevareministeriet om udførelse af forskningsbaseret myndighedsbetjening m.v. ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 2015-2018" (Punkt BT-2 i aftalens Bilag 2).

Rapporten blev første gang udarbejdet i 2010 og er siden opdateret i 2011, 2012, 2013 og 2014 (Kai et al., 2010; Kai et al., 2011; Hansen et al., 2012, Hansen et al., 2013; Hansen et al., 2014).

Nærværende rapport for 2015 omfatter to indsatsområder: Indsatsområde 1) Reduktion af lugtgener samt emission af klimagasser og ammoniak fra fjerkræproduktion; og Indsatsområde 2) Reduktion af energi-, vand-, næringsstof- eller pesticidforbruget i gartnerisektoren.

Niels Halberg

Direktør, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Indholdsfortegnelse

INDSATSOMRÅDE 1: REDUKTION AF LUGTGENER SAMT EMISSION AF KLIMAGASSER OG AMMONIAK FRA

FJERKRÆPRODUKTION	1
INDLEDNING	2
<i>Grundlag for beregning af omkostningseffektivitet</i>	2
<i>Driftøkonomi og omkostningseffektivitet</i>	2
<i>Kapitalomkostninger</i>	3
<i>Driftsomkostninger</i>	3
<i>Miljøeffektivitet</i>	3
TEKNOLOGIER	4
<i>Varmevekslere</i>	4
<i>LED-lys</i>	5
<i>Lavenergi ventilation</i>	6
<i>Etagesystem med gødningsbånd og hyppig udmugning</i>	9
<i>Kønsopdelt fodring</i>	10
<i>Luftvasker</i>	10
REFERENCER	12

INDSATSOMRÅDE 2: REDUKTION AF ENERGI-, VAND-, NÆRINGSSTOF- ELLER PESTICIDFORBRUGET I

GARTNERISEKTOREN	14
ENERGI-REDUKTION I GARTNERISEKTOREN	15
<i>Solfangere (vand)</i>	15
<i>Solceller (el)</i>	15
<i>Lagring af varme i jorden på langt sigt (over vinter)</i>	15
<i>Isolering af tremples</i>	17
<i>Isolering af sokler</i>	17
<i>To- eller flerlags dækkematerialer glas/plast</i>	17
<i>Gardinanlæg</i>	21
<i>Klimaskærm</i>	24
<i>Bedre udnyttelse af fjernvarme</i>	25
<i>Varmeekstraktion til luft</i>	25
<i>Optimal klimastyring (klimacomputer, sensorer, måleudstyr)</i>	26
<i>LED belysning</i>	26
<i>Varmepumpe til opvarmning</i>	27
<i>Mekanisk ventilation til luftfugtighedsstyring</i>	28
<i>Tiltrækning af udplantningsplanter</i>	28

<i>Ukrudtsbrænding med nedsat energiforbrug</i>	29
<i>Tørringsanlæg med varmegenindvinding</i>	29
<i>CA-lagringskasser</i>	30
VAND-REDUKTION I GARTNERISEKTOREN	31
<i>Vandingsindikator</i>	31
<i>Vandbassin</i>	31
<i>Bomvanding</i>	32
<i>Drypvanding</i>	32
<i>Vandingsensorer på vandingskanoner</i>	33
NÆRINGSSTOF-REDUKTION I GARTNERISEKTOREN	34
<i>Styring af gødning</i>	34
<i>Recirkulering af gødevand</i>	34
PESTICID-REDUKTION I GARTNERISEKTOREN	36
<i>Rækkedyrkningssystemer</i>	36
<i>Båndsprøjtning</i>	36
<i>Sprøjteteknologi i frugt og bær</i>	37
<i>Sensorbaseret ukrudtsprøjte</i>	37
<i>Lugrobotter til rækkeafgrøder</i>	38
<i>Autostyring af radrensere</i>	39
<i>Rækkedampning i kombination med radrensning</i>	40
<i>Kamdyrkning</i>	41
<i>Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i flerårige vedagtige rækkeafgrøder</i>	42
<i>Mekanisk blomsterudtynding i frugttræer</i>	42
<i>Klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr</i>	42
<i>Dyrkning i tunneler</i>	43
<i>Regntag over frugt og bær til forebyggelse af svampesygdomme</i>	44
<i>Varmtvandsbehandling til forebyggelse af lagerråd</i>	44
REFERENCER	46

Indsatsområde 1: Reduktion af lugtgener samt emission af klimagasser og ammoniak fra fjerkræproduktion

Udarbejdet af seniorforsker Anders Peter S. Adamsen¹, konsulent Peter Kai¹, Akademisk medarbejder Erik Fløjgaard Kristensen¹, Adjunkt Michael Nørremark¹, Professor Hanne Damgaard Poulsen²

¹Institut for Ingeniørvidenskab og ²Institut for Husdyrvidenskab, Aarhus Universitet

Indledning

Som grundlag for at prioritere ansøgninger i regi af Bekendtgørelse om tilskud til investeringer i udvalgte grønne processer og teknologier i den primære jordbrugsproduktion er der foretaget vurderinger af de enkelte teknologiers omkostningseffektivitet for udledning af lugt, klimagasser (energi) og ammoniak.

For fjerkræ gælder det ifølge bekendtgørelsen § 2 at NaturErhvervstyrelsen inden for de afsatte bevillingsmæssige rammer kan give tilsagn om tilskud til projekter der giver reduktion af lugtgener samt emission af klimagasser og ammoniak fra fjerkræproduktion (NaturErhvervsstyrelsen, 2015).

Kravene til de medtagne teknologier er at de skal give en reduktion i forbrug af pesticider, gødning, vand m.m. på mindst 10 pct. set i forhold til "standardteknologi". For energibesparelser gælder dog at reduktionen skal være mindst 30 pct., og i forhold til CO₂ skal reduktionen også være mindst 30 pct. Desuden må det ikke være et lovkrav at benytte teknologierne.

Grundlag for beregning af omkostningseffektivitet

Ammoniakemission fra stald, lager og udbringning

Beregningerne vedrørende miljøteknologier, der knytter sig til stalde, er i nærværende rapport foretaget på grundlag af kvælstofudskillelsen fra husdyr, som beskrevet i "Normtal for husdyrgødning 2014/2015" (Poulsen, 2014), som er en årlig opdatering af Poulsen et al. (2001).

Beregning af antallet af DE er baseret på det gældende grundlag for fastsættelse af dyreenheder jf. bilag 2 punkt B i "Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om husdyrbrug og dyrehold for mere end 3 dyreenheder, husdyrgødning, ensilage m.v." (BEK. nr. 853 af 30/06/2014).

Driftsøkonomi og omkostningseffektivitet

Der er foretaget beregninger eller vurderinger på de vigtigste faktorer for at kunne opgøre omkostninger for at reducere udledning af lugt, klimagasser og ammoniak. For at kunne opgøre en omkostning - eller ekstraomkostning - skal man kende referencesituationen. For teknologier med forskellige effektiviteter afhængig af brug, staldstørrelse, årstid mv. er det vanskeligt at lave præcise omgørelser da staldene og teknologierne er forskellige, og det er derfor valgt at opgive et interval. Et eksempel kan være omkostninger til opvarmning af en slagtesvinestald som i forskellige danske kilder i branchen opgiver fra 1,30 - 2,30 kWh pr. kylling. En landmand der ønsker en præcis bestemmelse af de økonomiske og miljømæssige konsekvenser af at indføre en miljøteknologi, vil være nødt til at lave en konkret beregning på den pågældende teknologi i forhold til en referencesituation.

Kapitalomkostninger

Kapitalomkostningerne omfatter gennemsnitlige årlige omkostninger til forrentning og afskrivning af investeringerne. Der er anvendt en rente på 4 pct. i henhold til de seneste anbefalinger fra Finansministeriet (Energistyrelsen, 2014). Investeringen forrentes og afskrives over teknologiens forventede levetid.

Driftsomkostninger

I tabel 1 er der vist de priser og emissioner fra energiproduktion der er anvendt i beregningerne. Det skal bemærkes at priser på energi, kemikalier, vand mv. varierer betydeligt over tid og mængder.

Tabel 1. Anvendte priser på lønninger, forbrugsstoffer, energi samt emissioner fra el og varmeproduktion (opdateret fra Hansen et al., 2013).

Variabel	Enhed	Anvendt pris 2015
Arbejde, medarbejdere	kr./time	171
El købt	kr./kWh	0,82
Vand	kr./m ³	11,03
Svovlsyre	kr./kg	1,57
Værdi af N i mark	kr./kg	8,00
Gasolie	kr./kWh	0,69
Naturgas	kr./Nm ³	0,35
Dieselolie	Kr./kWh	0,65
Udbringning gylle mv.	kr./m ³	20
Emissioner:		
El (inkl. tab transmissionsnet)	g CO ₂ ækv/kWh	351
Naturgas - varme	g CO ₂ ækv/kWh	205
Gasolie - varme	g CO ₂ ækv/kWh	266

Miljøeffektivitet

Så vidt muligt er teknologiernes miljømæssige effekt af hensyn til sammenligneligheden beregnet på et ensartet grundlag og præsenteret med samme enhed. Effekten på ammoniakemissionen er præsenteret som den procentvise reduktion i stald, lager og udbringning i forhold til referencesituationen. For energi (og medfølgende CO₂-udledning) er der beregnet procentvis ændringer.

Teknologier

I det følgende afsnit gennemgås en række udvalgte teknologier. Der er valgt typiske teknologier, dvs. teknologier der markedsføres eller er på markedet, og som har den fornødne dokumentation. Hvor der nævnes konkrete produkter er det for at kunne beskrive teknologien mere præcist, men det ikke nogen anbefaling af det pågældende produkt.

Varmevekslere

Slagtekyllinger kræver omkring 32° C ved indsættelse som lineært aftager til ca. 20 °C (Miljøstyrelsen, 2011). Strøelsesmåtten skal i hele produktionsperioden være tør og løs i overfladen (LBK nr 468 af 15/05/2014).

Varmeveksler er her anlæg til at genanvende varme fra luftafkast. Den varme afkastluft ledes til en varmeveksler hvor varmen veksles indirekte med den kolde indgående luft. Det sker typisk i modstrøm eller krydsstrøm. Ved afkøling af den varme luft vil der ofte ske en fortætning af vand, så varmeveksleranlæg har en produktion af lænsevand der indeholder ammoniak og støv og som bør behandles som flydende gødning. Dertil kommer vaskevand fra rengøring af anlæggene.

Der er flere fabrikater og modeller på det danske marked. Hidtil er der typisk opsat anlæg med en kapacitet på ca. 20.000 m³ luft pr. time til en stald til slagtekyllinger på ca. 2000 m². Men der er både mindre anlæg, hvor der så kan opsættes flere anlæg pr. stald (fx anlæg fra Skov) og større eller flere anlæg til større stalde, hvor der så typisk også indsættes ventilatorer inde i stalden for at styre luftstrømningerne.

Økonomi

Totalinvestering til en varmeveksler med en kapacitet på ca. 20.000 m³ pr. time er sat til 410.000 kr. til en stald med 108 dyreenheder. Årlig forrentning og afskrivning er ca. 37.000 kr. Forøget elforbrug er ca. 13.000 kr., men udgifter til varme er betydelige og beløber sig til 150.000 kr. ved brug af naturgas. Værdi af kvælstof i marken svarer ca. til vand og omkostninger til udbringning. Meromkostninger bliver dermed negativ med 86.000 kr. pr. år, hvilket giver -800 pr. dyreenhed for slagtekyllinger ved 35 dage eller -0,26 kr. pr. slagtekylling.

Miljøeffekt

Lugt. Der er ikke dansk dokumentation for at brug af varmevekslere kan reducere lugtemission fra slagtekyllingestald.

Klimagasser. Energi til opvarmning af stalde uden varmevekslere varierer efter årstid og staldtype, men svinger omkring 2,2. kWh pr. kylling (rentabilitetsmålinger for enkelte bedrifter fra Trioiva, citeret i Jakobsen, 2012). Det stemmer overens med Johansen (2012) der beregnede et varmefor-

brug på en gasopvarmet hus på 2,1 kWh pr. kylling ved en gennemsnitlig udetemperatur på 9 °C. Varmevekslere med en kapacitet på ca. 14 m³ luft pr. m² gulvareal pr. time giver ca. 80 pct. reduktion i energi til opvarmning (Jakobsen, 2012; Johansen, 2012;). Det svarer til ca. 1,7 kWh pr. dyr. Ved opvarmning med gas eller olie vil det give en reduktion på ca. 820 kg CO₂ pr. dyreenhed.

Til at drive luften igennem varmeveksleren og fordele det i stalden kræves flere blæsere og dermed en forøgelse af el-forbrug på op til 1.500 - 2.500 kWh pr. hold (Rokkedahl, 2013) hvilket svarer til ca. 50 kg CO₂ pr. dyreenhed. Det giver en samlet reduktion på ca. 770 kg CO₂ pr. dyreenhed. Det giver en omkostning på mere end - 1000 kr. pr. ton CO₂-ækvivalenter.

Ammoniak. Reduktionen i ammoniakemission tilskrives bedre luftfordeling og dermed tørrere gødningsmätte. I en DanETV test er der vist en reduktion på 41 pct. over en produktionsperiode på 30 dage for en stald med en Agro Clima+ 200 varmeveksler i forhold en tilsvarende stald uden varmeveksler (Hansen, 2013). En test i februar og marts 2012 på en Earny varmeveksler fra Big Dutchman i Nordtyskland viste en reduktion på 29 pct. Der regnes derfor med en reduktion på 30 pct. i stalddtab. Ammoniaktab fra stalde, lagre og udbringning for slagtekyllinger 35 dage er beregnet til 33 kg pr. dyreenhed for en stald uden varmeveksler. Ved anvendelse af varmeveksler reduceres tabet fra stalde med 30 pct., men der er lidt forøget tab fra lagre og udbringning. Samlet set reduceres ammoniakudledningen med 2,4 kg pr. dyreenhed (ca. 10 pct.). Det giver en omkostning på ca. - 242 kr. pr. kg N.

LED-lys

Udskiftning af standard armaturer med neonrør til LED-baseret armatur. I slagtekyllingestalde kræves ensartet og stabil staldbelysning. Der tilstræbes en lysstyrke i gulvniveau på ca. 25 lumen. Afhængig af de konkrete forhold og ved hensigtsmæssig placering af armaturer kræver det et LED 50 watt armatur pr. 80 - 100 m² gulv.

Tages udgangspunkt i en 3000 m² kylling stald vil der kræves 33 stk. LED 50 watt armaturer. Med en årlig driftstid på 6900 timer (Rokkedahl Energi) vil det svarer til et årligt energiforbrug på 11.385 kWh. Ifølge rapport fra AgroTech (Rasmussen 2013) er besparelsen ved anvendelse af LED-belysning 33% i forhold til belysning med traditionel lysstofarmaturer. Den årlige besparelse vil således være på ca. 5.600 kWh.

Økonomi

Beregningseksempel til sammenligning af AVILED LED med standard lysstofarmatur (36W/840 T5). Der skal etableres /udskiftes belysning i stald (der regnes ikke med værdi af evt. eksisterende installation).

Kyllingestald på 3000 m². Årlig lys brændetid: 6900 timer (kilde Rokkedahl Energi og AGRILIGHT B.V) - Energibesparelse ved brug af AVILED LED i forhold til standard lysstofarmatur: 33% (Rasmussen, 20xx). Afskrivningsperiode 9 år (svarende til forventet levetid for LED enheder)

For AVILED 50 w armatur: Levetid 60.000 timer (Rokkedahl Energi og AGRILIGHT B.V) svarende til 9 år. Investering 5000 kr. pr. armatur for 33 armaturer giver i alt 165.000 kr. Strømforbrug 51,0 W pr. armatur (Rasmussen, 2013).

For standard lysstofrør 36W/840: Levetid 12.000 timer (DONG Energy), levetid for lysstofrør 2 år. Der er behov for 75 % flere standard armaturer i forhold til AVILED LED, i alt 58 stk. (Rasmussen, 2013). Strømforbrug 43,9 W pr. armatur. Investering ca. 1600 kr. pr. armatur, i alt 92.800kr (Rokkedahl Energi, personlig kommunikation). Lysstofrør 30 kr. pr. stk. (Pristjek på internet).

Udskiftning af lysstofrør tager ca. 15 min pr. stk., arbejds løn 171 kr./time, i alt 1240 kr. i arbejds løn for udskiftning.

Såfremt LED-lys sættes op i en eksisterende stald med intakte neonrørsarmaturer, så vil medføre en meromkostning på ca. 15.000 kr. pr. år ved forrentning og afskrivning over 9 år. El-besparelsen er 6000 kWh pr. år, hvilket svarer til ca. 2.100 kg CO₂-ækvivalenter.

Miljøeffekter

Lugt. Der er ingen påvirkning på udledning af lugt.

Klimagasser. LED lys vil give en reduktion på udledning af CO₂-ækvivalenter på ca. 33 pct. Med en årlig meromkostning på 15.000 kr. for en stald på 3000 m² og en reduktion på 2.100 kg CO₂-ækvivalenter det en omkostning på over 7.000 kr. per sparet ton CO₂-ækvivalenter.

Ammoniak. Der er ingen påvirkning på udledning af ammoniak.

Lavenergi ventilation

Elforbruget til ventilation udgør en stor del af det totale elforbrug i slagtekyllingestalde. Ventilation af stalde er meget vigtigt for at opretholde et ønsket indeklima i stalden. Ventilationen sikrer, at

forurenede luft fjernes fra stalden og erstattes af ren udeluft, hvorved lufttemperatur, luftfugtighed samt koncentrationen af kuldioxid, ammoniak o.a. gasser reguleres til et ønsket niveau. Traditionelt ventileres kyllingestalde med mekaniske ventilationsanlæg, som enten opererer ved ligetryk eller ved undertryk. Ligetryksanlæg består af indblæsningsenheder, som blæser luften ind i stalden og udsugningsenheder, som suger luften ud af stalden. Undertryksanlæg fungerer ved, at udsugningsventilatorer suger luft ud af stalden, hvorved der dannes et undertryk, som bevirker, at der suges luft ind i stalden via regulerbare indsugningsventiler, der typisk er placeret i staldens facader. Undertryksanlæg er forbundet med lavere energiforbrug end ligetryksanlæg.

Spjældregulering: Ved spjældregulering reguleres ventilationsrørets lysning (areal), hvorved modstanden i ventilationsrøret stiger og ventilationsydelsen falder. Ren spjældregulering, hvor ventilatoren hele tiden kører for fuld kraft, hvad enten spjældet er helt åbent eller helt lukket er ikke hensigtsmæssig i forhold til energiforbruget. Spjældregulering kombineres derfor oftest med regulering af ventilatormotoren.

Spændingsregulering: Traditionelt reguleres ydelsen på ventilatorer ved spændingsregulering, dvs. hvor ventilatormotorens spænding nedreguleres i forhold til mærkespændingen (typisk 230 V), hvorved motorens moment og ventilatorvingernes omdrejningshastighed aftager. Spændingsregulerede ventilatorer er ikke trykstabile i den nedre del af reguleringsområdet, hvorfor der spændingsreguleres ned til typisk 50 pct. ydelse, hvorefter luftydelsen nedreguleres yderligere ved regulering af et spjæld. Spændingsregulering er desuden forbundet med et væsentligt energitab i form af varmetab, hvilket sammen med spjældreguleringen i det nedre driftsområde bevirker energiforbruget for denne type anlæg er relativt højt, især i kyllingestalde, hvor mange ventilationsanlægget har mange driftstimer ved lav ydelse.

Frekvensregulering: Ved frekvensregulering bevarer ventilatormotoren sit drejningsmoment, selv om hastigheden reguleres næsten helt ned. Ventilatoren kan således køre meget stabilt selv ved lave hastigheder og samtidig modstå relativt store vindpåvirkninger. Det er dog stadig nødvendigt at regulere med anvendelse af spjæld i det nedre driftsområde. Frekvensregulering er mere energieffektiv sammenlignet med spændingsregulering men er til gengæld forholdsvis dyr i anskaffelse.

Trinvis indkobling: Når der sidder flere udsugningsenheder i samme staldsektion, installeres der typisk kun trinløs regulering på én af ventilatorerne. De øvrige ventilatorer reguleres ikke, men indkobles successivt i takt med stigende ventilationsbehov (on/off). Det bevirker, at der kan anvendes on/off-regulerede ventilatorer med større specifik energieffektivitet, dvs. de kan flytte flere m³ luft pr. kWh elforbrug, da disse ikke skal reguleres. Den enkelte ventilator er samtidig billigere, da den ikke skal udstyres med hverken spændingsregulering eller frekvensregulering. SKOV's Multistep er et eksempel på et ventilationsanlæg med trinvis indkobling af de enkelte ventilatorer.

Energibesparelse: Energiforbruget til ventilation af slagtekyllingestalde afhænger ud over kyllingernes varmeproduktion og udetemperatur af motortype, motorregulering, vingeformning (dvs. antal vinger, vingernes udformning og vinkel), under hvilke trykforhold ventilationsanlægget opererer under, samt af hvor vindudsat stalden er. Da udfaldsrummet således er uendeligt stort kan der ikke gives præcise tal for energiforbrug og omkostningseffektivitet. For ældre ventilationsanlæg vil det dog ofte være muligt at reducere el-forbruget betragteligt og op til 30-75 pct. ved investering i nye ventilationskomponenter eller i et helt nyt ventilationsanlæg med en bedre energisignatur.

Som konkret eksempel på en energieffektiv investering kan nævnes en opgradering af ventilationsanlægget i en ældre slagtekyllingestald fra spjældregulering af udsugningsenhederne til et nyt ventilationsanlæg med trinvis indkobling af udsugningsenhederne af typen SKOV Multistep, hvilket ifølge SKOV A/S reducerede energiforbruget målt over et år med 64% (Clausen et al., 2013).

Konsekvensberegning af et nyt ventilationsanlæg kan fx foretages i programmet StaldVent eller lignende metode, som beregner energiforbruget under hensyn til ventilationskomponenternes karakteristika og driftspunkt og -tid. En StaldVent-analyse har estimeret, at det beregnede energiforbrug vil falde med godt 30 pct. ved opgradering af en slagtekyllingestald med et ventilationsanlæg med trinvis indkobling af udsugningsenhederne fra AC- til EC-motorer (Munters, 2013).

Økonomi

Omkostningseffektiviteten målt som kr. pr. kg sparet CO₂-ekvivalent er stærkt afhængig af teknologivalg/produktvalg, reguleringsstrategi samt energiforbruget i den stald, der sammenlignes med. Det vurderes, at et nyt komplet ventilationsanlæg til en kyllingestald på 2000 m² beløber sig til ca. kr. 250.000 og ca. kr. 400.000 til en slagtekyllingestald på 3000 m². Hvis det antages, at el-forbruget i en ældre slagtekyllingestald med spændingsreguleret ventilationsanlæg er 3.000 kWh pr. hold eller ca. 27.000 kWh pr. år, og der kan opnås en besparelse i el-forbruget på 65 pct. ved installering af et nyt lavenergi ventilationsanlæg kan der spares 18.000 kWh el om året svarende til en besparelse på knap 10.000 kr. om året, hvilket isoleret set giver en meget lang tilbagebetalingstid på investeringen. Miljøet spares for udledningen af 6.318 kg CO₂-ækvivalenter, hvilket sammenholdt med en beregnet nettoomkostning på kr. 15.049 om året giver en omkostningseffektivitet på 2.382 kr. pr. kg sparet CO₂.

Miljøeffekter

Lugt: Isoleret set forventes der ikke at være nogen lugtreducerende effekt forbundet med energibesparende ventilation.

Klimagasser: Energibesparende ventilation påvirker udledningen af klimagas i kraft af et lavere forbrug af fossilt brændstof til produktion af el. Reduktionen i udledningen af klimagasser er proportional med den beregnede/observerede reduktion i el-forbruget.

Ammoniak: Der forventes ikke at være nogen ammoniakreducerende effekt forbundet med energibesparende ventilation.

Etagesystem med gødningsbånd og hyppig udmugning

Etagestalde er skrabeægsstalde, hvor der i tillæg til gulvarealet etableres plateauer i op til to højder over gulvet (heraf navnet etagesystem eller etageanlæg), som hønsenes kan opholde sig på. Foder- og vandforsyning samt redekasser forefindes på plateauerne. Under hvert af plateauerne er der monteret et gødningsbånd. Det antages at 75 pct. af gødningen falder på gødningsbåndene som ved hyppig drift bevirker at hovedparten af gødningen fjernes fra stalden til ekstern lagring eller anvendelse, inden nedbrydningen af gødningens indhold af urinsyre til ammonium og ammoniak for alvor tager fart. Gulvarealet tilføres strøelse og fungerer som hønsenes skrabeområde. Det antages, at 25 pct. af gødningen afsættes i dybstrøelsesarealet på gulvet hvor gødningen henligger, indtil stalden tømmes, dvs. ca. én gang årligt, når stalden tømmes for høns.

Etagesystemet kan benyttes ved produktion af skrabeæg, frilandsæg og økologiske æg. For stalde med udearealer regnes der med, at 10 pct. af gødningen falder udenfor stalden. Ved beregning af ammoniaktab skal der korrigeres herfor.

Økonomi

Etablering af et etagesystem i en eksisterende stald med skrabehøns på ca. 2000 m² med gødningskumme til en stald med etagesystem vurderes at koste ca. 80 kr. pr. høneplass (Elvstrøm, personlig kommunikation). Det giver en meromkostning på ca. 1.100 kr. pr. dyreenhed inkl. sparet N (efter udvidelsen). Omkostningerne afhænger igen af reference-situationen.

Miljøeffekter

Lugt. Der foreligger ikke dokumentation at etagesystemer med gødningsbånd og hyppig udmugning har nogen påvirkning på emission af lugt.

Klimagasser. Der bruges lidt el til at drive gødningsbåndene ved udmugning, men det vurderes at være uden større betydning i det samlede energiforbrug.

Ammoniak. Ved tømning af gødningsbåndene tre gange ugentligt kan ammoniaktabet fra stald reduceres med 36 pct. i forhold til 1 tømning pr. uge (Miljøstyrelsen, 2011c). Tab fra stald, lager og

udbringning estimeres herefter 19 kg N pr. 100 årshøner eller 31 kg N pr. dyreenhed, hvilket sammenlignet med referencesystemet gulvsystemet med fast gulv og gødningskummer giver en samlet sparet fordampning på 29 kg NH₃-N pr. dyreenhed fra stald, lager og udbringning svarende til en reduktion på 50 pct. Omkostningen til at reducere ammoniakudledning bliver ca. 40 kr. pr. kg N.

Kønsopdelt fodring

Fysiologisk baggrund: Det er velkendt, at hanner og hunner ikke har samme produktionseffektivitet, og en nyere rapport påpeger, at der vil være en miljømæssig gevinst ved at praktisere kønsopdelt fodring i slagtekyllingeproduktionen (Petersen & Elvstrøm, 2013). Det er i dag muligt at køns-sortere kyllingerne ved klækningen af æggene. Herefter kan kyllingerne opfodres på foderblandinger med et indhold af protein, fosfor m.v., som er tilpasset de to forskellige køns fysiologiske behov således at produktionen for det første ikke reduceres, og for det andet at det er muligt at høste en miljøgevinst. Hunnerne har behov for et lavere protein- og fosforindhold i foderet end hanekyllinger, og ved ikke-kønsopdelt opdræt af kyllinger vil foderets indhold typisk være tilpasset hanekyllingernes behov, således at hønekyllingerne reelt overforsynes med næringsstoffer.

Økonomi

Forudsætningen for at kunne opdrætte slagtekyllinger kønsvist er, at stalden skal sektioneres (eller en separat stald til hvert køn), ligesom den sektionerede stald skal udstyres med et todelt fodersystem (eller et særskilt fodersystem i hver stald). Dette vil gøre det muligt at fodre høne- og hanekyllinger med hver deres foderblandinger, hvor indholdet af protein, fosfor mv. er tilpasset kønnenes forskellige behov for næringsstoffer.

Miljøeffekt

Det angives, at den miljømæssige gevinst ved kønsopdelt fodring vil ligge på 5-6 pct. for kvælstof og fosfor, medens reduktionen i emissionen af ammoniak kan beregnes til omkring 10 pct. (Petersen & Elvstrøm, 2013). Det betyder, at der vil være en gevinst både i forhold til udnyttelsen af protein og fosfor og i særdeleshed i forhold til en reduceret emission af ammoniak.

Luftvasker

Kemisk luftrensning ved hjælp af skrubbeteknik i fjerkræstalde er beskrevet i to teknologiblade fra Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2011a & b). For såvel slagtekyllingestalde som hønsestalde er det vurderet, at den foreliggende dokumentation sandsynliggør, at kemisk luftrensning med syre kan fjerne 75 % af ammoniakken og op til 25 % af lugten i ventilationsluften fra fjerkræstalde.

I slagtekyllingestalde varierer ventilationsbehovet stærkt som funktion af kyllingernes størrelse og udetemperatur. Ventilationsanlægget opererer ved lav ventilationsydelse i relativt mange timer om året, mens det kun få timer om året at ventilationsanlægget kører ved fuld kapacitet. Delluftrensning kan derfor være fordelagtigt frem for fuld luftrensning (Kai et al., 2007).

I Miljøstyrelsens teknologiblade er der foretaget en økonomisk vurdering af en række scenarier for anvendelse af kemisk luftrensning i såvel slagtekyllingestalde som hønsestalde ved anvendelse af et varierende antal af en modulær kemisk luftrensere, hvor hvert modul har en kapacitet på 25.000 m³/time (Miljøstyrelsen, 2011a & b). For en slagtekyllingestald på 1920 m², svarende til en produktion på 100 DE, er det beregnet, at omkostningerne varierer fra 65 kr. pr. kg sparet N-fordampning ved anvendelse af ét rensem modul (svarende til 9 pct. af staldens ventilationskapacitet) stigende til 200 kr. pr. kg sparet N-fordampning ved anvendelse af 12 rensem moduler (svarende til 100 % luftrensning) (Miljøstyrelsen, 2011a). Beregningerne viser endvidere at størrelsen af stalden tilsyneladende ikke påvirker omkostningseffektiviteten væsentligt, fordi luftrenseren er opbygget af moduler. Estimaterne er baseret på et ammoniaktab fra stalden på 20 pct. af udskilt mængde N (N ab dyr) (Poulsen, 2008). Efterfølgende er det imidlertid dokumenteret, at den aktuelle ammoniakemission fra slagtekyllingestalde er betragteligt lavere og kun udgør 7 pct. af N ab dyr (Kai et al., 2015). Dette har som konsekvens, at omkostningseffektiviteten forringes i væsentlig grad, idet der renses mindre ammoniak ud af luften, når ammoniakfordampningen i stalden er lavere, mens omkostningerne stort set ikke påvirkes af dette.

Ud fra Miljøstyrelsens teknologiblade vedrørende kemisk luftrensning i hønsestalde er det beregnet, at omkostningen ved kemisk luftrensning varierer fra 36 kr. per kg sparet N-fordampning ved 27 pct. delrensning til 72 kr. per kg sparet N-fordampning ved 100 pct. luftrensning for en 2000 m² stald til skrabe høns (gulvdrift) svarende til 100 dyreenheder.

For samme staldstørrelse indrettet til hold af rugeægshøns svarende til 67 DE viser beregningerne, at omkostningerne varierer fra 60 kr. pr. kg sparet N-fordampning ved 17 pct. delrensning til 121 kr. pr. kg sparet N-fordampning ved 100 pct. luftrensning (Miljøstyrelsen, 2011b). Beregningen af omkostningseffektiviteten for rugeægssstalde er baseret på en ammoniakemission på 30 pct. af N ab dyr. Efterfølgende er der fremkommet dokumentation for, at ammoniakemissionen er 40 pct. af N ab dyr. Dette bevirker, at omkostningseffektiviteten vil være forbedret sammenlignet med Miljøstyrelsens kalkule.

Miljøstyrelsens teknologiblade er baseret på en overordnet vurdering af kemisk luftrensning som teknologi. En mere præcis analyse kræver firma-/produktspecifikke input. Miljøstyrelsens teknologiliste oplister miljøteknologier til landbrug, herunder luftrensere (<http://mst.dk/virksomhed-myndighed/landbrug/miljoeteknologi-og-bat/teknologilisten>).

Referencer

AGRILIGHT B.V., Vlotlaan 412,2681 TV Monster, Nederland. Brochure.

Clausen, T., P. Vinstrup, N. Provstgaard & J. S. Petersen. 2013. Klimavenlige tiltag i slagtekyllinge-produktionen og den økologiske konsumægsproduktion. Rapport. Videncentret for Landbrug Fjerkræ.

Energistyrelsen. 2014. Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger-
<http://www.ens.dk/info/tal-kort/fremskrivninger-analyser-modeller/samfundsokonomiske-beregnings-forudsætninger>

Hansen, M.N., S. G. Sommer, N. J. Hutchings & P. Sørensen. 2008. Emissionsfaktorer til beregning af ammoniakfordampning ved lagring og udbringning af husdyrgødning., Aarhus Universitet, DJF rapport Husdyrbrug Nr. 84, 43 pp.

Hansen, M.J., T. Nyord, P.K. Jensen, B. Melander, A. Thomsen, H.D. Poulsen, P. Lund & L. Andersen. 2012. Miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. DCA Rapport Nr. 12, Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.

Hansen, M.J., T. Nyord, L.B. Hansen, L. Martinsen, B. Hasler, P.K. Jensen, B. Melander, A. Thomsen, H.D. Poulsen, P. Lund, J.N. Sørensen, C. Ottosen, L. Andersen. 2013. Miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. DCA Rapport Nr. 29, Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Hansen, M.J., Nyord, T., Hasler, B., Poulsen, H.D. og Lund, P. 2014. Miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet. 43 pp.

Jakobsen, S. V. 2012. Energirådgiver hos SEAS-NVE. Måling af energibesparelse ved brug af EAR-NY varmeveksler fra Big Dutchman. 2 pp.

Johansen, K.H. 2012. Energirådgiver Energinord. Effektmålinger ved brug af varmeveksler i slagtekyllingerproduktion. Notat. 2 pp.

Johansen, K.H. 2013. Energirådgiver Energinord. Kalkulationspriser og forudsætninger. Notat.5 pp.

Kai, P., J. S. Strøm & B-E. Jensen (2007): Delrensning af ammoniak i staldluft. Grøn Viden, DJF Marbrug. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet.

Kai, P., T. Nyord, N. E. Andersson, P.K. Jensen, B. Melander, H.D. Poulsen, P. Lund, F.P. Vinther & C. Kjærgaard. 2010. Oversigt over og vurdering af miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet.

Kai, P., T. Nyord, N. E. Andersson, H.L. Pedersen, P.K. Jensen, B. Melander, H.D. Poulsen & P. Lund. 2011. Oversigt over miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet.

Kai, P., J. Elvstrøm & H. Bækgaard. 2015. Normtal for husdyrgødning 2014/15 - Baggrund for justering af tabsfaktorer for stalde til slagtekyllinger, rugeægshøns (HPR-høner) og mink. Aarhus Universitet. 10 pp.

Miljøstyrelsen. 2011a. Kemisk luftrensning med syre – slagtekyllinger. 1. udgave, Miljøstyrelsen. 15 pp.

Miljøstyrelsen. 2011b. Kemisk luftrensning med syre – æglæggende høns. 1. udgave, Miljøstyrelsen. 16 pp.

Miljøstyrelsen 2011. Hyppig fjernelse af gødning fra æglæggende høns som ikke holdes i bur (alternativ hønsehold). Teknologiblad. 1. udgave. 10 pp.

NaturErhvervsstyrelsen. 2015. Udkast til Bekendtgørelse om tilskud til investeringer i udvalgte grønne processer og teknologier i den primære jordbrugsproduktion.

Petersen, J.S. & J. Elvstrøm. 2013. Notat vedrørende hønekyllingers proteinbehov. Videncentret for Landbrug, Fjerkræ. 2 sider.

Poulsen, H.D. 2014. Normtal for husdyrgødning – 2014. Aarhus Universitet.
http://anis.au.dk/fileadmin/DJF/DCA/Forskning/Normtal_2014_1.pdf

Rasmussen, S. G. 2013. Måling af energibesparelser. Måling af energibesparelser ved anvendelse af LED-belysning i kyllingestalde. Rapport. AgroTech

Indsatsområde 2: Reduktion af energi-, vand-, næringsstof- eller pesticidforbruget i gartnerisektoren

Seniorforsker Jørn Nygaard Sørensen¹, lektor Carl Otto Ottosen¹, forskergruppeleder Karen Koefoed Petersen¹, specialkonsulent Hanne Lindhard Pedersen³, seniorforsker Peter Kryger Jensen² og lektor Bo Melander²

¹Institut for Fødevarer og ²Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet samt ³Gartnerirådgivningen

Indledningsvis skal nævnes, at de dele der omhandler reduktion af energiforbruget i gartnerisektoren i 2010 blev udarbejdet af Niels-Erik Andersson, daværende Institut for Havebrugsproduktion (Kai et al., 2010). I 2015 er denne del opdateret af Carl Otto Ottosen.

Energi-reduktion i gartnerisektoren

Solfangere (vand)

Energiproduktionen på solfangere afhænger af solindstrålingen. Energiproduktionen er derfor størst om sommeren og lille i vinterperioden. Solfangere bruges som supplerende energikilde til opvarmning i boliger, typisk ved brug af en ekstra varmespiral i varmtvandsbeholderen eller en ekstra varmeveksler (fjernvarme). Afgangstemperaturen fra et solfangeranlæg kan være høj, op mod 60-80 °C, men kapaciteten, altså den vandmængde, som kan afgives med høj temperatur, afhænger af solfangeranlæggets størrelse.

Der er tidsforskydning mellem væksthushets behov for varme og varme, produceret med solfangeranlægget. For at kunne udnytte solfangere i et gartneri skal de tilsluttes en akkumuleringstank. Ved at se på gartneriets energiforbrug i sommerhalvåret kan en energibesparelse og reduktion i CO₂ udledning opnås ved, at kedelanlægget holdes varmt ved hjælp af varme fra solfangeren, og ved at væksthuset opvarmes helt eller delvist med varme fra solfangeren.

Solceller vil dog også kunne have en sekundær funktion, hvis de placeres i væksthuset, hvor de kan fungere som affugtere, hvis koldt vand pumpes igennem i de kritiske perioder.

Almindelige solfangere, som findes på markedet, kan anvendes i gartnerierne. Når teknikken hidtil ikke har været anvendt i gartnerierne, skal det ses i sammenhæng med kapacitet/størrelse af solfangeranlægget og energiforbrugsmønster og energibehov til opvarmning af væksthuse.

Solceller (el)

Energiproduktionen på solceller afhænger af solindstrålingen. Energiproduktionen er derfor størst om sommeren og lille i vinterperioden. Gartnerier kan anvende solceller til at generere el til basisdrift men hovedparten vil være til nettet, da der som med solvarme ikke er et asynkront forbrug. Solceller er ikke specielt for gartnerierhvervet og de kan ikke integreres i normale væksthuse (skygefaktor). Der er forskellige støtteordninger (<http://www.vivaenergi.dk/solceller-tilskud-231.aspx#600>).

Lagring af varme i jorden på langt sigt (over vinter)

Der er begrænsninger på, hvor varmt vandet må være, når det pumpes ned i stillestående grundvand (aquifer). Det er et myndighedskrav, at aquiferen er energineutral over en periode på 12 måneder. Det vil sige, at energimængden, som er lagret, skal modsvares af en tilsvarende udtrukket energimængde fra aquiferen. Når varme skal lagres, afhænger lagringsformen af temperaturen.

Er der tale om vand med lav temperatur, ca. 20 °C, er den vandmængde, der skal lagres, stor, for at få en stor energireserve og her er et aquifert system velegnet. Lagring af varme i grundvandet kræver, at grundvandet står stille, og at porøsiteten skal være god (min. 30 %), så det er muligt at pumpe vand op og ned med mindst mulig pumpekapacitet. En del energi fra aquiferen vil tabes på grund af hydrauliske forhold, og aquifererne må ikke ligge for tæt på hinanden, da der kan opstå interferens, hvor energi flyttes mellem aquifererne. Vands varmekapacitet er $4,15 \text{ MJm}^{-3}\text{K}^{-1}$, mens sands er $1,2\text{-}1,4 \text{ MJm}^{-3}\text{K}^{-1}$, altså ca. en tredjedel af vands. Det har i sammenhæng med aquifere systemer ikke den store praktiske betydning, andet end at sandlagets tykkelse kan være afgørende for, om det er muligt at etablere et aquifert system. Anvendelse af aquifer varmelagring er kendt fra industrien og i mindre omfang til boligopvarmning, og er anvendt i lille omfang i hollandske gartnerier men med tilbagebetalingstider på 6-8 år med tilskud. Udbyttet har langt fra været som forventet hverken på planteudbytte eller på energibesparelse (Leo Marcelis, WUR, pers. med.).

Investering i et aquifert system vil afhænge af undergrunden, først og fremmest hvor store mængder vand der kan pumpes op og ned, og hvor stor den samlede kapacitet til lagring skal være. Etablering af aquiferen koster mellem 3.000 og 5.000 kr. pr. kW, udtrykt som kølekapacitet. I etableringsomkostningerne indgår en forundersøgelse af undergrunden, hvor det konstateres, om undergrunden er egnet som aquifer eller ej. Anlægget etableres ved to borer til den nødvendige dybde og etablering af forsyningsledninger med pumper frem til en varmeveksler. Hertil kommer udgifter til varmevekslere og evt. varmepumpe og konvektorer i væksthuset. Den udgift afhænger af størrelsen af det areal, som opvarmes.

Miljøeffekten afhænger af, hvilken energikilde gartneriet bruger. Stenkul har den højeste CO_2 afgivelse på 95 kg CO_2 pr. GJ og fjernvarme mindst med 34 kg CO_2 pr. GJ. Miljøeffekten vil derfor afhænge af, hvor stor en energimængde, der kan ekstraheres fra væksthuset og genanvendes. Genanvendelse af energi fra væksthuset vil kræve energi til drift af pumper, varmeveksler og konvektorer og eventuelt en varmepumpe. Ved konvertering af en del af energiforbruget til ekstraktion og varmelagring vil elektricitetsforbruget øges og CO_2 emissionen fra elforbruget (15 kg CO_2 pr. GJ) skal modregnes.

Energi fra varmelagring i aquifere systemer har lav exergi, dvs. varmeudnyttelsespotentialer, og for at kunne udnytte energien i eksisterende vandbårne varmesystemer skal exergien forøges, hvilket kan ske ved hjælp af en varmepumpe. Med en varmepumpe kan der ske forbedring af effektfaktoren andre steder i energiforsyningskæden. Blandt andet kan der foretages køling af røggassen fra kedler, hvorved der trækkes mere energi ud.

Der er internationale erfaringer med systemerne, og de viser meget store usikkerheder pga. forskellige jordbundsforhold. Generelt er problemet at risiko i forbindelse med investeringerne er store og

udbytte effekten begrænset og energibesparelsen begrænset (Gelder et al., 2012). Langtidslagring er indtil videre ikke økonomisk rentabel, selv ikke på langt sigt og usikkerhedsmomenter med installation, godkendelser mm. er store.

Hvis varmen kommer f.eks. fra en solfanger eller fra en varmepumpe, vil vandtemperaturen typisk være på 60 °C eller højere og energien kan kun lagres kortvarigt for at undgå for stort tab. Dvs. at lagring skal ske i en isoleret akkumuleringstank. Lagring af energi i akkumuleringstank har været benyttet i mange år i gartnerierne, og i kombination med solvarme kan økonomien i større lagringsenheder forventes at være bedre. Da akkumuleringstank vil kunne udligne energiforbruget i mindst halvdelen af året (afhængigt af deres størrelse), vil de med stigende energiudgifter – og afgifter have kortere tilbagebetalingstid.

Isolering af tremples

Glas eller kanalplader i nordsiden af væksthuset kan erstattes af højtisolerende bygningselementer. Energibesparelsen afhænger af det areal, som erstattes med et højtisolerende materiale. Materialet findes på markedet, lige som materialet har været anvendt ved nybyggeri i de seneste 2-3 år. Der er en uddybende redegørelse for energibesparelspotentialet under punktet: *To- eller flerlags dækkematerialer glas/plast*, se endvidere Tabel 2.1 og 2.2.

Isolering af sokler

Det er muligt at isolere væksthuses sokkel ved nybygning, men soklen kan ikke efterisoleres i eksisterende byggeri. Det skyldes, at væksthuset står direkte på jorden, og det kan ikke sammenlignes med udvendig isolering af soklen på et hus med kælder. Moderne blokvæksthuse har typisk et punktfundament, hvor søjlerne forankres. Her anvendes højtisolerende bygningselementer som sokkel og som den nederste del af væggen. Det er muligt at erstatte det nederste glas i trempel og gavle med højtisolerende bygningselementer, svarende til dem, som anvendes ved permanent isolering af tremples.

Soklen udgør en forholdsvis lille del af den samlede overflade af væksthuset, og isolering har marginal indflydelse på væksthuses varmekonsum.

To- eller flerlags dækkematerialer glas/plast

Isolerende dækkematerialer, i form af kanalplader, nedsætter energiforbruget, men energibesparelsen afhænger af det areal, hvor glas erstattes med isolerende dækkemateriale. Nedsættelsen af energiforbruget afhænger også af det antal lag, som pladen består af. Varmetransmissionskoefficienten reduceres fra 3,1 for en dobbeltlagsplade til 1,6 $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ for 6-lagsplade. Til sammenligning har glas en varmetransmissionskoefficient på 6,5 $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Anvendes permanent isolering, dvs. materialer uden lysgennemgang, kan varmetransmissionskoefficienten reduceres til 0,4 $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$.

Der er i det følgende givet nogle eksempler på den forventede energibesparelse ved at udskifte enkeltlagsglas med 2 lags-kanalplader.

Det er lettest at erstatte enkeltlagsglas med dobbelte kanalplader i fritliggende væksthuse. Et almindeligt fritliggende væksthuse, bygget i glas og uden isoleringsgardiner, har et typisk varmeforbrugstal (P-værdi) på $8,5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Det er ikke ualmindeligt, at gavlene i eksisterende fritliggende væksthuse består af kanalplader, hvilket giver en P-værdi på $8,1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Når der meget ofte bruges kanalplader i gavlene, er det, fordi det er vanskeligt at montere et træksystem til et isoleringsgardin. Ved isolering af gavlene udelades monteringen af et skygge- eller isoleringsgardin. Udskiftes yderligere f.eks. den nordvendte trempel med kanalplader, reduceres P-værdien til $7,7 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ og med begge trempeler isoleret til $7,5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Hvis f.eks. den nordvendte tagflade også udskiftes, reduceres P-værdien til $6,0 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ og med begge tagflader udskiftet med dobbelte kanalplader bliver P-værdien $4,5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. I stedet for kanalplader kan glasset i nordtrempelen erstattes med permanent isolering. Det vil reducere P-værdien i et glashus fra $8,5$ til $8,1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. I et fritliggende væksthuse, bygget i kanalplader, vil isolering af nordtrempelen med permanent isolering sænke P-værdien fra $4,5$ til $4,3 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Reduktionen i energiforbruget ved anvendelse af kanalplader i et fritliggende væksthuse er angivet i Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Ændring i det årlige energiforbrug for et fritliggende væksthuse ved isolering med 2 lags-kanalplader ved en sætpunktstemperatur på 20°C .

Isolering	P-værdi [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]	Årligt energiforbrug [kWh pr m^2]	Reduktion i energiforbruget set i forhold til uisoleret [%]
Uisoleret	8,5	887	-
Permanent isolering af nordtrempel	8,1	846	5
Gavle	7,9	825	7
Gavle og nordtrempel	7,7	804	9
Gavle og trempeler	7,5	783	12
Gavle, trempeler og en tagflade	6,0	626	29
Gavle, en trempel med permanent isolering og en med kanalplade og en tagflade	5,8	605	32
Alle udvendige flader i kanalplade	4,5	470	47
Permanent isolering af nordtrempel, øvrige flader i kanalplader	4,3	449	49

Hvis væksthuset er bygget som en blok (Venloblok), er mulighederne for at bruge isolerende dækmaterialer mindre på grund af tagkonstruktionens udformning. Tagkonstruktionen består af mange små tage med skotrender imellem, og der er ikke udviklet et profilsystem til kanalplader.

I gavlene bruges ofte kanalplader, og af samme årsag som for fritliggende væksthuse, fordi det er vanskeligt at montere et velfungerende træksystem til et isoleringsgardin.

En glas-Venloblok har en P-værdi på $8,1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Ved isolering af gavlene bringes P-værdien ned på $7,7 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Isoleres nordtremplen med kanalplader, fås en P-værdi på $7,5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Bruges der i stedet permanent isolering i nordtremplen, reduceres P-værdien til $7,2 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Bruges der desuden kanalplader i sydtremplen, bliver P-værdien $7,0$. Den vanskeligste del at isolere på et blok-væksthus er som nævnt taget, men de teoretiske beregninger ved udskiftning med kanalplader er medtaget i Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Ændring i energiforbrug for et blokvæksthus (Venloblok) ved isolering med 2-lags-kanalplader ved en sætpunktstemperatur på $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Isolering	P-værdi [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]	Årligt energi- forbrug [kWh pr m^2]	Reduktion i energiforbruget set i forhold til uisoleret [%]
Uisoleret	8,1	846	-
Gavle	7,7	804	5
Gavle og nordtrepel	7,5	783	7
Gavle og permanent isolering af nordtrepel	7,2	752	11
Gavle, kanalplader i sydtrepel og permanent isolering af nordtrepel	7,0	731	14
Gavle, trempel og en tagflade	5,8	605	28
Alle flader isoleret med akrylplader	4,3	449	47
Nordtrepel permanent isoleret og øvrige flader i kanalplade	4,1	428	49

Den forventede energibesparelse står dog ikke altid mål med det, som opnås i virkeligheden. I væksthuse, bygget helt eller delvist i kanalplader, bliver luftfugtigheden højere og energiforbruget til affugtning stiger. Affugtning er en energiforbrugende proces, der sker ved brug af naturlig ventilation, samtidig med at der tilføres energi til væksthuset.

Investering i udskiftning af glas til kanalplader vil variere en del afhængig af væksthustype og alder og typen af kanalplader. Jo højere lystransmission kanalplader har, desto højere er prisen, og investeringen kan ligge mellem 400 til 600 kr. pr. kvadratmeter.

Udskiftning af traditionelt glas med coatede typer glas for mindre refleksion betyder i princippet, at der kan komme mere lysgennemtrængning til planterne i væksthuset, men investeringsudgifterne er store. Det samme gælder diffuserende glas, som kan øge mængden af lysgennemtrængningen i dækkematerialet ved direkte sol. Dette vil ikke have en energibesparende effekt, men kan i princippet øge produktionen i sommerperioden (Dueck et al., 2012). I vinterperioden er det tvivlsomt om der ses en stor effekt, da det naturlige lys udgør max 25 % af det tilførte lys i vinterperioden.

Kvartsglas typer, der tillader UV gennemslib kan have betydning for kvaliteten af planterne, men ikke for energibesparelse og medfører en hurtigere slitage af udstyr. For alle alternative glastyper gælder det, at priserne er så høje, at man næppe kan beregne en tilbagebetalingstid. Priserne reflekterer en markedssituation, hvor glasset bruges i arkitektur eller i solfangere.

Ud fra reduktionen i energiforbruget kan miljøpåvirkningen i form af lavere CO₂ emission beregnes. Den mængde CO₂, som dannes pr. energienhed, er afhængig af den anvendte energikilde. Data fra Energistyrelsen viser, at det samlede energiforbrug i gartnerierne i 2008 lå på 7.343 TJ, fordelt på 2.151 TJ fra fjernvarme, 1.832 TJ fra stenkul, 1.264 TJ fra naturgas, 1.039 TJ fra elektricitet, 624 TJ fra fuelolie, 366 TJ fra gasolie og 66 TJ fra andre energikilder (<http://www.danskgartneri.dk/Publikationer/~media/danskgartneri/Publikationer/Dansk%20Gartneri%20i%20tal/Tal%20om%20gartneriet%202012.ashx>). Anvendelse af 2- eller flerlagsdækkematerialer påvirker ikke elektricitetsforbruget, idet hovedparten anvendes til kunstlys. Stenkul afgiver den største mængde CO₂ pr. energienhed produceret og har derfor den største miljøpåvirkning (Tabel 2.3).

Tabel 2.3. Reduktionen i CO₂-emissionen i kg pr. kvadratmeter pr. år for et fritliggende væksthuse ved en sætpunktstemperatur på 20 °C ved forskellige grader af isolering med 2-lagskanalplader.

Isolering	Fjernvarme	Naturgas	Gasolie	Fuelolie	Stenkul
Permanent isolering af nordtrepel	5	9	12	12	15
Gavle	8	13	17	17	21
Gavle og nordtrepel	10	16	21	22	27
Gavle og trepler	13	22	28	30	36
Gavle, trepler og en tagflade	31	53	69	72	88
Gavle, en trepel med permanent isolering og en med kanalplade og en tagflade	35	58	76	80	97
Alle udvendige flader i kanalplade	51	86	111	117	143
Permanent isolering af nordtrepel, øvrige flader i kanalplader	53	90	116	122	149

Gardinanlæg

Gardiner i væksthuse har to funktioner. Den ene er afskærmning mod sol (høj lysintensitet), og den anden er energibesparelse om natten. Gardiner anvendes i alle potteplantegartnerier og i en del agurkegartnerier og er på vej i tomatgartnerier, hvis gardinerne kan monteres, så de ikke skygger.

Energibesparelse ved brug af gardiner i væksthuse har været kendt længe og virkningen af at bruge gardiner er målt i en del forsøg. Energibesparelsen afhænger af det materiale, som gardinerne er fremstillet af, og energibesparelsen opstår gennem påvirkning af tre faktorer:

1. Et glasvæksthuse har et energitab gennem konvektion, hvor luften i væksthuset afkøles af det kolde glas.
2. Et glasvæksthuse har et naturligt luftskifte, hvor varm luft siver ud og erstattes med kold luft.
3. Der sker energitab gennem langbølget varmestråling fra alle overflader i væksthuset.

I litteraturen er der stor variation i angivelsen af energibesparelsen ved brug af gardiner, og en af årsagerne skal findes i, at der ikke er taget hensyn til luftskiftet i væksthuset. Ældre væksthuse har ofte et højere naturligt luftskifte end moderne væksthuse, og luftskiftet reduceres yderligere, hvis der bruges kanalplader som dækkematerialer i stedet for glas.

Et gardin, som er tæt, dvs. at luften har svært ved at passere igennem materialet, reducerer energitabet ved konvektion. Samtidig er et tæt gardin med til at reducere luftskiftet i væksthuset. Strålingstab kan reduceres, hvis der bruges et gardin, som indeholder aluminium. Aluminium bruges, fordi det er billigt og kan fremstilles som en tynd folie, der limes på en plastfilm. Energibesparelsen er derfor afhængig af det gardinmateriale, som anvendes. Yderligere er energibesparelsen afhængig af, hvilken styringsstrategi der anvendes og om der anvendes mere end ét lag gardiner.

Gardinmaterialer og energibesparelse

I litteraturen angives værdier fra 20 til over 40 % i energibesparelse ved anvendelse af gardiner. I nogle tilfælde angives endnu højere energibesparelser, fordi energibesparelsen kun er udregnet for

den periode, hvor gardinerne er trukket for. Der er ingen energibesparelse, når gardinerne er trukket fra, hvad de er om dagen, men væksthuset vil fortsat kræve opvarmning. Energibesparelsen angives i nogle tilfælde på årsbasis og i andre tilfælde kun for vinterperioden.

Der findes ingen standard for måling af et gardinmateriales energibesparende effekt, og fabrikanter af gardinmaterialer angiver ikke, hvilken metode de har brugt til fastsættelse af energibesparelsesprocenten.

En realistisk værdi for ét lag gardin er en energibesparelse på mellem 20 til 30 %, lavest for transparente materialer og højest for gardiner helt i aluminium.

Der findes kun få oplysninger om størrelsen af energibesparelsen, når der installeres to lag gardiner i væksthuset. Energibesparelsen bliver større, men igen afhænger besparelsen af gardinmaterialernes egenskaber. Bruges tætte gardiner og vandret montering, fås en højere energibesparelse, fordi den stillestående luft mellem de to gardinlag øger isoleringen. Energibesparelsen stiger med 10 til 15 %, når der installeres et ekstra lag gardiner.

Et krav, uanset om der er installeret ét eller to lag gardiner for at få den maksimale energibesparelse, er at inddækningen, dvs. dér, hvor gardinet ligger an mod konstruktionen, er tæt. Det løses på forskellig vis, bl.a. ved overlapninger og en såkaldt fodpose ved soklen.

Gardinmaterialerne slides og nedbrydes af UV lys, som der findes lidt af i et væksthuis, selv i et glasvæksthuis. Ved slitage opstår utætheder i gardinmaterialerne, og energiforbruget forøges. Levetiden for et gardinanlæg er erfaringsmæssigt mellem 5 og 7 år. Udskiftning af slidte gardinmaterialer mindsker energiforbruget, men et skift til et andet og mere isolerende materiale vil betyde en lille reduktion i energiforbruget.

Andre gardintyper

NIR gardiner er karakteriseret ved at kunne reflektere en del af solens nærinfrarøde stråling. Refleksionen opnås ved brug af nanoteknologi, og idéen er at reducere varmebelastning af væksthuset i perioder med høj indstråling. Undersøgelser på Københavns Universitet viser at NIR gardiner, anvendt som isoleringsgardiner, ikke giver en større energibesparelse end gardiner fremstillet af samme materiale, blot uden NIR-egenskaber, og at deres funktionalitet ikke er tilfredsstillende (Rosenqvist, KU, pers. med.).

Diffuse gardiner kan i sommerperioden øge produktiviteten på specielt pryddplanter. De har som sådan ingen energibesparende effekt, men sikrer en bedre fordeling af lyset, og man kan opnå en bedre vækst i lavlyspanter fordi man kan tilføre mere daglig lyssum (Hohenstein, 2014), mens effekten er mindre betydning i højlyspanter, som er udbredt i Danmark.

Der er på testniveau en række gardintyper på markedet, der tillader fugtgennemslip, men det betyder også at deres isoleringsevne er reduceret. Jo tættere membranen er, desto mere isolering. På samme måde som NIR gardiner er det kun teoretiske data, der ligger til grund for gardintyperne.

Mørklægningsgardiner bruges i forbindelse med kortdagsbehandling af planter for at inducere blomstring i perioder, hvor den naturlige dagslængde er længere end den kritiske dagslængde. Mørklægningsgardiner er lystætte gardiner. De har endvidere gode isolerende egenskaber og kan give en energibesparelse på ca. 30 %, bl.a. fordi de fremstilles med en overside bestående af aluminium.

Der sker kun en reduktion i energiforbruget, når gardinerne er trukket for, og energibesparelsen er målelig i perioder med højt energiforbrug (fra januar til og med april og fra september til og med december). Væksthuse kan klassificeres efter deres varmekonsum (Wm⁻²K⁻¹), som afspejler væksthuses energitekniske tilstand. Jo højere et varmekonsum, des dårligere er den energitekniske tilstand. Typisk har ældre fritliggende væksthuse et meget højt varmekonsum, mens moderne blokvæksthuse har et mindre varmekonsum. I nedenstående Tabel 2.4 ses den procentvise energibesparelse ved installation af gardiner i væksthuse med forskellige varmekonsum, afhængig af hvor stor en ændring der efterfølgende sker i varmekonsumet. En realistisk forbedring af varmekonsumet ved installation af gardiner ligger mellem 2-2,5 og afhænger blandt andet af gardinmaterialet og monteringsmetoden.

Tabel 2.4. Procentvis energibesparelse i perioderne januar-april og september-december ved installation af gardiner i væksthuse med forskellige varmekonsum ved en sætpunktstemperatur på 20 °C.

Varmeforbrugstal uden gardiner	Varmeforbrugstal med gardiner lukket mellem solnedgang og solopgang			
	4.5	5	5.5	6
6,5	18	13	9	4
7	21	17	13	8
7,5	23	19	16	12
8	26	22	18	15
8,5	27	24	21	17

Ud fra besparelsesprocenterne kan reduktionen i CO₂ emissionen beregnes ud fra den anvendte energikilde for en given ændring i varmekonsumet (Tabel 2.5).

Tabel 2.5. Reduktionen i CO₂-emissionen i kg pr. kvadratmeter i perioderne januar-april og september-december ved ændring i varmekonsumet for et fritliggende væksthuse ved en sætpunktstemperatur på 20 °C.

Ændring i varmekonsum (Wm ⁻² K ⁻¹)	Fjernvarme	Naturgas	Gasolie	Fuelolie	Kul
0,5	3	5	7	7	9
1,0	6	11	14	15	18
1,5	10	16	21	22	27
2,0	13	21	28	29	36
2,5	16	27	35	37	44
3,0	19	32	42	44	53
3,5	22	38	48	51	62

Styring

Energibesparelsen er afhængig af den styringsstrategi, der bruges, og energibesparelsen stiger med den tid, som gardinerne er trukket for. Normalt styres gardinerne efter lyset og trækkes for sidst på dagen og åbnes igen om morgenen. Energibesparelsen i litteraturen er i langt de fleste tilfælde angivet efter denne simple styringsstrategi.

Der kan opnås en yderligere energibesparelse ved at styre gardinerne efter en energibalancemodel eller fremløbstemperaturstyring. De to nævnte styringsstrategier giver en yderligere energibesparelse i størrelsesordenen 10-15 %, set i forhold til styring efter lys.

Brug af flerlagsgardiner (kombinationer af højsolerede og skyggegardiner) er i mange tilfælde en bedre løsning end et helt tæt gardin (blank/blank). Det betyder en bedre udnyttelse af naturligt lys og en bedre mulighed for at vælge en skyggestrategi, der optimeres året rundt. Det betyder også mindre nedslag af fugt, fordi sprækker i de tætte gardiner betyder en betydeligt lavere temperatur på planterne under.

Generelt er forudsætningen for energibesparelse ved investering i gardininstallationer, at de anvendes så meget som muligt og ikke kun i korte perioder f.eks. ved lave udetemperaturer. Derfor kan kombinationen af effektive gardiner og varmepumper mv. til fugtstyring være en god kombination, da gardinerne kan anvendes betydeligt længere tid af året. Der er ikke pt. optimale styringsstrategier for multilagsgardiner.

Økonomisk effekt

Det er vanskeligt at sætte en økonomisk effekt på brugen af gardiner. Det skyldes, at gartneriernes varmemeforbrugstal ikke er ens, og inden for et gartneri kan der være forskellige varmemeforbrugstal for hvert væksthus. Da varmemeforbrugstallet afhænger af væksthushets alder, vedligeholdelsesstand og væksthustype, er det nødvendigt at inddrage denne viden for at kunne skønne den økonomiske effekt.

Et andet forhold, som vil spille ind, både på den økonomiske og miljømæssige effekt, er, hvilken energikilde der anvendes i gartneriet. Anvendes kul, er opvarmningsprisen lav, mens miljøpåvirkningen er stor, fordi der dannes meget CO₂ pr. produceret energienhed. Bruges naturgas, er opvarmningsprisen højere, mens miljøpåvirkningen er mindre pga. mindre CO₂ emission (Tabel 2.5).

Klimaskærm

Overkitning eller dæklister til sprosser reducerer det naturlige luftskifte i væksthuse og giver en energibesparelse. Der er ikke udført kontrollerede forsøg med tætning af væksthuse, men energitabet ved ukontrolleret luftskifte kan udgøre mere end 10% af det samlede energitab.

Udskiftning af enkeltlagsglas med f.eks. dobbelte kanalplader giver en energibesparelse på ca. 40%, set i forhold til glasvæksthus med gardiner. Hvis der monteres gardiner i et kanalpladevæksthus, er virkningen af gardinet relativt mindre end i et glasvæksthus.

Bedre udnyttelse af fjernvarme

Fjernvarme er, som ordet siger, transport af varme over lange afstande. For at opnå bedst mulig energiøkonomi i fjernvarme, skal afkølingen på forbrugsstedet være så stor som mulig. Det er kosteligt at pumpe store mængder varmt vand rundt, hvis afkølingen samtidig er meget lille. Her skal der ses på energiomkostningen til transport af energi i forhold til den forbrugte energimængde hos aftageren. I gartnerier, tilsluttet fjernvarme, er varmekølingen i væksthuse forøget for at kunne maksimere nedkølingen. En yderligere nedkøling kan ske ved brug af kaloriferer eller anblæste varmekøler.

Kaloriferer er kendte systemer, men har aldrig fundet anvendelse i gartnerierne. Kaloriferer giver imidlertid mulighed for både en bedre luftfordeling, affugtning og bedre temperaturfordeling i væksthuse (Rosenqvist, KU, pers. med.).

Energiekstraktion fra væksthuse om sommeren muliggør, under forudsætning af høj virkningsgrad, energiforsyning til fjernvarmenettet. Det kræver, at den ekstraherede energi via en varmepumpe kan bringe vandtemperaturen op på 80 °C, før det kan pumpes ud i fjernvarmenettet. Her kan det erstatte varmt vand fra varmecentraler/kraftværksblokke, som om sommeren mest bruges til opvarmning af brugsvand. Der er dog nogle lovgivningsmæssige begrænsninger.

Varmeevstraktion til luft

Lufts varmekapacitet er ca. 1 kJ kg⁻¹K⁻¹ og vands 4 kJ kg⁻¹K⁻¹. Rumfangsmæssigt forholder det sig anderledes, idet 1 m³ luft vejer ca. 1,2 kg, og energimængden, ved samme temperatur, giver volumenmæssigt mellem vand og luft et forhold på ca. 1:4000. Der skal en meget stor luftmængde igennem en luft-til-vand-varmeveksler for at kunne ekstrahere energien i den varme luft fra væksthuse. Dimensioneringsgrundlaget for det mekaniske ventilationsanlæg i det hollandske, lukkede væksthuse er 10.000 m³/time pr. 1000 m². Det svarer til et tvunget luftskifte på 2,5 gange i timen. Til sammenligning ligger det på samme niveau, som Arbejdstilsynets anbefalinger for et undervisningslokale, men et væksthuse på 2000-3000 m² er meget forskelligt fra et undervisningslokale på 60 m². En standard varmepumpe har typisk en udgangstemperatur på 60 °C. I varmepumper, hvor kølemidlet er baseret på CO₂, kan udgangstemperaturen bringes på 80 °C.

Luftfugtigheden i et væksthuse er bestemt af transpirationshastigheden fra planterne, kondenseringen på kolde glasflader, gardinstyring og størrelsen af naturlig ventilation. Vands fordampningsvarme er 2500 kJ/kg. En del af den energi, som luften indeholder i form af vanddamp, udtrækkes, når luften passerer igennem varmeveksleren. Vanddampsmængden, som kondenseres, vil afhænge af temperaturændringen over varmeveksleren, da der kun vil ske kondensering, så længe veksler-temperaturen er lig med eller lavere end dugpunktstemperaturen. Mængden af vanddamp får derfor meget stor betydning for den såkaldte COP (virkningsgrad) på systemet.

Optimal klimastyring (klimacomputer, sensorer, måleudstyr)

Dynamisk klimastyring baserer sig på en sænkning af varmesætpunktet og en hævnning af ventilations-sætpunktet, kombineret med lysafhængigt ventilationstillæg og evt. en lysafhængig CO₂ koncentration. Øget tilførsel af CO₂ f.eks. ved røggasrensning er kun relevant i kulturer med høj fotosyntese og ved større indstråling og giver ingen energibesparelse. Optimal klimastyring betegnes almindeligvis ved optimering af produktionen i væksthuset med hensyn til udbytte, kvalitet og økonomi.

Alle klimacomputersystemer har faciliteter i softwaren til dynamisk klimastyring og de nødvendige sensorer. I et par af klimacomputersystemerne er det muligt yderligere at lægge modeller "på toppen" af softwaren, men dette er ikke en garanti for yderligere energibesparelse. Der udbydes ikke kommercielle softwarepakker til energibesparende klimaregulering, men klimacomputerfirmaerne tilbyder at tilrette programmer til at opfylde specielle krav.

Alt andet lige, vil en sænkning af varmesætpunktet give en energibesparelse, fordi den temperaturforskelle, som skal opretholdes mellem inde og ude, bliver mindre. Teoretisk set kan en energibesparelse på 25-30% på årsbasis opnås, hvis varmesætpunktet sænkes fra 20 til 16 °C, men konsekvensen af en temperatursænkning på plantevæksten kan have store indflydelse på produktionstiden.

Et forhold, som har afgørende betydning for klimastyringen, er sensorernes kvalitet og kalibrering. Manglende kalibrering af for eksempel luftfugtighedssensorer kan medføre en fejlagtig fugtstyring eller CO₂ fejl kan betyde et betydeligt merforbrug på CO₂.

LED belysning

Inden for belysning bruges i større og større omfang lysdioder (LED). Det skyldes at udviklingen inden for lysdioder har bevirket, at de er blevet mere og mere energieffektive og de ligger i energifektivitet tæt på højtryksnatriumlamper, hvor mere end 30 % af den tilførte energi bliver omsat til synligt lys.

En enkelt dansk virksomhed (Fionia Lighting) har udviklet et LED belysningsystem, som kan erstatte højtryksnatriumlamper og andre typer lamper fra bl.a. Phillips. Systemerne er under fortsat udvikling, og der findes en tidligere version, der er installeret i gartnerier, som er valideret ved forsøg på Aarhus Universitet (Ottosen, in prep.), hvor energibesparelsen er omkring 40 % samlet efter korrektion for merforbrug af varme. DTU/Fotonik har analyseret energiforbruget, eller rettere energieffektiviteten, hvor de traditionelle SONT lamper ligger på 1,6-1,8 $\mu\text{mol}/\text{J}$, mens de elektroniske ballast lamper med 600 eller 1000 watt er mellem 2,0 og 2,4 $\mu\text{mol}/\text{J}$. LED lamper (Fionia eller Philips toplight) ligger lige mellem 2,2 og 2,4 $\mu\text{mol}/\text{J}$ (Carsten Hansen, DTU, pers. med.). Der er en stærk markedsføring for induktionslamper, som har en energieffektivitet på under 1 $\mu\text{mol}/\text{J}$ – altså en forældet teknologi.

På nuværende tidspunkt skønnes det at udskiftning af traditionelle SONT lamper (400 W) til LED giver en besparelse på ca. 50 % på elsiden, men der skal afhængigt af art justeres med øget varmetilførsel. Der foreligger pt. ingen uafhængigt publicerede data om energibesparelsespotentialer i LED.

Brugen af mere dynamisk styring af spektre er kun muligt i nogle LED modeller og viden om den er langtfra fyldestgørende til at vurdere om teknologien kan skabe energibesparelser. Forsøg med blåt lys (eller stigende blå lysandel) viser at man kan øge kvaliteten af planterne, så man udover energibesparelsen får andre effekter (mindre brug af vækstregulering og insekticider) (Ouzounis et al., 2014a; Ouzounis et al., 2014b; Ouzounis et al., 2014c).

Der findes desuden en software prototype til mere dynamisk kunstlysstyring, der i forsøg kan give mellem 15 og 30 % energibesparelse og som ved test i kommercielt gartneri kan give op til 20 %. Næste generation af software til styring er mere dynamisk og med en kobling til elnettet (smart-grid). Dermed kan gartnerierne fungere som fleksibel energibuffer på nettet. Den er ikke kommercielt på markedet endnu, men vil være et open source produkt.

Varmepumpe til opvarmning

Der kan ligge en god mulighed for gartnerierne i at gå fra fossilt brændsel til opvarmning vha. varmepumpe. Det skyldes to årsager. For det første stiger den vindbaserede el-produktion, hvilket gør det relevant at se på el til opvarmning. For det andet er der udviklet varmepumper med højere afgangstemperatur på op til 80 °C mod hidtil ca. 60 °C, hvilket gør dem anvendelige til opvarmning af væksthuse. Varmepumpen vil kunne tilsluttes direkte til det eksisterende varmesystem.

Investering i et varmepumpeanlæg til opvarmning af væksthuse vil ligge i størrelsesordenen 800-1200 kr. pr. kvadratmeter væksthuse. Det er næppe realistisk at basere hele gartneriets opvarmning på varmepumper, men der er altid et minimumsforbrug af energi til opvarmning af væksthusearea-

let, som kan dækkes vha. en varmepumpe. Det vil nedbringe investeringsbehovet samtidig med at det vil kunne reducere energiforbruget til ca. en tredjedel (dog afhængig af virkningsgraden på varmepumpen) af den del af varmebehovet, som varmepumpen dækker.

Anvendelse af varmepumper i gartnerierne kan have energimæssige sidegevinster. En varmepumpe har en "kold side" som kan bruges til køling. Varmepumpen kan helt eller delvist erstatte kølekompressorer til kølerum eller til røggaskøling fra kedler eller gasmotorer, hvor sidstnævnte vil være medvirkende til en forøgelse af varmepumpens effektfaktor og forøgelse af varmeanlæggets virkningsgrad.

Mekanisk ventilation til luftfugtighedsstyring

Luftfugtighedsstyring i væksthuse sker i dag uden varmegenindvinding, fordi luftfugtighedsstyring sker ved at åbne ventilationsvinduer og samtidig tilføre varme til væksthuset. Det skønnes at mellem 15 og 20% af det samlede energiforbrug i et gartneri anvendes til luftfugtighedsstyring.

Ved at gå væk fra brug af naturlig ventilation til affugtning og erstatte det med mekanisk ventilation er det muligt at foretage varmegenindvinding. Ved at bruge en krydsvarmeveksler, vil luften, som blæses ind ude fra, blive opvarmet af luften som blæses ud fra væksthuset. Investering i et mekanisk ventilationssystem til affugtning vil ligge i størrelsesordenen 300-500 kr. pr. kvadratmeter væksthuse.

Der findes en række simple løsninger med aircon (affugtere) på markedet og senest også kombinationer med ventilatorer i gardinerne, hvor tør luft blæses på planterne igennem gardinerne (van Weel, 2013). Det kunne være en meget relevant løsning i kulturer med høj fugtafgivelse (tomat og agurk), men i princippet også til prydplanter dyrket med meget tætte gardiner.

Der findes andre typer af affugtere, der fjerner vandet fra luften og hvor den latente fordampningsvarme kan genvindes. De har yderligere den fordel, at de filtrerer luften og dermed kan nedbringe svampeproblemer mv. De udgør forholdsvis store investeringer (overslag 60.000 DKK per 1000 m² for prydplanter lidt afhængigt af behov).

Det må forventes at forskellige kombinationer af metoder til reduktion af energiforbrug til affugtning vil kunne bidrage til en væsentlig energibesparelse. Der mangler dog et overblik over de forskellige produkter og styringsstrategiers effektivitet. I et igangværende GUDP projekt (REDHUM) analyseres mulighederne for de forskellige systemers brug, men koblet til modeller for planternes reaktion på klima/fugtighed, fordi man dermed vil skabe et bedre beslutningsgrundlag for styringen.

Tiltrækning af udplantningsplanter

Plantemaskiner anvendes til udplantning af planter tiltrukket i væksthuse. Planterne kan være sået i kasser med spagnum eller i små moduler bestående af spagnum eller andet dyrkningsmedie. Ofte anvendes speedlings, der er små koniske spagnumpotter. Under tiltrækning er plantetætheden fra ca. 600 planter pr. m² i 4x4 cm jordpotter til omkring 1800 planter pr. m² i små speedlings. Efter tiltrækning udplantes planterne i marken enten som barrodsplanter, jordpotter eller speedlings. Hertil anvendes en plantemaskine som er designet til at udplante disse planter/potter og på markedet findes der mange forskellige typer af plantemaskiner. Ved udplantning skal plantemaskinen fodres med planter. På nogle plantemaskiner kræves én person til hver række; på andre maskiner kan én person betjene flere rækker samtidigt.

I de senere år er udviklet nye pottetyper (bl.a. paperpots) og nye plantemaskiner, der udmærker sig ved at være mere rationelle. Nyere plantemaskiner er mere automatiserede (op til 8 rækker pr. person) og har en højere kørselshastighed (op til 15 kg pr. time). En pottetæthed på op til 2800 planter m² vil således kunne reducere behovet for drivhusareal til plantetiltrækning med mere end 30 % og dermed kunne reducere energiforbruget tilsvarende.

Ukrudtsbrænding med nedsat energiforbrug

Fremspiret ukrudt kan bekæmpes ved flammebehandling. I den økologiske grønsagsproduktion er metoden meget almindelig, og anvendes typisk lige før afgrøden spirer frem. I langsomtspirende kulturer som løg og gulerødder er metoden især god, da meget ukrudt vil være spiret frem før afgrøden (Ascard et al., 2007). Al det fremspirede ukrudt bekæmpes, og gasforbruget er typisk 50-60 kg propangas ha⁻¹. Metoden kan også anvendes i majs, hvor der typisk brændes før fremspiring og igen på 5 bladstadiet, som sammen med alm. radrensning udgør den samlede ukrudtsbekæmpelse.

Det danske firma Envo-Dan (www.envo-dan.dk) har udviklet en ny brænder, *E-therm*, som anvender 30-40% mindre gas end de gængse brændere på markedet, uden at ukrudtseffekten bliver dårligere. Teknikken bygger på en bedre afskærmning af brænderen samt en bedre blanding mellem luft og gas opnået ved luftassistance under brændingen. Foruden et nedsat energiforbrug er der flere driftstimer til rådighed, fordi brænderen i modsætning til den ældre teknologi også kan anvendes i blæsevejr. *E-therm* fås i arbejdsbredder fra 1,65 og op til 6,6 m. Fremkørselshastigheden er 5-6 km t⁻¹. I konventionel produktion vil den kunne erstatte alle før-fremspiring sprøjtninger i rækkeafgrøder. For nuværende er der solgt 7 enheder på det danske marked og 20 til udlandet. En standardmaskine på 3,2 m arbejdsbredde koster ca. 150.000 kr.

Tørringsanlæg med varmegenindvinding

Ved tørring af løg blæses let opvarmet udeluft gennem stakken (eller kasser) af løg. I de første 3-5 dage anvendes mindst 400 m³ udeluft pr. ton pr. time. Herefter reduceres luftmængden til 200-

300 m³ pr. ton pr. time samtidig med at indblæsningstemperaturen over en periode på 3-5 uger gradvis reduceres fra ca. 20 °C til ca. 15 °C. I økologisk dyrkede løg, der ofte indeholder flere svampeinficerede løg, anvendes en indblæsningstemperatur på 30-35 °C i mindst en uge for at hæmme udvikling af svampesygdomme (Sørensen, 2014).

Denne gennemblæsning og opvarmning af udeluft er meget energikrævende. Der er imidlertid udviklet nye energibesparende tørringsanlæg, f.eks. et vakuum-system hvor moderne affugtnings-teknologi og højeffektiv varmepumpe-teknologi kombineres med effektiv og skånsom køling samt kontrolleret flow af udeluft. Vakuum-systemet, udviklet af firmaet Frigortek, reducerer energiforbruget til tørring af løg med ca. 75-85 % sammenlignet med traditionelle systemer, da ingen energi går tabt ved tørringsprocessen.

CA-lagringskasser

Udnyttelse af eksisterende kølerum til CA-lagring (Controlled Atmosphere) i kasser vil forbedre udnyttelsen af kølerummet ved at forbedre og forlænge holdbarheden af frugt og grønt. Lagring i kasser med semipermeable membraner, som etablerer CA-lagring via produktets egen ånding og respiration vil forlænge og forbedre holdbarheden af produktet. Dette danner forhold i kassen som ligner forhold i de deciderede store CA-lagre.

Metoden er kendt i udlandet og bruges af enkelte træfrugtavlere. Metoden er ny for grønsagsavlere. Metoden egner sig især til bedrifter med mindre salg af mange forskellige produkter. Derved kan bedriftens kølerumskapacitet udnyttes til mange produkter samtidig.

Metoden forventes at reducere mængden af frasorteret frugt og grønt med 30-50 % i forhold til alm. kølelagring. Indkøbspris er ca. 4.000 kr. pr. kasse. Teknologien er til rådighed, men udnyttes kun begrænset.

Vand-reduktion i gartnerisektoren

Vandingsindikator

Vanding på friland finder ofte sted på baggrund af en visuel vurdering af jorden samt en vis skelen til vejruddisigten. Dette er imidlertid ofte ikke tilstrækkeligt for at opnå størst mulig udnyttelse af indsatsfaktorer (jordareal, gødning, arbejde, osv.). En øget styring af vandtilførslen kan opnås ved at beregne vandingsunderskud på baggrund af klimadata (nedbør og fordampning), jordens vandholdende evne og afgrødens forbrug af vand, der bl.a. afhænger af udviklingsstadiet.

Alternativt kan vandtilførslen styres på baggrund af målinger af jordens vandindhold. Hertil kræves sensorer (tensiometre, TDR, watermarks og lignende), som ud over at registrere jordens indhold af plantetilgængeligt vand i hele afgrødens roddybde skal transmittere disse målinger til en beslutningsstøtteenhed, så der opnås viden om vandingsbehov.

I produktionen af væksthushgrønsager bruges såkaldte startbakker, der på basis af kontinuerlig registrering af væggtab, kombineret med det aktuelle klima, bruges til igangsætning af vanding. Ved dyrkning på borde i væksthuse er det muligt at installere vejeceller under et bord eller en del af et bord og bruge det som beslutningsstøtte for vanding. Det kan betyde en besparelse i både vand- og gødningsforbrug, da tilførsel af vand og gødning oftest følges ad, og i en bedre produktkvalitet. Den øgede produktkvalitet kan dels tilskrives, at man undgår udtørring om sommeren, og ikke mindst overvanding om vinteren, som kan resultere i roddød.

Til brug i væksthuse findes der kommercielle systemer til transmission af fugtighed i dyrkningsmediet, men alle er kabelbaserede, hvilket gør systemerne urealistiske i væksthussystemer. En helt ny prisbillig løsning er Parrot (water), der med en iPhone kan opsamle informationer om lys, jordfugt samt ledetal, så det kan være en simpel metode til test i praksis. Der er mere avancerede plantesensorer på markedet for plantevækst (fotosyntese, vandbalance, stængeltykkelse), men de bruges mest til modeludvikling.

Det forventes at en øget styring af vanding, såvel kvantitativt som tidsmæssigt på friland og i væksthuse, vil kunne reducere vandforbruget med 25-30 %.

Vandbassin

Ved vanding af afgrøder skal der anvendes vand af drikkevandskvalitet. Vandindvinding til vanding af afgrøder foregår derfor i konkurrence med behovet for vand til husholdninger og til sikring af en rimelig vandføring i vandløb. I visse områder er der således begrænsninger på hvor meget vand, der må indvindes til vanding, og her er det relevant at opsamle regnvand, drænvand eller overskudsvand i bassiner.

Etablering af et vandbassin vil især være relevant i væksthushproduktion, hvor bassinet skal dimensioneres til mindst 25 % af bedriftens årlige vandforbrug, men kan også anvendes i produktion af frilandsafgrøder. Investeringen omhandler ud over selve bassinet også pumper og ledningsføring. Det forventes at opsamling af regnvand, drænvand og overskudsvand vil kunne reducere behovet for grundvand med 25 %.

Bomvanding

Grønsager, jordbær og buskfrugt vandes ofte med vandingskanon, hvor vandet sprøjtes ud i en cirkel med en diameter på 40-50 m. Vandingskanonen trækkes langsomt hen over marken, som her ved tilføres 20-40 mm afhængigt af indtrækningshastigheden. Ved anvendelse af vandingskanon sprøjtes vandet langt op i luften, hvorved der sker en stor fordampning især ved vanding på varme solrige dage. Skiftende vindhastigheder og vindretning påvirker endvidere afdrift og fordeling af vand over arealet. Her kan områder i marken tildeles for meget vand og andre områder for lidt vand.

Bomvanding er et alternativ til anvendelse af vandingskanon. Ved bomvanding trækkes en bom (à la pivot-vanding) påmonteret en række sprinklere/dyser langsomt hen over marken. Ved anvendelse af vandingsbom opnås en vandbesparelse på 20-30 % i forhold til vandingskanon (Reuter, 1998) idet fordampningen er meget mindre. Samtidig opnås en væsentlig bedre fordeling af vand over arealet.

Drypvanding

I forhold til vanding med vandingskanon eller bomvanding vil der kunne spares yderligere på vandforbruget ved anvendelse af drypvanding. Drypvanding giver potentielt en bedre udnyttelse af vand og også næringsstoffer. Der kan opnås vandbesparelser på 50-70 % i forhold til udbringning med vandingskanon (Reuter, 1998). Drypslanger kan placeres på jordoverfladen langs planterækkerne eller lagt ned i jorden i 5-10 cm's dybde. Ved drypvanding vil det være muligt samtidigt at tilføre gødning, opløst i vandingsvandet. Ved at lægge drypslanger ned i jorden kan vandforbruget reduceres yderligere og samtidig bliver det lettere at udføre øvrigt markarbejde.

Samtidige investeringer i sensorer og beslutningsstøtte for vanding, der kan indikere, om der rent faktisk er et behov for at vande, kan dels medføre endnu større vandingsbesparelser og dels øge udbyttet per forbrugt ressourceenhed og give mulighed for en mere præcis vækststyring. Danske forsøg har vist et potentielt merudbytte ved gødevanding (Bødker & Heiselberg, 2011).

Det forventes, at dyrkningen af en række grønsager, bær og frugt i nær fremtid også vil foregå under en eller anden form for klimaskærm. En forudsætning for at en større del af produktionen af grønsager, bær og frugt kan dyrkes i tunneller og på friland er, at det er muligt at håndtere dryp- og

gødevandingsudstyr i praksis uden ekstra tidsforbrug. Dyrkning med gødevanding har en række fordele uanset afgrøde- og dyrkningssystem.

Nye teknologier til gødevanding i tunnel og på friland kan sikre, at der ikke sker tilstopning af dryp og slanger, samtidig med at der opnås den ønskede sammensætning på drypstedet. På friland er der et behov for udvikling af teknik til såvel udlægning som opsamling af drypslanger, der forhindrer beskadigelse ved jordbehandling.

Sammenlignet med andre måder at tilføre vand og gødning på har gødevanding via dryp også den fordel at når først udstyret er installeret er arbejdskraft-behovet i løbet af kulturperioden begrænset.

Vandingsensorer på vandingskanoner

I produktionen af grønsager og bær er anvendelse af vandingskanoner fortsat stor fordi denne vandingsmetode er mere effektiv med hensyn til arbejdskraftbehov. Vanding med vandingskanon er imidlertid ikke effektiv hvad angår vandforbrug, idet der dels går en del vand tabt ved fordampning inden vandet når jorden eller planterne og dels fordi fordelingen af vand er mere uensartet sammenlignet med andre metoder (bl.a. bomvanding).

Tab af vand ved fordampning afhænger af dråbevolumen-størrelsesfordelingen (Hofman et al., 1986), hvor små dråber lettere føres bort med vinden end store dråber. En øget dråbestørrelse og dermed et reduceret vandtab kan opnås ved at reducere trykket på vandingskanonen. Typen og udformningen af dysen på vandingsanlægget påvirker ligeledes dråbefordelingen. Yderligere er vindretning, vindhastighed, luftstabilitet, temperatur samt relativ luftfugtighed vigtige faktorer (Andersen og Hald, 2001).

En uensartet fordeling af vand over arealet er især påvirket af skiftende vindhastigheder og vindretning. En trykændring vil til dels kunne kompensere dette og resultere i en mere ensartet vandfordeling. Anvendelse af vandingskanoner med vindsensor (f.eks. Jet Electronic Nodolini) kan sikre en mere ensartet vandfordeling og det forventes at der herved vil kunne spares omkring 10 % vand.

Næringsstof-reduktion i gartnerisektoren

Styring af gødning

Ved dyrkning af grønsager og andre højværdi-afgrøder er det nødvendigt at sikre, at planterne er optimalt forsynede med næringsstoffer på ethvert tidspunkt. Er planter underforsynede, opnås et reduceret udbytte, og der er risiko for forringet kvalitet. Gødes der med et overskud af kvælstof eller andre næringsstoffer, risikeres en forringet kvalitet samtidig med at der er risiko for tab af gødning ved udvaskning. For at kunne gøde præcist er det af stor betydning at kende de enkelte afgrøders næringsstofbehov gennem sæsonen afhængigt af udviklingstrin. I beslutningsprocessen om det er nødvendigt at eftergødske, og i bekræftende fald hvor meget, er der derfor behov for et mål for hvor meget plantetilgængeligt kvælstof (N-min) og evt. andre næringsstoffer, der er i jorden i afgrødens roddybde. I beslutningsprocessen kan også inddrages blad- eller planteanalyser.

Jord- og planteprøver kan udtages og sendes til et laboratorium for at blive analyseret, hvorefter man får svaret i løbet af en uges tid. Ofte er det dog ønskeligt at kende svaret væsentligt hurtigere og gerne lige efter at prøverne er udtaget. Her er det muligt at anvende hurtigmetoder til at vurdere jordens eller planternes indhold af kvælstof og andre næringsstoffer.

På markedet findes der en del forskellige hurtigmetoder, som principielt kan inddeles i to hovedgrupper: Farvereaktion og ion-selektive elektroder. Ved tilsætning af et reagens udvikles en farve, hvis intensitet afspejler koncentrationen af nitrat. Eksempler herpå er nitrat-strips og kolorimetre. Ved hjælp af en farvelæser kan koncentrationen af nitrat aflæses på et display. Ved ion-selektive elektroder måles ledningsevnen, og resultatet aflæses ligeledes på et display. Det forventes at anvendelse af hurtigmetoder til bestemmelse af jordens indhold af plantetilgængeligt nitrat vil kunne reducere forbruget af gødning med 10-50 %.

Recirkulering af gødevand

I produktionen af potteplanter og væksthushgrønsager er det almindeligt at recirkulere gødevandet, tage analyser af returvandet og supplere med de næringsstoffer, der er i underskud. Traditionelt er produktionen af planteskoleplanter foregået i marken som barrodsplanter, men gennem de seneste 30-40 år er produktionen rykket mere over i potter, som dyrkes på bede, på specielt indrettede containerpladser eller i væksthuse. Især er formeringsfasen af planteskoleplanter rykket ind i væksthuse. Ofte ældre væksthuse, som tidligere har været brugt til produktion af væksthushgrønsager eller potteplanter, hvor potterne enten står i bunden af væksthuset eller på åbne borde med vatex. For at begrænse forbruget af vand og næringsstoffer vil det derfor være hensigtsmæssigt at bruge tætte borde og anlæg til recirkulering af gødevand. Ved produktion i bunden af væksthuse eller udendørs vil anlæg af støbte dyrkningsunderlag muliggøre recirkulering af gødevand, som kan

tilføres enten via dryp eller ebbe-flod vanding. Det vurderes at der kan spares op mod 30 % vand og næringsstoffer ved recirkulering.

Pesticid-reduktion i gartnerisektoren

Rækkedyrkningsystemer

Systemer til ukrudtsbekæmpelse i rækkedyrkede afgrøder kan bestå af en radrenser eventuelt i kombination med en båndsprøjte. Systemet kan primært anvendes i afgrøder, der dyrkes på stor rækkeafstand som roer, majs samt en række specialafgrøder. Systemet er også relevant i afgrøder, der normalt etableres bredsæet, men som kan dyrkes på større rækkeafstand uden at det påvirker udbyttet. Det vigtigste eksempel er vinterraps, hvor det i en periode, hvor udvalget af herbicider var meget begrænset, var ret udbredt at dyrke på 50 cm rækkeafstand og foretage radrensning evt. i kombination med båndsprøjtning. Der er ikke specielle krav til sådstyret. Ved at kombinere med styresystemer i form af GPS styring af såning, radrensning og båndsprøjtning, eller ved at anvende optiske styresystemer, kan båndbredden reduceres og anvendelsen af herbicider minimeres i systemet. Båndsprøjtning kan foretages med uafskærmede sprøjter eller med sprøjter, hvor dyserne er afskærmet. Afskærmning af dysen ved båndsprøjtning sikrer en mere korrekt sprøjtning og reducerer afdriftsrisikoen væsentligt.

I kartofler kan mekaniske løsninger udgøre en del eller hele ukrudtsbekæmpelsen i form af gentagen hypning, nedtagning af kammene og genopbygning af kammene.

Radrensning, herunder i kombination med båndsprøjtning, har tidligere været udbredt i forbindelse med ukrudtsbekæmpelse i roer. Primært af kapacitetsmæssige årsager blev teknikken afløst af bredsprøjtning. Inden for de senere år har systemet også kortvarigt været anvendt i vinterraps som ovenfor beskrevet. Teknologien med GPS styring af alle arbejdsprocesser er til rådighed, ligesom optiske styresystemer er til rådighed, men de udbydes ikke i Europa.

Det skønnes at ovenstående systemer kan reducere herbicidanvendelsen med over 60% i de pågældende afgrøder.

Båndsprøjtning

Båndsprøjtning kan anvendes ved plantebeskyttelse med fungicider og insekticider i rækkedyrkede afgrøder som jordbær. Ved at anvende båndsprøjtning, hvor der anvendes en båndbredde, der svarer til kulturens båndbredde, reduceres pesticidanvendelsen i forhold til bredsprøjtning af kulturen. Reduktionen vil afhænge af hvilket dyrkningssystem, der anvendes. Der anvendes båndsprøjter med typisk flere dyser pr række. Dyserne kan være monteret indvendigt i en skærm, så sprøjtningen foretages afskærmet med en reduceret afdriftsrisiko.

Båndsprøjtningssystemer til jordbær, herunder afskærmede udgaver, har en vis udbredelse i jordbær. Det skyldes, at der en kortvarig periode var et hyppigt anvendt fungicid på markedet, som kun måt-

te anvendes, hvis udbringningen blev foretaget med afskærmet udstyr, der kunne sikre en minimal afdriftsrisiko.

Det vurderes, at båndsprøjtningsteknologien kan reducere fungicidforbruget med 20-40%.

Sprøjteteknologi i frugt og bær

Ved sprøjtning med fungicider og insekticider i frugt- og bærkulturer anvendes tågesprøjter. Sprøjtevæsken udsprøjtes horisontalt fra sprøjten samt opad for at kunne dække hele kulturhøjden.

Sprøjteteknologien forudsætter således, at der sprøjtes mod en "kulturvæg" med konstant højde. I unge kulturer vil der være huller i denne væg, og specielt i unge kirsebærplantager vil kun en mindre del af sprøjtevæsken blive opfanget af kulturen. Ved tidlige sprøjtninger før udspring vil en stor del af sprøjtevæsken ligeledes gå tabt. I etablerede plantager vil der være huller i plantebestanden, og kulturhøjden vil variere. Når det tilstræbes at dække i maksimal kulturhøjde, vil dette også medføre et tab. Selv i veletablerede kulturer vil der generelt være en vis hulprocent igennem hele sæsonen. Der er udviklet to teknologier med henblik på at reducere disse tab, samt reducere afdriften ved tågesprøjtning:

1. Tunnelsprøjter med recirkulering af sprøjtevæske

Som navnet antyder, er disse sprøjter udformet som en tunnel, hvori dyserne er monteret. Sprøjterne kan anvendes i de nye dyrkningssystemer af frugt, hvor kulturhøjden er begrænset til nogle få meter. Under kørsel passerer kulturen igennem tunnelen, og sprøjtevæske, der ikke rammer kulturen, opfanges af den modstående tunnelside. Sprøjtevæsken filtreres og genanvendes, og både pesticidforbruget og afdriften reduceres.

2. Sensorafblænding af dyser på tågesprøjter

Sensorafblænding er en teknologi, der anvendes på almindelige tågesprøjter. En række sensorer, svarende til antallet af dyser, er monteret på sprøjten foran dyserne og registrerer huller i plantebestanden. Hvor der er registreret et hul i plantebestanden, der svarer til den bredde dysen dækker, lukkes for den tilsvarende dyse i det tidsinterval, der svarer til længden af hullet i plantebestanden.

Teknologierne med tunnelsprøjter med recirkulering af sprøjtevæske og sensorafblænding af dyser på tågesprøjter er kommercialiseret og har en begrænset anvendelse i Europa. I Danmark menes der pt. at være to tunnelsprøjter og én tågesprøjte med sensorafblænding.

Det skønnes, at tunnelsprøjter med recirkulering af sprøjtevæske og sensorafblænding af dyser på tågesprøjter kan reducere fungicid og insekticidanvendelsen i frugt- og bærkulturer med ca. 20%.

Sensorbaseret ukrudtssprøjte

Ved total bekæmpelse af ukrudt kan der anvendes en relativt simpel sensorteknologi, der registrerer grøn biomasse. Teknologien er specielt anvendelig ved total ukrudtsbekæmpelse, hvor al plantevækst er uønsket. Teknologien kan være relevant ved total ukrudtsbekæmpelse af ukrudt før afgrødens fremspiring. Under afgrøderækken i kulturer af frugt og bær foretages ligeledes total-ukrudtsbekæmpelse og typisk flere gange i sæsonen. Her er teknologien ligeledes relevant og vil kunne spare en væsentlig del af herbicidanvendelsen. Disse sprøjtninger foretages med smalt specialudstyr, der kræver få sensorer pr. sprøjteenhed.

Teknologien er kommercielt til rådighed og markedsføres i Danmark. På markedet findes bl.a. følgende sensorer: Yara N-sensor, Fritzmeier Isaria, GreenDecker, WeedSeeker og OptRx (Hansen et al., 2013). Det skønnes, at teknologien vil kunne reducere herbicidanvendelsen med op til 80%.

Lugerobotter til rækkeafgrøder

Der er udviklet lugerobotter til ukrudtsbekæmpelse både mellem og i rækkerne i udpantede grønsager som kål, salat, selleri, løg og porre. Redskaberne er udstyret med kameraer, der kan genkende afgrødeplanter, og derved få de mekaniske lugeaggregater til at undvige afgrødeplanterne. Med lugerobotterne vil der være mulighed for en nærmest fuldstændig ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse i udplantede grønsager med et kun begrænset behov for opfølgende håndlugning. På det Europæiske marked forhandles der i øjeblikket 3 lugerobotter: den engelske *Robocrop* (www.garford.com), den danske *Robovator* (www.visionweeding.com) og den hollandske *Steketee IC* (www.steketee.com). *Robocrop* er testet i udplantet kål i England, hvor den bekæmpede 62-87% af den forekommende ukrudtsmængde indenfor en radius af 24 cm fra kålplanterne (Tillett et al., 2008). *Robovator* er undersøgt i udplantet hvidkål i Danmark, hvor 76% af ukrudtet i rækken blev bekæmpet, hvilket var ca. 14% bedre end ikke-intelligente metoder som ukrudtsharvning og fingerhjul (Melander et al., 2015). I samme undersøgelse blev *Robovator* også testet i udplantede løgklynger med 7 løgplanter i hver klynge. Her bekæmpede *Robovator* fra ca. 54% af i-rækken ukrudtet under mindre gunstige forhold til ca. 86% af i-rækken ukrudtet under mere gunstige forhold. I løg var *Robovator* hverken dårligere eller bedre end de simple redskabstyper (fingerhjul, ukrudtsharvning og skrabeplade). I hverken den engelske eller danske undersøgelse opstod der nævneværdige afgrødeskader som følge af robotlugning. I udplantede løg efterlades en restukrudtsmængde, som kan fjernes manuelt eller ved spot-spraying, hvis herbicidforbruget skal holdes maksimalt nede. Tidsforbruget til håndlugning vil helt afhænge af ukrudtstrykket, men kan typisk ligge på 30-90 timer ha⁻¹ (Melander et al., 2015).

Reduktionen i herbicidforbruget er markant ved anvendelse af *Robocrop* og *Robovator* svarende til 100% i nogle afgrøder (eks. kål) til det, som svarer til forbruget ved anvendelse af en spot-sprayer. Anvendelse af lugerobotter er oplagt i både den økologiske og konventionelle produktion. De væ-

sentligste argumenter for at investere i lugerobotteknologien frem for redskaber uden intelligens er flere driftstimer i døgnet og større sikkerhed for ikke at skade kulturplanterne.

Robovator forhandles i Danmark af Frank Poulsen Engineering (www.visionweeding.com). Firmaet oplyser, at energiforbruget er 10kW i timen med en 8 rækkes maskine og en fremkørselshastighed på 4 km t⁻¹. Arbejdsbredden vil typisk være ca. 4 meter ved 50 cm's rækkeafstand for en 8 rækkes maskine, men rækkeafstanden kan variere noget alt efter afgrøden og dyrkningssystemet. *Robovator* kan tilpasses efter kundens behov, og firmaet har leveret både 4, 8, 18 og 31 rækkes maskiner. *Robovator* koster ca. 150.000 kr. per række, og der kører pt. én maskine i Danmark, mens ca. 25 maskiner er solgt til udlandet primært Tyskland.

Robocrop produceres af Garford Farm i England (www.garford.com) og forhandles i Danmark af Yding Smedie (www.ydingsmedie.dk). Maskinen fås i arbejdsbredder på op til 6 m, hvor den eksempelvis kan behandle 12 rækker ved 50 cm rækkeafstand (eks. roer) eller 15 rækker ved 33 cm rækkeafstand (eks. salat). Fremkørselshastigheden er typisk 2-5 km t⁻¹ afhængig af planteafstanden i rækken; desto større planteafstand, desto højere hastighed. Maskinen kræver minimum 18 cm mellem afgrødeplanterne i rækken for at kunne arbejde ordentligt. En 6 m bred maskine koster ca. 1,5 mill. Den er foreløbigt solgt til rensning af udplantede kål, salat, selleri, løg og som noget nyt udsæede roer, omend det stadig er vanskeligt. Firmaet hævder, at den bekæmper 95% af ukrudtet på markniveau. Det er tæt på resultaterne i Tillett et al. (2008), fordi effekterne her blev målt indenfor en radius af 24 cm fra afgrødeplanterne, hvor resten af arealet blev bekæmpet 100%. Der er solgt 12 maskiner i Danmark og flere hundreder på verdensplan.

Steketee IC forhandles ikke i Danmark, og der er endnu ikke importeret nogen maskiner ifølge vores oplysninger.

Autostyring af radrensere

Autostyring til radrensere ved hjælp af kameraer, der aflæser afgrøderækker, er en teknologi, som kan rationalisere radrensningen i rækkeafgrøder (Wiltshire et al., 2003). Mekanisk ukrudtsbekæmpelse mellem afgrøderækker betyder, at dette areal ikke skal behandles kemisk. Besparelsen i herbicidforbruget vil helt afhænge af rækkeafstanden og det ubearbejdede bånd, som radrenseren efterlader omkring afgrødeplanterne. Ved en rækkeafstand på 50 cm og et ubearbejdet bånd på 10 cm vil 80% af arealet blive rensset mekanisk. I praksis vil reduktionen i herbicidforbruget være lidt mindre, omkring 60-70%, idet eksempelvis båndsprøjtning af rækken vil medføre et vist overlap (Wiltshire et al., 2003). I vinterraps dyrket på øget rækkeafstand, dvs. 50 cm, vil det ofte være tilstrækkeligt med radrensning, idet afgrødens konkurrenceevne er stor nok til at undertrykke ukrudtet i afgrøderækken. De nye autostyringssystemer gør det muligt at radrense med høj hastighed og i

store arbejdsbredder. Driftstiden er også bedre, da autostyring ikke stiller de samme krav til traktorførerens koncentration som manuelt betjente styringssystemer.

Det danske firma Yding Smedie (www.ydingsmedie.dk) forhandler et autostyringssystem fra Garford Farm i England, som benytter sig af blot ét kamera per såbredde, dvs. at bredden på radrensersektionen er tilpasset såbredden. Kameraet er højt placeret og videofilmer flere rækker samtidig, og aflæser dermed rækkemønsteret. Billederne behandles af en computer, som styrer et side-shift, der skubber radrenseren sideværts i forhold til afgrøderækkerne. Prisen er fra 150.000 kr. for ét autostyringssystem, hvor den endelige pris især er betinget af side-shiftens størrelse/kraftighed. Systemet kan styre ved op til 15-20 km t⁻¹, og styring efter korn etableret på 25 cm's rækkeafstand er muligt.

Frank Poulsen Engineering (www.visionweeding.com) har udviklet deres eget autostyringsudstyr til radrenserne. Firmaet sælger kamera, software og side-shift for ca. 50.000 kr. til påmontering mellem radrenser og traktor. Kameraet er et linjekamera, som ser på én række og kræver en vis kontrast mellem afgrødeplanter og jord. Store ukrudtstryk, som 'farver' jorden grøn, vil give kameraet problemer. Udstyret kan i princippet klare alle de pt. gældende arbejdsbredder af radrenserne, men firmaet anbefaler et ekstra kamera som sikkerhed ved store arbejdsbredder. Under gode forhold er der en deviation på ± 2 cm. Fremkørselshastigheden bør ikke overstige 10 km t⁻¹. Til dato er der solgt 6 enheder til Tyskland, og 3 nye er i bestilling. Firmaet mærker stigende interesse fra det danske marked.

På det danske marked forhandler firmaerne Thyregod (www.thyregod.com) og Kongskilde Industries (www.kongskilde.com) radrenserne med autostyring som en samlet løsning. Der anvendes et 2 D CCD kamera, som tilsvarende Frank Poulsens kamera ser mere lodret ned på afgrødeplanterne, og som i modsætning til Garford-systemet er mere afhængig af en tydelig kontrast mellem jord og afgrøde. Autostyringen kan kobles fra, men firmaerne påpeger, at autostyringens kapacitet ikke udnyttes ordentligt, med mindre den indgår som en integreret del af en radrenser. For nærmere specifikationer ang. arbejdsbredder, kørehastigheder og priser er det nødvendigt at kontakte firmaerne, da det konkrete redskab helt vil afhænge af anvendelsesformålet.

Rækkedampning i kombination med radrensning

Rækkedampningsudstyr kan bruges til bekæmpelse af ukrudt i rækken forud for udsæede grønsagskulturer og andre højtstående afgrøder, sæet på rækker. Ved rækkedampning steriliseres jorden i det bånd, hvor kulturen efterfølgende udsås (Melander & Jørgensen, 2005; Melander & Kristensen, 2011). En vel gennemført rækkedampning kan reducere behovet for efterfølgende bekæmpelse af ukrudt til nærmest nul. I praksis skal man nok påregne en bekæmpelseeffekt af ukrudt i rækken

på 80-90% (Ascard et al., 2007). Eventuelt restukrudt kan fjernes manuelt eller ved båndsprøjtning eller spot-spraying. Reduktionen i herbicidforbruget vil være på 90-100%, da rækkemellemrummene radrenses. Ukrudtseffekten holder det meste af sæsonen, og dampningen bekæmper også andre skadevoldere såsom jordpatogener. Såfremt rækkedampning og såning foretages i to arbejdsgange, kan autostyring anvendes for at begrænse båndbredden. Anvendelse af rækkedampningssystemet er mest oplagt i økologisk produktion, men i flere konventionelt dyrkede afgrøder er mulighederne for kemisk ukrudtsbekæmpelse så begrænsede, at teknologien kan være interessant.

Yding Smedie (www.ydingsmedie.dk) er eneste danske firma, som tilbyder rækkedampningsudstyr, men har endnu ikke solgt en maskine i Danmark. Firmaet kan ikke oplyse en pris, da en maskine vil være tilpasset den enkelte kundes specifikke krav. Olieforbruget forventes at være $\frac{1}{4}$ liter m^{-2} , hvilket ved en dampbredde på 10 cm og en rækkeafstand på 50 cm svarer til ca. 2000 liter olie ha^{-1} . Maskinen vil anvende samme princip til nedfældning af dampen i jorden som ved almindelig fladedampning af hele bede. Her er dampningskapaciteten ca. 200 m^2 i timen ved brug af en behandlingsskærm på 18 m^2 ; ved rækkedampning med en båndbredde på 10 cm vil det svare til ca. 50 timer ha^{-1} , hvis det antages, at opvarmningstiden per m^2 er den samme ved rækkedampning som ved fladedampning.

Kamdyrkning

Kartofler dyrkes som bekendt i kamme. Der er rigtigt gode resultater med stjernerullerensning til renholdelse af kartoffelkamme. Rensningen virker primært mod frøukrudt, om end vegetative skud af ager-tidsel og alm. kvik i nogen grad kan slås ned. Der skal dog ikke påregnes nogen større effekt på de underjordiske organer af flerårigt ukrudt. Der er flere forsøgsresultater, der viser bekæmpelseeffekter mod frøukrudt på niveau med kemisk bekæmpelse, dvs. 90-100% (Rasmussen & Rasmussen, 2003; Melander et al., 2011). Stjernerullerensere forhandles bl.a. af Yding Smedie (www.ydingsmedie.dk).

Firmaet Thyregod tilbyder et lidt anderledes redskab til kamleje. Det består af rillede tallerkner, der gradvis bygger kammen op, samtidig med at fremspiret ukrudt bekæmpes. Den er desuden udstyret med strigletænder til forbedring af ukrudtseffekten på toppen af kammen. Den største nyhed ved redskabet er en elektronisk styring af tallerkenerne i forhold til kammen, således at redskabet fastholdes i en korrekt position. Herved undgås det, at kammen trækkes skæv med skade af kartoflerne til følge. Styringen foregår vha. af mekaniske følere. En 12-rækket maskine koster 788.000 kr., mens en 4-rækket maskine kan fås for 68.900 kr. Kørehastigheden er typisk 8-10 $km t^{-1}$.

Andre kulturer bl.a. majs kan også dyrkes på kamme, og mange af principperne fra kampleje i kartofler kan også anvendes her.

Ved kamdyrkning opnås en lidt højere jordtemperatur. Samtidig reduceres risikoen for en våd og vandmættet jord i perioder med megen nedbør. Når jorden er våd og vandmættet mistrives planterne og at rødderne bliver lettere angrebet af svampesygdomme. Det er derfor en fordel at "hæve" planterne lidt over niveau, således at jordens iltindhold sikrer optimale vækstbetingelser for planterne (Jørgensen, 2013).

Ved kamdyrkning af bl.a. gulerødder er der erfaring for at der er et mindre behov for at sprøjte mod svampesygdomme (Anker, 2012). Det skønnes, at fungicidforbruget vil kunne reduceres med omkring 10 %.

Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i flerårige vedagtige rækkeafgrøder

Der findes flere modeller af sideforskudte traktordrevne fræsere til mekanisk renhold i træerækker. Metoden bliver brugt af økologiske avlere, men har en nyhedsværdi for konventionelle avlere.

Disse behandlinger kan totalt afløse brug af herbicider i konventionelle flerårige vedagtige rækkeafgrøder. Normalt behandles der 2-3 gange med herbicider om året.

Mekanisk blomsterudtynding i frugttræer

Der findes udstyr til mekanisk udtynding af blomster i frugttræer. Både håndholdt udstyr og traktordrevet udstyr. Metoden kan nedbringe forbruget af de kemiske udtyndingsmidler med 80-100%.

Metoden er ny i Danmark. Der er kørt demonstration af metoden i nogle år. Kun enkelte avlere bruger metoden i dag. Indkøbsprisen er 50- 100.000 kr. Metoden er til rådighed, men udnyttes kun meget begrænset.

Klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr

Ved brug af klimastationer til registrering af lokale klimaforhold: lufttemperatur, blad- og luftfugtighed i plantemassen, samt nedbør kan der via kombination med udviklet software foretages en optimal timing af fungicidbehandlinger mod f.eks. æbleskurv, kirsebærbladplet, frugttræskræft og ildsot samt løgskimmel og gråskimmel. Endvidere vil der kunne foretages en optimal insekticidbehandling mod f.eks. æblevikler. Flere af disse beslutningsstøttesystemer vil kræve et kursus med opfølgninger for at brugerne kan udnytte systemet optimalt.

Afhængig af de aktuelle årlige klimaforhold forventes det at kunne nedbringe de aktuelle behandlinger mod sygdomme og skadedyr med 50-100 %. Dette afhænger dog af afgrøden, skadevolderen og de aktuelle klimaforhold.

Nyhedsværdien afhænger af kulturen og skadevolderen. F.eks. er beslutningsstøttesystemet til bekæmpelse af frugttræskræft helt nyt. Indkøbsprisen for klimastation er 12.000- 50.000 kr. Stationerne er til rådighed, men udnyttes begrænset.

Software til specifikke afgrøder og skadevoldere koster fra 1000- 30.000 kr. Nogle beslutningsstøttesystemer er til rådighed, men udnyttes kun begrænset. Der kan og bliver løbende udviklet nyt software til nye skadevoldere.

Dyrkning i tunneler

I det tidlige forår er klimaet normalt den begrænsende faktor for tidlig plantning af havebrugsafgrøder. Løsningen kan være lette væksthuse dækket med et enkelt lag af klar polyethylen plast, som kan øge dagtemperaturen og øger temperatursummen i vækstsæsonen. Der er dog nogle begrænsninger i de simple lave væksthuse, så et mere fremtidsorienteret system vil være brug af plasthuse, der placeres permanent på området og kan isoleres og om nødvendigt opvarmes – ofte kaldet høje tunneler eller plastvæksthuse. Man kan i princippet skelne mellem høje helårstunneler (passive solvarme væksthuse) og 3-sæsons høje tunneler (er almindelige i dag), der ikke anvendes i vintersæsonen, men hvor man typisk fjerner plastdækket i vintersæsonen (Blomgren og Frisch, 2009; Rasmussen og Orzolek, 2009; Reid, 2008; Wien et al., 2008).

Dyrkning af frugt og grøntsager i tunneler eller plastvæksthuse giver avlerne mulighed for at udvide deres sæson både tidligt og sent og dermed øge deres konkurrenceevne i forhold til produkter, der importeres (Pedersen et al., 2011). Temperatur og ventilationskontrol er afgørende for produktion af sunde afgrøder med høj kvalitet, så derfor er den langsigtede løsning at investere i mere avancerede væksthuse med ventilationssystemer, så den relative fugtighed og temperaturen kan styres.

Helårstunneler med mulighed for en vis grad af klimastyring er også velegnet til økologisk produktion af grøntsager, frugt og jordbær, som i dag dyrkes på friland. De kan fungere som regn- og haglbeskyttelse, forlænge sæsonen eller der kan introduceres nye plantearter, som normalt ikke vil kunne klare sig i Danmark. Tunneler alene vil kunne reducere visse sygdoms- og skadedyrsproblemer, og tunneler med mulighed for klimastyring vil kunne reducere forekomsten af andre sygdomme, og for de resterende vil der være bedre mulighed for kontrol med biologisk bekæmpelse. Helårstunneler eller væksthuse vil desuden betyde, at man bedre kan styre gødning og vanding og

dermed gøre produktionen mere kontrolleret og mere bæredygtig samtidig med at kvaliteten forbedres og spildet reduceres for nogle produkter.

I USA og Canada har de høje tunneler vist sig at være velegnede til produktion af højtstående afgrøder herunder salatmix, babyspinat, tomater, agurker, rød peber, basilikum, afskårne blomster, hindbær, jordbær og meget mere. Også dværg træ-afgrøder som søde kirsebær kan produceres i større multi-bay tunneler (Cheng og Uva, 2008).

Svampesygdomme ændrer karakter i et plasthus og tunnel, og kan være et problem, hvis den relative fugtighed ikke kan reguleres. Faren for et angreb er størst, når luftstrømmen inde i tunnelen er lav og den relative luftfugtighed er høj. I jordbær er set større angreb af meldug og et mindre angreb af gråskimmel i tunnel (Xiao et al., 2001). Valg af resistente sorter, aktiv ventilation (ved at tilføje gavl- eller tagventilation) og fremme af bedre luftcirkulation inde i tunnelen (fx tilføjelse af aktive ventilatorer) er mulige løsninger på problemet, men der er begrænsede erfaringer fra Danmark på dette område.

Skadedyr forårsager normalt mindre skade i høje tunneler, bl.a. fordi afgrøderne en del af tiden vokser, hvor skadedyr er mindre aktive. Ikke desto mindre kan insekter (bladlus, mider, trips, bladhvæpse) være generende i høje tunneler. Registreringer af klimaparametre viser at temperaturen er lidt højere i tunnelen end udenfor (Daugaard, 2008). Drypvanding reducerer vandforbruget og de danske undersøgelser har også vist, at ukrudtstrykket er lavt mellem rækkerne, fordi jorden forbliver tør.

Ved dyrkning i høje tunneler og plastvæksthuse vil der for højtstående afgrøder som f.eks. jordbær, hindbær og visse frilandsafgrøder, i forhold til frilandsdyrkning, kunne reduceres i pesticidforbruget fordi biologisk bekæmpelse vil være muligt. Herudover vil det ved drypvanding være muligt at anvende reducere vand- og gødningsforbruget. Samtidig opnås tidligere udbytter og nogle år også reduceret spild på grund af klimabeskyttelse mod regn og hagl.

Regntag over frugt og bær til forebyggelse af svampesygdomme

Opsætning af regntag i æbler har vist at angreb af svampesygdomme reduceres væsentligt. Samtidig reduceres solskold, haglskader og klimabetinget skrub på æblerne.

Regntag forventes at kunne reducere pesticidbehandlingerne med 80-100 procent. Det er specielt behandlinger mod svampesygdomme som kan reduceres. Nyhedsværdien er meget høj. Metoden er stadig på udviklingsstadiet.

Varmtvandsbehandling til forebyggelse af lagerråd

Dypning eller overbrusning af frugt, bær og grønsager med varmt vand ved ca. 50-52°C i en kortere periode efter høst kan reducere udvikling af f.eks. frugtråd på lageret med 50-90 % når det gælder svampesygdomme, bl.a. *Gloeosporium*, *Monilia* og frugttræskræft.

Normal udføres 2-4 forebyggende fungicidsprøjtninger mod diverse rådsygdomme udført i marken. Disse kan undlades, hvis metoden med dypning eller overbrusning med varmt vand anvendes.

Metoden er endnu ikke i brug kommercielt i Danmark. Dypning af æbler i varmtvand har i en årække fundet sted i Tyskland. Brug af overbrusning eller andre metoder er helt nyt.

Eksisterende udstyr til dypning koster ca. 500.000 kr., men nyt udstyr og metoder er under udvikling.

Referencer

- Andersen JS, Hald T 2001. Risikovurdering ved anvendelse af vandingskanoner til udspredning af gylle fortyndet med vand. Miljøprojekt nr. 606, 2001, Miljøstyrelsen.
<http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2001/87-7944-564-0/html/kap04.htm>
- Anker S 2012. Gulerødder på kamme. <http://www.lammefjorden.dk/nyheder/vis/70>
- Ascard J, Hatcher PE, Melander B, Upadhyaya MK 2007. 10 Thermal Weed Control. Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology, (Editors: MK Upadhyaya & R E Blackshaw). CAB International (www.cabi.org), Wallingford (UK), 155-175.
- Blomgren T, Frisch T 2009. High Tunnels Using Low-Cost Technology to Increase Yields, Improve Quality and Extend the Season. Report Produced by Regional Farm and Food Project and Cornell University.
- Bødker, L. & C.D. Heiselberg. 2011. Demonstration af drypvanding i kartofler. Rapport. Videncenteret for Landbrug – Planteproduktion. 4 pp.
- Cheng ML, Uva WF 2008. Removing Barriers to Increase High Tunnel Production of Horticultural Commodities im New York. Economic and Marketing Study Final Report.
- Daugaard H 2008. Table-top production of strawberries: performance of six strawberry cultivars. *Acta Agricultura Scandinavica* 58(3): 261-266.
- Dueck T, Janse J, Li T, Kempkes F, Eveleens B 2012. Influence of diffuse glass on the growth and production of tomato. *Acta Hort.* (ISHS) 956,75-82.
- Gelder A de, Dieleman JA, Bot GPA, Marcelis LFM 2012. An overview of climate and crop yield in closed greenhouses. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 87(3),193- 202.
- Hansen MJ, Nyord T, Hansen LB, Martinsen L, Hasler B, Jensen PK, Melander B, Thomsen AG, Poulsen HD, Lund P, Sørensen JN, Ottosen CO, Andersen L 2013. Miljøteknologier i det primære jordbrug - Driftsøkonomi og miljøeffektivitet. DCA rapport 29, Aarhus Universitet.
- Hofman V, Kucera H, Berg M 1986. Spray equipment and calibration. North Dakota State University Extension Service Circular 13-AGENG 5-3. North Dakota State Univ., Fargo, ND.
- Hohenstein JA 2014. Diffuse light for better plants. *Grower Talks* 78(8).
<http://www.ballpublishing.com/GrowerTalks/ViewArticle.aspx?articleid=20729>

Jørgensen H 2013. Fremtidens dyrkningssystem på Lammefjorden. *Frukt og Grønt* 12(2),29.

Kai, P., T. Nyord, N. E. Andersson, P.K. Jensen, B. Melander, H.D. Poulsen, P. Lund, F.P. Vinther & C. Kjærgaard. 2010. Oversigt over og vurdering af miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet.

[http://pure.au.dk/portal/da/publications/oversigt-over-og-vurdering-af-miljoeteknologier-i-det-primære-jordbrug--driftsoekonomi-og-miljoeffektivitet\(af052eeb-d0b7-4162-bb5b-7a3c71529072\).html](http://pure.au.dk/portal/da/publications/oversigt-over-og-vurdering-af-miljoeteknologier-i-det-primære-jordbrug--driftsoekonomi-og-miljoeffektivitet(af052eeb-d0b7-4162-bb5b-7a3c71529072).html)

Melander B, Jørgensen MH 2005. Soil steaming to reduce intra-row weed seedling emergence. *Weed Research* 45: 202-211.

Melander B, Kristensen JK 2011. Soil steaming effects on weed seedling emergence under the influence of soil type, soil moisture, soil structure and heat duration. *Annals of Applied Biology*, 158: 194-203.

Melander B, Lattanzi B, Pannacci E 2015. Intelligent versus non-intelligent mechanical intra-row weed control in transplanted onion and cabbage. *Crop Protection* (submitted 2nd December 2014).

Melander B, Ørum JE, Thomsen HC 2011. Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i kartofler. *Plantekongres 2011*, 11-13 Januar, Herning Kongrescenter, 239-240.

Ouzounis T, Fretté X, Rosenqvist E, Ottosen CO 2014a. Spectral effects of supplementary lighting on the secondary metabolites in roses, chrysanthemums, and campanulas. *Journal of Plant Physiology* 171:1491-1499

Ouzounis T, Fretté X, Rosenqvist E, Ottosen CO 2014b. Spectral effects of LEDs on chlorophyll fluorescence and pigmentation in *Phalaenopsis* 'Vivien' and 'Purple Star'. *Physiologia Plantarum* Oct 10. doi: 10.1111/ppl.12300.

Ouzounis T, Fretté X, Rosenqvist E, Ottosen CO 2014c. Predawn and high intensity application of supplemental blue light decreases the quantum yield of PSII and enhances the amount of phenolic acids, flavonoids, and pigments: A case study in *Lactuca sativa*. *Frontiers in Science* (accepted).

Pedersen HL, Andersen L, Jørgensen PE, Sørensen L 2011. Luksusbær til frisk konsum. *Frukt & Grønt* 2: 60-61.

Rasmussen CM, Orzolek MD 2009. Penn State High Tunnel Plastic Study 2007-08. Report from PennState University.

- Rasmussen IA, Rasmussen K 2003. Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i kartofler. 20 Danske Planteværnskonference. Korn, kartofler, skadedyr, miljø og postere, 91-104
- Reid J 2008. Comparisons of Temperatures under Clear Polyethylene and Infrared Blocking Coverings for High Tunnels. Report Cornell University.
- Reuter, C. 1998. Water saving irrigation systems. *Gemüse* 34, 21-24.
- Sørensen JN 2014. Tør dine løg ved høj temperatur. *Frugt og Grønt* 13, 22-23.
- Tillett ND, Hague T, Grundy AC, Dedousis AP 2008. Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision. *Biosystems Engineering* 99: 171-178.
- van Weel PA 2013. Wageningen UR Greenhouse Horticulture develops low-cost solution for dehumidifying greenhouses. <https://www.wageningenur.nl/en/show/Wageningen-UR-Greenhouse-Horticulture-develops-lowcost-solution-for-dehumidifying-greenhouses.htm>
- Wien HC, Reid JC, Rasmussen C, Orzolek MD 2008. Use of Low Tunnels to Improve Plant Growth in High Tunnels. Report from PennState University.
- Wiltshire JJJ, Tillett ND, Hague T 2003. Agronomic evaluation of precise mechanical hoeing and chemical weed control in sugar beets. *Weed Research* 43: 236-244.
- Xiao CL, Chandler CK, Price JF, Duval JR, Mertely JC, Legard DE 2001. Comparison of epidemics of Botrytis fruit rot and powdery mildew of strawberry in large plastic tunnel and field production systems. *Plant Disease* 85(8): 901-909.