

Miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet

DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, 24. januar 2016.

Revideret den 31. maj 2016.

Forord

Nærværende rapport er udarbejdet af forskere ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug (AU/DCA) på bestilling fra NaturErhvervstyrelsen den 1. december 2015.

Rapporten er udarbejdet som led i ”Aftale mellem Aarhus Universitet og Miljø- og Fødevareministeriet om udførelse af forskningsbaseret myndighedsbetjening m.v. ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 2016-2019” (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, Adamsen et al., 2015).

Nærværende rapport for 2016 omfatter tre sektorer (kvægstalde og svinestalde, der er slået sammen i teksten, samt gartnerier) og fire indsatsområder: 1) ammoniak (for kvæg- og svinestalde), 2) energi (for kvæg- og svinestalde samt for gartnerier), 3) næringsstoffer (for gartnerier) og 4) pesticider (for gartnerier).

Niels Halberg

Direktør, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Indholdsfortegnelse

MILJØTEKNOLOGIER I DET PRIMÆRE JORDBRUG – DRIFTSØKONOMI OG MILJØEFFEKTIVITET	I
FORORD	II
INDHOLDSFORTEGNELSE	III
SEKTORER 1 OG 2: REDUKTION AF AMMONIAKEMISSION OG ENERGIFORBRUG FRA KVÆG- OG SVINESTALDE	1
INDLEDNING	2
<i>Grundlag for beregning af omkostningseffektivitet</i>	<i>2</i>
<i>Driftsøkonomi og omkostningseffektivitet</i>	<i>2</i>
<i>Kapitalomkostninger</i>	<i>3</i>
<i>Driftsomkostninger</i>	<i>3</i>
<i>Miljøeffektivitet</i>	<i>3</i>
TEKNOLOGIER DER REDUCERER AMMONIAKUDLEDNING	5
<i>Luftrensning</i>	<i>5</i>
<i>Gylleforsuring</i>	<i>11</i>
<i>Gyllekøling</i>	<i>16</i>
<i>Spaltegulvsskrabere i kvægstalde</i>	<i>19</i>
<i>Reduktion i tab af næringsstoffer i forbindelse med fodring</i>	<i>20</i>
<i>Fasefodring eller fodring tilpasset dyrenes fysiologiske behov</i>	<i>22</i>
<i>Samme teknologi påvirker flere miljøeffekter</i>	<i>23</i>
<i>Samlet vurdering af fodringsrelaterede teknologier, der understøtter en reduceret udskillelse af næringsstoffer</i>	<i>24</i>
<i>Fast overdækning af gyllebeholder</i>	<i>25</i>
ENERGIBESPARENDE TEKNOLOGIER	28
<i>Lavenergi-ventilation</i>	<i>28</i>
<i>Energivenlig LED-lys</i>	<i>30</i>
<i>Gastæt opbevaring af foderkorn</i>	<i>30</i>
<i>Varmeveksling til smågrisestalde</i>	<i>32</i>
<i>Intelligent overdækning til to-klimastier i smågrisestalde</i>	<i>33</i>
<i>Frekvenstyret vakuumpumpe til malkeanlæg</i>	<i>33</i>
<i>Varmegenvinding fra mælkekøling</i>	<i>34</i>
<i>Brøndvandskøling af mælk</i>	<i>34</i>
REFERENCER	35
SEKTOR 3: REDUKTION AF ENERGI-, NÆRINGSSTOF- ELLER PESTICIDFORBRUGET I GARTNERISEKTOREN	40
ENERGIREDUKTION I GARTNERISEKTOREN	41
<i>To- eller flerlags højisolerede dækkematerialer glas/plast</i>	<i>41</i>
<i>Gardinanlæg til isolering og skygge</i>	<i>44</i>

<i>Klimaskærm til tætning af væksthuse</i>	48
<i>Optimal klimastyring (klimacomputer, sensorer, måleudstyr)</i>	48
<i>LED belysning i væksthuse</i>	49
<i>Belysning med elektroniske højnatriumslamper</i>	49
<i>Energi-effektiv varmepumpe til opvarmning</i>	50
<i>Ukrudtsbrænding med nedsat energiforbrug</i>	50
<i>Tørrings- og køleanlæg med varmegenindvinding</i>	51
NÆRINGSSTOF-REDUKTION I GARTNERISEKTOREN	52
<i>Styring af gødning på friland</i>	52
<i>Styring af gødning i væksthuse</i>	53
<i>Placering af gødning med gødningsudlægger</i>	53
<i>Recirkulering af gødevand</i>	53
PESTICID-REDUKTION I GARTNERISEKTOREN	55
<i>Rækkedyrkningsystemer</i>	55
<i>Båndsprøjtning</i>	55
<i>Sprøjteteknologi</i>	56
<i>Sensorbaseret ukrudtsprøjtning</i>	57
<i>Lugrobotter til rækkeafgrøder</i>	57
<i>Autostyring af radrensere</i>	59
<i>Tre-bedsdyrkning vha. GPS-RKT</i>	60
<i>Rækkedampning i kombination med radrensning</i>	61
<i>Kamdyrkning</i>	61
<i>Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i flerårige vedagtige rækkeafgrøder</i>	62
<i>Mekanisk blomsterudtynding i frugttræer</i>	62
<i>Klimastation og software til varsling af sygdomme og skadedyr</i>	63
<i>Dyrkning i tunneler</i>	63
<i>Regntag (markise) over frugt og bær til forebyggelse af svampesygdomme</i>	65
<i>Varmtvandsbehandling til forebyggelse af lagerråd</i>	65
<i>Kontrolleret atmosfære lagring (CA-lagring)</i>	65
<i>CA-lagringskasser</i>	66
<i>Høstmaskiner til skånsom høst</i>	66
<i>Voksbehandling af planter til forebyggelse af insektangreb</i>	66
REFERENCER.....	68

Sektorer 1 og 2: Reduktion af ammoniakemission og energiforbrug fra kvæg- og svinestalde

Udarbejdet af seniorforsker Anders Peter S. Adamsen¹, konsulent Peter Kai¹, akademisk medarbejder Erik Fløjgaard Kristensen¹, professor Hanne Damgaard Poulsen² og seniorforsker Peter Lund²

¹Institut for Ingeniørvidenskab og ²Institut for Husdyrvidenskab

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 hvor det er muligt - for udledning af ammoniak, lugt og klimagasser (energi).

Kravene til de medtagne teknologier er, at de skal give en reduktion i forbrug af pesticider, gødning, 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 af miljøeffektivitet (ammoniakemission) for miljøteknologier, der knytter sig til husdyrproduktion, er i nærværende rapport foretaget på grundlag af kvælstofudskillelsen fra husdyr, som beskrevet i "Normtal for husdyrgødning - 2015" (Poulsen et al., 2015), som er en årlig opdatering af Poulsen et al. (2001).

Beregning af antallet af dyreenheder (DE) er baseret på det gældende grundlag for fastsættelse af dyreenheder jf. bilag 2, afsnit H i *"Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om husdyrbrug og dyrehold for mere end 3 dyreenheder, husdyrgødning, ensilage m.v."* (BEK. nr. 1318 af 26/11/2015).

Driftsøkonomi og omkostningseffektivitet

Der er foretaget beregninger eller vurderinger på de vigtigste faktorer, for at kunne opgøre omkostninger for reduktion af ammoniakudledning. For at kunne opgøre omkostninger eller ekstraomkostninger, skal man kende en referencesituation. For teknologier med varierende effektivitet afhængig af brug, staldstørrelse, årstid mv. er det ikke muligt, at lave præcise omgørelser, da stalddene og teknologierne er forskellige, og der er derfor valgt at opgive et interval. 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, 2013). Investeringen afskrives over teknologiens forventede levetid.

Driftsomkostninger

I 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 procentvise ændringer.

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.

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 procentvise ændringer.

Table 1. Anvendte priser på lønninger, forbrugsstoffer, energi samt emissioner fra el og varmeproduktion (opdateret fra Adamsen et al., 2015).

Variabel	Enhed	Anvendt pris 2016	Kilde/reference 2016	Kommentarer 2016
Arbejde	kr./time	191	https://farmtalonline.dlbr.dk	"Beregnet timeløn i kr. fra DST..
Elektricitet	kr./kWh	0,82	Håndbog i driftsplanlægning 2014	2013/2014
Vand	kr./m ³	3,00	VSP	Vandpris til stalde kan svinge fra 3 kr./m ³ (egen boring) og op til ca. 10 kr.
Svovlsyre	kr./kg	1,05	Lars S. Pedersen fra JH Staldservice A/S	Kemisk rent. 96%. 1,85 kg/l
Svovlsyre til markforsuring	kr./l	1,94	Lars S. Pedersen fra JH Staldservice A/S	Kemisk rent. 96%. 1,85 kg/l
Værdi af N	kr./kg	8,50	Håndbog i driftsplanlægning 2014	
Værdi af S for svinebrug	kr./ha	38	Behovet for svovl i vintersæd er sat til 15 kg/ha, prisen er på 2,5 kr./kg svovl.	
Værdi af S for kvægbrug	kr./ha	75	Behovet for svovl i slætgræs er sat til 30 kg/ha, prisen er på 2,5 kr./kg svovl	
Gasolie	kr./l	5,24	Sættes til samme pris som dieselolie uden afgifter	
Dieselolie	kr./l	5,24	https://farmtalonline.dlbr.dk	Gennemsnit (jan-nov 2015)
Naturgas	kr./m ³	2,99	https://farmtalonline.dlbr.dk	Gennemsnit (jan-nov 2015)
Kalk	kr./t	150	Planteavlsoverretning nr. 279	Der regnes med 1,4 kg jordbrugskalk (75% CaCO ₃) per kg konc. svovlsyre
Kornpris	kr./hkg	112	https://farmtalonline.dlbr.dk	Farmtal online, gennemsnit over hvede, byg, havre og rug for 2015
Gasolie	kr./kWh	0,53	Statistikbanken, LPRIS35, http://statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1280	
Naturgas	kr./kWh	0,30	https://farmtalonline.dlbr.dk	
Dieselolie	Kr./kWh	0,53	https://farmtalonline.dlbr.dk	
Emissioner				
El	g CO ₂ ækv/kWh _{el}	351	Energikvalitetsmetoden 2014 til-lagt 5% nettab	Inkl. tab i transmissionsnet
Naturgas-varme, η=100%	g CO ₂ ækv/kWh	205	ENS Brændselspriser	
Gasolie-varme, η=100%	g CO ₂ ækv/kWh	266	ENS Brændselspriser	

Teknologier der reducerer ammoniakudledning

I det følgende afsnit gennemgås en række udvalgte teknologier. Der er valgt typiske teknologier, dvs. teknologier der markedsføres, 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.

Luftrensning

Overordnet set er der to typer af luftrensere til stalde, kemisk og biologisk luftrensning. Kemisk luftrensning er baseret på en renseproces, hvor ventilationsluften ledes igennem en filtermatrice, der konstant overrisles med en syreopløsning, typisk fortyndet svovlsyre (Miljøstyrelsen, 2011a). Derved opsamles luftens indhold af ammoniak og støv. Luftens passage gennem filteret kan finde sted enten efter tværstrøms- eller modstrømsprincippet. Filtermatricen skaber en passende væskeoverflade, som er nødvendigt for massetransporten af ammoniak fra luften til væsken. Den lave pH-værdi af væsken medfører, at den absorberede ammoniak omdannes til ammonium (NH_4^+), der ikke fordamper.

Ved biologisk luftrensning ledes ventilationsluften gennem et filtermateriale med en stor overflade, hvorpå en biofilm bestående af mikroorganismer omsætter ammoniak og lugtstoffer i staldluften (Miljøstyrelsen, 2011b). Der findes forskellige typer af biologiske luftrensere, men den mest udbredte er den biologiske luftvasker, hvor filtermaterialet overrisles med recirkuleret vand. Af hensyn til at opretholde den mikrobielle aktivitet i luftrenseren, lænses der med jævne mellemrum overrislingsvand og tilsættes frisk vand. Der mangler stadig kvantitativ viden om, hvad der sker med det frarensede ammoniakkvælstof i lænse vandet. Forsøg har vist, at ca. 50 % af det frarensede ammoniakkvælstof forlader luftrenseren med lænse vandet i form af ammoniak/ammonium, mens den anden halvdel forlader luftrenseren i form af nitrit eller nitrat (Juhler *et al.*, 2009). Der er ligeledes stor usikkerhed om, i hvilket omfang de enkelte kvælstofforbindelser vil være at genfinde i gyllen ved udbringning, og således kan forventes at have gødningsværdi. I Miljøstyrelsens teknologiblade om biologisk luftrensning (Miljøstyrelsen, 2011b,c,d) antages det konservativt, at halvdelen af lænse vandets indhold af kvælstof kan udnyttes i marken.

Kemisk luftrensning

Der foreligger en række danske undersøgelser, der dokumenterer effektiviteten af kemisk luftrensning til svinestalde. Riis (2008) afprøvede en 1-trins Bovema syre-luftrenser på afgangsluften fra en smågrisestald og fandt en renseeffektivitet på 99,7 %. Den samlede reduktion i ammoniakemissionen fra stalden blev opgjort til 57 %, idet luftrenserens kapacitet udgjorde 34 % af staldens samlede ventilationskapacitet. Bovema-luftrenseren bliver ikke længere forhandlet i Danmark. Riis

(2009) fandt en ammoniakreduktion på 92 % for en kemisk luftvasker fra Scan Airclean A/S ved fuld luftrensning i en kombineret smågrise- og poltestald. Den kemiske luftvasker var opbygget af filtermoduler af fabrikatet Inno+ fra Holland, og var centralt placeret i stalden. Scan Airclean a/s eksisterer ikke længere, men firmaets teknologi bliver videreført af MHJ Agroteknik A/S. Produktet er dog ikke længere opført på Miljøstyrelsens teknologiliste.

Ved en afprøvning af den kemiske luftrensner MAC 1.0 (Munters A/S) blev der dokumenteret en ammoniakreduktion på 87 % på grundlag af fire hold slagtesvin, svarende til et års drift (Jørgensen, 2014). Den kemiske luftrensner MAC 2.0 (Munters A/S), som er en horisontal version MAC 1.0, er ligeledes blevet testet i en slagtesvinebesætning over en periode på et år (Jørgensen, 2015). Testen viste, at MAC 2.0 i gennemsnit reducerede ammoniakkoncentrationen i afgangsluften med 93 %. I testperioden blev der målt følgende forbrug pr. produceret slagtesvin: 18,2 kWh el, 2,1 kg konc. svovlsyre og 164 liter vand. Såvel MAC 1.0 og MAC 2.0 er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt på 89%.

For en kemisk luftrensner, som kan fjerne 90 % af ammoniakken i luften, kan det beregnes, at ammoniaktabet reduceres med 0,33 kg N pr. produceret slagtesvin, svarende til 12,7 kg N pr. DE ved rensning af al ventilationsluften (100 % luftrensning). Ved 60 % delluftrensning kan der beregnes et sparet ammoniaktab på 0,29 kg N pr. produceret slagtesvin, svarende til 11,3 kg N pr. DE, og ved 20 % delluftrensning 0,20 kg N pr. produceret slagtesvin, eller 7,7 kg N pr. DE.

Tabel 2 viser et skøn over investeringsbehov, årlig meromkostninger, miljøeffekt og omkostnings-effektivitet ved brug af en decentral kemisk luftrensner med en rensningseffektivitet på 90 %. Decentrale luftrensnere er opbygget således, at de kun renser luften fra én eller få staldsektioner, og således i modsætning til centrale luftrensnere ikke kræver store hovedluftkanaler for at transportere luften. Sidstnævnte type er ikke beskrevet yderligere i denne rapport. Beregningerne i Tabel 2 er kun gældende for slagtesvin, opstaldet i stier med 33 % drænet gulv og 67 % spaltegulv. Tabel 2 er således ikke gældende for så vidt angår miljøeffekten ved brug af andre staldtyper til slagtesvin, idet staldtypen har betydning for emissionen af ammoniak internt i stalden, og dermed på mængden af ammoniak-N, som fjernes fra staldluften. Den økonomiske kalkule kan heller ikke forventes at være gældende for øvrige slagtesvinestalde med mekanisk ventilation. Det anbefales f.eks. at supplere det diffuse luftindtag med loftsventiler i stalde med delvist fast gulv, hvilket forøger omkostningerne. Øvrige typer af svin kræver således særskilt beregning af både miljøeffekt og driftsøkonomi. Det er antaget, at læsevandet fra syrerenseren ledes til gyllebeholder. Den med læsevandet tilførte ammonium-N bidrager beregningsmæssigt til en marginalt forøget ammoniak-emission fra lager og ved udbringning. Alternativet kan læsevandet opbevares i en separat lukket beholder, hvorfra det udbringes separat, og gør at det samlede kvælstoftab vil være lavere. Imidlertid medfører denne

løsning forøgede omkostninger til separat lagring af læsevandet, hvilket påvirker omkostningseffektiviteten negativt.

Table 2. Kemisk luftrensning. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af kemisk luftrensning i slagtesvinestalde med drænet gulv. Eksemplet omfatter en decentral luftrenser med en effektivitet på 90 %.

Kemisk luftrensning	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
100 % luftrensning						
Investering, kr./DE	4.627	3.842	3.936	3.936	3.936	4.452
Årlige meromkostninger, kr./DE	928	729	712	672	662	747
Kg N reduceret pr. DE	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret ¹⁾	73	57	56	53	52	59
60 % luftrensning						
Investering, kr. /DE	4.271	3.487	2.305	2.305	2.305	2.728
Årlige meromkostninger, kr./DE	838	623	446	415	399	458
Kg N reduceret pr. DE	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret ¹⁾	74	55	40	37	35	41
20 % luftrensning						
Investering, kr. /DE	2.967	2.136	1.281	1.046	980	877
Årlige meromkostninger, kr./DE	625	390	237	168	138	123
Kg N reduceret pr. DE	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret ¹⁾	81	51	31	22	18	16

¹⁾ Inklusiv værdien af sparet kvælstoftab. Kilde: Genberegning baseret på en økonomisk fremskrivning af værdier angivet i Hansen *et al.* (2014).

Biologisk luftrensning

Der er gennemført en række afprøvninger af biologisk luftrensning fra SKOV A/S (Jensen & Hansen, 2006; Lyngbye & Hansen, 2008; Riis, 2010a; Riis, 2010b, Riis, 2012). Den seneste afprøvning af en 3-trins biologisk luftrenser fra SKOV A/S blev gennemført over et helt år, og viste at luftrenseren var i stand til at reducere ammoniakemissionen med 94 % (Riis, 2012). Den biologiske 3-trins renser fra SKOV A/S var opbygget med to vertikale filtre på 15 cm, og et efterfølgende vertikalt filter på 60 cm. Den primære fjernelse af ammoniak fandt sted i de to første trin. Undersøgelsen viste endvidere, at ammoniakkoncentrationen blev reduceret til et niveau mellem 1-2 ppm i de varme sommermåneder med maksimumventilation. "Farm AirClean BIO Flex 2-stage" (SKOV A/S) er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreduktion 88 % (Miljøstyrelsens teknologiliste, www.mst.dk, besøgt 14.01.2016). "Farm AirClean BIO Flex 3-stage" (SKOV A/S) er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreduktion på 87 % baseret på en VERA-test (Miljøstyrelsens teknologiliste, www.mst.dk; besøgt 14.01.2016).

I en afprøvning af en biologisk luftrensere fra Dorset Milieutechnik B.V. blev der målt en reduktion i ammoniakemissionen på 77 % (Sørensen, 2011). Den biologiske luftrensere fra Dorset Milieutechnik B.V. var opbygget med et horisontalt filter på 90 cm. Afprøvningen viste ligeledes, at ammoniakkoncentrationen blev reduceret til et niveau mellem 1 og 2 ppm. Luftrenseren er ikke opført på Miljøstyrelsens teknologiliste.

Andre biologiske luftvaskere er under udvikling, men kan endnu ikke betragtes som værende klar til udbredt anvendelse. Indledende tests af disse anlæg har vist, at de er i stand til at reducere ammoniak i staldluften. Der mangler dog endnu tilstrækkelig dokumentation mht. reduktion af ammoniak mv. Anlæggene omfatter: CleanTube fra Skiold A/S (Sørensen & Riis, 2008) og VengSystem (Riis, 2010b).

For en biologisk luftrensere med en effektivitet, svarende til en konstant ammoniakkoncentration efter renseren på 2 ppm uafhængigt af koncentrationen før renseren, kan det beregnes, at ammoniaktabet fra stald, lager og udbringning reduceres med 0,29 kg N pr. produceret slagtesvin svarende til 11,1 kg N pr. DE ved rensning af al ventilationsluften (100 % luftrensning). For delluftrensning, hvor luftrenserens kapacitet er 60 % af staldens beregnede maksimale ventilationsbehov, kan det samlede sparede ammoniaktab opgøres til 0,27 kg N pr. produceret slagtesvin, svarende til 10,6 kg N pr. DE. Ved 20 % delluftrensning kan det samlede ammoniaktab tilsvarende opgøres til 0,22 kg N pr. produceret slagtesvin, eller 8,5 kg N pr. DE.

Lugt

Biologiske luftrensere: SKOV A/S' biologiske luftrensere "Farm AirClean BIO Flex 2-stage" er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste med en rensningseffekt i forhold til lugt på 74 % (www.mst.dk, besøgt 14.01.2016). "Farm AirClean BIO Flex 3-stage" (SKOV A/S) er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste med en rensningseffekt i forhold til lugt på 81 %.

Tabel 3 viser skøn over investeringsbehov, årlig meromkostninger, miljøeffekt og omkostningseffektivitet ved anvendelse af biologisk luftrensning. Der er indarbejdet eksempler på 100 % luftrensning samt henholdsvis 60 % og 20 % delluftrensning. Beregningerne er kun gældende for slagtesvin opstaldet i stier med 33 % drænet gulv og 67 % spaltegulv. *Lugt*

Biologiske luftrensere: SKOV A/S' biologiske luftrensere "Farm AirClean BIO Flex 2-stage" er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste med en rensningseffekt i forhold til lugt på 74 % (www.mst.dk, besøgt 14.01.2016). "Farm AirClean BIO Flex 3-stage" (SKOV A/S) er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste med en rensningseffekt i forhold til lugt på 81 %.

Tabel 3 er således ikke gældende for så vidt angår miljøeffekten ved brug af andre staldtyper til slagtesvin, idet staldtypen har betydning for emissionen af ammoniak internt i stalden, og dermed

på mængden af ammoniakkvælstof som renses. Den økonomiske kalkule kan heller ikke forventes at være gældende for øvrige slagtesvinestalde med mekanisk ventilation, idet det anbefales at supplere det diffuse luftindtag med loftsventiler i stalde med delvist fast gulv, hvilket forøger omkostningerne. Øvrige typer af svin kræver således særskilt beregning af både miljøeffekt og driftsøkonomi.

Lugt

Biologiske luftrensere: SKOV A/S' biologiske luftrensere "Farm AirClean BIO Flex 2-stage" er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste med en rensningseffekt i forhold til lugt på 74 % (www.mst.dk, besøgt 14.01.2016). "Farm AirClean BIO Flex 3-stage" (SKOV A/S) er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste med en rensningseffekt i forhold til lugt på 81 %.

Tabel 3. Biologisk luftrensning. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af biologisk luftrensning i slagtesvinestalde med drænet gulv. For forklaring af benævnelsen "% luftrensning" henvises til afsnittet om delluftrensning. Miljøeffekten er beregnet på grundlag af effekten af teknologien på emissionerne fra stald, lager og udbringning af husdyrgødning.

Biologisk luftrensning	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
100% luftrensning						
Investering, kr./DE	4909	3610	2886	2882	2883	2887
Årlige meromkostninger, kr./DE ¹⁾	1068	813	731	703	708	706
Kg N reduceret pr. DE	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1
Omkostningseffektivitet, kr. /kg. N reduceret ¹⁾	96	73	66	63	64	63
60 % luftrensning						
Investering, kr. /DE	4079	2699	2166	2162	2163	2167
Årlige meromkostninger, kr./DE ¹⁾	839	607	542	514	507	498
Kg N reduceret pr. DE	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6
Omkostningseffektivitet, kr. /kg. N reduceret ¹⁾	79	57	51	48	48	47
20 % luftrensning						
Investering, kr./DE	2929	1809	1218	1214	1215	1219
Årlige meromkostninger, kr./DE ¹⁾	686	403	272	260	257	260
Kg N reduceret pr. DE	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Omkostningseffektivitet, kr. /kg. N reduceret ¹⁾	81	47	32	31	30	31

¹⁾Inklusiv værdien af sparet kvælstoftab. Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra SKOV A/S i 2014.

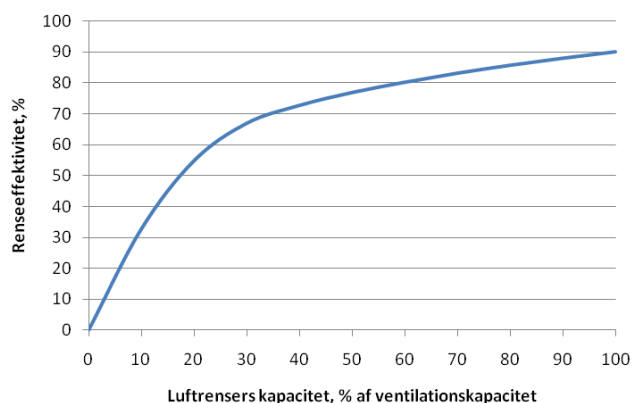
Biofiltre: Der er foretaget afprøvninger af yderligere biofiltre, der er opbygget af forskellige filtermaterialer, som har demonstreret disse filteres potentiale til lugtreduktion (Jensen *et al.*, 2005; Riis *et al.*, 2008). Ingen af disse anlæg er kommercielt tilgængelige. Det kommercielt tilgængelige BIO-REX Hartmann biofilter med træflis har i en afprøvning vist en lugtreduktion på 77 % (Riis & Jensen, 2007). Der rapporteres om driftsmæssige problemer under afprøvningen, der kan have påvirket filterets effektivitet.

Delluftrensning

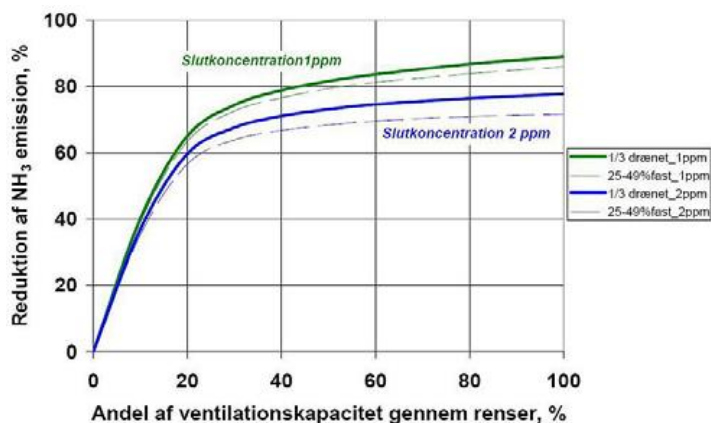
Alle husdyrstalde skal ventileres kontinuerligt året rundt; om sommeren opererer ventilationsanlægget med høj ydelse for at fjerne overskudsvarmen, mens der om vinteren, når udetemperaturen

er lav, skal anvendes en betydeligt mindre luftmængde til at køle stalden, sammenlignet med om sommeren. Typisk opererer ventilationsanlægget i en slagtesvinestald med drænet gulv med en ydelse på under 25 % af maksimumkapaciteten cirka halvdelen af året. Dvs. at hvis man projekterer sit ventilationsanlæg så 25 % af luften renses, vil al udsugningsluft blive rensed omkring halvdelen af året (Kai *et al.*, 2007). Afhængig af kravet til ammoniakreduktion, kan der derfor med fordel anvendes et luftrensingsanlæg med en lavere kapacitet end staldens ventilationsbehov. Ved delluftrensning er luftreenserens kapacitet lavere end staldens ventilationsbehov. For at opnå den største effekt, ledes staldluften igennem luftreenser i det omfang denne har kapacitet. Først når staldens luftbehov overstiger luftreenserens kapacitet, ledes urensede luft ud i atmosfæren.

Figur 1 kan anvendes til at skønne den samlede ammoniakreduktion for en slagtesvinestald med drænet gulv ved varierende kapacitet af en kemisk luftreenser. Figur 2 viser sammenhængen mellem en biologisk luftreenserens kapacitet og reduktionen i ammoniakemissionen fra en slagtesvinestald med drænet gulv. Figurerne bygger på idealiserede forhold, og i praksis kan der forekomme afvigelser som følge af brug af anden ventilationstype, ventilationsstrategi og dimensionering af ventilationsanlægget, ligesom staldtypen har indflydelse på effektiviteten af den samlede ammoniakreduktion. Det må derfor anbefales, at der foretages konkrete beregninger med Staldvent til fastlæggelse af et mere præcist estimat for renseseffektiviteten i det konkrete tilfælde (Kai *et al.*, 2007).



Figur 1. Sammenhæng mellem luftreenserens kapacitet sammenlignet med staldens ventilationskapacitet og den samlede reduktion i ammoniakemission fra slagtesvinestalde med drænet gulv. Luftreenserens anvender syre til at binde ammoniakken i luften, og har en effektivitet på 90 % for så vidt angår den del af luften der renses. Kilde: Kai *et al.*, 2007.



Figur 2. Sammenhæng mellem luftrensersens kapacitet sammenlignet med staldens ventilationskapacitet og den samlede reduktion i ammoniakemission fra slagtesvinestalde med henholdsvis drænet gulv og delvist fast gulv. Luftrenseren er en biologisk luftvasker, der reducerer ammoniakkoncentrationen i luften til en konstant slutkoncentration på hhv. 1 og 2 ppm for så vidt angår den del af luften der renses. Kilde: Kai et al., 2007.

Punktudsugning kombineret med luftrensning

Delrensning af ventilationsluft kan yderligere optimeres, hvis luftrenseren tilsluttes et punktudsugningsanlæg med en begrænset ventilationskapacitet. Princippet ved denne fremgangsmåde er at koncentrere så stor en andel af ammoniak- og lugtemissionen i så lille en luftmængde som muligt, og efterfølgende rense luften med enten en biologisk eller kemisk luftrenser. Der er gennemført en række afprøvninger (Pedersen et al., 2010; Pedersen & Jensen, 2010, Riis et al., 2014a, Riis et al., 2014b, Jørgensen & Riis, 2014), som viser, at punktudsugning, hvor 10 – 20 % af staldens ventilationskapacitet suges ud af stalden i gyllekanalen under eller tæt ved grisenes lejeareal bevirker, at en stor andel af den fordampede ammoniak og lugt kan opfanges i en lille luftmængde, mens koncentrationen af ammoniak og lugt er relativ lav i den resterende normale loftsudsugning. Ved en effektiv punktudsugning kan op til 65 % af ammoniakemissionen og 50 % af lugtemissionen samles i punktudsugningen. Punktudsugning kombineret med luftrensning er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste (www.mst.dk, besøgt 14.01.2016). I indstillingen til teknologilisten er det angivet, at punktudsugning i kombination med en luftrenser med en ammoniakreduktion på 90 % giver en samlet reduktion på 51 % for slagtesvinestalde med 33 % drænet gulv og 67 % spaltegulv eller 25 - 49 % fast gulv. Den samlede ammoniakreducerende effekt (%) ved brug af luftrenser med en anden renseseffekt (E, %) kan beregnes efter følgende formel: Samlet effekt = $0,7 \times E - 12$. Tilsvarende kan den samlede lugtreducerende effekt (%) ved brug af luftrenser med en anden renseseffekt (E, %) beregnes efter følgende formel: Samlet lugtreducerende effekt = $0,39 \times E + 9$.

Gylleforsuring

Svovlsyrebehandling af gylle i stalden reducerer ammoniakemissionen under lagring og udbringning af gylle på mark. Der er tidligere gennemført en test af gylleforsuring i slagtesvinestalde fra Staring Maskinfabrik A/S og Infarm A/S, hvor det blev dokumenteret, at ammoniakemissionen blev reduceret med 70 % (Pedersen, 2004; Pedersen, 2007). En test af gylleforsuringsanlægget ”JH Forsuring NH₄⁺” fra Jørgen Hyldgård Staldservice A/S i én slagtesvinestald viste i første omgang, at ammoniakemissionen blev reduceret med 71 % (Pedersen & Albrechtsen, 2012). Efterfølgende test i yderligere en slagtesvinebesætning har dog medført, at gylleforsuringsanlægget JH Forsuring NH₄⁺ nu som eneste staldforsuringsanlæg er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste, med en ammoniakreducerende effekt i svinestalde på 64 % og 50 % i kvægstalde (www.mst.dk besøgt 14.01.2016).

Effekten af gylleforsuring under lagring af gylle er ikke endeligt dokumenteret, men det vurderes at ammoniaktabet fra en beholder med forsuret gylle udgør 1 % af den tilførte kvælstofmængde (Kai *et al.*, 2008) svarende til en reduktion på 50 % sammenlignet med gyllebeholdere med naturligt flydelag.

For så vidt angår udbringning af gylle gennemførte Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet, i 2010 en række forsøg til at belyse effekten af forsuring på tabet af ammoniakfordampningen ved udbringning af gylle. Her blev det fundet, at ved at forsure gylle til pH 6,5 eller lavere ved udbringning i marken, blev ammoniakfordampningen reduceret med ca. 40 % eller mere, i forhold til ubehandlet gylle (upubliceret data). I samme forsøgsserie blev effekten på ammoniaktabet fra staldforsuret gylle også undersøgt, og her fandtes en reduktion på 55 – 60 % i forhold til gylle udlagt med slæbeslanger. Kai *et al.* (2008) viste, at ammoniaktabet ved udbragt staldforsuret gylle var ca. 67 % lavere end ubehandlet gylle. Den større effekt af forsuring i dette tilfælde hænger muligvis sammen med forskellige vejr- og afgrødeomstændigheder ved emissionsmålingsforsøgene, da pH-værdien i den forsurede gylle var på niveau med den, der blev benyttet i forsøgene i 2010. Staldforsuring fra InFarm A/S er opført på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniakreducerende effekt på 60 % i forhold til ubehandlet slangeudlagt gylle (www.mst.dk besøgt 14.01.2016). I det følgende antages det, at gylleforsuring i stalden reducerer ammoniaktabet ved udbringning med 60 % i forhold til ubehandlet gylle.

Tabel 4. Fordampning af ammoniak ved udbringning af ubehandlet og forsuret svine- og kvæggylle.

	NH ₃ tab ved udbringning af gylle (% af udbragt total N)	
	Svinebedrift	Kvægbedrift
Slangeudlagt ubehandlet gylle	8,6	9,0
Reduktion i NH ₃ -tab ved gylleforsuring i stalden	60 %	60 %

Staldforsuret gylle	3,4	3,6
---------------------	-----	-----

Slagtesvin

Der er regnet med en reduktion i ammoniakemissionen på 64 % ved anvendelse af gylleforsuring i slagtesvinestalde med 33 % drænet gulv og 67 % spaltegulv. Der foreligger ingen dokumentation for effekten af forsuring af gylle i andre staldtyper til svin. Det antages derfor, at ammoniakemissionen reduceres i samme omfang i øvrige stalde som i slagtesvinestalde med drænet gulv (Tabel 5).

Tabel 5. Forventet reduktion i ammoniakemissionen fra slagtesvinestalde ved anvendelse af gylleforsuring.

	33 % drænet gulv/67 % spaltegulv	Delvist fast gulv, 25 – 49 % fast gulv	Delvist fast gulv, 50 – 75 % fast gulv
Ammoniaktab <u>uden</u> gylleforsuring (kg NH ₃ -N kg ⁻¹ NH ₄ ⁺ -N)	0,21	0,17	0,13
Reduktion sammenlignet med samme stalddtype uden gylleforsuring	64 %	64 %	64 %
Ammoniaktab <u>med</u> gylleforsuring (kg NH ₃ -N kg ⁻¹ NH ₄ ⁺ -N)	0,076	0,061	0,047

Med udgangspunkt i ovenstående kan det beregnes, at ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning andrager 10,3 kg N/DE i slagtesvinestalde med 33 % drænet gulv og 67 % spaltegulv, svarende til en reduktion på 15,4 kg N/DE, eller netto 60 %. Tabel 6 angiver investeringsbehov, årlige meromkostninger samt omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i slagtesvinestalde med drænet gulv.

Tabel 6. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i slagtesvinestalde med drænet gulv (1/3 drænet gulv og 2/3 spaltegulv).

Slagtesvinestalde	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investeringsbehov, kr./DE	13667	7467	4920	2690	1913	1632
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	1645	990	727	492	413	383
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N og S	107	64	47	32	27	25

Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra Infarm A/S i 2013.

So- og smågrisestalde

Der er ikke rapporteret forsøg med gylleforsuring i hverken so- eller smågrisestalde. pH-værdien i sogylle er generelt højere end i slagtesvinegylle, hvorfor en forsuring af sogylle til pH 5,5 til 5,8 alt andet lige burde resultere i en større reduktion i ammoniakemissionen sammenlignet med slagtesvinestalde. I smågrisestalde er gyllens pH-værdi derimod generelt lavere end i slagtesvinestalde, hvorfor effekten af gylleforsuring alt andet lige burde være mindre. Til gengæld kan der være driftsmæssige forhold, som influerer på den tilsigtede effekt, herunder hygiejnen af den faste del af stigulvet. Samlet set vurderes det derfor, at de ovennævnte reduktionsprocenter kan anvendes. Ved beregningen af miljøeffekten af gylleforsuring er reduktionsprocenten ved gylleforsuring fastsat i forhold til samme stalddtype uden gylleforsuring. For løbe/drægtighedsstalde og smågrisestalde med delvist fast gulv er der således antaget en reduktion i ammoniaktabet fra stalden på 64 %.

For gylleforsuring i sostalde andrager ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning 9,2 kg N/DE fra løbe/drægtighedsstalde med delvist spaltegulv, og 8,3 kg N/DE fra farestalde med delvist

spaltegulv. Ved en vægtning på 70 % fra løbe/drægtighedsstalden og 30 % fra farestalden giver det en vægtet ammoniakemission på 9,0 kg N/DE fra soholdet, svarende til en vægtet reduktion på 13,2 kg N/DE eller netto 60 %. For gylleforsuring i smågrisestalde med delvist spaltegulv andrager ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning 7,5 kg N/DE svarende til en reduktion på 7,6 kg N/DE eller netto 50 %. Tabel 15 angiver investeringsbehov, årlige meromkostninger samt omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i smågrisestalde.

Tabel 7 angiver investeringsbehov, årlige meromkostninger samt omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i sostalde med delvist spaltegulv.

For gylleforsuring i smågrisestalde med delvist spaltegulv andrager ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning 7,5 kg N/DE svarende til en reduktion på 7,6 kg N/DE eller netto 50 %. Tabel 15 angiver investeringsbehov, årlige meromkostninger samt omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i smågrisestalde.

Tabel 7. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i sostalde med delvist fast gulv.

Sostalde	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investeringsbehov, kr./DE	13.667	7.467	4.920	2.710	1.940	1.684
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	1.661	1.006	743	510	432	403
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N og S	125	76	56	39	33	30

Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra Infarm A/S i 2013.

Tabel 8. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i smågrisestalde.

Smågrisestalde	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investeringsbehov, kr./DE	13667	7467	4920	2690	1927	1642
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	1.798	1.143	880	645	567	537
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N og S	202	128	99	72	64	60

Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra Infarm A/S i 2013.

Kvægstalde

Der regnes ligeledes fremdeles med at ammoniakemissionen fra kvægstalde med ringkanalsystem eller bagskylsanlæg med gylleforsuring reduceres med 50 % sammenlignet med ingen syrebehand-

ling (Miljøstyrelsen, 2011e). Da gylleforsuring ligeledes giver anledning til reduceret ammoniaktab under lagring på 50 %, sammenlignet med gylle med flydelag (Kai *et al.*, 2008), kan det beregnes, at ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning andrager 8,6 kg N/DE (stor race), svarende til en reduktion på 9,9 kg N/DE, eller 54 % sammenlignet med ingen gylleforsuring. Omkostningseffektiviteten forbedres betydeligt med stigende besætningsstørrelse (Tabel 9).

Tabel 9. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af gylleforsuring i kvægstalde med spaltegulv og ringkanal (stor race) med forskellig besætningsstørrelse.

	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investeringsbehov, kr./DE	8667	4333	2600	1422	948	748
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N og S	1003	526	334	205	153	130
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N og S	101	53	34	21	15	13

Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra Infarm A/S i 2013.

Det er beregnet, at miljøeffekten af gylleforsuring i stalde med jerseykøer er næsten sammenfaldende pr. DE som stor race. Under forudsætning af, at omkostningsniveauet er ens for stor race og jersey, er omkostningseffektiviteten af gylleforsuring i stalde med henholdsvis jersey og stor race stort set ens.

Drivhusgasser

Forsøg har vist, at der potentielt kan opnås en betydelig reduktion i emissionen af metan fra stald og lager ved forsuring af gylle. Et laboratorieforsøg har vist, at emissionen af metan fra svovlsyrebehandlet kvæggylle var næsten 90 % lavere end fra den ubehandlede kontrolgylle ved målinger over 100 dage (Petersen *et al.*, 2012). Tilsvarende effekter er opnået i forsøg med gylle fra slagtesvin, som var forsuret enten i stalden med udstyr fra Jørgen Hyldgaard Staldservice, eller i gyllelager med udstyr fra Harsø A/S (Petersen og Olesen, 2011). Hansen (2008) viste ligeledes ved et laboratorieforsøg at kvæggylle, lagret i syv uger, var 67 % lavere end den ubehandlede kontrolgylle. Forsøgene peger entydigt på en meget signifikant og stabil reduktion af metanudledningen under lagring af gylle.

Gyllekøling

Gyllekøling kan anvendes i stalde med gyllekanal såvel som med mekanisk udmugning (linespil, skraber). Gyllekølingssystemet etableres ved nedstøbning af PEL-slanger i bunden af gyllekanalerne i stalden. Slangerne udlægges typisk med en afstand på 35-40 cm. I stalde med gyllesystem kan køleslangerne alternativt udlægges direkte oven på kanalbunden. Køleslangerne forbindes til en varmepumpe. Gyllekøling er mest relevant i svinebesætninger, hvor den indvundne varme kan anvendes til opvarmningsformål, hvilket typisk drejer sig om besætninger med søer og smågrise.

Ved køling vha. varmepumpe er økonomien stærkt afhængig af afsætningsmulighederne af varmeenergien. I sobesætninger kan en del af varmen fra køling af gyllen i drægtighedsstalde eksempelvis afsættes til opvarmning af farestalde (rumopvarmning og opvarmning af smågrisehuler). I slagtesvinestalde kan der derimod kun i sjældne tilfælde regnes med at være afsætningsmulighed for overskudsvarmen fra varmepumpen, og da kun om vinteren.

Hvordan gyllekøling påvirker emissionen af ammoniak afhænger af stalddypen og af køleeffekten pr. m², hvorfor der ikke kan gives et entydigt tal for reduktionen. En dansk undersøgelse med køling i bunden af gyllekanalerne i en slagtesvinestald med fuldspaltegulv har vist, at ammoniakemissionen blev reduceret med ca. 10 % for hver 10 W/m² køleeffekt (Pedersen, 1997). En afprøvning af gyllekøling i en drægtighedsstald med mekanisk udmugning viste, at ved en gennemsnitlig køleeffekt på 24 W/m² blev ammoniakemissionen reduceret med 31 % (Pedersen, 2005).

Reduktionen i ammoniakemissionen fra stalden afhænger af dyrearten og stalddsystemet såvel som af køleeffekten.

Tabel 10 angiver hvor meget ammoniakkvælstof, der spares ved etablering af gyllekøling i svinestalde. De sparede ammoniaktab er baseret på beregning af tab fra hhv. stald, lager og udbringning på grundlag af den beregnede udskillelse af ammonium-N (TAN) jf. normtal 2015/2016.

Tabel 10. Beregnet tab af NH₃-N fra stald, lager og udbringning samt sparet N-tab ved gyllekøling i svinestalde, kg N pr. DE.

	Køleeffekt, W/m ²						
	0	10	20	30	40	50	60
	Samlet tab	Samlet tab	Sparet tab	Samlet tab	Sparet tab	Samlet tab	Sparet tab
Drægtighedsstalde, delv. spaltegulv, linespil	22,9	21,3	1,6	19,8	3,1	18,5	4,4
Farestalde, delv. spaltegulv	20,6	19,7	0,9	18,9	1,8	18,1	2,5
Smågrise, to-klimastalde	15,0	14,5	0,5	14,0	1,0	13,6	1,4
Slagtesvin, 25 – 49 % fast gulv	23,1	21,9	1,2	20,8	2,2	19,9	3,2
Slagtesvin, 50 – 75 % fast gulv	20,3	19,5	0,9	18,7	1,6	18,0	2,4

Grundlag: Normtal 2015/2016. Referencen er samme stalddtype uden gyllekøling.

Tabel 11 angiver det anslåede investeringsbehov for anvendelse af gyllekøling i so-, smågrise- og slagtesvinestalde. Investeringsbehovet afhænger af staldanlæggets opbygning og af evt. tilknyttede faciliteter, der kan aftage varmen fra anlægget. Evt. tilkobling til disse er ikke indregnet i kalkulen. Anskaffelse og drift af kaloriferer til udledning af evt. overskydende varme til atmosfæren er ligeledes ikke indregnet i nærværende kalkule.

Tabel 11. Anslået investeringsbehov ved etablering af gyllekøling i svinestalde, kr. pr. DE.

	Køleeffekt			Dyrenheder, DE			
	W/m ²	75	150	250	500	750	950
Drægtighedsstald, delv. spaltegulv, linespil	10	1467	933	700	550	500	474
	20	1867	1333	1000	850	733	684
	30	2000	1667	1400	900	867	737
Smågrise, to-klimastald	10	1467	933	700	500	467	421
	20	1800	1267	1000	750	600	526
	30	1867	1333	1000	850	733	684
Slagtesvin, 25 – 49 % fast gulv/ 50 – 75 % fast gulv	10	1667	1000	800	600	533	474
	20	1800	1267	1000	800	667	579
	30	2000	1333	1100	850	667	684

Kilde: Opdaterede investeringsomkostninger fra Klimadan A/S i 2013.

Gyllekøling er forbundet med et energiforbrug til drift af varmepumpe og cirkulationspumpe. Tabel 12 viser anslået energiforbrug, og deraf følgende omkostninger til drift af gyllekøling i stalde til forskellige kategorier af grise. Energiforbruget ved gyllekøling afhænger ud over den specifikke køleeffekt pr. m² af staldtypen og er proportional med antallet af dyreenheder.

Tabel 12. Anslået energiforbrug og omkostninger ved gyllekøling i svinestalde.

	Energiforbrug, kWh/DE pr. år			Omkostninger til el, kr./DE pr. år		
	10	20	30	10	20	30
Køleeffekt, W/m ²	10	20	30	10	20	30
Slagtesvin, 25 – 49 % fast gulv	199	399	598	163	327	490
Slagtesvin, 50 – 75 % fast gulv	100	199	299	82	163	245
Smågrise, to-klimastald	164	327	491	134	268	403
Drægtighedsstald, delvist	482	964	1445	395	790	1185

spaltegulv, linespil

Farestalde, delvist spaltegulv	1156	2313	3469	948	1897	2845
--------------------------------	------	------	------	-----	------	------

Driftsøkonomien ved gyllekøling afhænger i særdeles høj grad af mulighederne for at nyttiggøre den indvundne varmeenergi. Hvis en større andel af den indvundne varme kan udnyttes, så opnås der en større økonomisk og klimamæssig gevinst ved brug af køling. Sobesætninger kan i højere grad end slagtesvinebesætninger afsætte den indvundne varme internt i produktionsanlægget, f.eks. i farestalde og smågrisestalde. Det er muligt at benytte den indvundne varme til bl.a. opvarmning i stalde, driftsbygninger, stuehus, vådfoderanlæg, vaskevand og korntøringsanlæg. Når al den indvundne varme nyttiggøres, viser analysen, at der for alle staldtyper er tale om et positivt afkast af investeringen (Tabel 13).

Tabel 13. Gennemsnitlig omkostningseffektivitet ved gyllekøling i svinestalde, kr. pr. kg sparet NH₃-N inkl. værdien af sparet N. Tal i parentes angiver intervallet for 75 – 950 DE. Negativt fortegn angiver en økonomisk gevinst.

	Drægtighedsstalde, Delv. spg, linespil			Smågrisestalde toklimastald		
Køleeffekt, W/m ²	10	20	30	10	20	30
100 % varmeudnyttelse	-263 (-218 – -283)	-294 (-267 – -307)	-320 (-302 – -333)	-65 (-19 – -87)	-85 (-57 – -101)	-99 (-80 – -109)
0 % varmeudnyttelse	280 (261 – 325)	282 (269 – 309)	293 (280 – 311)	120 (97 – 166)	111 (95 – 138)	109 (99 – 128)

	Slagtesvinestalde, 25 – 49 % fast gulv			Slagtesvinestalde, 50 – 75 % fast gulv		
Køleeffekt, W/m ²	10	20	30	10	20	30
100 % varmeudnyttelse	-106 (-35 – -139)	-145 (-108 – -166)	-167 (-137 – -181)	-28 (-74 – 73)	-70 (-20 – -99)	-91 (-51 – -111)
0 % varmeudnyttelse	196 (164 – 267)	183 (163 – 220)	181 (166 – 211)	188 (142 – 289)	155 (126 – 205)	143 (124 – 184)

Kilde: Egne beregninger baseret på opdaterede investerings- og driftsomkostninger fra Klimadan A/S i 2013.

Drivhusgasser

Gyllekøling kan grundet afkølingen af gylle bidrage til en reduceret udledning af metan fra stalden og kan derved reducere drivhusgaspåvirkningen. Hilhorst *et al.* (2001) fandt, at et temperaturfald i gylle fra 20 °C til 10 °C reducerede metanemissionen med 30 – 50 %. Modelberegninger af Sommer *et al.* (2003) viste tilsvarende en reduktion på 31 % ved at reducere gyllens temperatur fra 15 °C om vinteren og 20 °C om sommeren til 10 °C.

Spaltegulvsskrabere i kvægstalde

Ved skrabning af spaltegulvets overflade med enten en stationær skraber eller en robotskraber i kvægstalde kan spaltegulvets overside løbende renses for fæces og ajle, hvorved ammoniakemissi-

onen reduceres. Der er kun lavet en enkelt måling i én ringkanalstald med spaltegulvsskraber. I ”Udredningsrapport for teknologier” (Mikkelsen *et al.*, 2006) er det vurderet, at hyppig skrabning af spaltegulvet i kvægstalde reducerede ammoniaktabet med 20 pct. Senere har en arbejdsgruppe under Miljøstyrelsen udarbejdet et teknologiblad (Miljøstyrelsen, 2010a), hvori der argumenteres for, at effekten af hyppig skrabning af spaltegulvet i kvægstalde opjusteres til 25 % i ringkanalstalde og stalde med bagskyl, samt 33 % i stalde med spaltegulv og gødningskanal med linespil, sammenlignet med samme staldtype uden spaltegulvsskraber. Selvom det empiriske grundlag for en fastsættelse af miljøeffekten af spalteskrabere hviler på et spinkelt grundlag, er der i det følgende valgt at følge indstillingen fra Miljøstyrelsen. Med baggrund i nævnte antagelser kan det beregnes, at netto-miljøeffekten af hyppig skrabning af spaltegulvet i ringkanalstalde, stalde med bagskyl samt stalde med spaltegulv og gødningskanal med linespilanlæg andrager 1,7 kg N pr. DE for stor race. Teknologien er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste og kan benyttes ved ansøgning om miljøgodkendelse af husdyrproduktion. Tabel 14 angiver anslåede driftsomkostninger og økonomisk miljøeffektivitet ved etablering og drift af spaltegulvsskrabere i sengebåsestalde med spaltegulv (ringkanal, bagskyl, kanal med linespil).

Tabel 14. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af wiretrukne spaltegulvsskrabere, samt robotskrabere i kvægstalde med spaltegulv i gangarealerne (ringkanal, bagskyl, samt gødningskanal og linespil).

Wiretrukne spaltegulvsskrabere	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investering, kr./DE	1295	661	448	448	448	447
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N	289	144	96	96	96	96
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N	165	82	55	55	55	55
Robotskrabere	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investering, kr./DE	1723	871	520	260	347	274
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N	265	143	94	56	69	58
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N	152	82	53	32	40	33

Kilde: Genberegning baseret på Miljøstyrelsen (2010a) samt normtal 2015/16.

Reduktion i tab af næringsstoffer i forbindelse med fodring

Husdyrenes produktivitet og sundhed er afhængige af tildelingen af næringsstoffer og energi, hvorfor der gennem tiderne har været stor fokus på tilstrækkelig forsyning til at sikre produktion, sundhed, velfærd, produktkvalitet mv. Samtidig har der gennem de senere årtier været stor bevhængighed på den mængde næringsstoffer, der ikke udnyttes til produktion, og som derfor udskilles med gødningen. Husdyrgødning indeholder mange værdifulde næringsstoffer samt energirige kulstofforbindelser, men hvis gødningen ikke anvendes korrekt, kan det give anledning til næringsstofophobning på landbrugsarealer, der tilføres husdyrgødning, med efterfølgende risiko for tab til vandmiljøet. Dertil kommer risikoen for luftformigt tab af ammoniak, NO_x, metan mv.

Forskning og forsøg har sammen med rådgivning stor fokus på effektivisering af næringsstofomsætning og –udnyttelse for at begrænse tabene, og det har over årene resulteret i en stærkt reduceret udledning, og dermed udvaskning af næringsstoffer som kvælstof og fosfor samt emitteret ammoniak pr. kg produkt. Forskning og forsøg afdækker til stadighed nye muligheder til reduktioner, og der er stadig ikke-udnyttede potentialer. De efterfølgende afsnit vil kort summere disse potentialer.

Der er ikke foretaget en egentlig økonomisk vurdering af de fodringsrelaterede teknologier, idet de nævnte tiltag oftest vil have en bred effekt på flere miljøfaktorer (N udledning, ammoniak emission, fosforudledning og emission af CO₂ ækvivalenter) og i hele kæden (stald, lager og udbringning). I stedet er der opstillet en prioriteret liste inden for de nævnte teknologiske delområder.

Biologi med miljøeffekt

Virkemidlerne bag forbedringerne (opnåede og forventede) kan relateres til biologiske teknologier:

- 1) Effektivitetsstigninger (foderudnyttelse) opnået gennem avl og management
- 2) Foderoptimering (fodervurdering, fastlæggelse af næringsstofbehov)
- 3) Tilpasset fodring til dyrenes behov (fasefodring, flere foderblandingstyper, præcisionsfodring, reduktion af spild)
- 4) Erstatning af råprotein med industrielle aminosyrer (svin)
- 5) Brug af højkvalitets foderfosfater (MCP)
- 6) Brug af enzymer som fytase
- 7) Andre foderadditiver (senest benzoesyre (reduceret gylle-pH og ammoniakemission))
- 8) Overvågning af sundhed og produktion (høj produktion og lavt foderforbrug)
- 9) Andet

Ovennævnte ”biologiske/fysiologiske” tiltag har været en forudsætning for den store reduktion i udskillelse og tab af næringsstoffer og gasser, der løbende er registreret over de seneste årtier, men de enkelte virkemidler har ikke samme relevans hos alle husdyrarter. Samtidig er viden om de en-

kelte virkemidlers effekt ikke ens for alle husdyrarter, så der ligger fortsat ikke-belyste potentialer og venter, ligesom fortsat udvikling og kendskab til foderoptimeringsteknologi og næringsstofbehov vil muliggøre yderligere biologisk betingede forbedringer.

Fodringsrelaterede miljøteknologier

Foruden de biologisk orienterede teknologier, som er nævnt ovenfor, er der i dag også fokus på teknologi som staldindretning, indeklimastyring og -strategi, gødningshåndtering, herunder gylleforsuring, gylleafkøling mv., som er beskrevet i tidligere afsnit, og som derfor ikke omtales nærmere i dette kapitel. Dog skal det nævnes, at forsuring af gyllen også kan opnås gennem fodringen, hvor tilsætning af eksempelvis benzoesyre nedsætter urinens pH og dermed ammoniakemissionen.

Derimod bliver teknologier, der retter sig mod udmøntningen af ovennævnte biologiske potentialer, behandlet nærmere i det følgende.

Fasefodring eller fodring tilpasset dyrenes fysiologiske behov

Det vurderes, at potentialet ikke er udnyttet fuldt ud hos alle husdyrarter, idet det har været nemmere/billigere at udmønte hos nogle husdyrarter end hos andre. Tilpasset fodring (fasefodring, præcisionsfodring) medfører, at det enkelte dyr eller gruppe af ensartede dyr får tildelt foder som både har et mere korrekt næringsstofindhold i forhold til dets/gruppens fysiologiske stadie og er tildelt i den korrekte mængde. Fasefodring udvikles også løbende, idet det faglige grundlag for at udvide antallet af faser fra 2 til 3 til multifaset fodring etableres og dokumenteres. Principielt vil anvendelse af flere faser bevirke en mere præcis fodring tilpasset dyrenes behov, men effekten af et stigende antal faser vil relativt være mindre relativt. Brug af flere faser forudsætter øget viden om ændringerne i dyrenes behov gennem vækst og/eller reproduktion, men i takt med at denne viden opnås, skabes der også et fagligt grundlag for at introducere flere faser i fasefodringen. Eksempler:

- 1) Gruppeopdeling af dyr med samme fysiologiske stadium, som muliggør specifik fodring med foderrationer, der er tilpasset dyrenes aktuelle næringsstofbehov. Dette muliggør en mere effektiv udnyttelse af foderets næringsstoffer med følgelig lavere udskillelse og emission
- 2) Udfodringsudstyr (automater, blandingsudstyr, rørføringer mv.) som muliggør tildeling af det "fysiologisk korrekte foder" til grupper og/eller enkelte dyr
- 3) Overvågningsudstyr til vurdering af optimal fodringsstrategi/udfodring til sikring af høj produktivitet og sundhed, som en forudsætning for effektiv næringsstofudnyttelse og reduceret udskillelse og tab

- 4) Udstyr til begrænsning af afgrødetab (høst, lagring, udtagning) og foderspild i stalden

De nævnte eksempler/virkemidler forventes alle generelt at have en forbedrende effekt på næringsstofudnyttelsen, og dermed udskillelsen af næringsstoffer, samt på emissionen af f.eks. ammoniak. Der forventes derfor følgende effekter:

- 1) Nedsat kvælstofudledning pr. kg produkt (og dermed reduceret udvaskning)
- 2) Nedsat emission af ammoniak
- 3) Nedsat fosforudledning pr. kg produkt (og dermed reduceret ophobning)
- 4) Nedsat emission af CO₂ ækvivalenter (fx metan, lattergas)

Ovennævnte virkemidler giver ikke samme udslag på de 4 nævnte potentielle effekter, hvorfor det er vanskeligt at karakterisere ”værdien i effekt” af hver kr., der investeres i de tekniske tiltag til udmøntning af den biologiske viden. Det betyder, at der for flere af tiltagene vil være mulighed for at opnå gevinst på alle 4 nævnte effekter, men effekterne kan ikke umiddelbart slås sammen (adderet). Dette forudsætter, at der sker en prioritering af, hvilken af de ”4 effekter”, der vurderes at være den mest efterspurgt i det konkrete tilfælde (afhængig af bedrift, miljøgodkendelse mv.).

Udover ovennævnte tiltag vedr. fasefodring/tilpasset fodring, som forventes at have mere generel effekt på næringsstofudskillelse og emission, er der tiltag, der er mere målrettet en enkelt af de ovennævnte 4 effekter. Eksempel:

- 1) Fedttildeling i foderrationen til drøvtyggere, som forventes at medføre en reduktion i emissionen af metan (CO₂ ækvivalenter)

I visse husdyrproduktioner (eksempelvis kvæg) kan der være behov for etablering af udstyr til sikker iblanding af relevante fedttyper til foderrationerne, med henblik på opnåelse af det fodringsmæssige potentiale for reduktion i emissionen af metan. En sidegevinst er, at det samtidig vil forhindre et energitab hos malkekøer. Samtidig forventes der øget fokus på udvikling af pålideligt og driftssikkert on line udstyr, der kan bidrage til mere sikker og præcis udfodring/dosering af foder (f.eks. ensilage).

Samme teknologi påvirker flere miljøeffekter

Fodringsmæssige tiltag har grundlæggende effekter på næringsstofudnyttelse og emissioner i hele kæden, idet virkemidlerne angriber ved ”kildens rod”. Det betyder eksempelvis, at en nedsættelse af udskillelsen af kvælstof med gødning og urin alt andet lige også medfører en reduceret emission af ammoniak. Derfor vil udmøntning af ændret fodring (biologisk teknologi) medføre tværgående

effekter, som også vil påvirke effekten af de ”tekniske teknologier”, der måtte kobles på efterfølgende. Grundlæggende vil de nævnte biologiske tiltag kunne begrænse behovet for efterfølgende teknologiske tiltag, ligesom effekten af evt. teknologiske tiltag vil være afhængig af næringsstofindhold og koncentration i husdyrgødningen.

Vurdering af omkostningseffektiviteten (investerings- og driftsomkostninger i forhold til opnået miljøeffekt) skal foretages i forhold til de specifikke krav, der ligger på den enkelte bedrift. En egentlig vurdering af de gennemgåede virkemidlers effekt og omkostningseffektivitet vil derfor omfatte, at der foretages en værdisætning af de 4 effekter (kvælstofudledning, emission af ammoniak, udledning af fosfor, emission af CO₂-ækvivalenter) individuelt eller samlet for to eller flere. En sådan objektiv vurdering er ikke mulig, idet det forudsætter en vægtning af de 4 effekters ”værdi”. I stedet er der gennemført en overordnet vurdering af de forskellige teknologiers samlede effekt, med henblik på en vurdering af den forventede effekt indenfor dyrekategori.

De nævnte teknologiske tiltag til udmøntning af de biologiske potentialer har væsentlig betydning inden for nogle husdyrgrene, hvorimod de inden for andre produktionsgrene ikke har samme værdi. Samtidig kan det nævnes, at tilpasset fodring/præcisionsfodring/fasefodring har bred effekt på næringsstofudnyttelse og –udskillelse, således at udnyttelsen af alle næringsstoffer og energi forbedres til gavn for miljøet og produktionseffektivitet. Denne analyse har taget udgangspunkt i de nævnte teknologier i forhold til praksis, hvorfor der er angivet en ramme for effekternes størrelse, som afspejler, at størrelsen af effekten i praksis afhænger af udgangspunktet på den enkelte bedrift.

Oplysninger, der vil være gavnlige for effektvurderingen i de enkelte situationer, vil omfatte følgende: angivelse af nuværende og forventet fodringspraksis og fodersammensætning efter etablering af teknologien, produktionseffektivitet, angivelse af nuværende husdyrgødningstal (til belysning/vurdering af potentiel effekt), angivelse af om tiltaget skal kombineres med andre teknologiske tiltag (eksempelvis forsuring). Sidstnævnte kan være af væsentlig betydning, idet der ofte er manglende additivitet af effekter, når forskellige teknologier kombineres.

Samlet vurdering af fodringsrelaterede teknologier, der understøtter en reduceret udskillelse af næringsstoffer

En samlet vurdering af udstyr/teknikker inden for dyrekategori er anført i teknologilisten, hvori der også er anført en vurdering af de forskellige tiltags effekter på de fire forskellige miljøfaktorer. Der er foretaget en samlet vurdering inden for hver dyrekategori ved angivelse af 1-3 stjerner, hvor 3 stjerner angiver den største forventede effekt på de fire miljøfaktorer. Der er anvendt 2 dyrekategorier: kvæg og svin. Den vurderede effekt er angivet i % i forhold til normtal for gødningsplanåret

2015/16, og kan variere mellem de forskellige dyrekategorier, men der kan ikke foretages en egentlig vurdering mellem de to kategorier kvæg og svin. Der henvises til <http://anis.au.dk/normtal/>, hvor baggrundsværdier for foder, foderforbrug mv. findes. Variationen i effektens størrelse er bl.a. vurderet ud fra effekt af helt ny teknologi, eller effekt af opgradering af gammel med ny version af teknologien. Den eksakte effekt skal vurderes i de enkelte tilfælde, så værdierne i tabellen skal betragtes som vejledende. Der er ikke angivet eventuelle grænseværdier ift. sundheds-/velfærdsparametre.

Fast overdækning af gyllebeholdere

Ifølge Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1695 af 19. december 2006 "*Bekendtgørelse om husdyrbrug og dyrehold for mere end 3 dyreenheder, husdyrgødning, ensilage m.v.*" med senere ændringer, skal beholdere for flydende husdyrgødning være forsynet med fast overdækning. Lovgivningen giver dog mulighed for at etablere anden overdækning. Overdækning af gyllebeholdere er stillet som lovkrav for at reducere ammoniak- og lugtemissionen.

Beholdere for flydende husdyrgødning skal dog altid forsynes med fast overdækning i form af flydedug, teltoverdækning eller lignende, hvis de etableres helt eller delvist indenfor, eller med en afstand på mindre end 300 m fra anlægget til de naturtyper, der er anført i § 7 i Lov om miljøgodkendelse m.v. af husdyrbrug. Undtaget herfor er beholdere, såfremt der er foretaget ammoniakreducerende tiltag (f.eks. syretilsætning).

Et tæt flydelag eller låg på gyllen vil opfylde kravet om overdækning. Nogle former for gylle danner naturligt et tæt flydelag, og her er yderligere overdækning ikke nødvendig. I andre tilfælde vil etablering af flydelag være nødvendigt.

Tæt overdækning i form af naturligt flydelag kan erstatte fast overdækning, såfremt der føres logbog. Logbogen skal sikre, at der er tilstrækkeligt flydelag på beholderen, til at det kan betragtes som tæt overdækning. Lovgivningen giver hermed to muligheder:

1. Tæt overdækning i form af naturligt flydelag, halm, letklinker (leca) eller lignende
2. Fast overdækning i form af flydedug, teltoverdækning eller lignende

Det er under danske forhold antaget, at fast overdækning af gyllebeholdere vil reducere ammoniakemissionen med 50 % sammenlignet med gyllebeholdere med flydelag (Tabel 15).

Tabel 15. Emissionsfaktorer for ammoniak fra gyllelagre med eller uden overdækning. Emissionen er vist som tab af ammoniak (NH₃) i procent af indholdet af henholdsvis total-N og TAN ab stald.

	Svinegylle		Kvæggylle	
	Total-N	TAN ¹⁾	Total-N	TAN ¹⁾
Intet flydelag	9	11,4	6	10,3
Naturligt flydelag	2	2,5	2	3,4
Teltoverdækning, betondæk eller flydedug	1	1,25	1	1,7

Kilde: Hansen *et al.* (2008) og Miljøstyrelsen (2010b). ¹⁾ Emissionsfaktoren for TAN (= total ammoniumnitrogen) er beregnet.

Ifølge Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2010b) findes der i Danmark ca. 1500 gylletanke, som har monteret teltoverdækning, og meget få gylletanke med betondæk. Betondæk er hovedsageligt monteret på tanke under 500 m³. Fast overdækning kan anvendes på alle beholdere, som er dimensioneret til lastpåvirkning fra teltoverdækning og/eller betondæk. En nærmere beskrivelse af teknikker til overdækning af gyllebeholder kan findes i Hansen (2014).

Teltoverdækning

Der er kun inkluderet beregninger for teltoverdækning, da betondæk vurderes at være en urealistisk dyr miljøteknologi, og flydedug ikke er særlig udbredt. Omkostningen til teltoverdækning varierer kun lidt mellem de forskellige producenter og forhandlere. Der er taget udgangspunkt i en gennemsnitspris. Der er tillagt omkostninger til vedligehold (2%) samt en meromkostning til udbringning (0,5 kr./m³), da teltoverdækningen besværliggør tømning af gyllebeholderen. Til gengæld spares omkostningen til at etablere flydelag på anden vis (fx halm) i gyllebeholdere med svinegylle, da svinegylle ikke naturligt danner flydelag. Besparelsen ikke er indregnet i beholdere med kvæggylle, som naturligt danner flydelag. Samtidig forhindrer overdækningen regnvandet i at havne i tanken, hvilket giver en besparelse på udkørsel af gylle.

Skal der påsættes teltoverdækning på en eksisterende gylletank kræves det, at tanken først skal tømmes og renses. Denne omkostning er anslået til ca. 15.000 kr. for en tankstørrelse på ca. 2.000 m³. Denne ekstraomkostning indgår ikke i nedenstående beregninger i Tabel 16 til Tabel 18, men bør tillægges, hvis der er tale om en eksisterende tank.

Reduktionsomkostningerne for slagtesvin er beregnet i forhold til drænet gulv. Reduktionsomkostningerne vil være noget lavere for faste gulve, men dette skyldes at gulvtypen i sig selv reducerer emissionen af ammoniak langt mere end selve overdækningen. For sotalde er der taget udgangspunkt i stalde med delvist fast gulv. For kvægstalde er der taget udgangspunkt i ringkanalstalde og stalde med bagskylsanlæg.

Tabel 16. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af teltoverdækning i slagtesvinestalde med drænet gulv.

Slagtesvinestalde	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investeringsbehov, kr./DE	1.549	1.037	1.139	986	934	929
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N	77	46	57	40	35	34
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N	113	67	84	59	51	50

Kilde: Genberegning baseret på Miljøstyrelsen (2010b)

Tabel 17. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af teltoverdækning i sostalde med delvist fast gulv.

Sostalde	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investeringsbehov, kr./DE	1.715	1.203	1.305	1.152	1.203	1.176
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N	72	44	55	38	44	41
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N	103	63	79	55	63	58

Kilde: Genberegning baseret på Miljøstyrelsen (2010b)

Tabel 18. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af teltoverdækning i stalde til malkekøer.

Malkekøer	Antal DE					
	75	150	250	500	750	950
Investeringsbehov, kr./DE	1.582	1.070	1.172	1.019	968	962
Årlige meromkostninger, kr./DE inkl. værdien af N	110	80	91	74	69	68
Omkostningseffektivitet, kr./kg. N reduceret inkl. værdien af N	171	124	141	115	106	105

Overdækning formodes også at begrænse udledningen af drivhusgasser, men dette er ikke kvantificeret. Ligeledes giver overdækning anledning til reducerede lugtgener. Dette har dog ikke været muligt at prissætte, idet generne i høj grad afhænger af den konkrete lokalisering.

Energibesparende teknologier

I forhold til etablering af miljøvenlige produktionsanlæg er der en række energibesparende teknologier, der kan implementeres. I det nedenstående er beskrevet en række af disse energibesparende teknologier, som kan anvendes i svine- og kvægstalde.

Lavenergi-ventilation

Elforbruget til ventilation udgør en stor del af det totale elforbrug i stalde. 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 og andre gasser reguleres til et ønsket niveau. Traditionelt ventileres svinestalde 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 % 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, at energiforbruget for denne type anlæg er relativt højt, især i stalde, hvor 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 svinestalde afhænger ud over dyrenes 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 % ved investering i nye ventilationskomponenter, eller i et helt nyt ventilationsanlæg med en bedre energisignatur.

Konsekvensberegning af et nyt ventilationsanlæg kan f.eks. foretages i programmet StaldVent eller lignende metode, som beregner energiforbruget under hensyn til ventilationskomponenternes karakteristika, driftspunkt og -tid.

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. Med en besparelse i elforbruget på 65 % ved installering af et nyt lavenergi ventilationsanlæg, vil der være en meget lang tilbagebetalingstid på investeringen.

Miljøeffekter

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 elforbruget.

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

Energivenlig LED-lys

Ved at udskifte standard lysstofrør med LED-belysning ("light-emitting diode") kan der opnås en væsentlig reduktion i energiforbruget i både svine- og kvægstalde. Der foreligger ikke konkrete målinger for svine- og kvægstalde, men en test udført af AgroTech A/S i en slagtekyllingestald har vist en energibesparelse på 33% og en tilsvarende lysfordeling som ved standard lysstofrør (Rasmussen, 2013). På baggrund af disse resultater forventes, at der som minimum kan opnås en energibesparelse på 30% i svine- og kvægstalde.

Det er også muligt at udskifte eksisterende lysstofrør med LED-rør. De er typisk 3-5 gange dyrere, men holder også 2-3 gange så lang tid. Levetiden sættes til 10 år.

Økonomi

På grund af størrelsesvariationen i svine- og kvægstalde er der ikke beregnet særskilt økonomi.

Miljøeffekter

Der er tilsvarende reduktion i udledning af CO₂ som besparelsen i el.

Gastæt opbevaring af foderkorn

Gastæt opbevaring af foderkorn som alternativ til traditionel tørring og opbevaring i lagersilo.

Energi- og driftsomkostninger.

Beregningerne er baseret på håndtering og lagring af foderkorn.

Referencesituationen er traditionel tørring og opbevaring i lagersilo. Basisvandindhold for foderkorn er 15 %, hvor det er lagerfast. Ved høst er der en vis årsvariation i kornets vandindhold, således at der nogle år slet ikke er behov for tørring, mens kornet andre år høstes med 18 % vandindhold. I beregningerne er forudsat, at det i et gennemsnitsår vil være nødvendigt at nedtørre kornet 1,5 procentenhed (nedtørring fra 16,5 % til 15,0 %). Tørring og lagring sker i rund stålsilo med tør-

rebund, tørreluftblæser af centrifugaltypen, olieovn med indirekte luftopvarmning (nyttevirkningsgrad 80 %), snegle til omrøring og opblanding af korn.

Energiforbruget for lagersilo med tørring er baseret på resultater publiceret i Grøn Viden, Markbrug nr. 282 (Kristensen & Gundtoft, 2003). Der er regnet med konstant drift af blæser og olieovn indtil kornet er nedtørret til 15 % vandindhold. Energiforbruget til drift af tørreblæser og oliebrænder er anslået til henholdsvis 0,7 og 2,7 MJ pr. kg fordampet vand. Herudover vil der være energiforbrug svarende til 1,0 kWh pr. ton korn til drift af omrører snegle under tørring og ventilering.

Opbevaring i gastæt silo.

Ved gastæt lagring er der ikke omkostninger til tørring. Det er væsentligt at kornet opbevares iltfrit. Ved lagring af fugtigt korn (eksempelvis 18 % vand) vil ilten hurtigt forbruges via kornets åndingsproces. Ved mere tørt korn vil der kun være en meget svag åndingsproces, og der kan være risiko for at ilten ikke forbruges hurtigt nok. For at sikre iltfrie forhold kan tilsættes CO₂. For at fortrænge ilten skal tilsættes 0,5 kg CO₂ pr. m³ silo rumindhold. I beregningerne er det forudsat, at der hvert andet år er behov for tilsætning af 0,5 kg CO₂ pr. m³ silo svarende til i gennemsnit 0,33 kg CO₂ pr. ton korn pr. år (kornets rumvægt: 0,75 ton/m³).

Fordele ved gastæt lagring:

- Ikke behov for tørring
- Større høstvindue / flere driftstimer for mejetærsker
- Forøget fordøjelighed af fosfor, ca. 10% (Poulsen, 2010).
- Tendens til øget fordøjelighed af protein (Poulsen, 2010).

Ulemper gastæt lagring:

- Kornet er ikke nogen standard handelssvare
- Udgifter til CO₂
- Ændres ejendommens produktion kan siloen ikke anvendes til maltbyg, fremavlskorn mm.

Økonomi

I Tabel 19 er der vist et skøn over økonomien ved at erstatte lagersilo med tørring med en gastæt silo. Da en lagersilo er dyrere end en gastæt silo, og der skal anvendes en del el og olie eller naturgas til at tørre kornet ned til at det er lagerstabil, så er der en særdeles god omkostningseffektivitet. For slagtesvin er der en besparelse på ca. 110 kWh olie og el pr. DE ved at anvende gastæt silo (hvor tørring ikke er nødvendigt) sammenlignet med tørring og opbevaring i lagersilo.

Tabel 19. Skøn over investeringsbehov, årlige meromkostninger og omkostningseffektivitet ved anvendelse af gastæt silo sammenlignet med lagersilo

Gastæt silo	Størrelse, ton foderkorn		
	500	1000	1500
Mer-investeringsbehov, kr.	-110.000	-130.000	-65.000
Årlige meromkostninger, kr.	-11.200	-15.300	-12.900
Omkostningseffektivitet, kr./t CO ₂ -ækv	-4.400	-3.000	-1.700

Gastæt silo kan også være relevant til kvæg i de tilfælde der er plads i sædskiftet til korn. Det gælder især slagtekalveproduktion.

Varmeveksling til smågrisestalde

Smågrise har brug for varme, især ved indsættelse. Indsættes de i stalde med drænet gulv og et klima (i modsætning til to-klimastalde, hvor grisene har en "hule") skal der ved et ønske om almindelig luftkvalitet (tommelfingerregel der siger at summen af temperaturen og relativ fugtighed maksimalt skal være 90) anvendes ca. 14 kWh varme pr. gris. Ønskes der en "god" luftkvalitet skal summen af temperaturen og relativ fugtighed være ca. 85, og så skal der anvendes ca. 21 kWh varme pr. gris (Pedersen, 2011). Ved to-klimastalde er forbruget 3 og 6 kWh varme ved henholdsvis normal og god luftkvalitet.

Varmeveksler er anlæg der kan 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.

Rokkedahl Energi markedsfører små varmevekslere der passer til smågrisestalde med 500 eller 750 stipladser. Andre leverandører vil kunne lave tilsvarende anlæg. Der er sparsom dokumentation, men erfaringer fra slagtekyllingestalde viser en energibesparelse på typisk 70 % afhængig af størrelse, volumenbelastning og fabrikat (f.eks. Adamsen et al., 2015).

Økonomi

Totalinvesteringer til varmeveksler med en kapacitet på ca. 5.000 m³ pr. time er sat 140.000 kr. inkl. montering til en stald med 500 stipladser (ca. 14 DE ved ca. 208 grise pr. DE). En lidt større model der til ca. 750 stipladser koster lidt mere, nemlig 160.000 kr. Med ca. 6 hold grise pr. år, giver det en årlig omkostning til kapital og drift på ca. 75 kr. pr. DE ved en levetid på 15 år. Det lidt

større anlæg giver -220 kr. pr. DE (dvs. overskud efter sparet varme samt drifts- og kapitalomkostninger).

Miljøeffekt. Med en varmebesparelse på anslået 60% og under forudsætning af et behov på 14 kWh varme per gris, så giver anlægget til 500 stipladser en CO₂-reduktionsomkostning på ca. 130 kr. pr. ton, hvorimod anlægget til 750 stipladser giver en negativ CO₂-reduktionsomkostning på 400 kr. per ton.

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

Ammoniak. Der er ingen effekt på ammoniak.

Intelligent overdækning til to-klimastier i smågrisestalde

Princippet for intelligent overdækning til klimastier i smågrisestalde fra VengSystem A/S er at overdækningen og varmetilførslen reguleres automatisk i forhold til grisenes varmebehov. I overdækningen er der placeret en sensor som registrerer om grisene er aktive eller i hvile samt overfladetemperaturen på grisene. Varmetilførslen sker ved hjælp af varmelamper, hvilket giver mulighed for at tilføre varmen individuelt til de enkelte stier. En test, udført af AgroTech A/S har vist en energibesparelse på 43% ved intelligent overdækning i to-klimastier i smågrisestalde med varmetilførsel vis varmelamper sammenlignet med normale to-klimastier med rum- og gulvvarme (Andersen, 2011).

Frekvensstyret vakuumpumpe til malkeanlæg

Med en frekvensstyret vakuumpumpe til malkeanlæg opnås der en energibesparelse ved at pumpens ydeevne reguleres i forhold til det reelle behov for vakuum. Sammenlignet med en almindelig vakuumpumpe på 4 kW giver en frekvensstyret vakuumpumpe en besparelse på ca. 35%. Dette svarer til at energiforbruget reduceres fra ca. 7.008 kWh til 4.563 kWh i en besætning med 100 årskøer.

Varmegenvinding fra mælkekøling

Ved varmegenvinding fra mælkekøling opnås der en besparelse på opvarmning af brugsvand. Ved varmegenvindingen kan vandet opvarmes til 45-50 °C, hvilket gør at vandet kan anvendes til almindelig håndvask og brusebad eller som drikkevand i vinterperioden. Vand der anvendes til rengøring af malkeudstyr kræver normalt en temperatur over 80 °C og her spares der energi, når vandet kun skal opvarmes fra 45-50 °C fremfor fra 10-15 °C. Energibesparelsen på opvarmning af brugsvand sammenlignet med normal opvarmning afhænger af behovet for almindeligt brugsvand og vand med en temperatur over 80 °C.

Brøndvandskøling af mælk

Ved at anvende en pladekøler med brøndvand (ned til 8 °C) ved mælkekøling kan der opnås en energibesparelse på mælkekøling. Desuden kan brøndvandskøling kombineres med en frekvenstyret mælkepumpe, som kan sikre at der ikke pumpes mere mælk hen til pladekøleren end at brøndvandet kan udnyttes optimalt. Sammenlignet med normal mælkekøling giver brøndvandskøling en besparelse på ca. 57%. Dette svarer til at energiforbruget reduceres fra ca. 15.856 kWh til 6.871 kWh i en besætning med 100 årskøer. Kombineres brøndvandskølingen med en frekvensstyret mælkepumpe, så reduceres energiforbruget yderligere til 4.757 kWh.

Referencer

Adamsen, A.P.S., P. Kai, E.F. Kristensen, M. Nørremark, H.D. Poulsen, J.N. Sørensen, C.O. Ottosen, K.K. Petersen, P.K. Jensen og B. Melander. 2015. Miljøteknologier i det primære jordbrug – driftsøkonomi og miljøeffektivitet. Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.

Andersen, J. 2004. Statistisk analyse af GfK-data. Notat fra Dansk Landbrug.

Andersen, M. 2011. Intelligent overdækning i to-klimastalde. Testrapport udarbejdet af AgroTech A/S.

Anonym. 2010. Indretning af stalde til kvæg – Danske anbefalinger. 5. udgave. Dansk Landbrugsrådgivning. Videncenter for Landbrug. 184 p.

Budgetkalkulerne 2010/2011:

https://www.landbrugsinfo.dk/Oekonomi/Budget/Budgetkalkuler/Filer/Budgetkalkuler_2010-2011_okt_2010.pdf

Energistyrelsen. 2013. Tabeller med samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger-
<http://www.ens.dk/info/tal-kort/fremskrivninger-analyser-modeller/samfundsokonomiske-beregnings-forudsætninger>. (02.08.2014)

Energistyrelsen. 2014. Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger.

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

Farmtal online: <https://farmtalonline.dlbr.dk/Grid/uiGrid.aspx?Farmtal=17144&ViewType=View>
(01.07.2013)

Hansen, M.N. 2014. Overdækning af gylle. Redegørelse, opdatering og vurdering af videnskabelig dokumentation. Rapport udarbejdet af AgroTech A/S.

http://mst.dk/media/mst/9069931/2014_02_21_overd_kning_rapport_revideret_j_vnf_r_melt_og_mst.pdf

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.

- 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.
- Hilhorst, M.A., R.W. Mele, H.C. Willers, C.M Groenestein & G.J. Monteny. 2001. Effective strategies to reduce methane emissions from livestock. ASAE, Paper no 01-4070, pp 1-8.
- Jensen, T.L. & M.J. Hansen. 2006. Slagtesvinestald med biologisk luftrensning fra SKOV A/S. Meddelelse nr. 737. Landsudvalget for svin, Den rullende Afprøvning.
- Jensen, T.L., B.L. Riis & A. Feilberg. 2005. Reduktion af lugt og ammoniak med Oldenburg Biofilter, Agrofilter GmbH. Landsudvalget for Svin, Den Rullende Afprøvning.
- Juhler, S., N.P. Revsbech, A. Schramm, M. Herrmann, L.D.M. Ottosen & L.P. Nielsen. 2009. Distribution and rate of microbial processes in an ammonia-loaded air filter biofilm. *Applied and Environmental Microbiology*, 75, 3705-3713.
- Johansen, K.H. 2013. Energirådgiver Energinord. Kalkulationspriser og forudsætninger. Notat. 5 pp.
- Jørgensen, M. 2014. Afprøvning af kemisk luftrensere fra Munters A/S i en slagtesvinestald med fuld luftrensning. Meddelelse nr. 1006, Videncenter for Svineproduktion, Landbrug og Fødevarer. 14 pp.
- Jørgensen, M. 2015. Forbrugsomkostninger for kemisk luftrensere fra Munters A/S i en slagtesvinestald. Erfaring nr. 1513, Videncenter for Svineproduktion, SEGES. 13 pp.
- Jørgensen, M. & A.L. Riis. 2014. 10% punktudsugning via sugepunkt midt under lejeareal i slagtesvinestald med fast gulv i lejearealet, Meddelelse nr. 1000. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Kai, P., J.S. Strøm & B.-E. Jensen. 2007. Delrensning af ammoniak i stalduft. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Grøn Viden Husdyrbrug nr. 47.
- Kai, P., P. Pedersen, J.E. Jensen, M.N. Hansen & S.G. Sommer. 2008. A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *European Journal of Agronomy*, 28, 148–154.
- 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.
- Kristensen, E.F. & Gundtoft, S., 2003. Tørring af korn i lagertørringsanlæg. Drift, tørringsstrategi og energiforbrug. Grøn Viden 282.
- Lyngbye, M. & M.J. Hansen. 2008. Slagtesvinestald med biologisk luftrensning fra SKOV A/S - filter-arealets betydning ved maksimumventilation. Meddelelse nr. 827. Dansk Svineproduktion, Den rullende Afprøvning.
- Mikkelsen, S.A., S. Christensen, P.H. Schaarup, L. Vejbæk, I. Ravn, N.H. Lundgaard, O. Aaes, M. Lyngbye, R. Damkjær, B. Jacobsen, M. Qwist, E. Sommer & F. Larsen. 2006. Udredningsrapport for teknologier – med særligt henblik på miljøeffektive teknologier til husdyrproduktionen. Miljøministeriet. <http://www.ft.dk/samling/20051/almdel/MPU/Bilag/427/286553.PDF>
- Miljøstyrelsen. 2009b. Svovlsyrebehandling af gyllen i slagtesvinestalde. Miljøstyrelsens BAT-blade. 1. udgave, 19.05.2009.
- Miljøstyrelsen. 2010a. Skrabere i gangarealer i stalde med malkekvæg. Teknologiblade. Miljøstyrelsen. 1. udgave, 30.06.2010.
- Miljøstyrelsen 2010b. Fast overdækning af gyllebeholdere. Teknologiblade. Miljøstyrelsen. 1. udgave, 11.11.2010.
- Miljøstyrelsen. 2011a. Kemisk luftrensning med syre (slagtesvin). 3. udgave 23.05.2011. Teknologiblade. Miljøstyrelsen. 10 pp.
- Miljøstyrelsen. 2011b. Biologisk luftrensning (slagtesvin). 1. udgave, 23.05.2011. Teknologiblade. Miljøstyrelsen. 10 pp.
- Miljøstyrelsen. 2011c. Biologisk luftrensning (søer). Teknologiblade. Miljøstyrelsen. 1. Udgave, 29.04.2011.
- Miljøstyrelsen. 2011d. Biologisk luftrensning (smågrise). Teknologiblade. Miljøstyrelsen. 1. Udgave, 29.04.2011.
- Miljøstyrelsen. 2011e. Svovlsyre behandling af gylle (malkekvæg). 3. udgave, 15.03.2011. Teknologiblade. Miljøstyrelsen. 9 pp.
- Pedersen, P. 1997. Køling af gylle i slagtesvinestalde med fuldspaltegulv. Meddelelse nr. 357. Landsudvalget for svin, Den Rullende Afprøvning.

- Pedersen, P. 2004. Svovlsyrebehandling af gylle i slagtesvinestald med drænet gulv. Meddelelse nr. 683. Landsudvalget for Svin, Den Rullende Afprøvning.
- Pedersen, P. 2005. Linespilsanlæg med køling i drægtighedsstalde. Meddelelse nr. 694. Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Pedersen, P. 2007. Tilsætning af brintoverilte til forsuret gylle i slagtesvinestalde med drænet gulv. Meddelelse nr. 792. Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Pedersen, P. 2011. Benchmarking af varmekonsum. Notat. nr. 1131. Videncenter for Svineproduktion. 6 pp.
- Pedersen, P. & T.L. Jensen. 2010. Forskellige gulvtyper med og uden gulvudsugning til slagtesvin i en sommerperiode, Meddelelse nr. 883. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Pedersen, P., T.L. Jensen & M. Jørgensen. 2010. Forskellige gulvtyper med og uden gulvudsugning til slagtesvin i en vinterperiode, Meddelelse nr. 878. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Pedersen, P. & K. Albrechtsen. 2012. JH Forsuringsanlæg i slagtesvinestald med drænet gulv. Meddelelse nr. 932. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Petersen, S.O. & J.E. Olesen. 2011. Miljømål for landbruget kan realiseres. Ingeniøren, kronik. 12. august.
- Petersen, S.O., A.J. Andersen & J. Eriksen. 2012. Effects of slurry acidification on ammonia and methane emission during storage. *Journal of Environmental Quality*, 41, 88-94.
- Poulsen, H.D. 2010. Næringsværdien i gastæt lagret korn sammenlignet med lagerfast korn. Rapport. Aarhus Universitet. 5 pp.
- Poulsen, H.D. 2015. Normtal for husdyrgødning - 2015. Aarhus Universitet.
<http://anis.au.dk/normtal/>
- Poulsen, H.D., C.F. Børsting, H.B. Rom og S.G. Sommer. 2001. Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning – normtal 2000. DJF rapport nr. 36, Husdyrbrug. Danmarks JordbrugsForskning, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. 151 pp.
- Riis, A.L. 2008. Ammoniakreduktion og driftsomkostninger ved Bovema S-air ét-trins luftrensere i en smågrisestald. Meddelelse nr. 820, Danske Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Riis, A.L. 2009. Central luftrensere fra ScanAirClean A/S afprøvet i en kombineret smågrise- og poltestald. Meddelelse nr. 842, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Riis, A.L. 2010a. Biofilter kombineret med Farm AirClean BIO modul fra SKOV a/s. Erfaring nr. 1001, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Riis, A.L. 2010b. Biologisk luftrensere fra Veng-system. Erfaring nr. 1008, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Riis, A.L. 2012. Test af Farm AirClean 3-trins Bio Flex fra SKOV A/S i en slagtesvinestald. Meddelelse nr. 930, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Riis, A.L. & T.L. Jensen. 2007. BIO-REX Hartmann Bio-Filter afprøvet ved en slagtesvinestald. Meddelelse nr. 807, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Riis, A.L., M. Lyngbye & A. Feilberg 2008. Afprøvning af vertikalt biofilter efter amerikansk princip. Meddelelse nr. 819, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Riis, A.L., M. Jørgensen & P. Hansen. 2014a. 10 % punktudsugning via sugepunkt midt under lejeareal i slagtesvinestald med drænet gulv i lejearealet. Meddelelse nr. 998. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Riis, A.L., M. Jørgensen & P. Hansen. 2014b. 10 % punktudsugning via sugepunkt under hver 2. stiadskillelse i slagtesvinestald med drænet gulv i lejearealet. Meddelelse nr. 999. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Rasmussen, S.G. 2013. Måling af energibesparelse ved anvendelse af LED-belysning i slagtekyllingestalde. Testrapport udarbejdet af AgroTech A/S

Sommer S.G., S.O. Petersen & H.B. Møller. 2003. Algorithms for calculating greenhouse gas emissions from manure management. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 69, 143-154.

Sørensen, K. & A.L. Riis. 2008. Ammoniak- og lugtreduktion i en biologisk luftrensere fra Skiold A/S. Erfaring nr. 0807, Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Sørensen, K. 2011. Afprøvning af biologisk luftrensere fra Dorset Milieutechniek B.V. Meddelelse nr. 925, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Videncenter for Svineproduktion. 2013. Energibesparende ventilation. Redaktør: Erik Damsted. http://vsp.lf.dk/Aktuelt/Nyheder/2013/08/200813_Energibesparende_ventilation.aspx

Sektor 3: Reduktion af energi-, næringsstof- eller pesticidforbruget i gartnerisektoren

Seniorforsker Jørn Nygaard Sørensen, lektor Carl Otto Ottosen, forskergruppeleder Karen Koefoed Petersen, specialkonsulent Hanne Lindhard Pedersen, seniorforsker Peter Kryger Jensen, seniorforsker Annie Enkegaard og lektor Bo Melander

Energireduktion i gartnerisektoren

To- eller flerlags højisolerende 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 en 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 trempel 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 3.1.

Tabel 3.1. Ændring i det årlige energiforbrug for et fritliggende væksthuse ved isolering med 2 lags-kanalplader ved en sætpunktstemperatur på 20 °C.

Isolering	P-værdi [Wm ⁻² K ⁻¹]	Årligt energi- forbrug [kWh pr m ²]	Reduktion i ener- giforbruget set i forhold til uisole- ret [%]
Uisoleret	8,5	887	-
Permanent isolering af nordtrempe	8,1	846	5
Gavle	7,9	825	7
Gavle og nordtrempe	7,7	804	9
Gavle og trempler	7,5	783	12
Gavle, trempler og en tagflade	6,0	626	29
Gavle, en trempe med permanent isolering og en med kanal- plade og en tagflade	5,8	605	32
Alle udvendige flader i kanalplade	4,5	470	47
Permanent isolering af nordtrempe, øvrige flader i kanalpla- der	4,3	449	49

Hvis væksthuse er bygget som en blok (Venloblok), er mulighederne for at bruge isolerende dæk-
kematerialer 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 Venloblok af glas har en P-værdi på 8,1 Wm⁻²K⁻¹. Ved isolering af gavlene bringes P-værdien ned
på 7,7 Wm⁻²K⁻¹. Isoleres nordtremplen med kanalplader, fås en P-værdi på 7,5 Wm⁻²K⁻¹. Bruges der
i stedet permanent isolering i nordtremplen, reduceres P-værdien til 7,2 Wm⁻²K⁻¹. Bruges der desu-
den kanalplader i sydtremplen, bliver P-værdien 7,0. Den vanskeligste del at isolere på et blok-
væksthuse er som nævnt taget, men de teoretiske beregninger ved udskiftning med kanalplader er
medtaget i Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Ændring i energiforbrug for et blokvæksthuse (Venloblok) ved isolering med 2-lags kanalplader ved en sæt-
punktstemperatur på 20 °C.

Isolering	P-værdi [Wm ⁻² 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 nordtrempe	7,5	783	7
Gavle og permanent isolering af nordtrempe	7,2	752	11
Gavle, kanalplader i sydtrempe og permanent isolering af nordtrempe	7,0	731	14
Gavle, trempler og en tagflade	5,8	605	28
Alle flader isoleret med akrylplader	4,3	449	47
Nordtrempe 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, 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.

Kvartsglastyper, der tillader UV gennemslip 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%20total/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 3.3).

Tabel 3.3. Reduktionen i CO₂-emissionen i kg pr. kvadratmeter pr. år for et fritliggende væksthuse ved en sætpunkttemperatur på 20 °C ved forskellige grader af isolering med 2-lags kanalplader.

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 til isolering og skygge

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 potteplantedegarterier, 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:

- Et glasvæksthuse har et energitab gennem konvektion, hvor luften i væksthuset afkøles af det kolde glas.
- Et glasvæksthuse har et naturligt luftskifte, hvor varm luft siver ud og erstattes med kold luft.
- 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 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 gardinmateriales 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 prydplanter. De har som sådan ingen energibesparende effekt, men sikrer en bedre fordeling af lyset, og man kan opnå en bedre vækst i lavlysplanter, fordi man kan tilføre mere daglig lyssum (Hohenstein, 2014), mens effekten har mindre betydning for højlysplanter, 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 varmemeforbrugstal ($Wm^{-2}K^{-1}$), som afspejler væksthuses energitekniske tilstand. Jo højere et varmemeforbrugstal, des dårligere er den energitekniske tilstand. Typisk har ældre fritliggende væksthuse et meget højt varmemeforbrugstal, mens moderne blokvæksthuse har et mindre varmemeforbrugstal. I nedenstående Tabel 3.4 ses den procentvise energibesparelse ved installation af gardiner i væksthuse med forskellige varmemeforbrugstal, afhængig af hvor stor en ændring der efterfølgende sker i varmemeforbrugstallet. En realistisk forbedring af varmemeforbrugstallet ved installation af gardiner ligger mellem 2 – 2,5 og afhænger blandt andet af gardinmaterialet og monteringsmetoden.

Tabel 3.4. Procentvis energibesparelse i perioderne januar – april og september – december, ved installation af gardiner i væksthuse med forskellige varmemeforbrugstal, 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 varmemeforbrugstallet (Tabel 3.5).

Tabel 3.5. Reduktionen i CO₂-emissionen i kg pr. kvadratmeter i perioderne januar – april og september – december, ved ændring i varmemeforbrugstallet for et fritliggende væksthuse, ved en sætpunktstemperatur på 20 °C.

Ændring i varmemeforbrugstal (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
4,0	25	43	55	58	71

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 energibalancemodell 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 højisolerede 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 væksthuse. Da varmemeforbrugstallet afhænger af væksthuseets 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 3.5).

Klimaskærm til tætning af væksthuse

Overkitning eller dæklistor til sprosser reducerer det naturlige luftskifte i væksthuset, 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.

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 yderligere muligt 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 temperaturforskel, 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 f.eks. luftfugtighedssensorer kan medføre en fejlagtig fugtstyring, eller CO₂-fejl kan betyde et betydeligt merforbrug på CO₂.

LED belysning i væksthuse

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 at de i energieffektivitet ligger 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 belysningssystem, 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 ballastlamper 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 elsidens, men der skal afhængigt af art justeres med øget varmetilførsel. Der foreligger pt. ingen uafhængige publicerede data om energibesparelspotentialer i LED.

Belysning med elektroniske højnatriumlamper

Ved anvendelse af elektroniske højnatriumlamper vil der kunne opnås en besparelse på omkring 15 % i forhold til traditionelle SONT lamper (HGW/fase-fase).

Brugen af mere dynamisk styring af spektre er kun muligt i nogle LED modeller, og viden om den er langt fra fyldestgørende til at vurdere, om teknologien kan skabe energibesparelser. Forsøg med blå 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., 2015).

Der findes desuden en software prototype til mere dynamisk kunstlys-styring, 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.

Energi-effektiv 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 væksthusearealet, 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.

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 60 – 80 kg propangas ha⁻¹. Metoden kan også anvendes i majs, hvor der typisk brændes før fremspiring og igen på 3-4 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 (Melander, 2007). 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-fremspiringsprøjtninger i rækkeafgrøder. For nuværende er der solgt 8 enheder på det danske marked og 33 til udlandet. En standardmaskine på 3,2 m arbejdsbredde koster ca. 150.000 kr.

Tørrings- og køleanlæg 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 vakuumsystem, hvor moderne affugtnings-teknologi og højeffektiv varmepumpe-teknologi kombineres med effektiv og skånsom køling, samt kontrolleret flow af udeluft (Nielsen, 2015). Vakuumsystemet, udviklet af firmaet Frigortek Cooling Systems (www.frigortek.dk), reducerer energiforbruget til tørring af løg med ca. 75 - 85 % sammenlignet med traditionelle systemer, da ingen energi går tabt ved tørringsprocessen.

Næringsstof-reduktion i gartnerisektoren

Styring af gødning på friland

Ved dyrkning af grønsager, frugt, potteplanter, krydderurter, medicinplanter 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 roddebyde. 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 – 30 %.

På friland, hvor der ofte anvendes fast gødning, er der mulighed for at begrænse forbruget af næringsstoffer vha. teknologier som bl.a. flydende gødning tildelt sammen med vandingsvandet via dryp eller teknologier der kan placere gødningen strategisk i forhold til højværdiafgrøden (grønsager, frugt, krydderurter, medicinplanter, stauder, prydbuske- og træer) (Nielsen, 2013; Sørensen og Jensen, 2013). Det vurderes at sådanne teknologier kan begrænse forbruget af næringsstoffer med 15 – 30 %.

Styring af gødning i væksthuse

I produktionen af potteplanter er det almindeligt at bruge gødningscomputere og bagvedliggende beslutningsstøtteværktøjer til at sikre, at gødningstilførslen er så præcis som mulig i forhold til at opnå den ønskede vækst og kvalitet. Det vurderes, at der i andre dele af gartnerierhvervet hvor typiske frilandskulturer af grønsager, frugt, krydderurter, medicinplanter, stauder, prydbuske- og træer mm. rykker ind under beskyttede forhold i tunnel, plastichus eller glashus, er behov for teknologi til bedre styring af gødningstilførslen således som den i dag foregår i potteplanteproduktionen. Hvor der ikke allerede er installeret gødningscomputere forventes en sådan investering at kunne reducere forbruget af næringsstoffer med 10 – 30 %. Der vil også kunne opnås en mindre reduktion i forbruget af næringsstoffer ved at udskifte dosatroner, som også stadig bruges i produktionen af potteplanter, med gødningscomputer, måske ca. 10 %.

Placering af gødning med gødningsudlægger

Ved bredstrøning af gødning vil der være næringsstoffer, som ikke optages af planterne fordi afstanden mellem gødningen og planterødderne er for stor. Denne gødning vil derfor ikke kunne udnyttes og næringsstofferne vil gå tabt. En dårlig gødningsudnyttelse finder især sted i afgrøder dyrket på stor planteafstand. En bedre gødningsudnyttelse vil kunne opnås ved i stedet for almindelig bredstrøning at placere gødningen tæt ved planterne. Ved placeret gødskning vil der således kunne spares 10 – 20 % kvælstof, fosfor, kalium og andre næringsstoffer (Sørensen 1996).

I afgrøder dyrket på mindre planteafstande vil der ligeledes kunne spares gødning ved placering. I spiseløg vil der således kunne spares 30 – 40 % fosfor-gødning ved at placere gødningen 3-4 cm fra frøene (Sørensen 2010; Sørensen 2013).

Recirkulering af gødevand

I produktionen af potteplanter og væksthusegrønsager 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 (Purvis et al., 2000). Især er formeringsfasen af planteskoleplanter rykket ind i væksthuse. Ofte ældre væksthuse, som tidligere har været brugt til produktion af væksthusegrønsager eller potteplanter, hvor potterne enten står i bunden af væksthuset eller på åbne borde med vate. 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 % næringsstoffer ved recirkulering.

Frugt-, bær- og visse grønsagskulturer dyrkes også i stigende grad i tunnel, plastichus og væksthuse. Her gælder de samme forhold som anført for planteskolekulturer, som rykker ind i væksthuse, og at der vil kunne spares op til 30 % vand og næringsstoffer, ved at indføre teknologi til recirkulering. Det er dog meget vigtigt at disse recirkuleringsteknologier kobles til teknologier til rensning af gødevandet for sygdomsfremkaldende organismer og teknologi til styring af gødning (måling af de vigtigste næringsstoffers niveau og gødningscomputere til at dosere supplerende mængder af næringsstoffer). Her vil ligeledes kunne spares op mod 30 % vand og næringsstoffer ved recirkulering.

Pesticid-reduktion i gartnerisektoren

Rækkedyrkningssystemer

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 bredsået, 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 såudstyret. 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 reducere afdriftsrisikoen væsentligt.

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 (Jensen & Lund, 2006).

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 % (Jensen & Lund, 2006).

Sprøjteteknologi

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 %

(Pergher et al., 2013; Testet hos Julius Kühn-Institut i Tyskland

http://www.jki.bund.de/no_cache/de/startseite/institute/anwendungstechnik/beschreibende-liste/pflanzenschutzmittel-einsparende-geraete.html;

<http://www.jki.bund.de/downloadFatPdf.php?file=G1773Bericht.pdf>)

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 % (Baillie et al., 2013).

Lugerobotter til rækkeafgrøder

Der er udviklet lugerobotter til ukrudtsbekæmpelse både mellem og i rækkerne i udplantede 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, ukrudts-harvning og skrabepinde). 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 væsentligste 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 10 kW 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 udsåede 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 (Jensen & Lund, 2006; 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 radrensere. 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 radrensere, 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) radrensere 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.

Tre-bedsdyrkning vha. GPS-RKT

Tre-bedsdyrkning er en speciel udgave af autostyring. Det er især af interesse for planteskolerne, men systemet kan også anvendes i grønsagsdyrkingen. I tre-bedssystemet behandles 3 bede samtidigt i modsætning til kun ét bed.

Både såede og udplantede kulturer etableres meget nøjagtigt i lige rækker i bede vha. den præcise GPS-RTK-teknologi (anvender referencestation). Nøjagtigheden bliver så stor, at der efterfølgende kan radrenses meget tæt på rækkerne. Derved begrænses det ubearbejdede bånd i rækkerne, og der efterlades mindre ukrudt i rækken. Da det foregår over 3 bede samtidigt, kan store arealer renses inden for en overskuelig tid – arbejdskapaciteten øges betragteligt i forhold til ét-bedssystemer. Fra praksis er der eksempler på, at driftstiden til radrensning kan reduceres med helt op til en faktor 5. Desuden kan radrensningen hurtigere overstås i de perioder, hvor vejret er optimalt til mekanisk ukrudtsbekæmpelse.

GPS-RKT teknologien gør sprøjtning og gødning mere nøjagtig i forhold til planterne, hvorved mængden af pesticider og gødning kan reduceres. Effekterne af tre-bedssystemet er ikke dokumenteret, men ifølge rådgivningstjenestens vurdering kan der i planteskolesammenhæng forventes en pesticidreduktion på 15 – 25 % og en reduktion i gødningsmængden på ca. 5 %.

Nødvendige investeringer til implementering af tre-bedssystemet omfatter GPS-RKT-teknologi, bedrenser, afskærmet sprøjteudstyr og tværstrigle. Som regel vil der være behov for GPS på både redskab og traktor. I nogle tilfælde kan bedriften vælge alene kun at anvende satellitter til styringen, dvs. uden referencestation. Størrelsen på investeringen vil afhænge af en række faktorer som f.eks. bedriftens størrelse, maskin- og styringsbehovet, udbudspriser på redskaber m.m. For en mindre planteskole kan investeringen i nødvendigt udstyr eksempelvis løbe op i kr. 1.027.000 (GEOTEAM A/S styring kr. 340.000, Egedal bedrenser kr. 362.000, Egedal afskærmet sprøjteudstyr kr. 106.000 og Egedal tværstrigle kr. 219.000).

Rækkedampning i kombination med radrensning

Rækkedampningsudstyr kan bruges til bekæmpelse af ukrudt i rækken forud for udsåede grønsagskulturer og andre højværdiafgrøder, sået 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

Gulerødder, sukkermajs og flere andre grønsager kan med fordel dyrkes på kamme. I den forbindelse kan erfaringer fra kartoffeldyrkning anvendes idet kartofler som bekendt dyrkes på kamme. Der er rigtigt gode resultater med stjernerullerrensning 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 kampeje. 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 afgrøden til følge. Styringen foregår vha. af mekaniske følere. En 12-rækket maskine koster ca. 800.000 kr., mens en 4-rækket maskine kan fås for 100.000 kr. Kørehastigheden er typisk 8 – 10 km t⁻¹.

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 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, skuffejern eller snore til mekanisk renhold i træerækker (Lindhard Pedersen og Vittrup Christensen, 1992; Lindhard Pedersen og Pedersen, 2004; Lindhard 2012). 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 – 4 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 % (Hehnen et al., 2011).

Metoden er ny i Danmark. Der er kørt demonstration af metoden i nogle år (Baarts, 2014). Kun enkelte avlere bruger metoden i dag. Indkøbsprisen er 50 – 100.000 kr. Metoden er til rådighed, men udnyttes kun 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 (Lindhard Pedersen et al., 2005), kirsebærbladplet, frugttræskræft og ildsot samt løgskimmel og gråskimmel (Lindhard Pedersen et al., 2012). 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 grønsager, frugt og jordbær, som i dag dyrkes på friland. De kan fungere som regn- og haglbekyttelse, 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 højtærtdiafgrøder, herunder salatmix, babyspinat, tomater, agurker, rød peber, basilikum, afskårne blomster, hindbær, jordbær og meget mere. Også dværgtræ-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, bladhpvpe) 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 højtærtdiafgrøder som f.eks. jordbær, hindbær og visse frilandsafgrøder, i forhold til frilandsdyrkning, kunne reduceres i pesticidforbruget fordi biologisk bekæmpelse vil være mulig. Herudover vil det ved drypvanding være muligt at reducere vand- og gødningsforbruget. Samtidig opnås tidligere udbytter, og nogle år også reduceret spild på grund af klimabekyttelse mod regn og hagl.

Regntag (markise) over frugt og bær til forebyggelse af svampesygdomme

Opsætning af regntag eller markiser i æbler og pærer har i forsøg vist, at angreb af svampesygdomme reduceres væsentligt. Både angreb af æbleskurv og angreb af diverse lagerrådsygdomme reduceres til et niveau, som konventionelt sprøjtede frugter. Samtidig reduceres solskold, haglskader og klimabetinget skrub på æblerne (Bertelsen and Lindhard Pedersen 2014).

Regntag forventes at kunne reducere pesticidbehandlingerne med 80 – 100 %. Bekæmpelse mod svampesygdomme foretages fra 12 til 25 gange om året, afhængigt af de aktuelle klimaforhold. Det er specielt behandlinger mod svampesygdomme, som opsætning af markiser kan reducere. 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 op til 90 %, når det gælder de almindeligt forekommende lagerrådsygdomme som *Gloeosporium*, *Monilia* og frugttræskræft (Maxin et al., 2012 a, Maxin et al., 2012 b).

Derved kan mængden af frugtråd som potentielt udvikles på lageret reduceres med 90 % for følgende sorter. Dette tiltag ville desuden kunne spare 2 – 4 lagere sprøjtninger i plantagen før høst.

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 og Østrig. 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.

Kontrolleret atmosfære lagring (CA-lagring)

Nedkøling og lagring af æbler og pærer ved CA-lagring reducerer forekomsten af lagerråd med op til 50 % (Thahir, 2009). CA-lagring kan etableres enten i specielle CA- eller ULO- (Ultra low oxygen) lager faciliteter. I ULO lagrer reduceres iltindholdet yderligere i forhold til CA-lagring, og kul-dioxid indholdet stiger. Her forventes yderligere reduktion af lagerråd i forhold til CA-lagring.

Lagring af frugt og grønt i CA- eller ULO-lager forventes at reducere mængden af frasorteret frugt med 50 – 70 %.

CA-lagringskasser

CA-lagring kan også etableres i specielle lagringskasser, som placeres i eksisterende kølerum. Brug af lagringskasser 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, men 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.

Høstmaskiner til skånsom høst

Der udvikles løbende nye typer af selvkørende potal-høstere til industribær. Disse nye modeller har nye høstaggater og teknik, som gør høstprocesserne mere skånsomme, og derfor ikke skader buske og bær så meget som tidligere (<http://news.uga.edu/releases/article/blueberry-research-gentler-methods-of-harvesting-tiny-fruit-0415>). Desuden arbejdes der med energibesparelser i de tekniske processer. Der kan med de nye modeller pt. reduceres 35 % på brændstofforbruget. Desuden kan høsterne køre på biodiesel.

(http://www.scharfenberger.de/files/scharfenberger_01/pdf/BRAUD_9000L_engl.pdf).

Den blidere høst og de mindre skader på bær og buske betyder, at der kan spares på de forebyggende svampe- og skadedyrsprøjtninger. Der forventes at kunne spares 2 sprøjtninger mod barkgalmyg i solbær. Disse skadedyr tillokkes af fysiske skader på grene og lægger æg i grensårene. Desuden forventes at kunne spares 2 – 3 sprøjtninger mod svampesygdomme. Både gråskimmel, som inficerer sår på grenene og svampesygdomme, som angriber bærrerne efter høst især, hvis de skades mekanisk.

Voksbehandling af planter til forebyggelse af insektangreb

Metoden er udviklet til forebyggelse af angreb af nåletræssnudebiller i nåletræsproduktion. Billerne, der er udbredt over hele Danmark, gnaver på rodhalsen af nyplantede nåletræer og udgør et stort problem ved nyetablering af beplantninger (Pedersen & Ravn, 2000). Billerne bekæmpes normalt ved rodhalsprøjtning med insekticider; behandlingen foretages 1 – 2 gange med 0,75 – 2,25 l/ha (Lars Bjerre Hansen, HedeDanmark, pers. komm.). Med voksmetoden belægges planternes rodhals maskinelt med elastisk voks, der danner et beskyttende lag, der strækker sig i løbet af plantens vækst (Vogt, 2013), og dermed forhindrer snudebillernes gnav på sårbare unge planter. Metoden, der har været under udvikling i en årrække, er blevet forfinet med et netop afsluttet projekt (Cordis, 2015), hvor der er opnået gode resultater, bl.a. i svenske og norske afprøvninger, med effekter på linje med kemiske behandlinger (Hals, 2015; Härilin 2014, 2015). Firmaet Norsk Wax AS forhandler voksen (Norsk Wax AS 2016). Udstyr til at påføre voksen forhandles af samme firma, samt af firmaer i Tyskland og Sverige, og angives at koste 2 – 2,5 mio. kr. for store anlæg (Lars Bjerre Hansen, HedeDanmark, pers. komm.). Norsk Wax AS angiver, at metoden anvendes flere steder i Europa (Norsk Wax AS 2016). Anvendelsen i Danmark er for nuværende lav (Lars Bjerre Hansen, HedeDanmark, pers. komm.).

Det skønnes, at en anvendelse af metoden kan reducere insekticidanvendelsen overfor nåletræssnudebiller med 80 – 100 % i relevante afgrøder.

Referencer

- Andersen JS, Hald T 2001. Risikovurdering ved anvendelse af vandingskanoner til udsprengning 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.
- Baarts L. 2014. Maskinudtynding i Elstra- et godt supplement. Frugt og Grønt, maj. 6-7.
- Bertelsen M. and Lindhard Pedersen H. 2014. Preliminary results show rain roofs to have remarkable effect on diseases of apples. Ecofruit proceeding 2014. p. 242-243.
- 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.
- Cordis 2015. Weevil STOP Report Summary. http://cordis.europa.eu/result/rcn/157186_en.html
- 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.
- Foque, D. et al, 2012: Comparing spray gun and spray boom applications in two ivy crops with different densities. *HortScience* vol 47(1) s. 51-57.
- 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.
- Hals A 2015. Voks kan stoppe gransnutebillene. *Skog* 6/15, 25-26.

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.

Härlin C 2015. Rapport – testning av mekaniska plantskydd och insekticider mot snytbagge anlagt våren 2015, resultat efter 1 år, hösten 2015.

<http://www2.ekol.slu.se/snytbagge/attachment/Preliminar-rapport-mekaniska-plantskydd-2015-ar-1.pdf>

Härlin C 2014. Rapport – testning av mekaniska plantskydd och insekticider mot snytbagge anlagt våren 2013, resultat efter 2 år, hösten 2014.

<http://www2.ekol.slu.se/snytbagge/attachment/Preliminar-rapport-mekaniska-plantskydd-2014-ar-2.pdf>

Hehnen, D., Hanrahan, I., Lewis, K., McFerson, J. and Blanke M. 2011. Mechanical flower thinning improves fruit quality of apples and promotes. *Scientia Horticulturae* 134 (2012) 241–244.

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>

Jensen PK & Lund I 2006. Static and dynamic distribution of spray from single nozzles and the influence on biological efficacy of band applications of herbicide. *Crop Protection* 25: 1201-1209.

Jørgensen H 2013. Fremtidens dyrkningssystem på Lammefjorden. *Frugt 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)

Lindhard H. 2012. Mekanik mod ukrudt. *Frugt og Grønt*, maj 2012, 232-233.

<http://news.uga.edu/releases/article/blueberry-research-gentler-methods-of-harvesting-tiny-fruit-0415/>

http://www.scharfenberger.de/files/scharfenberger_01/pdf/BRAUD_9000L_engl.pdf

Lindhard Pedersen H., Jensen B., Munk L, Bengtsson M and Trapman M. 2012. Reduction in the use of fungicides in apples and sour cherry production by preventive methods and warning sys-

tems. Pesticides research no. 139. 2012. Danish Ministry of the Environment. Environmental protection Agency. ISBN no. 978-87-92779-70-0 pp. 113.

<http://www.mst.dk/Publikationer/Publications/2012/August/978-87-92779-70-0.htm>

Lindhard Pedersen H., Linddal Pedersen K. and Paaske K. 2005. Evaluating the use of RIMpro and Metos weather stations for control of apple scab (*Venturia inaequalis*) in Denmark 2002-2005. Poster til 7th International IOBC/WPRS Workshop on Orchard Diseases. Italy Aug-sep. 2005.

Lindhard Pedersen and Pedersen B., 2004. Soil treatments and rootstocks for organic apple production. ECO-FRU-VIT. 11th International Conference on Cultivation technique and Phytopathological problems in Organic Fruit-Growing. 137-143.

Lindhard Pedersen H. og Vittrup Christensen J. 1992. Ukrudtsbekæmpelse i æble uden brug af herbicider. Tidsskrift for planteavl 96, 473-477.

Maxin P., Weber R.W.S., Lindhard Pedersen H. and Williams M. 2012 a. Hot-Water Dipping of Apples to Control *Penicillium expansum*, *Neonectria galligena* and *Botrytis cinerea*: Effects of Temperature on Spore Germination and Fruit Rots. *Europ.J.Hort.Sci.*, 77 (1). S. 1-9, 2012.

Maxin, R.W.S. Weber, H. Lindhard Pedersen and M. Williams. 2012 b. Control of a wide range of storage rots in naturally infected apples by hot water dipping and rinsing. *Postharvest Biology and Technology* 70, 25-31.

Melander B 2007. Forsøg II med E-TERM, udviklet af ENVO-DAN, til termisk bekæmpelse af ukrudt på friland. Rapport udarbejdet af Aarhus Universitet, 12 december 2007, 7 sider.

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* 72, 1-8.

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

Nielsen SF 2013. Brug af gødevanding og sensorer i issalat. *Frugt & Grønt* 12(5): 26.

Nielsen SF 2015. Markant energibesparelse på Gyldensteen. *Gartner Tidense* 131(11): 38-39.

Norsk Wax AS 2016. <http://kvaee.com/how/>

- 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 2015. 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 Plant Science* 6(19), 1-14.
- Pedersen AF, Ravn HP 2000. Stor nåletræssnudebille – biologi, modforholdsregler og strategi. Skovbrugsserien nr. 26-2000. Skov & Landskab, pp. 50.
- Pedersen HL, Andersen L, Jørgensen PE, Sørensen L 2011. Luksusbær til frisk konsum. *Frugt & Grønt* 2: 60-61.
- Pergher G, Gubiani R, Cividino SRS, Dell'Antonia D, Lagaziob C 2013. Assessment of spray deposition and recycling rate in the vineyard from a new type of air-assisted tunnel sprayer. *Crop Protection* 45: 6-14.
- Purvis P, Chong C, Lumis GP 2000. Recirculation of nutrients in container nursery production. *Can J Plant Sci* 80: 39-45.
- 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.
- Rüegg, J. et al, 2012: Luftunterstützte applikation in gewächshaustomaten, *Gemüse* 10 s, 16-19.
- Sørensen IU og Jensen NL 2013. Kom godt i gang med gødevanding. *Frugt og Grønt* 12(5): 42-43.
- Sørensen JN 1996. Improved N efficiency in vegetable production by fertilizer placement and irrigation. *Acta Hort* 428, 131-140.
- Sørensen JN 2010. Startgødninger til løg. *Dansk Løgavl* 56(1), 4-6.
- Sørensen JN 2013. Startgødskning af såløg. *Dansk Løgavl* 59(1), 4-7.

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>

Vogt Y 2013. Voks kan redde træer mot snutebiller. *Forskningsmagasinet Apollon*.
http://www.apollon.uio.no/artikler/2013/2_snutebiller.html

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.