

Miljø- og Klimateknologi 2025

Rådgivningsrapport fra DCA – National Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet

For indsatsområde 1:

Anders Peter Adamsen¹, Peter Kai¹

For indsatsområde 2:

Maike Johannes Brask², Christian Friis Børsting², Michael Jørgen Hansen¹, Peter Kai¹

For indsatsområde 3:

Michael Nørremark³

For indsatsområde 4:

Carl-Otto Ottosen⁴

¹Institut for Bio- og Kemiteknologi (BCE), ²Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab (ANIVET) ³Institut for Elektro- og Computerteknologi (ECE) og ⁴Institut for Fødevarer (FOOD)

Datablad

Titel:	Miljø- og Climateknologi 2025
Forfatter(e):	<i>For teknologien 1.1:</i> Seniorforsker, Anders Peter Adamsen og Seniorrådgiver Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi (BCE), AU <i>For teknologierne 2.1-6:</i> Seniorrådgiver Maike Johannes Brask og Seniorrådgiver Christian Friis Børsting, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab (ANIVET), AU <i>For teknologierne 2.7-8:</i> Seniorforsker Michael Jørgen Hansen og Seniorrådgiver Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi (BCE), AU <i>For teknologierne 3.1-12:</i> Seniorrådgiver Michael Nørremark, Institut for Elektro- og Computerteknologi (ECE), AU <i>For teknologierne 4.1-5:</i> Professor Carl-Otto Ottosen, Institut for Fødevarer (FOOD), AU
Fagfællebedømmelse:	<i>For teknologierne 1.1, 2.12-14:</i> Seniorrådgiver, Lise Bonne Guldberg, BCE, AU <i>For teknologierne 2.1-6:</i> Professor, Peter Lund, ANIVET <i>For teknologierne 3.1-12:</i> Akademisk medarbejder Erik Fløjgaard Kristensen, ECE, AU <i>For teknologierne 4.1-5:</i> Seniorforsker, Martin Jensen, FOOD, AU
Kvalitetssikring:	Chefkonsulent Stine Cecilie Mangaard Sarraf, DCA Centerenheden
Rekvirent:	Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø (SGAV), Ministeriet for Grøn Trepert
Dato for bestilling/levering:	14.02.2025 / 28.03.2025.
Journalnummer:	2025-0797818
Finansiering:	Besvarelsen er udarbejdet som led i Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening indgået mellem Miljøministeriet, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (MFVM) og Aarhus Universitet under ID nr. 4.10 Ydelsesaftale Planteproduktion samt ID nr. 4.07 Ydelsesaftale Husdyrproduktion 2023-2026.
Ekstern kommentering:	Ja. SGAV har kommenteret på udkast til rapport. Se samlet kommenteringsark her: LINK
Eksterne bidrag:	Nej.

Kommentar til bestilling:	Denne bestilling består af fire delleverancer, hvoraf dette er delleverance 2. Bestillingen kommer ifm. Miljø- og klimateknologiordningen. AU's tidligere rådgivningsrapporter om Miljø- og klimateknologier fra 2022, kan findes her: LINK og fra 2023 her: LINK
Kommentarer til besvarelse:	Rapporten præsenterer resultater, som ved rapportens udgivelse ikke har været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer.
Citeres som:	Nørremark, M., Adamsen, A.P., Brask, M.J., Børsting, C.F., Hansen, M.J., Kai, P., Ottosen, C.-O. Miljø- og Klimateknologi 2025. 66 sider. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 28.03.2025.
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på https://dca.au.dk/raadgivning/

Baggrund

Rapporten er udarbejdet af forskere ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug (AU/DCA) på bestilling SGAV. Rapporten er udarbejdet som led i "Aftale mellem Aarhus Universitet og Miljø- og Fødevareministeriet om udførelse af forskningsbaseret myndighedsbetjening ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 2023-2026".

Rapporten giver en teknologibeskrivelse af forskellige miljø- og klimateknologier, som SGAV har ønsket at AU udregner standardmiljøeffekt (SME) for samt oplyser specifikationer, obligatoriske og valgfrie elementer for de enkelte teknologier. Desuden består rapporten af en opdateret oversigt over teknologiernes afledte klimaeffekter (bilag 1), hvor de overordnede klimaeffekter fremgår for alle teknologier, der kan beregnes SME for. Rapporten anvendes af SGAV til udvælgelse af teknologier i anledning af Miljø- og klimateknologi 2025 som omfatter tilskud til investeringer i miljø- og klimateknologier i den primære jordbrugs- og gartneriproduktion. Standardmiljøeffekterne og klimaeffekterne bruges i forbindelse med prioritering af ansøgninger.

Levetider for de enkelte teknologier er skønnede på baggrund af vurderinger af typiske udskiftningsfrekvenser, slitage, og holdbarhed fra tests m.m. Konkret viden om målte levetider eksisterer ikke. For valgfrie elementer har SGAV oplyst, at pga. IT-begrænsninger, er der plads til 3 valgfrie elementer. AU har derfor samlet valgfrie elementer i tre sætninger, og anvendt udtrykket 'og/eller' for at kunne inkludere alle de valgmuligheder som AU finder relevante.

Miljø- og klimateknologi 2025 er målrettet tilskud til investeringer i teknologi inden for følgende fire indsatsområder: 1) Reduktion af ammoniakemission fra gyllebeholdere, 2) Reduktion af ammoniakemission fra kvægstalde, 3) Reduktion af pesticidforbrug i planteavl og 4) Reduktion af energiforbrug i væksthushaveneri.

Indhold

Indsatsområde 1: Reducere ammoniakudledning fra gylletanke	7
1.1 Teltoverdækning	7
Referencer	7
Indsatsområde 2: Reduceret ammoniakudledning fra kvægstalde	8
Grundlag for beregning af miljøeffekt kvægstalde	8
2.1 Halsremme med drøvtygger- og aktivitetsmålere til malkekvæg	9
2.2 Vomboluser til overvågning af malkekvæg	10
2.3 Øremærkesensorer til overvågning af malkekvæg	11
2.4 Hængebanevogn med indbygget blander	13
2.5 Hængebanevogn/foderbånd sammen med stationær foderblander	14
2.6 Foderrobot	15
2.7 Etablering af miljøgulve i eksisterende stalde	17
2.7a	18
Etablering af miljøgulve, malkekøer/kvier	18
2.7b	18
Etablering af miljøgulve, slagtekalve	18
2.8 Luftrensning	18
2.8a	19
Luftrensning, malkekøer/kvier	19
2.8b	19
Luftrensning, slagtekalve	19
Referencer	20
Indsatsområde 3: Reducere pesticidforbruget i planteavl	21
Oversigt over kombinationer af afgrøde- og plantebeskyttelsesmiddelkategorier	21
3.1 Sektions- eller dyseafblænding i kombination med pletsprøjtning	22
3.2 Dobbelt tanksystem og dyse-linjer for pletsprøjtning og gradueret tildeling af plantebeskyttelsesmidler som tankblandinger i kombination med sektions- eller dyseafblænding	24
3.3 Et-tanksinjektionssystem for pletsprøjtning og gradueret tildeling i kombination med sektions- eller dyseafblænding	27
3.4 Fler-tanksinjektionssystem for pletsprøjtning og gradueret tildeling i kombination med sektions- eller dyseafblænding	29
3.5 Kameraer til kortlægning af ukrudt	31
3.6 Båndsprøjtningssystem til marksprøjtning	32
3.7 Standard båndsprøjtning	34
3.8 Førerløs såning og ukrudtsbekæmpelse mellem afgrøderækker	35
3.9 Robotbaseret ukrudtslugning i afgrøderækker	37
3.10 Radrensere	38
3.11 Lufttødder til sprøjtebom	40
3.12 Kartoffelradrensere	42
3.12a	44
Kartoffelradrensere, type A	44
3.12b	44
Kartoffelradrensere, type B	44
Referencer	44
Indsatsområde 4: Reducere energiforbruget i væksthuse	49
Gartneri: Reduktion af energiforbrug	49
4.1 Gardiner til isolering - væksthuse	49

4.2 Højsolerende to- eller flerlags dækkemateriale - væksthushus	53
4.3 Klimastyring - væksthushus	56
4.4 LED-belysning - væksthushus.....	57
4.5 Energilagring fra solceller, vindmøller og CHP-anlæg	58
Referencer	60
Bilag 1: Oversigt over teknologiernes afledte klimaeffekter	65

Indsatsområde 1: Reducere ammoniakudledning fra gylletanke.

Forfattere: Anders Peter Adamsen og Peter Kai Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU

1.1 Teltoverdækning

Fast overdækning (telt, betonlåg eller flydedug) er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste med en ammoniak-reducerende effekt på 50 % i forhold til naturligt flydelag.

Specifikationer. Teltoverdækning. Gylletanken, som overdækkes med telt, kan anvendes til flydende husdyrgødning fra kvæg, svin og fjerkræ samt afgasset flydende biomasse, som kommer retur fra biogasanlæg. Arealet som kan indgå i beregning af standardmiljøeffekten, er det indvendige mål af gylletankens fladeareal. Teltoverdækning med centermast, inklusive mindst en åbning for adgang og mindst en åbning for udluftning af gyllebeholder.

Obligatoriske elementer. Teltoverdækning.

Standardmiljøeffekt: Teltoverdækning

Standard miljøeffekt for teltoverdækning af gyllebeholdere i forhold til en reference gyllebeholder med naturligt flydelag er angivet i Tabel 1.1. Ifølge bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug (BEK. Nr. 443, 2023) er ammoniakemissionsfaktoren for flydende husdyrgødning $0,40 \text{ kg NH}_3\text{-N år}^{-1} \text{ m}^{-2}$ gylleoverflade i gyllebeholder og ammoniakreduktionen ved teltoverdækning er 50%. Levetiden for teltoverdækning af gyllebeholder er sat til 20 år (Adamsen et al., 2022).

Tabel 1.1: Standardmiljøeffekt for teltoverdækning.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt $\text{kg NH}_3\text{-N år}^{-1} \text{ m}^{-2}$ gylleoverflade i gyllebeholder
1.1	Teltoverdækning	20	Alle	0,20

Referencer

Adamsen A.P.S., P. Kai, G.M. Callesen & B.H. Jacobsen (2022). Fast overdækning af gyllebeholdere - Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 22 s. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet

BEK nr. 443 (2023) Bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug. 26. april 2023. Miljøministeriet.

Indsatsområde 2: Reduceret ammoniakudledning fra kvæg-stalde.

Forfattere: Christian Friis Børsting, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, Maike Johannes Brask, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, Michael Jørgen Hansen, Institut for Bio- og Kemiteknologi, & Peter Kai, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU

Grundlag for beregning af miljøeffekt kvægstalde

Beregningerne af standardmiljøeffekt for staldteknologier er foretaget på grundlag af husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens standard-emissionsfaktorer for kvægstalde (Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsen, 2024) samt teknologiernes ammoniakreducerende effekt anført på Styrelsen for Grøn Arealomlæg og Vandmiljø (SGAV) teknologiliste (SGAV, 2025). Standardmiljøeffekten er angivet som teknologiens årlig miljøeffekt per m² produktionsareal (kg NH₃-N år⁻¹ m⁻² produktionsareal). Christian Friis Børsting og Maike Johannes Brask, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab har været faglig ansvarlig for fodrings- og overvågningsteknologier, mens Peter Kai og Michael Jørgen Hansen, Institut for Bio- og Kemiteknologi har været faglig ansvarlig for staldteknologier.

Referencestald

Standardmiljøeffekten for miljøteknologier i kvægstalde er beregnet i forhold til de referencestalde, som er angivet i Tabel 2.1 (Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsen, 2024). For både malkekøer, kvier og slagtekalve er der anvendt stor race og sengebåsestalde med spaltegulv.

Tabel 2.1: Referencestalde anvendt i beregning af standardmiljøeffekt for kvægstalde (Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsen, 2024).

Dyregruppe	Staldtype	Emission kg NH ₃ -N år ⁻¹ m ⁻² produktionsareal
Malkekøer og opdrætskvier	Sengebåsestalde med spaltegulv	1,16
Slagtekalve	Sengebåsestalde med spaltegulv	0,91

Kriterier for udvælgelse af teknologier

Det afgørende kriterie for udvælgelse af miljøteknologier til stald og lager har været, at der er dokumentation for teknologiernes ammoniakreducerende effekt, og at der som minimum kan opnås en ammoniakreducerende effekt på 10 %. For fodrings- og overvågningsteknologier har kriteriet for udvælgelse været, at teknologierne er vurderet effektive til at øge køernes foderudnyttelse og/eller reducere foderets procentvis indhold af råprotein med deraf følgende effekt på udskillelsen af urin-N og dermed ammoniakemissionen.

Vedrørende kombination af fodringsteknologier og/eller overvågningsteknologier.

Ingen af teknologierne vedrørende fodring og overvågning kan kombineres, da der savnes faglig viden om kombinationseffekter. Det forventes som udgangspunkt, at der ikke er væsentlig ekstra effekt ved at anvende mere end én af disse teknologier.

2.1 Halsremme med drøvtygger- og aktivitetsmålere til malkekvæg

Kombination af drøvtygger- og aktivitetsmålere. Drøvtyggermålerne består af en mikrofon i en lille boks (transponder), der monteres i en rem om koens hals. Mikrofonen registrerer de lyde, der opstår, når koen tygger drøv. Transponderen med indbygget mikrofon og aktivitetsmåler registrerer og lagrer oplysninger om drøvtygningstid og aktivitet for det enkelte dyr.

Data sendes til en antenne i stalden og derfra til en PC. På PC'en findes software, der kan beregne, hvor lang tid dyrene tygger drøv. Drøvtygningstiden er en god indikator for dyrenes sundhed, idet foderoptagelsen og drøvtygningstiden hurtigt vil blive reduceret ved begyndende sygdom. Værdien af drøvtygningsmålingerne, er derfor, at dyrene kan tilses og evt. behandles, før de bliver alvorligt syge og får nedsat produktion. Dette betyder, at der er færre syge dyr i stalden, som ikke giver en produktion svarende til den mængde foder de æder.

Drøvtyggermåleren skal være kombineret med en aktivitetsmåler. Denne måler registrerer, hvor meget dyret bevæger sig. Ved væsentlig reduktion i mængden af aktivitet vil der ligesom ved reduceret drøvtygning gives en alarm om, at dyrets sundhed måske er påvirket, hvorved også denne funktion giver mulighed for tidlig indgriben ved sygdom.

Aktivitetsmåleren finder desuden de fleste køer, som er i brunst, fordi køernes aktivitetsniveau stiger væsentligt ved brunst. Sikker observation af køer i brunst giver færre køer, der får for lange kælvningsintervaller. Derved bliver der færre køer med en lav ydelse sidst i laktationen, og derved vil en større andel af foderet gå til mælkeproduktion og en lavere andel til at dække køernes eget vedligeholdelsesbehov.

For overvågning gælder, at når færre dyr i stalden præsterer dårligt pga. subklinisk sygdom, og når færre køer har lav ydelse pga. lange kælvningsintervaller, så kan en given mælkeproduktion nås med mindre foder. Der er ikke foretaget litteraturgennemgang af effekten på ammoniakemissionen af de 2 teknologier. Det vurderes, at der kan forventes en besparelse i foderforbruget på ca. 5 % af tørstof. Da køernes sundhed bliver overvåget, er det relevant at reducere foderets proteinindhold, da den indlagte sikkerhedsmargin mht. til foderets proteinindhold kan reduceres, fordi eventuelle problemer med fodringen eller dyrenes individuelle behov vil blive afsløret hurtigere. Det vurderes, at der kan anvendes ca. 2 % mindre protein i foderet af denne årsag. Disse effekter på foderforbrug og behov for protein er dog ikke dokumenteret i forsøg. Den årlige standardmiljøeffekt ($\text{kg NH}_3\text{-N år}^{-1} \text{ m}^{-2}$ produktionsareal) er beregnet ud fra et areal på 8 m^2 per staldplads og emissionsværdierne per ko angivet af Kai et al. (2019).

Ved brug af andre teknologiske løsninger, som måler de beskrevne parametre, kan der forventes en tilsvarende effekt på ammoniakudledningen, forudsat at teknologierne både kan give tidlig varsel ved begyndende sygdom, og finde køer i brunst.

Specifikationer. Teknologien skal anvendes til malkekvæg. Udstyret skal give kvægbrugeren overblik over køer i brunst og syge køer og derudover til at indsamle data, som skal bruges til at tilpasse mængden af foder og/eller proteinindholdet i foderet efter køernes behov. Udstyret skal bestå af drøvtygnings- og aktivitetsmåler samt antenne, kontrolenhed eller router til opfangning af data og en server eller anden digital lagerenhed. Derudover aktiv software til udpegning af køer. Udstyret skal indkøbes og bruges til alle køer inkl. goldkøer for at opnå beregnet effekt. Teknologien kan ikke kombineres med teknologi 2.2 – 2.6.

Obligatoriske elementer. Drøvtygnings- og aktivitetsmåler med halstranspondere til opsamling og afsendelse af data.

Valgfrie elementer. Antenne, kontrolenhed eller router til opfangning af data fra transpondere og software til udpegning af køer til observation medmindre dette udstyr findes i stalden i forvejen.

Standardmiljøeffekt: Halsremme med drøvtygger- og aktivitetsmålere til malkekvæg

Standardmiljøeffekten for halsremme med drøvtygger- og aktivitetsmålere til malkekvæg er angivet i Tabel 2.2. Levetiden er anslået til 10 år. Fodersammensætning og foderforbrug som beskrevet i normtal for husdyrgødning 2020/2021 (Børsting et al., 2021).

Tabel 2.2: Standardmiljøeffekt for halsremme med drøvtygger- og aktivitetsmålere til malkekvæg

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt, kg NH ₃ -N år ⁻¹ m ⁻² produktionsareal
2.1	Halsremme med drøvtygger- og aktivitetsmålere til malkekvæg	10	Malkekøer	0,16

2.2 Vomboluser til overvågning af malkekvæg

Vombolus til måling af aktivitet, brunst og sygdom. Denne teknologi består af en bolus, der lægges i koens vom. I denne bolus er der sensorer, der måler koens aktivitet, temperatur samt pH i vommen. Som beskrevet ovenfor kan måling af aktivitet bruges til at finde køer i brunst. Målinger af vommens pH er en vigtig indikator på, om koens vomfunktion er normal. Unormal vomfunktion vil (ligesom drøvtyggermålere i halsrem eller øremærke, 2.1 og 2.3) kunne afsløre subkliniske stofskiftesygdomme, dvs. før disse sygdomme bliver alvorlige. Værdien af pH-målingerne er derfor, at dyrene kan tilses og evt. behandles, før de bliver alvorligt syge og får nedsat produktion. Standardmiljøeffekten er vurderet ud fra, at pH-måling er en vigtig parameter til at vurdere koens vomfunktion. Da denne har stor betydning for koens generelle sundhed, er pH-målinger afgørende for at opnå de forventede effekter

Overvågningens miljø- og klimaeffekt er at når færre dyr i stalden præsterer dårligt pga. subklinisk sygdom, og når færre køer har lav ydelse pga. lange kælvningsintervaller, så kan en given mælkeproduktion nås med mindre foder. Der er ikke foretaget litteraturgennemgang af effekten på ammoniakemissionen ved brug af vombolus. Det vurderes, at der kan forventes en besparelse i foderforbruget på ca. 5 % af tørstof. Da køernes sundhed bliver overvåget, er det relevant at reducere foderets proteinindhold, da den indlagte sikkerhedsmargen mht. foderets proteinindhold kan reduceres, fordi eventuelle problemer med fodringen eller dyrenes individuelle behov vil blive afsløret hurtigere. Det vurderes, at der kan anvendes ca. 2 % mindre protein i foderet af denne årsag. Disse effekter på foderforbrug og behov for protein er dog ikke dokumenteret i forsøg. Den årlige standardmiljøeffekt (kg NH₃-N år⁻¹ m⁻² produktionsareal) er beregnet ud fra et areal på 8 m² per staldplads og emissionsværdierne per ko angivet af Kai et al. (2019).

Ved brug af eventuelle andre teknologiske løsninger, som måler de beskrevne parametre, kan der forventes en tilsvarende effekt på ammoniakudledningen, forudsat at teknologierne både kan give tidlig varsel ved begyndende sygdom, og finde køer i brunst.

Specifikationer. Teknologien skal anvendes til malkekvæg. Udstyret skal give kvægbrugeren overblik over køer i brunst og syge køer baseret på målinger af koens aktivitet, temperatur samt pH i vommen og derudover til at indsamle data, som skal bruges til at tilpasse mængden af foder og/eller proteinindholdet i foderet efter køernes behov. Udstyret skal bestå af vombolus samt antenne, kontrolenhed eller router til opfangning af data og en server eller anden digital lagerenhed. Derudover aktiv software til udpegning af køer. Udstyret skal indkøbes og bruges til alle køer inkl. goldkøer for at opnå beregnet effekt. Da vomboli har begrænset levetid, skal der suppleres med en ny, når en vombolus ikke længere kan måle både aktivitet, temperatur og pH. Teknologien kan ikke kombineres med teknologi 2.1 og 2.3 – 2.6.

Obligatoriske elementer. Vombolus til måling af aktivitet, temperatur og pH samt afsendelse af data.

Valgfrie elementer. Antenne, kontrolenhed eller router til opfangning af data fra vomboli og software til udpegning af køer til observation medmindre disse udstyr findes i stalden i forvejen.

Standardmiljøeffekt: Vomboluser til overvågning af malkekvæg

Standardmiljøeffekten for overvågning af drøvtygning, brunst og sygdom ved hjælp af vomboluser til måling af aktivitet, temperatur og pH til malkekøer er angivet i Tabel 2.3. Levetiden er af leverandøren oplyst til at være 4 år. Fodersammensætning og foderforbrug som beskrevet i normtal for husdyrgødning 2020/2021 (Børsting et al., 2021).

Tabel 2.3: Standardmiljøeffekt for vomboluser til overvågning af malkekvæg

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH ₃ -N år ⁻¹ m ⁻² produktionsareal
2.2	Vomboluser til overvågning af malkekvæg	4	Malkekøer	0,16

2.3 Øremærkesensorer til overvågning af malkekvæg

Der findes forskellige modeller af sensorer, som kan indbygges i koens øremærke. Sensoren måler koens temperatur og adfærd, såsom æde- og drøvtygningsadfærd og perioder med aktivitet.

Ændringer i koens foderoptagelses-, drøvtygnings- og bevægelsesmønster kan betyde at koen er i brunst, eller være tegn på forskellige sygdomme, som f.eks. stofskiftesygdomme eller halthed. Viser en ko sådanne ændringer, registreres disse via en kontrolenhed i stalden, som videresender information via en router til f.eks. tablet, PC, mobiltelefon eller fast kontrolpanel i stalden, og landmanden kan aflæse i tilhørende app, hvilke køer der kræver ekstra opmærksomhed.

De indsamlede målinger er en god indikator for dyrenes sundhed. Værdien af overvågningen er derfor, at dyrene kan tilses og evt. behandles, før de bliver alvorligt syge og får nedsat produktion. Dette betyder, at der er færre syge dyr i stalden, som ikke giver en produktion svarende til den mængde foder de æder.

Aktivitetsmålere finder desuden de fleste køer, som er i brunst, fordi køernes aktivitetsniveau stiger væsentligt ved brunst. Sikker observation af køer i brunst giver færre køer med reproduktionssygdom og køer der får for lange kælvningsintervaller. Derved bliver der færre køer som udsættes pga. dårlig reproduktion og køer med en lav

ydelse sidst i laktationen, og derved vil en større andel af foderet gå til mælkeproduktion og en lavere andel til at dække køernes eget vedligeholdelsesbehov.

For overvågning gælder, at når færre dyr i stalden præsterer dårligt pga. subklinisk sygdom, og når færre køer har lav ydelse pga. lange kælvningsintervaller, så kan en given mælkeproduktion nås med mindre foder. Der er ikke foretaget litteraturgennemgang af effekten på ammoniakemissionen af de 2 teknologier. Det vurderes, at der kan forventes en besparelse i foderforbruget på i størrelsesorden ca. 5 % af tørstof. Da køernes sundhed bliver overvåget, er det relevant at reducere foderets proteinindhold, da den indlagte sikkerhedsmargin mht. til foderets proteinindhold kan reduceres, fordi eventuelle problemer med fodringen eller dyrenes individuelle behov vil blive afsløret tidligere. Det vurderes, at der kan regnes med ca. 2 % mindre protein i foderet af denne årsag. Disse effekter på foderforbrug og behov for protein er dog ikke dokumenteret i forsøg. Den årlige standardmiljøeffekt ($\text{kg NH}_3\text{-N år}^{-1} \text{ m}^{-2}$ produktionsareal) er beregnet ud fra et areal på 8 m^2 per staldplads og emissionsværdierne per ko angivet af Kai et al. (2019).

Ved brug af eventuelle andre teknologiske løsninger, som måler de beskrevne parametre, kan der forventes en tilsvarende effekt på ammoniakudledningen, forudsat at teknologierne både kan give tidlig varsel ved begyndende sygdom, og finde køer i brunst.

Specifikationer. Teknologien skal anvendes til malkekvæg. Udstyret skal give kvægbrugeren overblik over køer i brunst og syge køer og derudover til at indsamle data, som skal bruges til at tilpasse mængden af foder og/eller proteinindholdet i foderet efter køernes behov. Udstyret skal bestå af sensorer, som er monteret på øremærker, samt en enhed i stalden samt antenne, kontrolenhed eller router til opfangning af data og en server eller anden digital lagerenhed. Derudover aktiv software til udpegning af køer. Udstyret skal indkøbes og bruges til alle køer inkl. goldkøer for at opnå beregnet effekt. Teknologien kan ikke kombineres med teknologi 2.1, 2.2 og 2.4 – 2.6.

Obligatoriske elementer. Sensorer som er monteret på øremærker til indsamling og afsendelse af data.

Valgfrie elementer. Antenne, kontrolenhed eller router til opfangning af data fra øremærker og software til udpegning af køer til observation medmindre disse udstyr findes i stalden i forvejen.

Standardmiljøeffekt: Øremærkesensorer til overvågning af malkekvæg

Standardmiljøeffekten for øremærkesensorer til overvågning af malkekvæg er angivet i Tabel 2.4. Levetiden er anslået til 10 år. Fodersammensætning og foderforbrug som beskrevet i normtal for husdyrgødning 2020/2021 (Børsting et al., 2021).

Tabel 2.4: Standardmiljøeffekt for øremærkesensorer til overvågning af malkekvæg

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt $\text{kg NH}_3\text{-N år}^{-1} \text{ m}^{-2}$ produktionsareal
2.3	Øremærkesensorer til overvågning af malkekvæg	10	Malkekøer	0,16

2.4 Hængebanevogn med indbygget blander

Automatisk fodring med fuldfoder kan dels give en forbedret næringsstofudnyttelse ved, at der laves hyppig udfodring, dels er der mulighed for, at der gennem fasefodring kan fodres med flere forskellige rationer, der er tilpasset til køernes behov i forhold til ydelsesniveau og laktationsstadium. I besætninger med automatisk udfodring vil der være positiv effekt af hyppige udfodringer i form af reduceret foderforbrug og reduceret proteinindhold i foderet, idet risikoen for varmt foder, hvor energien og proteinet nedbrydes, minimeres. Stalden skal være indrettet, så der samtidigt kan hentes en effekt ved at fodre med rationer med forskelligt indhold af energi og protein til hold af køer, der er inddelt efter deres ydelsesniveau og laktationsstadium. Som gennemsnit for stalde med forskellig indretning anslås der en besparelse på ca. 5 % på forbruget af fodertørstof. Det antages, at der desuden kan spares ca. 2 % på foderets gennemsnitlige indhold af råprotein. Effekterne er dog ikke dokumenteret i forsøg. Den årlige standardmiljøeffekt per areal ($\text{kg NH}_3\text{-N år}^{-1} \text{ m}^{-2}$ produktionsareal) er beregnet ud fra et areal på 8 m^2 per staldplads og emissionsværdierne per ko angivet af Kai et al. (2019).

Det giver bedre sikkerhed for den tilsigtede effekt at supplere udstyret med en tørstofmåler. Denne skal anvendes for at følge op om fuldfoderblandingerne har det forventede tørstofindhold, og i givet fald justere især ensilageandelen tilsvarende.

Køerne skal kunne inddeles i to eller flere fodringshold. Hvert fodringshold skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov. Hvis ikke stalden allerede er indrettet, så køerne uden ekstra udstyr kan komme tilbage til deres eget fodringshold, skal der investeres i selektionsudstyr, der sikrer, at dette er tilfældet.

Der anvendes en hængebanevogn, der skal kunne blande foderet, efter det automatisk er påfyldt fra påslag eller foderkøkken med felter, dvs. at blanderen skal kunne programmeres til at blande og udfodre forskellige blandinger på fastlagte tidspunkter, uden at det kræver manuel betjening på de fastlagte tidspunkter. Foderet læsses automatisk f.eks. ved hjælp af grab, snegle eller foderbånd. Der skal være påslag til mindst 2 slags ensilage og til mindst 2 slags tørre foderråvarer. Disse skal anvendes i relevante kombinationer, så de 2 eller flere foderblandinger, der skal anvendes, har forskelligt indhold af råprotein. Hængebanevognen drives og styres automatisk til de enkelte dyregrupper.

Der skal anvendes selektionsudstyr for at sikre, at køerne inddeles i to eller flere fodringshold. Der kan anvendes eksisterende udstyr, eller der kan investeres i nyt udstyr, som er tilskudsberettiget. Hvert fodringshold skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov.

Specifikationer. Teknologien skal anvendes til malkekvæg. Udfodring skal ske med fuldfoder. Fuldfoder skal være baseret på mindst 2 slags ensilage og til mindst 2 slags tørre foderråvarer. Disse skal udgøre variationer i foderblandingsens indhold af råprotein. Fodringsholdene skal være fysisk adskilte og hvert fodringshold skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov. Ved alle løsninger skal der gøres brug af enten påslag eller foderkøkken med felter til de forskellige variationer af ensilage og tørre foderråvarer.

Hængebanevognen drives og styres automatisk til de enkelte dyregrupper. Blanderen fyldes automatisk fra påslagene.

Teknologien kan ikke kombineres med teknologi 2.1 – 2.3, 2.5 eller 2.6.

Obligatoriske elementer: Hængebanevogn med indbygget blander.

Valgfrie elementer: Påslag til mindst 2 slags ensilage og til mindst 2 slags tørre foderråvarer, tørstofmåler som er påmonteret fuldfoderblander.

Standardmiljøeffekt: Hængebanevogn med indbygget blander

Standardmiljøeffekten for hængebanevognen er angivet i Tabel 2.5. Levetiden er sat til 10 år. Forudsætninger for effekten er fodersammensætning og foderforbrug som beskrevet i normtal for husdyrgødning 2020/2021 (Børsting et al., 2021) ved én gang daglig udfodring typisk af samme foderblanding til alle malkende køer.

Tabel 2.5: Standardmiljøeffekt for hængebanevogn med indbygget blander

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH ₃ -N/m ² produktionsareal
2.4	Hængebanevogn med indbygget blander	10	Malkekøer	0,16

2.5 Hængebanevogn/foderbånd sammen med stationær foderblander

Automatisk fodring med fuldfoder kan dels give en forbedret næringsstofudnyttelse ved, at der laves hyppig udfodring, dels er der mulighed for, at der gennem fasefodring kan fodres med flere forskellige rationer, der er tilpasset til køernes behov i forhold til ydelsesniveau og laktationsstadium. I besætninger med automatisk udfodring vil der være positiv effekt af hyppige udfodringer i form af reduceret foderforbrug og reduceret proteinindhold i foderet, idet risikoen for varmt foder, hvor energien og proteinet nedbrydes, minimeres. Stalden skal være indrettet, så der samtidigt kan hentes en effekt ved at fodre med rationer med forskelligt indhold af energi og protein til hold af køer, der er inddelt efter deres ydelsesniveau og laktationsstadium. Som gennemsnit for stalde med forskellig indretning anslås der en besparelse på ca. 5 % på forbruget af fodertørstof. Det antages, at der desuden kan spares ca. 2 % på foderets gennemsnitlige indhold af råprotein. Effekterne er dog ikke dokumenteret i forsøg. Den årlige standardmiljøeffekt per areal (kg NH₃-N år⁻¹ m⁻² produktionsareal) er beregnet ud fra et areal på 8 m² per staldplads og emissionsværdierne per ko angivet af Kai et al. (2019).

Det giver bedre sikkerhed for den tilsigtede effekt at supplere udstyret med en tørstofmåler. Denne skal anvendes for at følge op om fuldfoderblandingerne har det forventede tørstofindhold, og i givet fald justere især ensilageandelen tilsvarende.

Køerne skal kunne inddeles i to eller flere fodringshold. Hvert fodringshold skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov. Det kræver at der er en fuldfoderblander pr. fodringshold (mindst 2), så der flere gange i døgnet kan udfodres fra hver fuldfoderblander til netop det fodringshold, som fuldfoderblandingen er optimeret til. Hvis ikke stalden allerede er indrettet, så køerne uden ekstra udstyr kan komme tilbage til deres eget fodringshold, skal der investeres i selektionsudstyr, der sikrer, at dette er tilfældet.

Foder blandes i stationære fuldfoderblandere enten automatisk fra påslag eller foderkøkken, eller manuelt. Der kan anvendes en hængebanevogn eller et foderbånd til automatisk udfodring. Fodret skal kunne aflæsses automatisk fra den stationære blander over i udfodringsudstyret (hængebanevogn eller foderbånd).

Der skal anvendes selektionsudstyr for at sikre, at kørerne inddeles i to eller flere fodringshold. Der kan anvendes eksisterende udstyr, eller der kan investeres i nyt udstyr, som er tilskudsberettiget. Hvert fodringshold skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov.

Specifikationer. Teknologien skal anvendes til malkekvæg. Udfodring skal ske med fuldfoder. Fuldfoder skal være baseret på mindst 2 slags ensilage og mindst 2 slags tørre foderråvarer. Disse skal udgøre variationer i fuldfoderblandingsindhold af råprotein. Fodringsholdene skal være fysisk adskilte og hvert fodringshold skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov. Foderet blandes i en stationær fuldfoderblander. Hængebanevognen eller foderbåndet skal kunne fyldes automatisk fra fuldfoderblanderen. Den stationære fuldfoderblander fyldes automatisk eller manuelt fra påslagene.

Ved fuldfoderblandere, der fyldes automatisk, skal der gøres brug af enten påslag eller foderkøkken med felter til de forskellige partier af ensilage og tørre foderråvarer.

Teknologien kan ikke kombineres med teknologi 2.1 - 2.4 eller 2.6.

Obligatoriske elementer. Hængebanevogn eller et foderbånd til automatisk udfodring og en stationær foderblander. En fuldfoderblander pr. fodringshold (mindst 2).

Valgfrie elementer. Påslag til mindst 2 slags ensilage og til mindst 2 slags tørre foderråvarer, tørstofmåler som er påmonteret fuldfoderblanderen.

Standardmiljøeffekt: Hængebanevogn/foderbånd sammen med stationær foderblander

Standardmiljøeffekten for Udstyr til automatisk udfodring med fuldfoder til forskellige fodringshold til malkekøer er angivet i Tabel 2.6. Levetiden er sat til 10 år. Forudsætninger for effekten er fodersammensætning og foderforbrug som beskrevet i normtal for husdyrgødning 2020/2021 (Børsting et al., 2021) ved én gang daglig udfodring typisk af samme foderblanding til alle malkende køer.

Tabel 2.6: Standardmiljøeffekt for hængebanevogn/foderbånd sammen med stationær foderblander

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH ₃ -N/m ² produktionsareal
2.5	Hængebanevogn/foderbånd sammen med stationær foderblander	10	Malkekøer	0,16

2.6 Foderrobot

Automatisk fodring med fuldfoder ved brug af en foderrobot kan dels give en forbedret næringsstofudnyttelse ved, at der laves hyppig udfodring, dels er der mulighed for, at der gennem fasefodring kan fodres med flere forskellige rationer, der er tilpasset til køernes behov i forhold til ydelsesniveau og laktationsstadium. I besætninger med automatisk udfodring vil der være positiv effekt af hyppige udfodringer i form af reduceret foderforbrug og reduceret proteinindhold i foderet, idet risikoen for varmt foder, hvor energien og proteinet nedbrydes, minimeres. Stalden skal være indrettet, så der samtidigt kan hentes en effekt ved at fodre med rationer med forskelligt indhold af energi og protein til hold af køer, der er inddelt efter deres ydelsesniveau og laktationsstadium. Som gennemsnit for stalde med forskellig indretning anslås der en besparelse på ca. 5 % på forbruget af fodertørstof. Det

antages, at der desuden kan spares ca. 2 % på foderets gennemsnitlige indhold af råprotein. Effekterne er dog ikke dokumenteret i forsøg. Den årlige standardmiljøeffekt per areal ($\text{kg NH}_3\text{-N år}^{-1} \text{ m}^{-2}$ produktionsareal) er beregnet ud fra et areal på 8 m^2 per staldplads og emissionsværdierne per ko angivet af Kai et al. (2019).

Det giver bedre sikkerhed for den tilsigtede effekt at supplere udstyret med en tørstofmåler. Denne skal anvendes for at følge op om fuldfoderblandingerne har det forventede tørstofindhold, og i givet fald justere især ensilageandelen tilsvarende.

Kørerne skal kunne inddeles i to eller flere fodringshold. Hvert fodringshold skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov. Hvis ikke stalden allerede er indrettet, så kørerne uden ekstra udstyr kan komme tilbage til deres eget fodringshold, skal der investeres i selektionsudstyr, der sikrer, at dette er tilfældet.

Der anvendes en robot, der skal kunne blande foderet, efter det automatisk er påfyldt fra påslagene eller foderkøkken med felter, dvs. at blanderen skal kunne programmeres til at blande og udfodre forskellige fuldfoderblandinger på fastlagte tidspunkter, uden at det kræver manuel betjening på de fastlagte tidspunkter. Foderet læsses automatisk f.eks. ved hjælp af grab, snegle eller foderbånd. Der skal være påslag eller foderkøkken til mindst 2 slags ensilage og til mindst 2 slags tørre foderråvarer. Disse skal anvendes i relevante kombinationer, så de 2 eller flere fuldfoderblandinger, der skal anvendes, har forskelligt indhold af råprotein. Robotten drives og styres automatisk til de enkelte dyregrupper.

Der anvendes selektionsudstyr for at sikre, at kørerne inddeles i to eller flere fodringshold. Der kan anvendes eksisterende udstyr, eller der kan investeres i nyt udstyr, som er tilskudsberettiget. Hvert fodringshold skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov.

Specifikationer. Teknologien skal anvendes til malkekvæg. Udfodring skal ske med fuldfoder. Fuldfoder skal være baseret på mindst 2 slags ensilage og mindst 2 slags tørre foderråvarer. Disse skal udgøre variationer ift. fuldfoderblandingsens indhold af råprotein. Fodringsholdene skal være fysisk adskilte og hvert fodringshold skal fodres med hver deres fuldfoderblanding tilpasset køernes behov. Der gøres brug af enten påslag eller foderkøkken med felter til de forskellige variationer af ensilage og tørre foderråvarer.

Teknologien kan ikke kombineres med teknologi 2.1 - 2.5.

Obligatoriske elementer.

En foderrobot, der kan blande og udfodre fuldfoderet efter det automatisk er påfyldt fra påslagene.

Valgfrie elementer. Påslag til mindst 2 slags ensilage og til mindst 2 slags tørre foderråvarer, tørstofmåler som er påmonteret fuldfoderblander.

Standardmiljøeffekt: Foderrobot

Standardmiljøeffekten for foderrobot til automatisk udfodring med fuldfoder til forskellige fodringshold til malkekøer er angivet i Tabel 2.7. Levetiden er sat til 10 år. Forudsætninger for effekten er fodersammensætning og foderforbrug som beskrevet i normtal for husdyrgødning 2020/2021 (Børsting et al., 2021) ved én gang daglig udfodring typisk af samme foderblanding til alle malkende køer.

Tabel 2.7: Standardmiljøeffekt for foderrobot

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH ₃ -N/m ² produktionsareal
2.6	Foderrobot	10	Malkekøer	0,16

2.7 Etablering af miljøgulve i eksisterende stalde

Sengestalde med drænet fast gulv med ajleafløb og gødningsskraber er i udgangspunktet karakteriseret ved, at gulvet i gangarealerne er udført med drænet fast gulv med 1-3 % fald mod ajledræn i gangens længdeakse (Guldborg et al., 2022). Alternativt er gulvet udført med spalteåbninger på tværs af gulvets længderetning. Denne løsning kan være spaltegulvselementer oven på en gyllekanal. Lysningsarealet til eventuelt underliggende gyllekanal må maksimalt være 5 % af gangarealet. Afløbsprincippet bygger på, at der er mulighed for at lave en løsning, der samtidig kan fjerne den faste gødning enten løbende med skrabning af gulvet, i langsgående afleveringsåbninger eller ved hyppige afleveringer på tværs af gulvet. En mekanisk gødningsskraber skraber overfladen af gulvet 12 gange i døgnet. Gødningen skrabs hen til en tværkanal, som typisk ligger i enden af stalden, hvorfra gyllen pumpes til gyllebeholder. Hvis gangene er meget lange, kan der etableres flere tværkanaler for at undgå, at skraberens skal medbringe for meget gødning, hvilket øger risikoen for tilsvinning af dyrenes ben.

Drænet fast gulv vil ofte kunne etableres i eksisterende sengestalde med spaltegulv med ringkanal, spaltegulv og kanal med linespilsanlæg. I figur 2.1 er vist et eksempel, hvor et præfabrikeret fast drænet gulv ligger på en ringkanal eller en kanal med linespil. Der findes andre gulvtyper i form af gummigulve, overstøbning af spaltegulv el. lign, som på tilsvarende vis kan implementeres i eksisterende stalde. Den ammoniakreducerende effekt af miljøgulve er fastlagt til 23% (Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsen, 2024). Det afgørende i forhold til at opnå miljøeffekten er, at gulvet lever op til de specifikationer, som er beskrevet i driftssystembeskrivelsen for "Sengebåsestalde med drænet fast gulv med ajleafløb og gødningsskraber" (Guldborg et al., 2022).



Figur 2.1: Præfabrikeret drænet fast gulv med tværgående spalter til løbende aflevering af gødning under skrabning samt kontinuerlig dræning af ajle mellem skrabninger. Gulvet ligger på en ringkanal eller kanal med linespil.

Specifikationer. Udskiftning af gulve til miljøgulve. Teknologien kan anvendes i staldafsnit med malkekøer. Gulvet skal være i overensstemmelse med driftssystembeskrivelsen for "Sengebåsestalde med drænet fast gulv med

ajleafløb og gødningsskraber" (Guldborg et al., 2022). Gulvet skal placeres i koens gangarealer og kan placeres i drivgange og skal have 1-3 % fald mod ajledræn i gangens længdeakse. Lysningsarealet til eventuelt underliggende gyllekanal må maksimalt være 5 % af gangarealet. Gødningsskraberen skal være automatisk, forsynet med timer og tilpasset gulvets udformning og hældning. Gødningsskraberen kan være stationær skraber eller i form af en robotskraber. Det drænede faste gulv skal skrubes 12 gange i døgnet.

Obligatoriske elementer. Udskiftning af gulve til miljøgulve. Miljøgulv i form af drænet fast gulv med ajleafløb og gødningsskraber, der kan etableres i eksisterende sengebåsestalde (bl.a. præfabrikeret betongulve, gummigulve og overstøbning af spaltegulv). Stationær automatisk skraber eller robotskraber. Timer eller anden form for styring, der er sikrer at gulvet bliver skrabet 12 gange i døgnet.

Standardmiljøeffekt: Etablering af miljøgulve i eksisterende stalde

Standardmiljøeffekten for udskiftning af gulve til miljøgulve er angivet i tabel 2.8. Levetiden for drænet fast gulv med ajleafløb og gødningsskraber er sat til 25 år (Guldborg et al., 2022).

Tabel 2.8: Standardmiljøeffekt for etablering af miljøgulve i eksisterende stalde

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH ₃ -N år ⁻¹ m ⁻² produktionsareal
2.7a	Etablering af miljøgulve, malkekøer/kvier	25*	Malkekøer/kvier	0,27
2.7b	Etablering af miljøgulve, slagtekalve	25*	Slagtekalve	0,21

* For gummigulve skønnes levetiden at være 10 år.

2.8 Luftrensning

Lely Sphere er en nyudviklet nederlandsk miljøteknologi rettet mod kvægstalde med spaltegulv (figur 2.2). Systemet består af kemiske luftrensere, som monteres med indstik til gyllekanalerne i stalden. For at sikre at alle gyllegasser i gyllekanalerne ledes gennem luftrenseren, monteres der metal-spaltestrimler med huller i alle gulvspalter. Strimlerne bevirker samtidig, at ajlen drænes til gyllekanalen under spaltegulvet, mens den faste gødning efterlades på gulvet. En gødningsrobot fjerner den faste gødning fra gulvet og befugter samtidig gulvet med vand. Teknologien er optaget med en ammoniakreducerende effekt på 66 % på SGAV's teknologiliste (SGAV, 2025), hvilket benyttes som grundlag for beregning af standardmiljøeffektiviteten i nærværende rapport.





Figur 2.2. Øverst tv: Spaltestrimler med huller for dræning af ajele til gyllekanal. Øverst th: Gødningsrobot fjerner gødning afsat på gulvet. Nederst tv: Kemisk luftrenser monteret med indstik til gyllekanal. Nederst th: Silo for opbevaring af gødningskoncentrat fra luftrenser.

Specifikationer. Systemet kan benyttes i sengebåsestalde med spaltegulv. I spaltegulvets spalter monteres separationsstrimler med indlagte huller ((30-40 stk. Ø6-10 mm per m² gulv) for kontinuerlig dræning af ajele til underliggende gyllekanal. Gødning afsat på gulvet fjernes ved hjælp af en gødningsrobot, der er udstyret med en sugeenhed og en gødningsskraber, der kører hen over gulvet. Gulvet skal rengøres gennemsnitligt hver anden og mindst hver tredje time. Gødningsrobotten afleverer gødningen i et eller flere dumpingsteder i gulvet. Gødningsrobotten sprayer vand foran og bagved robotten med en gennemsnitlig ydelse på 3 liter/minut (ligeligt fordelt mellem for og bag). Der monteres et passende antal kemiske luftrensere med indstik under gulvniveau til gyllekanalerne. Hver luftrenser har en kapacitet på 12.000 m³ luft per time og fungerer ved at filterblokke overrisles med syreopløsning med en pH-værdi mellem 2 og 2,5 og i en mængde på 4 m³/time. Ventilationsydelsen af guldugsugning skal være mindst 30 m³ luft/time per m² spaltegulv svarende til minimum én luftrenser á 12.000 m³/time per 400 m² spaltegulv.

Obligatoriske elementer. Separationsstrimler med huller til montering i staldens gulvspalter, gødningsrobot (Lely Discovery Collector), kemisk luftrenser (Lely Sphere N-Capture) inkl. syretank, silotank til opbevaring af gødningsvand fra luftrenser.

Standardmiljøeffekt: Luftrensning

Standardmiljøeffekten ovennævnte luftrensningssystem er angivet i tabel 2.9. Levetiden er vanskelig at fastsætte, da teknologien består af flere komponenter, som kan have forskellige levetider. I nærværende rapport er levetiden skønnet til 10 år.

Tabel 2.9: Standardmiljøeffekt for luftrensning.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Dyregruppe	Årlig standardmiljøeffekt kg NH ₃ -N år ⁻¹ m ⁻² produktionsareal
2.8a	Luftrensning, malkekøer/kvier	10	Malkekøer/kvier	0,77
2.8b	Luftrensning, slagtekalve	10	Slagtekalve	0,60

Referencer

Bligaard, H. B. og F. Strudsholm. 2010. Højere N-udnyttelse hos malkekøer gennem fasefodring og ændret fodringsmanagement. Rapport fra Agrotech, 21 sider.

Børsting, C.F., A.L.F. Hellwing, M.T. Sørensen, P. Lund, M.V.D. Heide, S.H. Møller, P. Kai, T. Nyord, O. Aaes, E. Clausen, P. Tybirk, M. Holm, M.N. Hansen, H.B. Jensen & H. Bækgaard. 2021. Normtal for husdyrgødning. DCA-Rapport nr. 191.

Guldborg, L.B., P. Kai & B.H. Jacobsen. 2022. Malkekøer, kvier og stude: Sengebåsestalde med drænet fast gulv med ajleafløb og gødningsskraber - Driftssystembeskrivelse udarbejdet som grundlag for revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 27 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.

Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsen, 2024. Bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug mv., BEK nr. 1089 af 16/10/2024, <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2024/1089>.

Kai, P., A.P.S. Adamsen, M.L. Jensen, P. Kasper og A. Feilberg. 2017. Ammonia from Danish cubicle barns for dairy cows – Effect of floor type and manure scraping. DCA report No. 110. Aarhus Universitet, 59 pp.

Kai, P., Sørensen, J.N., Melander, B., Ottosen, C.-O., Børsting, C.F., Bertelsen, M.G., Petersen, K.K., Jensen, P.K. 2019. Faglig redegørelse vedrørende teknologiliste 2019 til brug i forbindelse med ordningen om tilskud til investeringer i nye miljøteknologier. Rapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 55 pp.

Kai, P. & B.H. Jacobsen. 2022. Svovlsyreforsuring af gylle i kvægstalde – Teknologibeskrivelse udarbejdet som grundlag af revidering af Husdyrgodkendelsesbekendtgørelsens BAT-krav. 15 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.

SGAV 2025. Teknologiliste. <https://sgavmst.dk/skovbrug-og-landbrug/landbrug-og-husdyrbrug/teknologilisten>. Siden besøgt 3. marts 2025.

Indsatsområde 3: Reducere pesticidforbruget i planteavl

Forfatter: Michael Nørremark, Institut for Elektro- og Computerteknologi, Operations Management, AU

Oversigt over kombinationer af afgrøde- og plantebeskyttelsesmiddelkategorier.

Miljøeffekten for en given teknologi er angivet i enheden $B \text{ ha}^{-1}$, hvor B er et udtryk for fladebelastningen. Fladebelastningen er beregnet på grundlag af viden om de enkelte aktivstoffers miljøegenskaber. Arealet vedrører det areal teknologien anvendes på og har effekt på, det vil sige dyrkningsareal for de enkelte afgrøder/afgrødetyper som angivet i Miljøstyrelsens bekæmpelsesmiddelstatistik for årene 2014 til og med 2018. Miljøeffekten for de enkelte teknologier er beregnet på baggrund af mængden af solgte plantebeskyttelsesmidler (Miljøstyrelsen 2014, 2015, 2016, 2017, 2018) hvor fladebelastningen for ukrudtsmidler, svampemidler, vækstbehandlingsmidler og insektmidler er angivet for forskellige afgrødetyper. Fladebelastning for glyphosat er angivet som anvendelse mellem to afgrøder på arealer i omdrift. Der er udregnet fladebelastning for kombinationer af ovennævnte plantebeskyttelsesmiddelkategorier og afgrøder i forbindelse med udregning af standard miljøeffekt for de enkelte pesticidreducerende teknologier. I beregningerne indgår det samlede areal for afgrødekategorier, som oplyst i Miljøstyrelsens bekæmpelsesmiddelstatistik for årene 2014 til og med 2018. En analyse for de forskellige afgrødekategorier i Miljøstyrelsens bekæmpelsesmiddelstatistik for årene 2019 og 2020 viser at opgørelserne ligger inden for minimum og maksimum for årene 2014-2018. Det er derfor umiddelbart vurderet at de beregnede fladebelastninger per ha per år for kombinationerne af afgrøde- og plantebeskyttelsesmidler i tabel 3.1 er retvisende.

Tabel 3.1 herunder viser de gennemsnitlige fladebelastninger for relevante kombinationer af afgrøder og plantebeskyttelsesmiddelkategorier, som er anvendt i beregningerne af de enkelte teknologiers standard miljøeffekt under afsnit 3. Fladebelastninger i tabel 3.1 er vægtet i forhold til arealanvendelse for de kombinationer hvori der indgår flere afgrødekategorier, da teknologier i et vist omfang kan anvendes i flere afgrøder.

Tabel 3.1: Oversigt over kombinationer af afgrøde- og plantebeskyttelsesmiddelkategorier for årene 2014 til og med 2018. Opgørelserne er udledt på baggrund af salgstal, fladebelastninger og arealanvendelse for afgrødekategorier oplyst i Miljøstyrelsens bekæmpelsesmiddelstatistikker.

	År					
	2014	2015	2016	2017	2018	
	Fladebelastning, B ha ⁻¹ år ⁻²					Gns.
Glyphosat	0,05	0,07	0,07	0,10	0,08	0,074
Alle afgrøder (alle plantebeskyttelsesmidler excl, glyphosat)	1,56	2,06	1,45	1,78	1,84	1,739
Korn (ukrudtsmidler excl, glyphosat)	0,43	0,67	0,48	0,46	0,63	0,533
Majs, roer, bælgæd, raps og frø (ukrudtsmidler excl, glyphosat)	0,84	0,91	0,95	0,97	1,08	0,949
Alle afgrøder (ukrudtsmidler excl, glyphosat)	0,48	0,72	0,58	0,60	0,76	0,631
Korn (ukrudts-, svampe- og vækstreguleringsmidler excl, glyphosat)	1,49	1,92	1,14	1,41	1,29	1,450
Alle afgrøder (alle plantebeskyttelsesmidler incl, glyphosat)	0,53	0,79	0,65	0,70	0,84	0,704
Korn, raps, frø og bælgplanter (ukrudtsmidler)	0,53	0,74	0,60	0,58	0,73	0,634
Kartofler (ukrudtsmidler)	1,05	3,76	2,70	3,66	4,70	3,174
Kartofler (svampemidler) og korn (svampe- og insektmidler)	1,11	1,34	0,74	1,09	0,97	1,049
Majs og roer (ukrudtsmidler)	0,55	0,68	0,57	0,67	0,87	0,668
Roer (ukrudtsmidler)	1,72	2,51	1,70	1,79	2,37	2,018
Roer og raps (ukrudtsmidler)	1,40	1,29	1,41	1,44	1,27	1,387
Majs (ukrudtsmidler)	0,31	0,38	0,33	0,42	0,55	0,398
Majs, roer, kartofler, frø, raps (alle plantebeskyttelsesmidler)	1,48	2,11	2,02	2,32	2,49	2,082
Majs, roer, raps (ukrudtsmidler)	0,877	0,88	0,91	1,00,0	0,98,	0,913

3.1 Sektions- eller dyseafblænding i kombination med pletsprøjtning

Dobbelt dosering, dvs. overlap, på marker ved forland og i kiler minimeres med automatisk lukning af et antal sektioner eller dyser på en sprøjtebom. Med GNSS baseret sektionslukning af mindre sektioner af dyser på sprøjtebommen reduceres overlap i marker væsentligt, mens enkelt dyse lukning næsten eliminerer overlap. Der må forventes store forskelle i besparelspotentialer, idet markpolygoner strækker sig fra regulære firkantede marker uden remiser til irregulære marker med remiser, elmaster etc. (Larson et al., 2016). De fleste danske landbrug vil have mange marker og marker, som typisk vil variere imellem de to nævnte ekstremer. Det skønnes derfor, at en gennemsnitlig pesticidreduktion på 7 % vil være repræsentativ under danske forhold, og ud fra markedsførte teknologier, samt på baggrund af udenlandske forsøgsresultater af registrering af overlap ved henholdsvis manuel og automatisk lukning af 5 ens sektioner på en 24,8 m bred sprøjtebom (Luck et al., 2009, Kaivosoja og Linkolehto, 2016).

Ovennævnte sprøjte teknik på sprøjtebomme kan opgraderes til at foretage automatisk tænd og sluk for sprøjte væske i sektioner på basis af forudgående kortlægning. Teknologien vil sandsynligvis være mest udbredt for bekæmpelse af flerårigt ukrudt i korn før høst eller i stub, men metoden kan også anvendes for stedspecifik bekæmpelse af de øvrige skadegørere. Med udgangspunkt i automatisk tænd/sluk på marksprøjter for stedspecifik bekæmpelse af flerårigt ukrudt i korn før høst og i stub, er der vurderinger foretaget under danske forhold der viser at typisk ukrudtsdækning for flerårigt ukrudt på behandlingskrævende marker udgør op til 20 % af arealet (Rasmussen et al., 2016; Fabricius et al., 2021; Petersen et al., 2021). Flerårigt ukrudt forekommer i stedspecifikke klynger (Donald 1994; Hansen, 2001), og bør bekæmpes, inden ukrudtsarterne for alvor breder sig i marken. De

potentielle glyphosat-besparelser er vurderet til at udgøre ca. 80 % ved bekæmpelse af flerårigt ukrudt før høst i korn og i stub. Såfremt markerne behandles med en sprøjte, hvor hver dyse tændes og slukkes uafhængigt af de øvrige, vil der kunne opnås den højeste besparelse. Ved kortlægningsservice forstås enten ekstern producent eller egen udarbejdelse af digitale tildelingskort som kan anvendes i sprøjteterminaler.

Med indtegnning af områder med ukrudt på et kort som kan læses af en sprøjteterminal, vil sprøjtning udføres automatisk i disse områder, samtidig med at overlap i forland og i kiler minimeres ved, at udstyret automatisk henholdsvis tænder og slukker enten et antal sektioner på sprøjtebommen eller hver enkelt dyse. Marksprøjter til disse formål er udstyret med en sprøjtebom med enkeltdyse-afblænding eller sektions-afblænding. Følgende krav stilles for at opnå tilstrækkelig bomsektionsbredde ift. beregnet miljøeffekt: Bomsektionsbredde skal være <5 m i gennemsnit af alle sektioner, og der skal være mindst fem bomsektioner på en sprøjtebom. Sprøjtebommen skal have en arbejdsbredde på minimum 15 meter. Årsagen for disse krav illustreres ved disse to eksempler. Der skal være mindst 5 sektioner på en marksprøjte med 15 m arbejdsbredde. Dvs. sektionerne bliver 3 m (ved ens sektionsbredde), altså opfyldes kravet om sektionsbredde <5 m. For en marksprøjte med 36 m arbejdsbredde med 5 sektioner bliver sektionsbredden > 5 m (ved ens sektionsbredde), dvs. at den ikke opfylder kravene. Der skal således flere sektioner på en marksprøjte med 36 m arbejdsbredde for at opnå miljøeffekten.

Specifikationer. Udstyret kan monteres som ekstraudstyr på ny eller eksisterende sprøjte. Sprøjten skal være udstyret med en sprøjtebom med enkeltdyse-, enkeltforstøver- eller sektionsafblænding (<5 m bomsektionsbredde i gennemsnit af alle sektioner ved mindst fem sektioner) for overlapreduktion. Minimumskravet for pletsprøjtning er afblænding på bomsektionsniveau og skal kunne pletsprøjte på baggrund af digital kortlægning som skal kunne læses og udføres af software og hardware på henholdsvis terminal og marksprøjte. Sprøjten skal være udstyret med RTK-GNSS baseret elektronisk styring af sektions-, forstøver- eller dyseafblænding ved overlap, og være udstyret med en sprøjtebom med en arbejdsbredde på minimum 15 meter. Der skal være enten en traktorintegreret (ISOBUS) terminal, eller ekstern terminal enhed til styring af marksprøjten, og som har tilstrækkelig kapacitet mht. datamængde for at kunne håndtere overlapreduktion og pletsprøjtning samtidigt. Denne teknologi kan ikke kombineres med teknologi 3.2, 3.3 og 3.4

Teknologien skal anvendes på én af følgende afgrødekoder: 1-11, 13-18, 21-25, 30-32, 35, 36, 40-42, 51-58, 101-118, 120-126, 149-152, 154-156, 160-162, 180, 182, 210-2187, 220-224, 230, 234-235, 701-711, 280-283

Obligatoriske elementer. RTK-GNSS baseret elektronisk styring af on/off flow på sektions-, forstøver- eller dyseniveau for overlapreduktion. RTK-GNSS baseret elektronisk styring af on/off flow på bom-, sektions-, forstøver- eller dyseniveau for pletsprøjtning.

Valgfrie elementer. RTK-GNSS modtager og antenne, som skal være af RTK-GNSS-typen for høj nøjagtighed. Terminal/skærm med tilstrækkelig kapacitet mht. datamængde for at kunne håndtere overlapreduktion og pletsprøjtning samtidigt. Dyseanordninger, forstøveranordninger, ventiler, slanger, og/eller rør.

Standardmiljøeffekt: Sektions- eller dyseafblænding i kombination med pletsprøjtning

Standardmiljøeffekt af autostyring og sektionsafblænding af sprøjter i kombination med on/off tildeling ud fra kortlægningsservice er beregnet som pesticidreduktion i forhold til fladebelastningen (B) opgivet med enheden

B ha⁻¹ i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014-2018 (Miljøstyrelsen 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene på 1,739 B ha⁻¹ for alle landbrugsafgrøder og sprøjtemidler anvendt i afgrøde-grupperne; korn (vintersæd og vårsæd), raps, frø, kartofler, roer, bælgeplanter og majs. For glyphosat er gns. fladebelastning på 0,074 B ha⁻¹ anvendt i beregningerne. Ovennævnte vurderinger af reduceret overlap og reduktion af glyphosat i procent udgør således samlet set reduktion i fladebelastning på 0,18 B ha⁻¹ om året (tabel 3.2).

Tabel 3.2: Standardmiljøeffekt for sektions- eller dyseafblænding i kombination med pletsprøjtning.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha ⁻¹ år ⁻²
3.1	Sektions- eller dyseafblænding i kombination med pletsprøjtning	10	Alle afgrøder (majs, roer, kartofler, raps, bælgeplanter, korn, frø) (glyphosat-anvendelse mellem to afgrøder på omdriftsarealet)	0,18 ved 7 % reduktion i plantebeskyttelsesmidler for alle afgrøder og 80 % glyphosat reduktion

3.2 Dobbelt tanksystem og dyse-linjer for pletsprøjtning og gradueret tildeling af plantebeskyttelsesmidler som tankblandinger i kombination med sektions- eller dyseafblænding

Autostyring og sektions-/dyse-/forstøver afblænding af sprøjter i kombination med on/off tildeling (pletsprøjtning) ud fra kortlægningservice er forklaret under sektion 3.1. Gradueret (variabel) tildeling af plantebeskyttelsesmidler ud fra kortlægningservice er en metode til at foretage en sprøjtning med et givet effektniveau, hvor doseringen af en række plantebeskyttelsesmidler tilpasses afgrødens udvikling, ukrudtsarter og ukrudtstæthed. Variabel tildeling er afprøvet bekæmpelse af akkssygdomme i vinterhvede ved skridning som viste signifikant vekselvirkning mellem dosis/respons og afgrødeudvikling (Jensen & Jørgensen, 2016). Ved den lave afgrødetæthed blev der opnået maksimal effekt ved en lav indsats af svampemiddel, mens der ved den høje afgrødetæthed blev opnået stigende svampbekæmpelse med stigende dosering. I forsøg af Whetton et al. (2018) var det muligt at reducere anvendt svampemiddel med 22-26 % i vinterhvede.

Graduering af vækstregulering (+/- 25 % af normal praksis dosering) i korn har vist enten let øget eller uændret udbytte (Griffin og Hollis, 2017; Thorsted, 2021). Thorsted (2019) har i et enkelt sribeforsøg vist at henholdsvis reduktion og forøgelse af vækstreguleringsmiddel med 25 % i vinterhvede er muligt uden udbyttetab, mens der på samme mark blev udført graduering på baggrund af satellitdata hvor der udover uændret udbytte ift. ensartet dosering, også blevet fundet signifikant mindre omfang af lejesæd i sammenligningen (Thorsted, 2021). Griffin og Hollis (2017) har på nogle vinterhvedemarken og i sribeforsøg fundet en mindre udbyttetigning som følge af +/-20 % graduering af vækstreguleringsmidler ud fra satellitdata, men desværre ingen oplysninger om samlet reduktion i vækstreguleringsmidler.

For at minimere antallet af overkørsler, kombineres sprøjtning mod svampesygdomme og vækstregulering i korn, hvor enten injektionssprøjter eller flertankssystemer er nødvendige for at udføre disse kombinerede sprøjtninger som behovsbestemt og/eller som pletsprøjtning (~on/off). Det gælder også for behovsbestemt ukrudtssprøjtning

på artsniveau. Der kan være behov for et forskelligt mix af midler afhængigt af ukrudtsarternes spredning og tæthed på marker.

Ukrudtskortlægning og stedspecifik herbicidsprøjtning har resulteret i 23 %-89 % herbicid besparelser i en række af i alt 65 markforsøg med korn, majs, sukkerroer og ærter uden at forårsage tab af afgrødeudbytte og merudgifter til ukrudtsbekæmpelse i de efterfølgende år (Berge et al., 2012; Christensen et al., 2009; Gerhards & Oebel, 2006; Petersen et al., 2021). I forsøgene blev besparelser i ukrudtsmidler beregnet og i nogle forsøg også realiseret ved dels at slukke for bomsektioner ud fra udbyttedmæssige tærskelværdier for ukrudt og dels ved at graduere doseringen af ukrudtsmidler i forhold til sammensætningen af ukrudtsarter på markniveau og stedspecifik ukrudtstæthed. Behovet for ukrudtsmidler kan reduceres yderligere, hvis det udover at være stedspecifik, suppleres med opgørelse af de enkelte ukrudtsarter (Wiles, 2009). Graduering og pletsprøjtning med en tankblanding af ukrudtsmidler har i et forsøg resulteret i at 37 % af arealet i gennemsnit af 11 marker forblev ubehandlet (varierede mellem 2 %-89 %). Til sammenligning, så var resultatet af graduering og pletsprøjtning med tre forskellige tankblandinger af artsspecifikke ukrudtsmidler at 59 %-80 % af arealet forblev ubehandlet, afhængig af ukrudtsart (Gutjahr et al., 2012). Wiles (2009) konkluderede at størstedelen af besparelser for ukrudtsmidler opnås ved graduering og eller pletsprøjtning med to separate tankblandinger af ukrudtsmidler, men dette afhænger naturligvis af lokale forhold.

Et dansk stribeforsøg har påvist reduktion i ukrudtsmidler i roer med injektionssystem, hvor behovet for graderet doseringer af hvert enkelt ukrudtsmiddel blev fastlagt enten efter registreringer i marken eller via en billedbehandlingsmetode. Der blev opnået reduktion i ukrudtsmidler på 10 %, men hvor doseringer for to ud af fire ukrudtsmidler var holdt høje og med lille interval for variabel dosering for at sikre effekt (Pedersen et al., 2004). Et andet eksempel på optælling af ukrudt forud for ukrudtssprøjtning er punkter i et grid. Kortlægning af ukrudtstæthed og arter var udgangspunkt for opnåelse af 29 % reduktion i forbruget af ukrudtsmidler som følge af graduering, og hvor udbytteforskel fra året før som følge af on/off sprøjtning var elimineret i en det andet dyrkningsår med hvede (Carrara et al., 2004).

Med indtegnning af områder med graderet doseringer af tankblandinger og ubehandlet (pletsprøjtning) på et kort som kan læses af en sprøjteterminal (i nogle tilfælde nødvendigt med to terminaler), vil sprøjtning og dosering udføres automatisk i disse områder, samtidig med at overlap i forland og i kiler minimeres ved, at udstyret automatisk henholdsvis tænder og slukker enten et antal sektioner på sprøjtebommen eller hver enkelt dyse, samt kan variere dosering på enten bom-, sektions- eller dyseniveau.

Specifikationer. Marksprøjter til formålet er udstyret med front- eller flertanks system for tankblandinger af plantebeskyttelsesmiddel eller midler, samt dobbelt dyselinje (dvs. to dyselinjer). Desuden er marksprøjter til formålet udstyret med en sprøjtebom med enkeltdyse-, enkeltforstøver-, eller sektionsafblænding (<5 m bomsektionsbredde i gennemsnit af alle sektioner ved mindst fem sektioner) for overlapreduktion. Minimumskravet for pletsprøjtning er afblænding på bomsektionsniveau og skal kunne pletsprøjte på baggrund af digital kortlægning som skal kunne læses og udføres af software og hardware på henholdsvis terminal og marksprøjte. Minimumskravet for graderet tildeling er regulering af dosis på bomniveau og skal kunne graduere på baggrund af digital kortlægning som skal kunne læses og udføres af software og hardware på henholdsvis terminal og marksprøjte.

Sprøjten skal være udstyret med RTK-GNSS baseret elektronisk styring af sektion-, forstøver- eller dyseafblænding ved overlap, og være udstyret med en sprøjtebom med en arbejdsbredde på minimum 15 meter. Elementerne kan eftermonteres på eksisterende sprøjteudstyr. På nye sprøjter er det ekstraudstyr. Der skal være enten en traktorintegreret (ISOBUS) terminal, eller ekstern terminal enhed til styring af marksprøjten og som har tilstrækkelig kapacitet mht. datamængde for at kunne håndtere overlapproduktion, pletsprøjtning og gradueret tildeling samtidigt.

Teknologien skal anvendes på én af følgende afgrødekoder: 1-11, 13-18, 21-25, 30-32, 35, 36, 40-42, 51-58, 101-118, 120-126, 149-152, 154-156, 160-162, 180, 182, 210-2187, 220-224, 230, 234-235, 701-711, 280-283

Obligatoriske elementer: Front- eller flertanks system for tankblandinger af plantebeskyttelsesmiddel eller midler, samt dobbelt dyselinje. RTK-GNSS baseret elektronisk styring af on/off flow på sektion-, forstøver- eller dyseniveau for overlapproduktion. Overlapproduktion skal fungere for samtlige dyse-/forstøverlinjer. RTK-GNSS baseret elektronisk styring af pletsprøjtning (on/off) dosering på sektion-, dyse- eller forstøverniveau og variabel (gradueret) dosering på bom-, sektion-, dyse- eller forstøverniveau. Overlapproduktion, pletsprøjtning og gradueret tildeling skal fungere samtidigt. Doseringen skal kunne varieres (gradueres) som enten flow-/trykregulering, dyse-skift, eller PWM-dyser.

Valgfrie elementer: RTK-GNSS modtager og antenne, som skal være af RTK-GNSS-typen for høj nøjagtighed. Terminal/skærm med tilstrækkelig kapacitet mht. datamængde for at kunne håndtere overlapproduktion og pletsprøjtning samtidigt. Dyseanordninger, forstøveranordninger, ventiler, slanger, og/eller rør.

Standardmiljøeffekt: Dobbelt tanksystem og dyse-linjer for pletsprøjtning og gradueret tildeling af plantebeskyttelsesmidler som tankblandinger i kombination med sektion- eller dyseafblænding

Standardmiljøeffekt af autostyring og sektionafblænding af sprøjter i kombination med on/off og variabel tildeling ud fra kortlægningsservice er beregnet som pesticidreduktion i forhold til fladebelastningen (B) opgivet med enheden $B\ ha^{-1}$ i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014-2018 (Miljøstyrelsen 2014-2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene på $1,739\ B\ ha^{-1}$ for alle landbrugsafgrøder og plantebeskyttelsesmidler anvendt i afgrøde-grupperne; korn (vintersæd og vårsæd), raps, frø, kartofler, roer, bælgeplanter og majs ved beregninger for sektion- eller dyseafblænding. For pletsprøjtning med glyphosat er gns. fladebelastning på $0,074\ B\ ha^{-1}$ anvendt i beregningerne. For beregninger af effekt for variabel tildeling er der taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene på $1,450\ B\ ha^{-1}$ for ukrudts-, vækstregulerings-, og svampe-midler i korn (vintersæd og vårsæd). På baggrund af de ovennævnte forsøgsresultater vurderes pesticidreduktionen som minimum at antage 20 % for behovsbestemt og variabel tildeling, når de store variationer er taget i betragtning. Vurdering af reduktion i plantebeskyttelsesmidler udgør således samlet set en reduktion i fladebelastning på $0,46\ B\ ha^{-1}$ om året (tabel 3.3).

Tabel 3.3: Standardmiljøeffekt for dobbelt tanksystem og dyse-linjer for pletsprøjtning og gradueret tildeling af plantebeskyttelsesmidler som tankblandinger i kombination med sektions- eller dyseafblænding.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha ⁻¹ år ⁻²
3.2	Dobbelt tanksystem og dyse-linjer for pletsprøjtning og gradueret tildeling af plante-beskyttelsesmidler som tankblandinger i kombination med sektions- eller dyseafblænding	10	Alle afgrøder (majs, roer, kartofler, raps, bælgeplanter, korn, frø) (glyphosat-anvendelse mellem to afgrøder på omdriftsarealet)	0,46 ved 20 % reduktion i ukrudts-, vækstregulerings-, og svampemidler i korn, 7 % reduktion i plantebeskyttelsesmidler for alle afgrøder og 80 % glyphosat reduktion

3.3 Et-tanksinjectionssystem for pletsprøjtning og gradueret tildeling i kombination med sektions- eller dyseafblænding

Autostyring og sektions-/dyse-/forstøver afblænding af sprøjter i kombination med on/off tildeling (pletsprøjtning) ud fra kortlægningservice er forklaret under sektion 3.1. Gradueret (variabel) tildeling af plantebeskyttelsesmidler ud fra indlæsning af digitale tildelingskort er forklaret under sektion 3.2.

Specifikationer: Denne type af marksprøjter adskiller sig ved at der på marksprøjten er en hovedtank hvor en eller flere plantebeskyttelsesmidler tankblandes, samt en kemikalie-/injektionstank hvorfra der injiceres plantebeskyttelsesmiddel ind i et væskestregssystem, evt. med returløb til hovedtanken. Returløb til hovedtanken anbefales dog ikke, da doseringsforholdet under sprøjtningen ikke længere vil passe og der risikeres en mindre overdosering. Der er en injektionspumpe til at dosere det ekstra plantebeskyttelsesmiddel ind i sprøjtes væskestregssystem. Denne type af injektionssprøjtesystem kan anvendes enten ifm. pletsprøjtning eller gradueret sprøjtning. Ved at variere injektionspumpens hastighed ændres doseringen af det ekstra plantebeskyttelsesmiddel uafhængigt af væskemængde og dosering af tankblandingen. Væskestregssystemet på denne type marksprøjte med injektion skal sikre at opblandingen af det tilførte plantebeskyttelsesmiddel blandes tilstrækkeligt med sprøjte væsken der føres ud til dyser eller forstøvere. Dette kan bestå af enten en blandesløjfe hvor vandet ledes igennem sprøjtepumpen, hvor ventilerne i pumpen sikrer sammenblandingen., eller alternativt føres væsken gennem et opblandingsrør som sikrer en tilstrækkelig sammenblanding. bundfældning. For at undgå bundfældning og for at opretholde plantebeskyttelsesmidlets homogenitet skal kemi-/injektionsbeholder have indbygget omrøring. Injektionssystemet skal kunne reversere flow af plantebeskyttelsesmiddel fra lige før sammenblandingspunktet tilbage til kemi-/injektionsbeholderen. Dette for at minimere at den rest af plantebeskyttelsesmiddel som injektionssystemet indeholder anvendes til evt. over-/ekstradosering på et areal, eller sprøjtning uden et reelt behov for bekæmpelse, for at 'tømme' injektionssystemet. Marksprøjter med et-tanksinjectionssystem er udstyret med en sprøjtebom med automatisk sektions-, forstøver- eller dyseluk ved overlap for overlapreduktion (<5 m bomsektionsbredde i gennemsnit af alle sektioner ved mindst fem sektioner). Minimumskravet for pletsprøjtning er afblænding på bomsektionsniveau og skal kunne pletsprøjte på baggrund af digital kortlægning som skal kunne læses og udføres af software og hardware på henholdsvis terminal og marksprøjte. Minimumskravet for gradueret tildeling er regulering af dosis på bomniveau og skal kunne graduere på baggrund af digital kortlægning som skal kunne læses og udføres af software og hardware på henholdsvis terminal og marksprøjte. Sprøjten skal være udstyret med automatisk sektions-, forstøver- eller dyseafblænding ved overlap, og være udstyret med

en sprøjtebom med en arbejdsbredde på minimum 15 meter. Elementerne kan eftermonteres på eksisterende sprøjteudstyr. På nye sprøjter er det ekstraudstyr. Der skal være enten en traktorintegreret (ISOBUS) terminal, eller ekstern terminal enhed til styring af marksprøjtningen og som har tilstrækkelig kapacitet mht. datamængde for at kunne håndtere overlapreduktion, pletsprøjtning og gradueret tildeling samtidigt.

Teknologien skal anvendes på én af følgende afgrødekoder: 1-11, 13-18, 21-25, 30-32, 35, 36, 40-42, 51-58, 101-118, 120-126, 149-152, 154-156, 160-162, 180, 182, 210-218, 220-224, 230, 234-235, 701-711, 280-283

Obligatoriske elementer: Et injektionssprøjtesystem hvor software, elektronik og injektionspumpe doserer injektionsmængde ind i et væskestrøgssystem, evt. med returløb til hovedtank. Injektionspumpe til at regulere og variere doseringen af plantebeskyttelsesmiddel fra kemi-/injektionsbeholder. RTK-GNSS baseret elektronisk styring af on/off flow på sektions-, forstøver- eller dyseniveau for overlapreduktion. Overlapreduktion skal fungere for samtlige dyse-/forstøverlinjer. RTK-GNSS baseret elektronisk styring af pletsprøjtning (on/off) dosering på sektions-, dyse- eller forstøverniveau og variabel (gradueret) dosering på bom-, sektions-, dyse- eller forstøverniveau. Overlapreduktion, pletsprøjtning og gradueret tildeling skal fungere samtidigt. Doseringen skal kunne varieres (gradueres) som enten injektion, flow-/trykregulering, dyseskift, eller PWM-dyser.

Valgfrie elementer: RTK-GNSS modtager og antenne, som skal være af RTK-GNSS-typen for høj nøjagtighed. Terminal/skærm med tilstrækkelig kapacitet mht. datamængde for at kunne håndtere overlapreduktion og pletsprøjtning samtidigt. Dyseanordninger, forstøveranordninger, ventiler, slanger, og/eller rør.

Standardmiljøeffekt: Et-tanksinjektionssystem for pletsprøjtning og gradueret tildeling i kombination med sektions- eller dyseafblænding

Standardmiljøeffekt af autostyring og sektionsafblænding af sprøjter i kombination med on/off og variabel tildeling ud fra kortlægningsservice er beregnet som pesticidreduktion i forhold til fladebelastningen (B) opgivet med enheden $B \text{ ha}^{-1}$ i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014-2018 (Miljøstyrelsen 2014-2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene på $1,739 B \text{ ha}^{-1}$ for alle landbrugsafgrøder og plantebeskyttelsesmidler anvendt i afgrøde-grupperne; korn (vintersæd og vårsæd), raps, frø, kartofler, roer, bælgeplanter og majs ved beregninger for sektions- eller dyseafblænding. For pletsprøjtning med glyphosat er gns. fladebelastning på $0,074 B \text{ ha}^{-1}$ anvendt i beregningerne. For beregninger af effekt for variabel tildeling er der taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene på $1,450 B \text{ ha}^{-1}$ for ukrudts-, vækstregulerings-, og svampe midler i korn (vintersæd og vårsæd). På baggrund af de ovennævnte forsøgsresultater vurderes pesticidreduktionen som minimum at antage 20 % for behovsbestemt og variabel tildeling, når de store variationer er taget i betragtning. Vurdering af reduktion i plantebeskyttelsesmidler udgør således samlet set en reduktion i fladebelastning på $0,46 B \text{ ha}^{-1}$ om året (tabel 3.4).

Tabel 3.4: Standardmiljøeffekt for et-tanksinjectionssystem for pletsprøjtning og gradueret tildeling i kombination med sektions- eller dyseafblænding.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha ⁻¹ år ⁻²
3.3	Et-tanksinjectionssystem for pletsprøjtning og gradueret tildeling i kombination med sektions- eller dyseafblænding	10	Alle afgrøder (majs, roer, kartofler, raps, bælgeplanter, korn, frø) (glyphosat-anvendelse mellem to afgrøder på omdriftsarealet)	0,46 ved 20 % reduktion i ukrudts-, vækstregulerings-, og svampemidler i korn, 7 % reduktion i plantebeskyttelsesmidler for alle afgrøder og 80 % glyphosat reduktion

3.4 Fler-tanksinjectionssystem for pletsprøjtning og gradueret tildeling i kombination med sektions- eller dyseafblænding

Autostyring og sektions-/dyse-/forstøverafblænding af sprøjter i kombination med on/off tildeling (pletsprøjtning) ud fra kortlægningservice er forklaret under sektion 3.1. Gradueret (variabel) tildeling af plantebeskyttelsesmidler ud fra indlæsning af digitale tildelingskort er forklaret under sektion 3.2.

Specifikationer: Denne type af marksprøjter adskiller sig ved at der på marksprøjten er en hovedtank og et injektionssystem der gør det muligt at injicere alle plantebeskyttelsesmidler samtidigt med at der er rent vand i hovedtanken. Det er også muligt at anvende en tankblanding i hovedtanken. Der er en injektionspumpe til at dosere det/de ekstra plantebeskyttelsesmiddel/plantebeskyttelsesmidler ind i sprøjten væskestrøgssystem. Injektions-sprøjtesystemet fungerer for både pletsprøjtning og gradueret tildeling. Marksprøjten er udstyret med væskeflow-systemer som hvis ønsket fører rent vand retur til hovedtank og hvor pletsprøjtning (on/off) og gradueret dosering af plantebeskyttelsesmidler styres af injektionspumper med elektronisk dosering af injektionsmængde. Dette injektionssprøjtesystem anvendes enten ifm. pletsprøjtning eller gradueret sprøjtning. Ved at variere injektionspumpens hastighed ændres doseringen af de enkelte plantebeskyttelsesmidler uafhængigt af væskemængde. Væskestrøgssystemet på denne type marksprøjte med injektion skal sikre at opblandingen af de tilførte plantebeskyttelsesmidler blandes tilstrækkeligt med sprøjtevæsken der føres ud til dyser eller forstøvere. Dette kan bestå af enten en blandesøjle hvor vandet ledes igennem sprøjtepumpen, hvor ventilerne i pumpen sikrer sammenblandingen., eller alternativt føres væsken gennem et opblandingsrør som sikrer en tilstrækkelig sammenblanding. For at undgå bundfældning og for at opretholde plantebeskyttelsesmidlernes homogenitet skal kemi-/injektionsbeholdere have indbygget omrøring. Injektionssystemet skal kunne reversere flow af plantebeskyttelsesmiddel fra sammenblandingspunktet til kemi-/injektionsbeholderen for samtlige beholdere. Marksprøjter med flere kemikalie-/injektionsbeholdere er udstyret med en sprøjtebom med automatisk sektions-, forstøver- eller dyseafblænding ved overlap for overlapreduktion (<5 m bomsektionsbredde i gennemsnit af alle sektioner ved mindst fem sektioner). Minimumskravet for pletsprøjtning er afblænding på bomsektionsniveau og skal kunne pletsprøjte på baggrund af digital kortlægning som skal kunne læses og udføres af software og hardware på henholdsvis terminal og marksprøjte. Minimumskravet for gradueret tildeling er regulering af dosis på bomniveau og skal kunne graduere på baggrund af digital kortlægning som skal kunne læses og udføres af software og hardware på henholdsvis terminal og marksprøjte. Sprøjten skal være udstyret med automatisk sektions-, forstø-

ver- eller dyseafblænding ved overlap, og være udstyret med en sprøjtebom med en arbejdsbredde på minimum 15 meter. Elementerne kan eftermonteres på eksisterende sprøjteudstyr. På nye sprøjter er det ekstraudstyr. Der skal være enten en traktorintegreret (ISOBUS) terminal, eller ekstern terminal enhed til styring af marksprøjten og som har tilstrækkelig kapacitet mht. datamængde for at kunne håndtere overlapreduktion, pletsprøjtning og gradueret tildeling samtidigt.

Teknologien skal anvendes på én af følgende afgrødekoder: 1-11, 13-18, 21-25, 30-32, 35, 36, 40-42, 51-58, 101-118, 120-126, 149-152, 154-156, 160-162, 180, 182, 210-218, 220-224, 230, 234-235, 701-711, 280-283

Obligatoriske elementer: Et injektionssprøjtesystem hvor software, elektronik og injektionspumpe doserer injektionsmængde ind i et væskestrøgssystem uden returløb til hovedtank. Injektionspumper til at regulere og variere doseringen plantebeskyttelsesmidler fra kemi-/injektionsbeholdere. RTK-GNSS baseret elektronisk styring af on/off flow på sektions-, forstøver- eller dyseniveau for overlapreduktion. Overlapreduktion skal fungere for samtlige dyse-/forstøverlinjer. RTK-GNSS baseret elektronisk styring af pletsprøjtning (on/off) dosering på bom-, sektions-, dyse- eller forstøverniveau og variabel (gradueret) dosering på bom-, sektions-, dyse- eller forstøverniveau. Overlapreduktion, pletsprøjtning og gradueret tildeling skal fungere samtidigt. Doseringen skal kunne varieres (gradueres) via injektionspumper.

Valgfrie elementer: RTK-GNSS modtager og antenne, som skal være af RTK-GNSS-typen for høj nøjagtighed. Terminal/skærm med tilstrækkelig kapacitet mht. datamængde for at kunne håndtere overlapreduktion og pletsprøjtning samtidigt. Dyseanordninger, forstøveranordninger, ventiler, slanger, rør, dyseskift, og/eller PWM dyser.

Standardmiljøeffekt: Fler-tankinjectionssystem for pletsprøjtning og gradueret tildeling i kombination med sektions- eller dyseafblænding

Standardmiljøeffekt af autostyring og sektionsafblænding af sprøjter i kombination med on/off og variabel tildeling ud fra kortlægningsservice er beregnet som pesticidreduktion i forhold til fladebelastningen (B) opgivet med enheden $B \text{ ha}^{-1}$ i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014-2018 (Miljøstyrelsen 2014-2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene på $1,739 B \text{ ha}^{-1}$ for alle landbrugsafgrøder og plantebeskyttelsesmidler anvendt i afgrøde-grupperne; korn (vintersæd og vårsæd), raps, frø, kartofler, roer, bælgeplanter og majs ved beregninger for sektions- eller dyseafblænding. For pletsprøjtning med glyphosat er gns. fladebelastning på $0,074 B \text{ ha}^{-1}$ anvendt i beregningerne. For beregninger af effekt for variabel tildeling er der taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene på $1,450 B \text{ ha}^{-1}$ for ukrudts-, vækstregulerings-, og svampe midler i korn (vintersæd og vårsæd). På baggrund af de ovennævnte forsøgsresultater vurderes pesticidreduktionen som minimum at antage 20 % for behovsbestemt og variabel tildeling, når de store variationer er taget i betragtning. Vurdering af reduktion i plantebeskyttelsesmidler udgør således samlet set en reduktion i fladebelastning på $0,46 B \text{ ha}^{-1}$ om året (tabel 3.5).

Tabel 3.5: Standardmiljøeffekt for fler-tankinjectionssystem for pletsprøjtning og gradueret tildeling i kombination med sektions- eller dyseafblænding.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha ⁻¹ år ⁻²
3.4	Fler-tankinjectionssystem for pletsprøjtning og gradueret tildeling i kombination med sektions- eller dyseafblænding	10	Alle afgrøder (majs, roer, kartofler, raps, bælglplanter, korn, frø) (glyphosat-anvendelse mellem to afgrøder på omdriftsarealet)	0,46 ved 20 % reduktion i ukrudts-, vækstregulerings-, og svampemidler i korn, 7 % reduktion i plantebeskyttelsesmidler for alle afgrøder og 80 % glyphosat reduktion

3.5 Kameraer til kortlægning af ukrudt

Dette afsnits standard miljøeffekt er afledt af baggrund og beregninger som er oplyst for teknologi 3.1 for pletsprøjtning med glyphosat før høst i korn og i stub, samt for teknologierne 3.2, 3.3 og 3.4 for gradueret tildeling af ukrudtsmidler i afgrøder. Der er markedsført nogle kortlægningservices hvor det ene system anvender kameraer og software til at kortlægge ukrudt mht. tæthed, tokimbladet og enkimbladet, samt skelne afgrøde fra ukrudt, samlet set med et niveau for korrekt klassificering af arter mellem 80-92 % i kornafgrøder (Dyrman, 2017; Kasperen et al, 2010). Det andet system anvender også kamera og software og kan kortlægge områder med tidsler og kvik i kornafgrøder før høst med en sikkerhed for korrekt klassificering mellem 92 og 97 % (Rasmussen et al, 2019).

Specifikationer. Teknologi for kortlægningen af ukrudt på artsniveau (som minimum differentiering mellem tokim- og enkimbladet ukrudtsarter og afgrøde, eller bestemmelse af områder med flerårig ukrudtsarter) som kan anvendes til pletsprøjtning (on/off) og/eller gradueret dosering af en til flere ukrudtsmidler ved samme sprøjtning og efter digitale tildelingskort. Der skal optages billeder mindst én gang pr. vækstsæson i hele opretholdelsesperioden på marker hvor der skal udføres ukrudtsbekæmpelse i kornafgrøder og med glyphosat mod rodukrudt. Kameraet skal kunne monteres på et køretøj eller en drone. Der kan anvendes eksisterende sprøjteudstyr eller der kan investeres i nyt udstyr som er tilskudsberettiget under teknologi 3.1, 3.2, 3.3 eller 3.4.

Teknologien skal anvendes på én af følgende afgrødekoder: 1-11, 13-18

Obligatoriske elementer. Kameraer som kan artsgenkende, monitere og kortlægge områder af ukrudtsarter før sprøjtning. Databehandling af indsamlede data fra kameraerne, dvs. for anlæg uden inkluderet databehandling er licens/kontrakt for databehandling obligatorisk element.

Valgfrie elementer. Rammer og beslag for montering på køretøj eller drone. Terminal, RTK-GNSS modtager og antenne og/eller software.

Standardmiljøeffekt: Kameraer til kortlægning af ukrudt

Standardmiljøeffekt for kortlægning og monitorering af områder med ukrudt på artsniveau er beregnet som pesticidreduktion i forhold til fladebelastningen (B) opgivet med enheden B ha⁻¹ i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014-2018 (Miljøstyrelsen 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). For kortlægning forud for pletsprøjtning med glyphosat er gns. fladebelastning på 0.074 B ha⁻¹ anvendt i beregningerne. For beregninger af effekt for kortlægning af ukrudt forud for variabel tildeling og/eller pletsprøjtning er der taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning

over årene på 0,533 B ha⁻¹ for ukrudtsmidler i korn (vintersæd og vårsæd). På baggrund af de nævnte besparelser for teknologi 3.1 og 3.2 samt ovennævnte forsøgsresultater med kortlægning vurderes pesticidreduktionen som minimum at antage 20 % for behovsbestemt og variabel tildeling, når de store variationer er taget i betragtning. Vurdering af reduktion i ukrudtsmidler udgør således samlet set en reduktion i fladebelastning på 0,18 B ha⁻¹ om året (tabel 3.6).

Tabel 3.6: Standardmiljøeffekt for Kameraer til kortlægning af ukrudt.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha ⁻¹ år ⁻²
3.5	Kameraer til kortlægning af ukrudt	5	Korn, samt glyphosat-anvendelse mellem to afgrøder på omdriftsarealet	0,18 ved 20 % reduktion i ukrudtsmidler til korn og 80 % glyphosat reduktion

3.6 Båndsprøjtningsudstyr til marksprøjtning

Båndsprøjtning kan anvendes ved plantebeskyttelse med ukrudts-, svampe- og insektmidler i rækkedyrkede afgrøder (f.eks. Bartholomaeus et al., 2016; Clayton, 2014). Ved at anvende båndsprøjtning, hvor der anvendes en båndbredde, der svarer til afgrødens båndbredde, reduceres forbruget af plantebeskyttelsesmidler i forhold til bredsprøjtning af hele arealet. Reduktionen vil afhænge af, hvilket dyrkningssystem og rækkeafstand, der anvendes. Der anvendes båndsprøjter med typisk en dyse pr. afgrøderække, men systemer med flere dyser vinklet i forhold til afgrøden er også markedsført. Dyserne kan desuden være monteret indvendigt i en skærm, så sprøjtningen foretages afskærmet med en reduceret afdriftsrisiko og anvendes ikke selektive plantebeskyttelsesmidler, er det afgrøden der beskyttes via skærm. Det vurderes, at båndsprøjtningsteknologien kan reducere forbruget af plantebeskyttelsesmidler med op til 40 % i rækkeafgrøder forudsat at der anvendes normal dosering eller samme dosering som ved bredsprøjtning (Jensen & Lund, 2006). I GUDP-projektet IPM i Roer blev det konkluderet, at såfremt den sidste ukrudtssprøjtning i roer erstattes af 1-2 radrensninger vil forbruget af ukrudtsmidler kunne reduceres med ca. 30 %. Hvis bredsprøjtning af ukrudtsmidler erstattes af båndsprøjtning og der udføres radrensning vil den samlede besparelse i herbicidforbrug være op til 50 % (Thomsen og Nielsen, 2018). Båndsprøjter kan som nævnt ovenfor også anvendes ved bekæmpelse af andre skadegørere end ukrudt i afgrøderækker, men der foreligger ikke umiddelbart forsøg under dansk forhold som viser potentiel reduktion i svampe-, insekt- og vækstreguleringsmidler.

RTK-GNSS teknologi, autostyring og højdestyring vil potentielt give nye muligheder for at forbedre kapaciteten, hvis det bliver muligt også at anvende den almindelige marksprøjtning til båndsprøjtning, hvilket har været forsøgt i projektet IPM i Roer. Ved at anvende 80 grader spredevinkel, 30-40 cm bomhøjde og skråstilling af dyser ift. kørselsretning, er det muligt at sprøjte i smalle bånd (Secher, 2017). De foreløbige tests har vist lovende resultater, og det kunne potentielt blive et stort gennembrud for båndsprøjtning (Secher, 2017). Systemer for båndsprøjtning med alm. marksprøjter er begyndt at blive markedsført, men teknologien er meget ny og må betragtes som prototyper indtil videre.

Specifikationer. Der er to mulige teknologier. En løsning er aktiv sideværtsstyring af de enkelte sektioner på bommen og en anden løsning er at anvende hjulstyring på trailersprøjte/selvkørende marksprøjte inklusive modifikationer af bomophæng. Marksprøjten skal være udstyret med en sprøjtebom med en arbejdsbredde på minimum 15 meter. De to nævnte teknologier skal sørge for at dyser på sprøjtebommen centrerer og føres i præcis højde over hver enkelt afgrøderække. Herved efterlades et bånd af plantebeskyttelsesmiddel som breddemæssigt er tilpasset afgrøderække og dosering. Teknologien skal således kunne holde en given bomhøjde i hele bommens bredde, og sørge for at dyser centrerer og føres i præcis højde over hver enkelt afgrøderække. Typisk er det nødvendigt med RTK-GNSS antenne på både traktor og redskab. Der er typisk kun én RTK GNSS modtager (receiver) for begge antenner. Modtager er som oftest monteret på traktor. På redskab er der monteret styreboks(e), ledninger til stik på traktor, og aktuatorer/hydraulik for sideværtsforskydningen af redskabet. Der benyttes typisk kun én terminal, som sørger for autostyring af både traktor og redskab. Antenne på redskab kan om nødvendigt flyttes fra redskab til redskab, for eksempel fra såmaskine til radrenser til marksprøjte osv. Teknologien kan ikke kombineres med indkøb af ny marksprøjte for bedre at kunne konstatere at udstyret anvendes til båndsprøjtning.

Teknologien skal anvendes på én af følgende afgrødekoder: 5, 21-24, 52, 101-126, 149-152, 154-157, 160-162, 180, 182, 216, 218, 280-283, 448.

Obligatoriske elementer. De obligatoriske elementer er hardware (dvs. mekaniske og hydrauliske tilpasninger og sideforskydningsanordninger) for aktiv sideværtsstyring af bomsektioner eller aktiv hjulstyring af marksprøjte (dvs. sideværtsstyring af hele sprøjtebommen). Bomhøjdeautomatik. Mekanisk ombygning af eksisterende marksprøjte, RTK-GNSS modtager og antenne for komplet sideværtsstyring af såmaskine og bom eller bomsektioner på marksprøjte. Alternativt til RTK GNSS kan der anvendes kameraudstyr for sideværtsstyring af bom eller bomsektioner på marksprøjte. Der er for begge muligheder for sideværtsstyring af de enkelte sektioner eller hjulstyring på trailersprøjte/selvkørende sprøjte tale om ekstraudstyr til montering på eksisterende trailersprøjte eller selvkørende sprøjte. Vigtigt at pointere, at der alene er tale om individuelle tilpasninger og prototyper.

Valgfrie elementer. Terminal til styring af sprøjte og sideværtsstyring og/eller licens/opdatering/tilpasning af terminal-/skærm-software. For visse konstruktioner er der tale om individuelle tilpasninger, hvorfor et valgfrit element er sekundær tank og dyselinje for båndsprøjtning med andet middel mellem rækker. Mekaniske og hydrauliske tilpasninger af bomophæng.

Standardmiljøeffekt: Båndsprøjtningssystem til marksprøjte

Med afsæt i en gennemsnitlig fladebelastning på $2,082 \text{ B ha}^{-1}$ for alle plantebeskyttelsesmidler i perioden 2014 til og med 2018 for majs, roer, kartofler, frø og raps (Miljøstyrelsen, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018) og et reduceret forbrug af ukrudtsmidler vurderet til 30% på baggrund af ovenstående gennemgang af resultater samt en vurdering af potentiel reduktion af andre plantebeskyttelsesmidler ved båndsprøjtning opnås således en årlig miljøeffekt på $0,62 \text{ B ha}^{-1}$ om året (tabel 3.7).

Tabel 3.7: Standardmiljøeffekt for båndsprøjtningssystem til marksprøjtning

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha ⁻¹ år ⁻²
3.6	Båndsprøjtningssystem til marksprøjtning	8	Majs, roer, kartofler, frø (herunder spinat) og raps	0,62 ved 30 % reduktion af plantebeskyttelsesmidler

3.7 Standard båndsprøjtning

Båndsprøjtning kan anvendes ved plantebeskyttelse med ukrudts-, svampe- og insektmidler i rækkedyrkede afgrøder (f.eks. Bartholomaeus et al., 2016; Clayton, 2014). Ved at anvende båndsprøjtning, hvor der anvendes en båndbredde, der svarer til afgrødens båndbredde, reduceres forbruget af plantebeskyttelsesmidler i forhold til bredsprøjtning af hele arealet. Reduktionen vil afhænge af, hvilket dyrkningssystem og rækkeafstand, der anvendes. Der anvendes båndsprøjter med typisk en dyse pr. afgrøderække, men systemer med flere dyser vinklet i forhold til afgrøden er også markedsført. Dyserne kan endvidere være monteret indvendigt i en skærm, så sprøjtningen foretages afskærmet med en reduceret afdriftsrisiko og anvendes ikke selektive midler er det afgrøden der beskyttes via skærm. Det vurderes, at båndsprøjtningsteknologien kan reducere forbruget af plantebeskyttelsesmidler med op til 40 % i rækkeafgrøder forudsat at der anvendes normal dosering eller samme dosering som ved bredsprøjtning (Jensen & Lund, 2006). I GUDP-projektet IPM i Roer blev det konkluderet, at såfremt den sidste ukrudtssprøjtning i roer erstattes af 1-2 radrensninger vil forbruget af ukrudtsmidler kunne reduceres med ca. 30 %. Hvis bredsprøjtning af ukrudtsmidler erstattes af båndsprøjtning og der udføres radrensning vil den samlede besparelse i herbicidforbrug være op til 50 % (Thomsen og Nielsen, 2018). Båndsprøjter kan som nævnt ovenfor også anvendes ved bekæmpelse af andre skadegørere end ukrudt i afgrøderækker, men der foreligger ikke umiddelbart forsøg under dansk forhold som viser potentiel reduktion i svampe-, insekt- og vækstreguleringsmidler.

RTK-GNSS teknologi, autostyring og højdestyring vil potentielt give nye muligheder for at forbedre kapaciteten, hvis det bliver muligt også at anvende den almindelige marksprøjtning til båndsprøjtning, hvilket har været forsøgt i projektet IPM i Roer. Ved at anvende 80 grader spredevinkel, 30-40 cm bomhøjde og skråstilling af dyser ifht. kørselsretning, er det muligt at sprøjte i smalle bånd (Secher, 2017). De foreløbige tests har vist lovende resultater, og det kunne potentielt blive et stort gennembrud for båndsprøjtning (Secher, 2017). Systemer for båndsprøjtning med alm. marksprøjter er begyndt at blive markedsført, men teknologien er meget ny og må betragtes som prototyper indtil videre.

Specifikationer. En standard båndsprøjtning med én eller flere dyser monteret lodret over hver afgrøderække eller med mindst en dyse som er vinklet i forhold til hver enkelt afgrøderække eller mellem afgrøderækker. Der skal vælges antallet af afgrøderækker, som en standard båndsprøjtning skal betjene. Båndsprøjten skal kunne centrere dyserne over eller mellem afgrøderækker samt føre dyserne i præcis højde over hver enkelt afgrøderække. Herefter efterlades et bånd af sprøjtemiddel som breddemæssigt er tilpasset afgrøderække/bånd og dosering. Rækkeelementer kan være meget forskellige alt efter behov. Typisk er det nødvendigt med RTK-GNSS antenne på både traktor og båndsprøjtning. Der er typisk kun én RTK-GNSS modtager (receiver) for begge antenner. Modtager

er som oftest monteret på traktor. På båndsprøjten er der monteret styreboks(e), ledninger til stik på traktor, og aktuatorer/hydraulik for sideværtsforskydningen af båndsprøjten. Der benyttes typisk kun én terminal, som sørger for autostyring af traktor og sideværtsstyring af båndsprøjte samtidigt for henholdsvis at holde traktorens hjul mellem afgrøderækker og båndsprøjtes dyser over afgrøderækker. Antenne på båndsprøjte kan om nødvendigt flyttes fra båndsprøjte til andet redskab, for eksempel til såmaskine, radrenser eller til marksprøjte osv.

Teknologien skal anvendes på én af følgende afgrødekoder: 5, 21-24, 52, 101-126, 149-152, 154-157, 160-162, 180, 182, 216, 218, 280-283, 448.

Obligatoriske elementer. Standard båndsprøjte med en eller flere dyser monteret lodret/vinklet over hver afgrøderække eller mellem afgrøderækker. En hovedtank til sprøjtevæske, dyselinje og væskepumpe. Rækkeelementer monteret på sprøjteramme til 3-punktsophæng.

Valgfrie elementer. Mekaniske og hydrauliske tilpasninger og sideforskydningsanordninger, herunder sideværtsstyring af båndsprøjte, og/eller RTK-GNSS modtager og antenne for sideværtsstyring af såmaskine og båndsprøjte, eller alternativt til RTK-GNSS kan kamerasystem vælges for sideværtsstyring. Terminal/skærm til rækkestyring og/eller licens/opdatering/tilpasning af terminal-/skærm-software. Rækkeafskærmning på båndsprøjte og/eller ekstra dyselinje, inklusiv tank til sprøjtevæske og væskepumpe for at kunne sprøjte eller gødske med midler som ikke kan tankblandes

Standardmiljøeffekt: Standard båndsprøjte

Med afsæt i en gennemsnitlig fladebelastning på 2,082 B ha⁻¹ for alle plantebeskyttelsesmidler i perioden 2014 til og med 2018 for majs, roer, kartofler, frø og raps (Miljøstyrelsen, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018) og et reduceret forbrug af ukrudtsmidler vurderet til 30% på baggrund af ovenstående gennemgang af resultater, samt en vurdering af potentiel reduktion af andre plantebeskyttelsesmidler ved båndsprøjtning opnås således en årlig miljøeffekt på 0,62 B ha⁻¹ om året (tabel 3.8).

Tabel 3.8: Standardmiljøeffekt for standard båndsprøjte i rækkeafgrøder.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha ⁻¹ år ⁻²
3.7	Standard båndsprøjte	8	Majs, roer, kartofler, frø (herunder spinat) og raps	0,62 ved 30 % reduktion af plantebeskyttelsesmidler

3.8 Førerløs såning og ukrudtsbekæmpelse mellem afgrøderækker

Førerløse redskabsbærere og specialmaskiner er blevet tilgængelige på det danske marked, der tilbyder et alternativ til traktormonterede systemer til mekanisk bekæmpelse af ukrudt mellem og i rækker af afgrøder. Sammenlignet med traktorbaserede systemer reducerer de førerløse køretøjer det monotone arbejde at radrense typisk med mindre arbejdsbredde end marksprøjter og der er mulighed for 24 timers arbejdsdage når vejret og føret er ideelt til mekanisk ukrudtsbekæmpelse. Der kan være sæsoner hvor der er større udfordringer med at nå rettidighedseffekten for mekanisk ukrudtsbekæmpelse ifht. sprøjtning med ukrudtsmidler. I de tilfælde kan de førerløse køretøjer være løsningen. De fleste førerløse køretøjer anvender RTK GNSS for navigation, som giver en

præcis sideværtsstyring af renseelementer, når afgrøderækkernes eller planternes position er kendt og kortlagt forud for ukrudtsbekæmpelsen. Derfor giver det mening at de førerløse køretøjer også selv sår afgrøderne som de i løbet af vækstsæsonen skal holde rent for ukrudt.

Automatisk fjernelse af ukrudt kan også foregå vha. af RTK-GNSS navigation, hvor redskabet placerer udsæd (enkeltkorn eller frø) for derefter at udnytte informationen om udsædens placering til at udføre en lugning af ukrudt rundt om afgrødeplantens forventede position (Melanders & McCollough, 2021). Teknologien markedsføres for anvendelse i både udsåede roer og grønsager, men der mangler dokumentation af lugeeffekterne.

Det forudsættes at førerløse redskabsbærere og specialmaskiner skal have mulighed for at montere redskaber for såning og for fjernelse af ukrudt mellem og meget tæt på afgrøderækker. Førerløse redskabsbærere og specialmaskiner skal kunne betjene et redskab til mindst 3 afgrøderækker. Afgrødespecifikt udstyr til mekanisk ukrudtsbekæmpelse kan være fingerhjul, skrabepinde, strigletænder, eller aktive og selektive værktøjer for lugning i rækken eller lignende (se specifikationer). Teknologien kan for visse førerløse køretøjer med trepunktsophæng kombineres med teknologi 3.9.

Specifikationer. Det førerløse køretøj skal kunne påmonteres redskaber for fjernelse af ukrudt mellem rækkerne, samt redskaber for såning. Skal være udstyret med elementer/aggregater for mekanisk/fysisk ukrudtsbekæmpelse mellem rækker og inkl. afgrødespecifik radrenser ekstraudstyr. Dette kan være påmonterede værktøjer til mekanisk ikke-aktiv og ikke-selektiv ukrudtsbekæmpelse i afgrøderækken (afgrødeplanter skånes, men udsættes også mekanisk/fysisk påvirkning), herunder fingerhjul, skrabepinde, strigletænder, eller lignende. Eventuel kombinationen aktiv (styret) og selektiv lugning i rækken, dvs. lugning uden om afgrødeplanter, hvis det er standard, og derved del af en komplet løsning for førerløs såning og mekanisk bekæmpelse af ukrudt. Der skal vælges antallet af afgrøderækker, som teknologien skal betjene. Førerløse redskabsbærere og specialmaskiner skal være udstyret med RTK- GNSS, elektronik og software der registrerer digitalt positioner for afgrøderækker og planter.

Teknologien skal anvendes på én af følgende afgrødekoder: 1-11, 13-18, 21-25, 30-32, 35, 36, 40-42, 51-58, 101-118, 120-126, 149-152, 154-156, 160-162, 180, 182, 210-2187, 220-224, 230, 234-235, 701-711, 280-283

Obligatoriske elementer. Førerløst køretøj/redskabsbærer med påmonteret eller integreret RTK-GNSS og/eller kamera for navigation. Såmaskine, redskabsramme og elementer/aggregater for mekanisk/fysisk ukrudtsbekæmpelse mellem rækker, eventuelt inkl. afgrødespecifik radrenser som ekstraudstyr jf. specifikationer (typen som kombinerer aktiv og selektiv ukrudtslugning). Digitalt ruteplanlægningsværktøj, eller anden software til at tilrettelægge kørselsmønster for det førerløse køretøj.

Valgfrie elementer. Båndsprøjtningssystem til sprøjtning af afgrøderækker og som er tilpasset det førerløse køretøj (i visse tilfælde er standard båndsprøjte ikke anvendelig).

Standardmiljøeffekt: Førerløs såning og ukrudtsbekæmpelse mellem afgrøderækker

Standard miljøeffekt for førerløs såning og mekanisk bekæmpelse af ukrudt mellem afgrøderækker er sammenlignelig med effekt at radrensere til afgrøderækker med mindre end 30 cm rækkeafstand, som er vurderet til 0,38 B ha⁻¹ om året. Der er i vurderingen af pesticidreduktionspotentiallet korrigeret for at radrensning i ca. hvert 3. år

(anslået) pga. vejrlig og jordfugtighed ikke vil være muligt at udføre, hvor en herbicidsprøjtning derfor vil være nødvendig. Desuden tillader teknologierne i denne kategori båndsprøjtning med plantebeskyttelsesmidler som reducerer pesticidreduktionspotentialt for den førerløse teknologi (tabel 3.9).

Tabel 3.9: Standardmiljøeffekt for førerløs såning og ukrudtsbekæmpelse mellem afgrøderækker.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha ⁻¹ år ⁻²
3.8	Førerløs såning og ukrudtsbekæmpelse mellem afgrøderækker	8	Alle afgrøder (majs, roer, kartofler, raps, bælgeplanter, korn, frø)	0,38 ved 60 % reduktion af ukrudtsmidler

3.9 Robotbaseret ukrudtslugning i afgrøderækker

Traktormonterede lugerobotter har i flere år været anvendt til ukrudtsbekæmpelse mellem og i rækkerne af udplantede grønsager som kål, salat, selleri, løg og porre. Nogle af lugerobotterne giver mulighed for en indstilling der gør det muligt at luge rundt om roeplanter (Midtby et al., 2012; Alföldi & Stöcklin, 2020). Melander & McCollough (2021) oplyser at der som minimum kan fjernes 60-70 % af ukrudtet i rækken, og det har været muligt at fjerne 50-60 % af ukrudtet i en radius på kun 5 cm rundt om roeplanterne uden at skade roerne (Melander, 2021). Robotterne er udstyret med kameraer, der kan genkende afgrødeplanter, og derved få mekaniske lugeaggregater til at undvige afgrødeplanterne. Ukrudt og udsæt afgrøde 'flyder' nemt sammen, hvilket gør det svært for kamerateknologien at foretage en klar adskillelse af afgrøde og ukrudt. Vurderingen er derfor mht. lugerobotter og roer at der vil være behov for mindst 2 ukrudtssprøjtninger forud for at lugerobotterne kan fungere optimalt og i resten af sæsonen give mulighed for en nærmest fuldstændig ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse i roer med begrænset behov for opfølgende ukrudtssprøjtning eller håndlugning.

Lugerobotter er undersøgt i forsøg i Schweiz (Alföldi og Stöcklin, 2020) hvor dokumentationen består af en video (<https://www.youtube.com/watch?v=zHHU8tGmvMc>). Resultater af ukrudtsbekæmpelse i roer er mangefold, men samme teknologi for robotlugning er undersøgt i udplantet kål i England, hvor 62-87 % af ukrudtet i rækken blev bekæmpet inden for en radius af 24 cm fra kålplanterne (Tillett et al., 2008). I udplantet hvidkål i Danmark blev 76 % af ukrudtet i rækken bekæmpet, hvilket var ca. 14 % bedre end metoder som ukrudtsharvning og fingerhjul på radrensere (Melander et al., 2015). I hverken den engelske eller danske undersøgelse opstod der nævneværdige afgrødeskader som følge af robotlugning. I en nyere undersøgelse i udplantet salat udført ved forskningscenter Flakkebjerg i 2021 blev det forsøgt at gå meget tæt på salatplanterne mhp. på at efterlade så lidt ukrudt tæt på salatplanterne som muligt. I en radius på 10 cm rundt om salatplanterne var det muligt at robotluge 57 % af ukrudtet uden at skade salatplanterne (Melander, 2021).

Specifikationer. Trepunktsophængte lugerobotter skal være med påmonterede redskaber for aktive og selektive værktøjer for fjernelse af ukrudt i rækken og mellem rækkerne. Lugerobotten skal være udstyret med kamera(er), der kan genkende afgrødeplanter. Kamera/kameraerne skal kunne dække samtlige rækker inden for lugemasinens arbejdsbredde. Der skal vælges antallet af afgrøderækker, som teknologien skal betjene. Lugerobotten skal kunne betjene mindst 3 afgrøderækker. Udstyr til mekanisk ukrudtsbekæmpelse i afgrøderækker skal være

aktivt styret, dvs. styret elektrohydraulisk, elektropneumatisk eller elektrisk. Terminal og software for indstilling og overvågning af lugerobot.

Teknologien skal anvendes på én af følgende afgrødekoder: 160, 280-281

Obligatoriske elementer. En lugerobot til trepunktsophæng med påmonteret kamera(er) for aktive styring af luggeværktøj omkring enkeltplanter og i rækken.

Valgfrie elementer. Terminal/skærm.

Standardmiljøeffekt: Robotbaseret ukrudtslugning i afgrøderækker

Standardmiljøeffekt for lugeroboter til ukrudtsbekæmpelse imellem og i afgrøderækker er beregnet som plantebeskyttelsesmiddelreduktion i forhold til fladebelastningen angivet med enheden $B\ ha^{-1}$ i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014-2018 (Miljøstyrelsen 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene på $2,018\ B\ ha^{-1}$ for ukrudtsmidler anvendt i roer. Ovennævnte vurderinger af reduceret forbrug af ukrudtsmidler i roer udgør således samlet set en reduktion i fladebelastning på $1,01\ B\ ha^{-1}$ om året (tabel 3.10).

Tabel 3.10: Standardmiljøeffekt for robotbaseret ukrudtslugning i afgrøderækker.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, $B\ ha^{-1}\ aar^{-2}$
3.9	Robotbaseret ukrudtslugning i afgrøderækker	8	Roer	1,01 ved 50 % reduktion af ukrudtsmidler

3.10 Radrensere

Nøjagtigheden stiger med kamera eller RTK-GNSS baseret autostyring af radrenser og ligger inden for $\pm 20\ mm$ (95 % konfidensinterval) ved fremkørselshastigheder op til $10\ km\ t^{-1}$ (hvor afgrøderækker er synlige) (Tillett & Haque, 2006, Nørremark et al., 2008). Nøjagtigheden stiger med aftagende fremkørselshastighed. En radrenser med autostyring er derfor under de fleste forhold præcis nok til at føre en harvetand eller mindre gåsefod 3-4 cm fra afgrøderækker for at opnå radrensning/harvning af det størst mulige areal mellem rækker. Fuld gennemskæring af så stor en del af arealet mellem afgrøderækker er vigtigst for effekt (Melander et al., 2001; Pedersen & Petersen, 2010). Sektionerne skal have samme bredde som såmaskinen, såfremt der ikke anvendes præcis sporfølgning ved såning. Valg af skær, fingerhjul, hyppeeffekt, ukrudtsharve og andet udstyr for den mekaniske bekæmpelse af ukrudt, bør foretages ud fra dokumenterede egne erfaringer, rådgivning eller forsøg (Pedersen & Petersen, 2010; van der Schans et al., 2006). Sammenbygningen af flere principper, herunder båndsprøjtning kombineret med radrenser vil dog samtidigt rationalisere bekæmpelsen, men gennemførelsen kan være afhængig af lokale forhold (Melander et al., 2001; Pedersen, 2002). Ukrudtsharvning udført lige efter radrensning (evt. monteret på radrenser), og ved samme hastighed som denne, forbedrer bekæmpelseseffekterne (Tersbøl et al., 2000, 2001; Melander et al., 2001).

Flere opgørelser viser, at fremkørselshastigheden kan være op til $10\ km\ t^{-1}$ med $\pm 20\ mm$ variation i styringen, men at der i praksis kun opnås fremkørselshastigheder mellem 7-9 $km\ t^{-1}$, af hensyn til traktor og redskab samt

af hensyn til reduktion af skader fra oprevne sten og jordknolde, som rammer afgrøden (Tillett & Hague, 2006, Pedersen & Petersen, 2010). Kamerabaseret eller RTK-GNSS baseret autostyring og præcis indstilling af skær betyder at der kan opnås en god ukrudtsbekæmpelse på hele arealet mellem afgrøderækker med radrensning med høje fremkørselshastigheder (Pedersen & Petersen, 2010). Med den nyeste teknologi kan der opnås langt større kapacitet, end hvad der praktiseres i dag, som er en enkelt bevægelig bom med kamerastyring (Tillett & Hague, 2006).

Radrensere med sektionsstyring fås i forskellige størrelser for anvendelse i rækkeafgrøder med > 30 cm rækkeafstand. Markedsførte systemer består af basis radrenser, hydraulisk sideforskydning af en til flere individuelle radrensererlementer (el. aggregater), kameraer og/eller RTK GNSS baseret styringer for radrenser for et antal rækker, samt tilpasning af radrenser i forhold til dyrkningssystem og afgrøde i form af efterharver, skær, båndsprøjte, beskyttelsesplader, rulleskær, fingerhjul, skrabepinde eller strigletænder til bekæmpelse af ukrudt i selve afgrøderækken (Cloutier et al., 2007). Nogle systemer giver mulighed for kombination (= sammenbygning) med så- eller gødningsudstyr.

For radrensere med større arbejdsbredde end 6 m kan det være nødvendigt at udstyre radrenseren med RTK GNSS baseret navigation af individuelle radrensererlementer. Radrensere med GPS baseret autostyring kan monteres med automatisk løft af hvert enkelt lugeaggregat, så der kan renses helt ud til rækkerne i forager og i marker med kiler. For radrensere med stor arbejdsbredde er automatisk løft af lugeaggregater nødvendige for at undgå omfattende bortlugning af afgrøderækker i forlandet i marker med kiler. Omfanget af uhensigtsmæssig bortlugning af afgrøder stiger med stigende arbejdsbredde, markernes form (stigende antal kiler) og mindre rækkeafstand.

Specifikationer. Radrenser med renseelementer/aggregater til ukrudtsbekæmpelse mellem afgrøderækker og evt. monteret med udstyr som bekæmper ukrudt i afgrøderækker. Rækkestyringssystemer og sektionsstyring for henholdsvis at styre radrenseelementer/aggregater præcist sideværts mellem rækker og ved forager. Typisk er det nødvendigt med RTK-GNSS antenne på både traktor og redskab. Der er typisk kun én RTK GNSS modtager (receiver) for begge antenner. Modtager er som oftest monteret på traktor. På radrenser er der monteret styreboks(e), ledninger til stik på traktor, og aktuatorer/hydraulik for sideværtsforskydningen af radrenseren. Der benyttes typisk kun én terminal, som sørger for autostyring af både traktor og sideværtsstyring af radrenser samtidigt for henholdsvis at holde traktorens hjul mellem afgrøderækker og radrenserens renseelementer/aggregater mellem afgrøderækker. Antenne på redskab kan om nødvendigt flyttes fra radrenser til andet redskab, for eksempel til såmaskine. Radrenseren skal have en arbejdsbredde på minimum 6 meter.

Teknologien skal anvendes på én af følgende afgrødekoder: 5, 21-24, 40-41, 52, 120-126, 160-162, 180, 182, 216, 280-283, 448.

Obligatoriske elementer. Trepunktsophængt eller halvbugseret radrenser til afgrøderækker >30 cm rækkeafstand med hydraulisk sideforskydning, inkl. afgrødespecifikke renseelementer og værktøjer (fingerhjul, skrabepinde, strigler, afgrødebeskyttelse, etc.), RTK GNSS modtager(e) og antenner for komplet sideværtsstyring af såmaskine og radrenser. Alternativt til RTK GNSS, kan der anvendes kameraudstyr for sideværtsstyring, herunder hardware for sideværtsstyring af redskaber.

Valgfrie elementer. Terminal/skærm, software/softwarelicens, hardware og styringsenheder for sideværtsstyring og sektionløft. Såmaskine med RTK GNSS til placering og positionering af enkeltfrø for diagonal radrensning. Ekstraudstyr i form af tank og slangeføringer til sædekorn/frø og/eller gødning samt skær for såning/gødskning, og/eller båndsprøjtningsudstyr monteret på radrenser.

Standardmiljøeffekt: Radrenser

Der antages et minimums pesticidreduktionspotentiale for anvendelse af radrenser i rækkeafgrøder med > 30 cm rækkeafstand i kombination med bredsprøjtning på konventionelle bedrifter på minimum 65 % af det samlede herbicidforbrug opgjort for 2015 for afgrøderne majs og roer. Det angivne besparelspotentiale forudsætter 2 gange (alm.) bredsprøjtning og 2 gange radrensning i både roer og majs (Pedersen, 2000; Pedersen, 2002; Pedersen, 2011). Forsøgene viser, at ved erstatning af 1-2 bredsprøjtninger med radrensning under de rette forhold opnås der tilsvarende bekæmpelseeffekter sammenlignet med en strategi bestående af bredsprøjtninger alene (Pedersen, 2000; Pedersen, 2002; Pedersen, 2011). Der er i vurderingen af pesticidreduktionspotentialet korrigeret for at radrensning i ca. hvert 3. år (anslået) pga. vejrlig og jordfugtighed ikke vil være muligt at udføre eller at der bredsprøjtes ved første 1-2 sprøjtninger efterfulgt af radrensnings.

Standard miljøeffekt for radrensning i rækkeafgrøder med >30 cm rækkeafstand er beregnet som pesticidreduktion i forhold til den gns. fladebelastning opgivet med enheden $B \text{ ha}^{-1}$ i bekæmpelsesmiddelstatistikken for årene 2014 til og med 2018 (Miljøstyrelsen, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning på $0,949 B \text{ ha}^{-1}$ for ukrudtsmidler i de mest udbredte rækkeafgrøder med >30 cm rækkeafstand; majs og roer, og for de lidt mindre udbredte afgrøder med rækkeafstand >30 cm; raps, bælgsplanter og frø. Ovennævnte potentiale for reduceret forbrug af ukrudtsmidler i procent udgør således samlet set en reduktion på $0,63 B \text{ ha}^{-1}$ om året (tabel 3.11).

Tabel 3.11: Standardmiljøeffekt for radrenser.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, $B \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-2}$
3.10	Radrenser	8	Majs, roer, raps, bælgsæd og frø	0,63 ved 65 % reduktion af ukrudtsmidler

3.11 Luftudstyr til sprøjtebom

Sprøjeteknisk har der i flere år været fokus på dråbestørrelser, vandmængde, forstøvning og endelig fordeling af sprøjtevæske på planter. Luft- og luftassisterede sprøjter kan forøge afsætningen af sprøjtevæske på lodrette flader og bladundersider (Jensen et al., 2003; Jensen, 2004).

Luftassisterede sprøjter består af udstyr som er i stand til at tilføre bevægelsesenergi til dråberne i sprøjtevæsken efter dråberne har forladt dyser. Afhængig af omfanget kan luftassistance ændre fordelingen af sprøjtevæske i afgrøden således, at der afsættes relativt mindre i toppen af afgrøden og en større andel i centrum og ved basis af afgrøden (Larsolle et al., 2002; Klausen, 2007). Luftassistance på sprøjter betyder at dråber i sprøjtevæsken tilføres en afpasset mængde bevægelsesenergi således at dråberne styres mod planterne, og samtidig reducerer

afdrift. Der er mulighed for at sprøjte med finere dråbestørrelse, som potentielt medvirker til at reducere både vandmængde og dosering af plantebeskyttelsesmidler.

Luftsprøjter består af et andet princip som er uden traditionelle dyser, men hvor dråber dannes ved at en luftstrøm presser væske væk fra en lille vinge som udgør 'dysen' som bencævnes forstøver for denne teknologi. Dråbestørrelser reguleres ved ændringer i lufttryk. Også her kan fordelingen af sprøjtevæske ændres i afgrøden således, at der afsættes relativt mindre i toppen af afgrøden og en større andel i centrum og ved basis af afgrøden (Larsolle et al., 2002; Klausen, 2007).

Der er eksempler på biologisk effekt vurderinger som forklarer reduktionspotentialer for begge sprøjteteknologier (Jensen et al., 2004; Anon, 2000; Rabølle, 2021; Leonard et al., 2000; Larsolle et al., 2002), men samtidig ses også inden for enkelte af de samme vurderinger og undersøgelser, at der ikke altid er effektforskelle mellem alm. hydrauliske sprøjter/dyser og luftsprøjter/forstøvere eller luftassisterede sprøjter/dyser. Ved svampebekæmpelse i kartofler er der påvist afsætning af større totalmængde fungicid efter udførsel af sprøjtning med begge teknologier ifht. hydrauliske sprøjter/dyser (Klausen, 2007; Larsolle et al., 2002).

Jensen (2004) udarbejdede et sammendrag af forsøgsresultater hvor effekter af luftsprøjter (Eurofoil) og sprøjter med luftledsagelse efter Hardi Twin princippet ved forskellige planteværnsopgaver blev vurderet. Reduktionspotentialet blev vurderet positivt og ens ved svampesprøjtninger i korn for begge sprøjteteknologier, mens der for svampebekæmpelse i kartofler var reduktionspotentialer for den luftassisterede sprøjteteknologi, men uændret effekt af luftsprøjter, set i forhold til konventionel hydraulisk sprøjteteknik.

En generel vurdering på baggrund af ovennævnte undersøgelser og sammendrag er at dosering af svampe- og insektmidler kan reduceres med minimum 15 % i korn og kartofler ved korrekt brug af luft- og luftassisterede sprøjter. Vurderingen forudsætter at luft- og luftassisterende sprøjteteknologier fremgår af bilag 1 til Miljøstyrelsens vejledning no. 46 (Miljøstyrelsen, 2020), hvilket betyder at teknologierne er afprøvet og i stand til at styre afsætningen af sprøjtevæske på planter. Det drejer sig konkret om Hardi Twin, Dammann DAS og Eurofoil systemerne.

Specifikationer. Formålet med teknologien er brug af luft til at afsætte sprøjtevæske på planter. Der kan anvendes eksisterende sprøjteudstyr eller der kan investeres i nyt udstyr. De resterende elementer på en marksprøjte er således ikke tilskudsberettiget, dvs. der er krav om delfakturering. Udstyret skal være i stand til at tilføre bevægelsesenergi til dråberne i sprøjtevæsken, efter dråberne har forladt dyser eller forstøvere. Terminal/skærm og software/softwarelicens anvendes til regulering af lufttryk og/eller luftmængde eller forstøvning. Sprøjtebommen skal have en arbejdsbredde på minimum 6 meter.

Teknologien skal anvendes på én af følgende afgrødekoder: 1-11, 13-18, 149-152, 154-157, 210-217, 220-224, 230, 234-235, 701-711

Obligatoriske elementer. Lavtryks blæser enhed. Hydraulisk enhed til at drive blæser. Spalte/rør/pose der fører luften ud på bommen. Elektronisk styring, sensorer og software på terminal for automatisk regulering af lufttryk og/eller luftmængde.

Valgfrie elementer. Bom og bomophæng. Terminal/skærm

Standardmiljøeffekt: Luftudstyr til sprøjtebom

Standard miljøeffekt for brug af lavtryks luft med et højt flow til at afsætte sprøjtevæske på planter er beregnet som pesticidreduktion i forhold til gns. fladebelastning opgivet med enheden B ha⁻¹ i bekæmpelsesmiddelstatistikken for 2014 til og med 2018 (Miljøstyrelsen, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Der er taget udgangspunkt i den gns. fladebelastning over årene 2014 til og med 2018 på 1,049 B ha⁻¹ for svampemidler i kartofler og svampe- og insektmidler i korn. Ovennævnte potentiale for reduceret herbicidforbrug i procent udgør således samlet set en reduktion på 0,16 B ha⁻¹ om året (tabel 3.12).

Tabel 3.12: Standardmiljøeffekt for luftudstyr til sprøjtebom.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, B ha ⁻¹ år ⁻²
3.11	Luftudstyr til sprøjtebom	10	Korn, kartofler	0,16 ved 15 % reduktion af svampe- og insektmidler

3.12 Kartoffelradrenser

Det er muligt at kombinere mekanisk og kemisk ukrudtsbekæmpelse i kartofler under de fleste danske forhold, hvorved herbicidforbruget i kartofler kan reduceres betragteligt. Dog har flerårige danske forsøg vist en mindre udbyttenedgang (2-5 %) ved anvendelse af kombinationen kemisk/mechanisk ukrudtsbekæmpelse ifht. Kemiske bekæmpelse alene (Bødker, 2013; Ivany, 2002). Nyere forsøg har vist at ukrudtsharvning og især specialredskaber til radrensning af kamsider og toppen af kamme, som på flere lokaliteter har opnået samme effekt som to gange sprøjtning med ukrudtsmiddel ved et lavt til moderat ukrudtstryk på sandede jorde, i forsøg der varede i et år (Melander et al, 2021; Melander og McCollough, 2021; Kristian Elkjær, KMC, pers. Komm.).

Der antages et minimums pesticidreduktionspotentiale for anvendelse af radrensning i kartofler, hvor radrensning/hypning/kamformning kombineres med en strategi for kemisk bekæmpelse med bredsprøjtning på konventionelle bedrifter på minimum 65 % af det typiske forbrug af ukrudtsmidler i kartofler. Det angivne besparelsespotentiale forudsætter en bredsprøjtning før eller efter kartoflernes fremspiring og minimum to gange radrensning i kartofler (Møller, 2000; Bødker, 2013; Loft og Østergaard, 2011; Bødker et al., 2022). Alle danske forsøg viser, at ved reduceret kemisk bekæmpelse i kombination med en strategi for radrensning under de rette forhold opnås der tilsvarende bekæmpelseseffekter sammenlignet med en strategi bestående af anbefalet dosis ved bredsprøjtninger før og efter fremspiring (Møller, 2000; Bødker, 2013; Loft og Østergaard, 2011).

En type kartoffelradrenser (A) består af flere forskellige typer af specialkonstruerede radrenser som anvendes ifbm. hypning af kamme i kartofler eller kartoffelhypper/plove som er udstyret med knive eller stjernerullere eller harvetænder eller anden anordning som mekanisk bekæmper ukrudt på og mellem kammene. Radrenser kan være monteret med kamformere som sørger for genetablering af kammene eller monteret med andre anordninger for mekanisk ukrudtsbekæmpelse. Det er også muligt at kombinere med båndsprøjtning, men forsøgsresultater for denne kombination foreligger ikke umiddelbart for kartofler under danske forhold. Der er fundet et enkelt studie fra Canada med bekæmpelse af kvik og tokimbladet ukrudt som viser at båndsprøjtning (30 cm,

før og efter fremspiring) + mekanisk ukrudtsbekæmpelse (stjernerullerenser, 3 behandlinger) var lidt mindre effektiv end bredsprøjtning (samme sprøjtetidspunkter), men dog en bekæmpelse af alle ukrudtsarter med over 91 % ved en besparelse på 2/3 af bredsprøjtning per behandling. Kartoffelradrenser kan kombineres med båndsprøjte (teknologi 3.7)

En anden type kartoffelradrenser (B) adskiller sig fra type A ved en konstruktion bestående af elementopbyggede redskabskombinationer til mekanisk ukrudtsbekæmpelse hvor aggregater er svingbare for at minimere risikoen for at skubbe eller udjævne siderne på de enkelte kamme, og hvor opbygning og styring er anderledes end type A radrenserne til kartofler som typisk består af en fast ramme med ikke svingbare elementer/aggregater. For denne type B kartoffelradrenser er elementerne monteret på en ramme som i et antal individuelle sektioner kan styres af kammene via et styringssystem. Desuden kan rammestyringssystemet tilkobles rækkestyring med kamera eller RTK GNSS. Teknologien har været under udvikling og afprøvet i forsøg i 2020, 2021 og 2022. Der er opnået ukrudtsbekæmpelse på niveau med ukrudtsprøjtninger og med over 90 % bekæmpelse af enkim- og tokimbladet ukrudt (Melander og Stolberg-Rohr, 2020; LandboNord, 2018, Bødker et al., 2022). Præcision og optimering af tidspunkt for anvendelsen, udformningen af kamstørrelsen for de forskellige rensetyper og antallet af nødvendige rensninger før mekanisk rensning skal udføres uden risiko for udbyttetab (Landsforsøg 2022). Ved mere præcis lægning og styring af renserne ved hjælp af for eksempel både svingbare aggregater og kamera, vil der være et stort potentiale i en skånsom mekanisk rensning som alternativ til kemisk bekæmpelse.

Specifikationer. Fælles for type A og B kartoffelradrenserne er at radrenseren og renseelementer skal kunne udføre mekanisk bekæmpelse af ukrudt på og mellem kammene. Renseelementer og værktøjer kan udskiftes efter behov. Dette kan være knive, harvetænder, stjernerullerensere, strigle, harve eller lignende. Der skal vælges antallet af afgrøderækker, som teknologien skal betjene. Kartoffelradrenseren skal kunne betjene mindst 2 rækker. Renseelementer eller aggregater skal være monteret på en ramme således at den komplette kartoffelradrenser bestående af ramme og renseelementer/aggregater kan monteres i trepunktsophæng.

For type A er renseelementer ikke svingbare og følger således redskabsrammens sideværts bevægelser.

Type B udgaven af kartoffelradrenser er monteret med svingbare renseelementer/aggregater som følger kammens form og kompenserer for redskabsrammens sideværtsbevægelser, hvorved knive som følger kammens sider altid føres overfladisk for ukrudtsbekæmpelse. De svingbare renseelementer kan enten monteres på en fast ramme for 4, 6 eller 8 rækker (F) eller på en variabel ramme for 2, 4, 6 eller 8 rækker (V). Løsning F med fast ramme er for sideforskydning og redskabsstyring med RTK-GNSS (se valgfrie elementer). Alternativt kan der for løsning F vælges proaktiv sideværtsstyring med kamhjul (se valgfrie elementer). Løsning V er for styring af variable rammer med minimum 2 renseelementer monteret per ramme og sideværtsstyring alene vha. proaktiv styring med kamhjul (se valgfrie elementer).

Teknologien skal anvendes på én af følgende afgrødekoder: 149-152, 154-157

Obligatoriske elementer. Kartoffel-radrensererlementer eller aggregater med monteret udstyr for mekanisk ukrudtsbekæmpelse. For type B skal renseelementer skal være enkeltvis svingbare således at de følger de enkelte kammes placering i forhold til redskabsrammen. Renseelementer med værktøjer såsom kamside- og topknive, gummi fingerhjul, metal fingerhjul, strigletænder eller lignende til mekanisk bekæmpelse af ukrudt mellem,

på kamside og på top af kammene som kan på- og afmonteres afhængig af kartoflers fremspiring og vækststadiet. For type B og løsning F: trepunktsophængt fast ramme for montering af renseelementer. For type B og løsning V: trepunktsophængt variabel ramme for montering af renseelementer.

Valgfrie elementer: Redskabsramme uden opklap eller redskabsramme med opklap og som opfylder EU transportregler. Ekstraudstyr til samtidig hypning af kamme, kamformning eller afskrælning af kamme og/eller ekstra ukrudtsrenseværktøjer. Proaktivt styresystem med kamhjul, hvor antal systemer afhænger af antal rækker. RTK-GNSS til redskabsstyring redskaber såsom stenstrenglægger, kartoffellægger og sideforskydning af kartoffelradrenser, og/eller RTK-GNSS til sektionsløft af renseelementer, herunder og/eller terminaler, antenner og software for RTK-GNSS redskabsstyring og sektionsløft.

Standardmiljøeffekt: Kartoffelradrenser

Standard miljøeffekt for type A og B kartoffelradrenser er beregnet som pesticidreduktion i forhold til den gns. fladebelastning opgivet med enheden $B\ ha^{-1}$ i bekæmpelsesmiddelstatistikken for årene 2014 til og med 2018. Der er således taget udgangspunkt fladebelastning på $3,17\ B\ ha^{-1}$ for ukrudtsmidler i kartofler. Ovennævnte potentiale for reduceret forbrug af ukrudtsmidler i procent udgør således samlet set en reduktion på $2,06\ B\ ha^{-1}$ om året for type A kartoffelradrenser og $2,85\ B\ ha^{-1}$ om året for type B radrenser (tabel 3.13).

Tabel 3.13: Standardmiljøeffekt for svær kartoffelradrenser

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, $B\ ha^{-1}\ år^{-2}$
3.12a	Kartoffelradrenser, type A	8	Kartofler	2.06 ved 65 % reduktion af ukrudtsmidler i kartofler
3.12b	Kartoffelradrenser, type B	8	Kartofler	2.85 ved 90 % reduktion af ukrudtsmidler i kartofler

Referencer

- Anon. (2000) Sprøjteteknik. Køge-Ringsted Landboforenings Planteavlsberetning 1999, 141-144.
- Bartholomaeus, A., Mittler, S., & Varrelmann, M. (2016). Chemical control of Rhizoctonia root and crown rot in sugar beet. SUGAR INDUSTRY-ZUCKERINDUSTRIE, 141(4), 228-238.
- Berge, T.W., Goldberg, S., Kaspersen, K., Netland, J. (2012) Towards machine vision based site-specific weed management in cereals. Computers and Electronics in Agriculture 81, 79-86.
- Carrara, M., Comparetti, A. Febo, P., Orlando S. (2004) Spatially variable herbicide application on durum wheat in Sicily. Biosystems Engineering 87 (4), 387-392
- Christensen, S., Søgaard, H. T., Kudsk, P., Nørremark, M., Lund, I., Nadimi, E. S., & Jørgensen, R. (2009). Site-specific weed control technologies. Weed Research, 49, 233-241.
- Clayton, J.S. (2014). The Varidome precision band sprayer for row crops. Aspects of applied biology, 55-62.

- Cloutier D.C., Van der Weide R.Y., Peruzzi A. & Leblanc M.L. (2007) Mechanical Weed Management. Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology, (Editors: M.K. Upadhyaya & R. E. Blackshaw). CAB International (www.cabi.org), Wallingford (UK), 111-134.
- Donald, W. W. 1994. Geostatistics for mapping weeds with a Canada thistle (*Cirsium arvense*) patch as a case study. Weed Science 42, 648-657
- Fabricius, C., Petersen, P.H., Jensen, J.E. (2021) Glyphosathandlingsplan: Lad os sammen sænke glyphosatforbruget. Landbrugsinfo. https://www.landbrugsinfo.dk/public/3/4/8/afgroder_glyphosathandlingsplan_sanke_glyphosatforbrug (websiden besøgt 28-03-2022)
- Gerhards, R., Oebel, H. (2006) Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. Weed Research, 46, 185-193.
- Griffin, S., Hollis, J. (2017) Plant growth regulators on winter wheat – yield benefits of variable rate application. Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ECPA) 2017, 233-237
- Gutjahr, C., Sökefeld, M., Gerhards, R. (2012) Evaluation of two patch spraying systems in winter wheat and maize. Weed Research, 52, 510-519
- Hansen, O.M. (2001) Positionsbestemt plantebeskyttelse. Oversigt of Landsforsøgene. Landbrugets Rådgivningsscenter. 90-92
- Jensen, P. K. & Lund, I. (2006) Static and dynamic distribution of spray from single nozzles and the influence on biological efficacy of band applications of herbicides. Crop Protection 25, 1201-1209.
- Jensen, P.K., Jørgensen, L.N. (2016) Interactions between crop biomass and development of foliar diseases in winter wheat and the potential to graduate the fungicide dose according to crop biomass. Crop Protection 81, 92-98.
- Jensen, P.K. (2004) Vidensyntese om sprøjteteknik med hovedvægt på afdriftsreducerende dyser samt sprøjter med luftledsagelse og luftsprøjter. Rapport over Erhvervsfinansieret Planteavlsforskning
- Jensen, P.K., Nielsen, B. J., Hansen, H. H. (2003) Sprøjteteknik i kartofler. Hvilke ønsker har vi til ny teknik? 20. Danske Planteværnskonference 2003
- Kaivosoja, J. Linkolehto, R. (2016) Spatial overlapping in crop farming works. Agronomy Research 14(1), 41-53
- Kaspersen, K., Berge, T.W., Goldberg, S., Netland, J., Overskeid, Ø., Stølan, T., 2010. Estimation of weed pressure in cereals using digital image analysis. In: Program and Abstracts, 3rd Precision Crop Protection Conference, 19-21 September 2010, Bonn, Germany, p. 1
- Klausen, N.E. (2007) FarmTest - Sprøjteteknik I kartofler. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Planteproduktion. Maskiner og planteavl nr. 84. 17 sider.

Larssolle, A., Wretblad, P., Westberg, C. (2002) A comparison of biological effect and spray liquid distribution and deposition for different spray application techniques in different crops. Report 250. SLU Uppsala 2002. Department of Agricultural Engineering. ISSN 00283-0086. 32 sider.

Larson, J.A., Velandia, M.M., Buschermohle, M.J., Shaun, M. W. (2016) Effect of field geometry on profitability of automatic section control for chemical application equipment. *Precision Agriculture* 17(1), 18–35

Leonard, R.; Rice, B.; Dowley, L.J.; Ward, S. (2000) The effect of air assistance on spray deposition and biological effect in the control of *Phytophthora infestans* in potatoes. *Aspects of Applied Biology* 57, 243–249

Luck, J.D., Pitl, S.K., Shearer, S.A., Mueller, T.G., Dillon, C.R., Fulton, J.P. & Higgins, S.F. (2009) Potential for pesticide and nutrient savings via map-based automatic boom section control of spray nozzles. *Computers and Electronics in Agriculture*.

Melander B. & McCollough M.R. 2021. CH-11 Advances in mechanical weed control technologies. In: *Advances in integrated weed management* (edited by Per Kudsk). Burleigh Dodds Science Publishing (<https://bdsublishing.com/open-access/>), pp. 27; <http://dx.doi.org/10.19103/AS.2021.0098.11>

Melander B. 2021. Notat ang. automatisk ukrudtslugning tæt på kulturplanterne i sukkerroer og udplantet salat – resultater fra vækstsæsonen 2021. Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi.

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., Rasmussen, K., Rasmussen, I. A., & Jørgensen, M. H. (2001). Radrensning med og uden ukrudtsharvning i vintersæd om foråret i samspil med forskellige dyrkningsfaktorer. In 18. Danske Planteværnskonference (Vol. I, pp. 211–226). Danmarks JordbrugsForskning. DJF Rapport Markbrug No. 40

Midtiby, H., Mosgaard Giselsson, T., & Jørgensen, R. N. (2012). Estimating plant stem emerging points (PSEPs) of sugar of beets in early growth stages. *Biosystems Engineering*, 111(1), 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.10.011>

Miljøstyrelsen (2014) Bekæmpelsesmiddelstatistik 2014: Behandlingshyppighed og pesticidbelastning, baseret på salgsstatistik og sprøjtejournaldata. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 13, 92 sider

Miljøstyrelsen (2015) Bekæmpelsesmiddelstatistik 2015: Behandlingshyppighed og pesticidbelastning, baseret på salgsstatistik og sprøjtejournaldata. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 17, 86 sider

Miljøstyrelsen (2016) Bekæmpelsesmiddelstatistik 2016: Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 22, 87 sider

Miljøstyrelsen (2017) Bekæmpelsesmiddelstatistik 2017: Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Revideret udgave. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 32, 98 sider

Miljøstyrelsen (2018) Bekæmpelsesmiddelstatistik 2018: Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 45, 102 sider

Miljøstyrelsen (2020) Brug af afdriftsreducerende udstyr ved sprøjtning med plantebeskyttelsesmidler. Vejledning nr. 46 inkl. bilag, ver. 2.4.

Nørremark, M., Griepentrog, H. W., Nielsen, J. & Søgaard, H. T (2008) The development and assessment of the accuracy of an autonomous GPS-based system for intra-row mechanical weed control in row crops. Biosystems Engineering 101(4), 396-410.

Pedersen, C.Å. (2000) Oversigt over Landsforsøgene 2000. Landbrugets Rådgivningscenter. 336 p.

Pedersen, C.Å. (2002) Oversigt over Landsforsøgene 2002. Landbrugets Rådgivningscenter. 353 p.

Pedersen, J.B. (2011) Oversigt over Landsforsøgene 2011. Videncentret for Landbrug. 443 p.

Pedersen, J. & Petersen, P.H. (2010) Radrensning af majs og raps. FarmTest. Videncentret for Landbrug. Maskiner og Planteavl 118, 32 sider

Pedersen, H.H., Hansen, O.M., Jensen, J.E., Søgaard, H.T., Graglia, E. (2004) Strategier for positionsbestemt ukrudtsbekæmpelse i roer. FarmTest Maskiner/Planteavl nr. 35. 32 sider

Petersen, K. L., Jensen, K.L., Nielsen, M.B., Paz, L.-C., Jensen, N.-P., Rydahl, P., Bøjer, O.M., Scovill, A., Jørgensen, R.N., Laursen, M.S., Teimouri, N., Hartmann, B. (2021) Analysis of potential herbicide savings using experience and data from the RoboWeedMaPS project. Report prepared as a result of participation in project 2020-68795, under the Danish Environmental Protection Agency. "Precision Spraying Partnership", April 20, 2021. 255 sider

Rabølle, C. (2021) Sprøjteteknik til nedvisning af frøgræs. VKST Planteavlsnyt, 14. januar 2021 (www.planteavlsnyt.dk). 3 sider

Rasmussen, J., Nielsen, J., Streibig, J. C., Olsen, S. I., Pedersen, K. S., & Jensen, J. E. (2016). Droner til monitorering af flerårigt ukrudt i korn. Miljøstyrelsen. Bekæmpelsesmiddelforskning No. 165 <http://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2017/jan/droner-tidsler-pletsproejtning/>

Rasmussen, J., Nielsen, J., Streibig, J. C., Jensen, J. E., Pedersen, K. S., & Olsen, S. I. (2019). Pre-harvest weed mapping of *Cirsium arvense* in wheat and barley with off-the-shelf UAVs. Precision Agriculture, 20(5), 983–999.

Schans, D.A. van der; Bleeker, P.O.; Molendijk, L.P.G.; Plentinger, M.C.; Weide, R.Y. van der; Lotz, L.A.P.; Bauermeister, R.; Total, R.; Baumann, D.T. (2006) Practical weed control in arable farming and outdoor vegetable cultivation without chemicals. Wageningen UR, Applied Plant Research (PPO publication no. 352) - ISBN 9789077861042

Secher, B.J.M. (2017) IPMIROER - Kan vi båndsprøjte med en alm. sprøjte? Præsentation ved roemøde. Februar 2017. Dansk Landbrug Sydhavsøerne.

Tersbøl, M., Bertelsen, I., Pedersen, J.B., Haldrup, C., Birkmose, T.S., Knudsen, L. & Jørgensen, T.V. (2000) Økologisk dyrkning. Rækkedyrkning. I: Oversigt over landsforsøg 2000, ved Landsudvalget for Planteavl, Carl Åge Pedersen, 238-239 5.8 og 5.9

- Tersbøl, M. (2001) Økologisk dyrkning. I: Oversigt over landsforsøg 2001, ved Landsudvalget for Planteavl, Carl Åge Pedersen, 230-231
- Thomsen, J.N., Nielsen, O. (2018) Faglig beretning 2017. NBR Nordic Beet Research Foundation. Annual report 2017, 50-59
- Thorsted, M.D. (2019). Vækstregulering. Oversigt over landsforsøgene 2019. Forsøg og undersøgelser i Dansk Landbrugsrådgivning. Landbrug & Fødevarer F.m.b.A. 95-96.
- Thorsted, M.D. (2021). Vækstregulering. Landsforsøgene 2021. Forsøg og undersøgelser i Dansk Landbrugsrådgivning. Landbrug & Fødevarer F.m.b.A. 100-101.
- Tillett, N.D., Hague, T., Grundy, A.C. & Dedousis, A.P. (2008) Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision. *Biosystems Engineering* 99, 171-178.
- Tillett, N.D. & Hague, T. (2006) Increasing Work Rate in Vision Guided Precision Banded Operations. *Biosystems Engineering* 94(4), 487-494
- Wiles, L.J. (2009) Beyond patch spraying: site-specific weed management with several herbicides. *Precision Agriculture* 10, 277-290.
- Whetton, R. L., Waive, T. W., & Mouazen, A. M. (2018). Evaluating management zone maps for variable rate fungicide application and selective harvest. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 202-212
- Bødker, L. (2013) Kartoffler – Ukrudt. Oversigt over Landsforsøgene 2013. Videncenteret for Landbrug. 319-325.
- LandboNord (2018) Onfarm forsøg og landmandsdemo 2018 – Afprøvning og test af mekanisk ukrudtsrensere i kartofler. Demonstration gennemført af LandboNord. Afrapportering foretaget af SEGES Økologi Innovation i samarbejde med Communexion. EU Interreg projekt for: Samarbejdsplatform om præcisionsjordbrug. 20 sider
- Loft, M. & Østergaard, P. (2011) Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i praksis. Ukrudtsbekæmpelse i kartofler. Plante-kongres 2011, 11-13 januar 2011, Herning, Danmark, 241 – 243
- Melander, B., Mc Collough, M. R. (2021). Advances in mechanical weed control technologies. Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.19103/AS.2021.0098.11>
- Melander, B., Stolberg-Rohr, M. (2021) Nye løsninger til mekanisk ukrudtsbekæmpelse i kartofler. Kartoffelafgiftsfonden. 8 sider.
- Møller, L. (2000) Ukrudtsbekæmpelse i kartofler – Mekanisk-kemisk ukrudtsbekæmpelse Oversigt over Landsforsøgene 2000. Landbrugets Rådgivningscenter. 260-261.
- Ivany, J.A. (2002) Banded herbicides and cultivation for weed control in potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Canadian Journal of Plant Science*. Volume 82(3), 617-620. <https://doi.org/10.4141/P01-163>

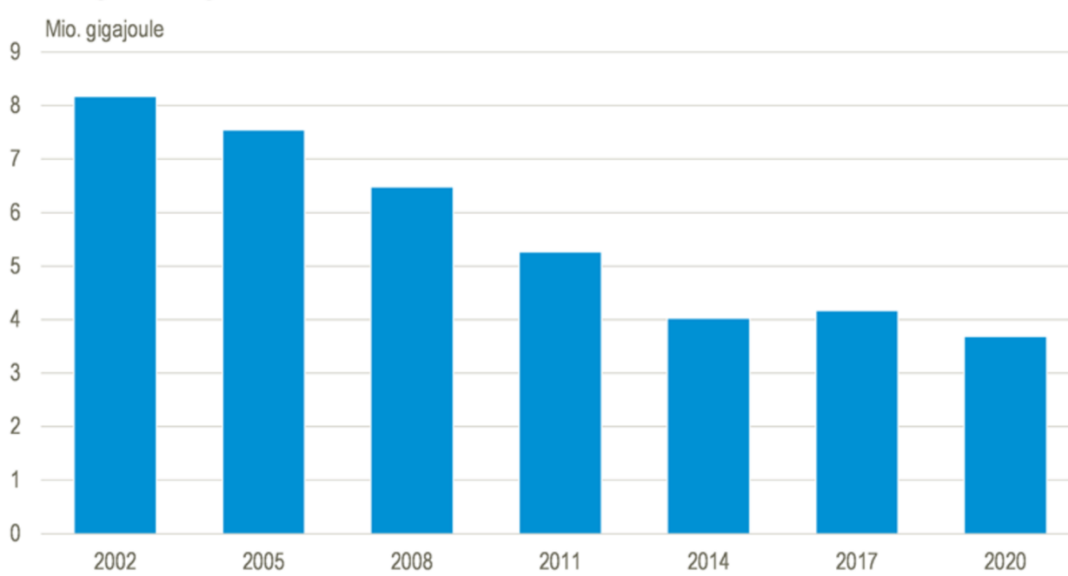
Indsatsområde 4: Reducere energiforbruget i væksthuse

Forfatter: Carl-Otto Ottosen, Institut for Fødevarevidenskab, AU

Gartneri: Reduktion af energiforbrug

Generelt er miljøeffekten for en given teknologi angivet i enheden kWh pr m². Arealet vedrører det areal, som teknologien har effekt på, det vil sige væksthuseareal, dyrkningsareal på friland eller lagerareal. I et væksthuse har teknologien kun effekt på det areal, som reelt anvendes til planteproduktion, dvs. eksklusiv eventuelt teknikrum eller lager. Det totale energiforbrug har været faldende i kraft af bedre klimastyring og teknologi i væksthuseproduktionen, så yderligere reduktion vil kræve investeringer og ændringer i rutiner for at opnå ønskede effekter (figur 4.1). Enhver reduktion i energiforbruget vil bidrage til en reduktion af CO₂ aftrykket.

Forbrug af energi i væksthuse



Kilde: www.statistikbanken.dk/vhus2

Figur 4.1: Energiforbrugsudviklingen i danske væksthuseproduktion <https://www.dst.dk/da/Statistik/nyheder-analyser-publ/nyt/NytHtml?cid=31403>

4.1 Gardiner til isolering - væksthuse

Gardiner i væksthuse har flere funktioner. Det gælder bl.a. afskærmning mod sol (høj lysintensitet), energibesparelse om natten og daglængderegulering for arter med kort eller langdagsbehov. Gardiner anvendes i alle potteplantegartnerier og i stigende omfang i grønsagsgartnerier, da gardiner nu kan foldes effektivt, så der ikke skygges for planterne.

Energibesparelse ved brug af gardiner i væksthuse har været kendt længe, og virkningen af at bruge gardiner er velkendt. Energibesparelsen afhænger af det materiale, som gardinerne er fremstillet af og den måde gardinerne er installeret. Energibesparelsen opstår gennem påvirkning af flere faktorer:

- Et glasvæksthuse har et energitab gennem konvektion, hvor luften i væksthuset afkøles af det kolde glas.

- Et glasvæksthus har et naturligt luftskifte, hvor varm luft siver ud og erstattes med kold luft (marginalt i moderne væksthuse).
- 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 årsagerne hertil skal findes i, at der ikke er taget hensyn til luftskiftet i væksthuset, at gardinmaterialet ofte er testet i en laboratorieopsætning og at nye gardinmaterialer udvikles løbende.

Et gardin, som er tæt, så luften har svært ved at passere igennem materialet, reducerer energitabet ved konvektion. Samtidig er et tæt gardin med til at reducere luftskiftet i væksthuset. Strålingstabet kan reduceres, hvis der bruges et gardin, som indeholder forskellige fraktioner af aluminium. Aluminium bruges, fordi det er billigt, kan reflektere lyset, og kan fremstilles som en tynd folie, der limes på en plastfilm. Energibesparelsen er derfor afhængig af gardinmaterialet, både basen, aluminium og aldringen af gardinet. Yderligere er energibesparelsen afhængig af, hvilken styringsstrategi der anvendes, og om der anvendes mere end ét lag gardiner og graden af gardinets inddækning i kanten dvs. hvor tæt samlinger i kanten af gardinet mod væg eller andre gardiner er lavet.

I litteraturen angives værdier fra 20 til over 40 % i energibesparelse ved anvendelse af gardiner (Dieleman et al. 2006; Bartok 2016). 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. Der udvikles til stadighed nye typer med forskellige fordele – brandhæmmende eller lysdiffuserende typer. Det kan give en højere produktivitet, men ikke nogen direkte reduktion i energiforbruget.

En realistisk værdi for ét-lagsgardiner er en energibesparelse på 20-30 %, lavest for transparente materialer og højest for gardiner af aluminium. Der er dog ikke proportionalitet mellem energibesparelse og procentvis indhold af aluminium. Effekten afhænger også af tæthed og montage. Et to-lagsgardin består af et normalt isoleringsgardin (eller mørklægningsgardin) kombineret med et skyggegardin. Energibesparelsen bliver større, men igen afhænger besparelsen af gardinmaterialernes egenskaber. Bruges tætte gardiner og vandret montering af flere gardiner, fås en højere energibesparelse, fordi den stillestående luft mellem de to gardinlag øger isoleringen, men flere gardiner vil alt andet lige medføre en vist skygning om dagen (når gardiner er trukket fra). Energibesparelsen stiger med 10 til 15 %, når der installeres et ekstra lag gardiner (Zhao et al., 2011).

En forudsætning 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 overlapning og en såkaldt fodpose ved soklen.

Gardinmaterialerne slides ved foldning og ved træksnore og nedbrydes af UV-lys, selv i et glasvæksthus. Ved slitage opstår utætheder i gardinmaterialerne, og energiforbruget forøges. Levetiden for et gardinanlæg er erfaringsmæssigt mellem 5 og 7 år. Udskiftning af slidte gardinmaterialer til et andet og mere isolerende materiale

vil betyde en lille reduktion i energiforbruget på det pågældende tidspunkt, da gardinteknologien udvikles hurtigt.

NIR-gardiner er karakteriseret ved at kunne reflektere en del af solens nærinfrarøde (NIR) 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. De har som sådan ingen energibesparende effekt, men sikrer en bedre fordeling af lyset, og man kan opnå en bedre vækst i skyggekrævende planter, fordi man kan øge den daglige lyssum (Hohenstein, 2014), mens effekten har mindre betydning for lyskrævende planter, der dyrkes i Danmark.

Der er 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 målt på gardinmaterialet, der ligger til grund.

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 mørklægningsgardinerne 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, tabel 4.1). Markedsførte skyggegardiner med diffusion har som funktion dels at holde bladtemperaturen nede og dels at kunne anvendes som klimaregulering og reducere transpirationen i perioder af året og dels at fungere som let isoleringsgardin efterår og forår samt i kombination med isoleringsgardin for forbedret isoleringseffekt. Stillestående luft mellem 2 skyggegardiner giver den isolerende effekt. De fleste planter kan ikke udnytte fuld sol, og i en sådan situation giver skyggegardiner en bedre lysfordeling i specielt høje afgrøder. Miljøeffekten er alene beregnet på baggrund af effekter af skyggegardiner, og indgår derfor under obligatoriske elementer.

Tabel 4.1: Procentvis energibesparelse i perioderne januar – april og september – december ved installation af gardiner i væksthuse med forskellige varmekonsum over perioderne og ved en sætpunktstemperatur på 20 °C. (Tabeller er udarbejdet af Niels Erik Anderson, DJF)

	Varmeforbrugstal med gardiner lukket mellem solnedgang og solopgang (W m ⁻² K ⁻¹)			
	4.5	5	5.5	6
Niveauer for varmekonsum uden gardiner (W m ⁻² K ⁻¹)	%vis besparelse			
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

Væksthuse kan klassificeres efter deres varmekonsum (W m⁻² K⁻¹), som afspejler væksthushusets energitekniske tilstand. Jo højere et varmekonsum, des dårligere er den energitekniske tilstand. Typisk har ældre fritliggende væksthuse et meget højt varmekonsum, mens moderne blokvæksthuse har et mindre varmekonsum. I nedenstående Tabel 4.2 ses den procentvise energibesparelse ved installation af gardiner i væksthuse med forskellige varmekonsum, afhængig af hvor stor en ændring der efterfølgende sker i varmekonsummet. En realistisk forbedring af varmekonsummet ved installation af gardiner ligger mellem 2-2,5 og afhænger blandt andet af gardinmaterialet og monteringsmetoden.

Specifikationer. Et isoleringsgardin er et gardin bestående af aluminium og polyester. Alle typer med forskellige kombinationer af aluminium og polyester kan anvendes. Diffuserende gardiner, NIR-gardiner og mørklægningsgardiner anses ligeledes som isoleringsgardin, uanset om der er anvendt aluminium og/eller polyester i gardinet. Isoleringsgardin og skyggegardin skal have individuel gardinstyring. Gardinerne skal være brandhæmmende. Der skal søges om tilskud til det grundareal af væksthuset, hvor gardinerne installeres.

Obligatoriske elementer. Et isoleringsgardin. Et skyggegardin. Gardinstyring (snoretræk og trækmotorer).

Standardmiljøeffekt: Gardiner til isolering af væksthuse

Ud fra besparellesprocenterne kan reduktionen i CO₂-emissionen beregnes ud fra den anvendte energikilde for en given ændring i varmekonsummet.

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 (Hemming et al. 2017, Rasheed et al 2019.).

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

Brug af flerlagsgardiner (kombinationer af højsolerende gardiner og skyggegardiner) er 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 planter under åbninger i gardinerne, så risikoen for fugtnedslag er større. Disse er nødvendige, fordi varmen fra kunst-lys-installationen skal kunne ledes bort. Når der anvendes LED lamper er denne del af klimastyringen også vigtigt da der tilføres mindre varmeenergi, så fugtstyringen er mere kompliceret.

Tabel 4.2: Standardmiljøeffekten for gardiner til isolering af væksthuse.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, kWh/m ² /år
4.1	Gardiner til isolering - væksthuse	8	Væksthusplanter	75 ved energireduktion på 15 %

Generelt er forudsætningen for energibesparelse ved investering i gardininstallationer, at de anvendes så meget som muligt, men at man faktisk justerer klimastyringen i forhold til de nye gardintyper, der installeres. Derfor kan kombinationen af effektive gardiner og varmepumper mv. til fugtstyring være en god løsning, da gardinerne her kan anvendes betydeligt længere tid af året.

Det er vanskeligt at sætte en konkret økonomisk effekt på brugen af gardiner. Det skyldes, at gartneriernes varmemeforbrugstal (pris og energikilde) ikke er ens, og inden for et gartneri kan der være forskellige varmemeforbrugstal for hver væksthuseenhed, pga. alder, placering osv. Da varmemeforbrugstallet afhænger af væksthuses alder, vedligeholdelsesstand og væksthustype, er det nødvendigt at inddrage denne viden for at kunne skønne den økonomiske effekt, så data er skønnede.

Et andet forhold som spiller ind, både på den økonomiske og miljømæssige effekt, er, hvilken energikilde der anvendes. Bruges naturgas, er opvarmningsprisen højere, mens miljøpåvirkningen er mindre pga. mindre CO₂-emission.

Ved installation af et enkeltlagsgardin vil energiforbruget kunne reduceres med 15-25 % i forhold til et væksthuse uden gardiner, men der er næppe nogen fungerende væksthuse i Danmark uden gardiner, og da kan energibesparelsen øges med 10-15 %, hvis der installeres et ekstra lag gardiner. Udskiftning af et-lags gardin til ny gardintype vil ikke give en markant besparelse. Den årlige miljøeffekt vil således ligge på omkring 50 kWh pr m². Energibesparelsen er afhængig af den styringsstrategi der anvendes, og maksimal miljøeffekt kræver en omlægning af klimastyringen på eksisterende klimacomputer.

4.2 Højisolerende to- eller flerlags dækkemateriale - væksthuse

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 W m⁻² K⁻¹ for en 6-lagsplade. Til sammenligning har glas en varmetransmissionskoefficient på 6,5 W m⁻² K⁻¹. Anvendes permanent isolering, dvs. materialer uden lysgennemgang, kan varmetransmissionskoefficienten reduceres til mindre end 0,4 W m⁻² K⁻¹.

Der er i det følgende givet nogle eksempler på den forventede energibesparelse ved at udskifte enkeltlagsglas med 2-lags kanalplader (tabel 4.3).

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 varmemeforbrugstal (P-værdi) på 8,5 W m⁻² K⁻¹. Det er ikke ualmindeligt, at gavlene i eksisterende fritliggende væksthuse består af kanalplader, hvilket giver en P-værdi på 8,1 W m⁻² K⁻¹. Når der meget ofte bruges kanalplader i gavlene, er det også fordi, det er vanskeligt at montere et velfungerende træksystem til et isoleringsgardin. Ved isolering af gavlene udelades monteringen af et skygge- eller isoleringsgardin. Udskiftes yderligere, for eksempel den nordvendte trempel med kanalplader, reduceres P-værdien til 7,7 W m⁻² K⁻¹, og med begge trempeler isoleret til 7,5 W m⁻² K⁻¹. Hvis f.eks. den nordvendte

tagflade også udskiftes, reduceres P-værdien til $6,0 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, og med begge tagflader udskiftet med dobbelte kanalplader bliver P-værdien $4,5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

Tabel 4.3: Ændring i det årlige energiforbrug for et fritliggende væksthuse ved isolering med 2 lags-kanalplader ved en sætpunkttemperatur på 20°C . (Tabeller er udarbejdet af Niels Erik Anderson, DJF)

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

En Venloblok af glas har en P-værdi på $8,1 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Ved isolering af gavlene bringes P-værdien ned på $7,7 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Isoleres nordtrempelen med kanalplader, fås en P-værdi på $7,5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Bruges der i stedet permanent isolering i nordtrempelen, reduceres P-værdien til $7,2 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Bruges der desuden kanalplader i sydtrepelen, bliver P-værdien 7,0. Den vanskeligste del at isolere på et blokvæksthuse er som nævnt taget, men de teoretiske beregninger ved udskiftning med kanalplader er medtaget (tabel 4.4).

Tabel 4.4: Ændring i energiforbrug for et blokvæksthuse (Venloblok) ved isolering med 2-lags kanalplader ved en sætpunkttemperatur på 20°C . (Tabeller er udarbejdet af Niels Erik Anderson, DJF)

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

Den forventede energibesparelse står dog ikke altid mål med det, som opnås i virkeligheden. I væksthuse, bygget helt eller delvist i kanalplader, bliver luftfugtigheden højere og energiforbruget til affugtning stiger. Affugtning er en energiforbrugende proces, der sker ved brug af naturlig ventilation, samtidig med at der tilføres energi til væksthuset. Der kan ske en reduktion af energiforbruget ved hjælp af en mere dynamisk klimastyring og mere fokus på at acceptere højere fugtighed i perioder.

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

Udskiftning af traditionelt (float) glas med andet glas med *mindre* refleksion betyder i princippet, at der kan komme mere lys til planterne både direkte og ved diffust glas også nede i afgrøden specielt i høje afgrøder. Dette vil ikke have en energibesparende effekt, men kan øge produktionen i sommerperioden med 10 % (Dueck et al., 2012), men merprisen for glas gør det ikke rentabelt. I vinterperioden er det tvivlsomt om der ses en stor effekt, da det naturlige lys udgør max 25 % af det tilførte lys, og vinterlys har oftest en højere grad af diffus karakter.

Kvartsglastyper, der tillader UV gennemslip kan have betydning for kvaliteten af planterne, men ikke for energibesparelse, og medfører en hurtigere nedbrydning af gardiner og plastmaterialer. For alle alternative glastyper gælder det, at priserne er så høje, at man næppe kan beregne en tilbagebetalingstid, da efterspørgsel til solfangere og i bygninger presser prisen op.

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. Anvendelse af 2- eller flerlagsdækkematerialer påvirker ikke elektricitetsforbruget, idet hovedparten anvendes til kunst-lys (tabel 4.5).

Tabel 4.5: Reduktionen i CO₂-emissionen i kg pr. kvadratmeter pr. år for et fritliggende væksthuse ved en sætpunktstemperatur på 20 °C ved forskellige grader af isolering med 2-lags kanalplader. (Tabeller er udarbejdet af Niels Erik Anderson, DJF)

Isolering	Fjernvarme	Naturgas	Gasolie	Fuelolie
Permanent isolering af nord-trempel	5	9	12	12
Gavle	8	13	17	17
Gavle og nordtrempel	10	16	21	22
Gavle og trempler	13	22	28	30
Gavle, trempler og en tagflade	31	53	69	72
Gavle, en trempel med permanent isolering og en med kanalplade og en tagflade	35	58	76	80
Alle udvendige flader i kanalplade	51	86	111	117
Permanent isolering af nordtrempel, øvrige flader i kanalplader	53	90	116	122

Specifikationer. Dækkematerialet skal være transparent. Højtisolierende dækkematerialer kan være to- eller flerlags polykarbonat kanalplader. Fritstående væksthuse er væksthuse med én enkelt tagryg. Det er hele den nordvendte væg og tagflade og evt. endevægge (gavle), som skal isoleres. Det er valgfrit om én eller begge gavle isoleres. Væksthuset skal være på mindst 800 m².

Obligatoriske elementer. Højtisolierende transparent dækkemateriale til isolering af fritliggende væksthuses nordvæg, tag i nord og én eller begge gavle.

Standardmiljøeffekt: Højtisolierende to- eller flerlags dækkemateriale i væksthuse

Det gennemsnitlige årlige energiforbrug i et væksthuse er 265 kWh/m², jf. Danmarks Statistik (2017) over opgørelser af energiforbrug og væksthuseareal, hvilket reflekterer stigende energiforbrug til kunst-lys. Ved udskiftning af enkeltlagsglas med højtisolierende to- eller flerlags dækkemateriale kan energiforbruget i et væksthuse reduceres

med 10-30 %, hvilket giver en gennemsnitlig årlig miljøeffekt på 53 kWh/m². Der opnås størst effekt i enkeltstående væksthuse og effekten aftager med væksthushusets størrelse. F.eks. vil der kunne opnås en effekt på mere end 20 % i enkeltstående huse mindre end 20 m bredde, bygget med sprusser af aluminium (tabel 4.6). Den ønskede miljøeffekt opnås kun såfremt klimastyringen justeres på den eksisterende klimastyring.

Tabel 4.6: Standardmiljøeffekten for højisolerende to- eller flerlags dækkemateriale i væksthuse.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, kWh/m ² /år
4.2	Højisolerende to- eller flerlags dækkemateriale - væksthuse	10	Væksthusplanter	115 ved energireduktion på 20 %

4.3 Klimastyring - væksthuse

Dynamisk klimastyring baserer sig på en sænkning af varmesætpunktet og en hævnning af ventilationssætpunktet, kombineret med lysafhængigt ventilationstillæg og normalt lysafhængig CO₂-koncentration, så man reducerer energiforbruget ved lavt lys og øger produktiviteten ved højere lys, hvor lukkede vinduer øger temperaturen og tillader øget udnyttelse af CO₂. 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.

Klimaet i et væksthuse kontrolleres af en klimacontroller, dvs. en boks der er forbundet med et antal væksthuseenheder (afhænger af firma). klimacontrolleren indeholder set punkter for klimaparametrene og sender signaler til varmesystemets ventiler, motorer for vinduer og gardiner mv., så klimaet automatisk holdes så tæt på set-punkterne som muligt. På klimacontrolleren kan man aflæse tilstanden i væksthuset her og nu, og lave simpel programmering af set punkter.

Et antal klimacontrollere forbindes til en PC med et klimastyringssoftware. Dette er brugerfladen for overvågning af klimaet og mere avanceret klimastyring. På PC kan klimahistorikken følges bagud i tiden, så man kan kontrollere at væksthuset gør hvad det skal over tid, også om natten

Alle klimastyringssystemer har faciliteter i softwaren til dynamisk klimastyring og de nødvendige sensorer. I et par af klimastyringssystemerne er det yderligere muligt at lægge modeller "på toppen" af softwaren, eller der er indlagt styringsstrategier, men dette er ikke en garanti for yderligere energibesparelse. Der udbydes ikke kommercielle softwarepakker til energibesparende klimaregulering, men leverandørerne 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 alene på plantevæksten kan have store indflydelse på produktionstiden, så typisk opereres med en middeltemperatur over et eller flere døgn.

Et forhold med afgørende betydning for klimastyringen, er sensorernes kvalitet og kalibrering. Manglende kalibrering af f.eks. luftfugtighedssensorer kan medføre en fejlagtig fugtstyring, og fejlagtig måling af CO₂ kan betyde

et betydeligt merforbrug på CO₂. Check af sensorer udføres normalt med kalibreret udstyr, ofte i samarbejde med rådgivningstjenesten.

Specifikationer. Formålet med klimacontrollere er at opnå optimal klimastyring. Der skal investeres i sensorer for temperatur, CO₂ og fugtighed i hver væksthuseenhed. En væksthuseenhed er et sammenhængende område i væksthuset, ofte kaldet en zone, hvor der er samme behov for temperatur mv. og som styres individuelt.

Obligatoriske elementer. Klimacontroller(e) svarende til det antal zoner der skal klimastyres. Sensorer. Software for dataopsamling og analyse af klimadata installeret på PC, og som er forbundet til de installerede klimacontrollere

Standardmiljøeffekt: Klimastyring i væksthuse

Energiforbruget vil kunne reduceres med op til 30 %, hvis varmesætpunktet sænkes fra 20 til 16 grader. Det kræver aktivt indsats med klimastyring. Den gennemsnitlige årlige miljøeffekt vil ligge på omkring 80 kWh pr. m² (tabel 4.7). Udstyret kan med fordel kombineres med andre teknologier, f.eks. varmepumper.

Tabel 4.7: standardmiljøeffekten for klimastyring i væksthuse.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, kWh/m ² /år
4.3	Klimastyring - væksthuse	10	Væksthusplanter	80 ved energireduktion på 30 %

4.4 LED-belysning - væksthuse

Inden for belysning bruges i større og større omfang lysdioder (LED). Det skyldes at udviklingen inden for lysdioder har gjort dem mere og mere energieffektive, og at de i energieffektivitet er overlegne ift. højtryksnatriumlamper, hvor mere end 30 % af den tilførte energi bliver omsat til synligt lys.

Et LED belysningssystem kan erstatte højtryksnatriumlamper og andre typer vækst-lamper. Systemet er under fortsat udvikling, og der findes en tidligere version, der er installeret i danske gartnerier, og som er valideret ved forsøg på Aarhus Universitet (Ouzounis et al. 2018.) og i Wageningen, hvor energibesparelsen er omkring 40 % samlet efter korrektion for merforbrug af varme (Katzin et al. 2021). DTU/Fotonik har analyseret energiforbruget, eller rettere energieffektiviteten, hvor de traditionelle SONT-lamper ligger på 1,6-1,8 µmol/J, mens de elektroniske ballastlamper med 600 eller 1000 watt er mellem 2,0 og 2,4 µmol/J. LED-lamper ligger mellem 2,2 og 3,0 µmol/J. Dette afhænger dog af lyssammensætning og udviklingstrin af lamperne. De ledende firmaer såsom Signify (Philips) og Hortilux har lamper på markedet med 3,0 µmol/J. Man kan dog ikke udelukkende bedømme lamperne på basis af lyseffektivitet, idet lysfordeling og -intensitet har en stor rolle. Reelt er den mest effektive bedømmelse en vurdering af pris per µmol på planterne.

På nuværende tidspunkt skønnes det, at udskiftning af traditionelle SONT-lamper (400 W) til LED giver en besparelse på ca. 50 % på el, men der skal afhængigt af planteart justeres med øget varmetilførsel. Der kan også være energibesparelse ved udskiftning af ældre LED enheder forudsat at der er dokumentation for opnåelse af min. 15% energibesparelse, dvs. armaturerne skal have en højere energieffektivitet.

Specifikationer. Det er kun belysning i området med afgrøder/kulturer, som er tilskudsberettiget. Belysning i andre dele af væksthuse som fx lager, teknik-rum eller andre dele af gartneriet som fx pakkerum, er ikke tilskudsberettiget. Den nye LED-belysning skal erstatte ikke-LED belysning eller eksisterende LED belysning, hvis energieffektiviteten er højere. For at kunne dokumentere dette skal dele fra gammel belysning gemmes, eller der skal tages før/efter billeder. Andelen af LED-lamper skal udgøre mindst 30 pct.

Obligatoriske elementer. LED armaturer, inklusive LED rør.

Standardmiljøeffekt: LED-belysning til væksthuse

Et gennemsnitligt el-forbrug på ca. 60 kWh/m² vil kunne reduceres med mindst 40 % i forhold til elforbrug til gamle SONT-lamper (Särkkä et al. 2017; Ouzounis et al. 2018, Katzin et al. 2021). Da LED ikke afgiver så meget varme, vil der være behov for en øget varmetilførsel, og energireduktionen vil derfor kun være omkring 10-25 % svarende til en årlig miljøeffekt på omkring 6-20 kWh pr. m². Dette afhænger dog af kulturens temperaturkrav, så i arter af pryddplanter eller salat, der kræver lav temperatur, og i de fleste krydderurter, vil man kunne opnå den fulde effekt af LED teknologiens potentielle energibesparelse, mens man i tomater/agurker og varmekrævende pryddplanter vil have en mindre energibesparelse (tabel 4.8).

Tabel 4.8: Standardmiljøeffekten for LED-belysning til væksthuse.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, kWh/m ² /år
4.4	LED-belysning til væksthuse	10	Væksthusplanter	10 ved samlet energireduktion på 15 %

4.5 Energilagring fra solceller, vindmøller og CHP-anlæg

Teknologien er energilagringsdelen af hybride systemer som består af termiske akkumuleringsstanke med el-patroner og/eller batterier ifbm. energilagring fra hybriddelene solcelleanlæg, vindmøller, elforsyningsnettet, og/el-ler lokalt varme plus strømproduktionsanlæg (CHP- anlæg). Hybride systemer giver højere selvforsyningsgrad og tillader lagring af varmeenergi for at fordele energiforbruget fra nettet så det reducerer omkostningerne. I Danmark er det meget aktuelt at kunne udnytte lavlast energiperioder pga. den reducerede elpris til opvarmning af akkumulatortanke eller belysning eller vælge den mest økonomiske kombination af el-energikilder. Der findes en lang række løsninger til energifangst som gennemgået af Ding (2021), men markedet specielt på lagring via batterier er i vild udvikling (Hannan et al. 2021).

Liao et al (2019) undersøgte de økonomiske fordele og livscyklusanalyse ved et hybrid system bestående af sol-paneler og energilagring baseret på batterier. Det blev konkluderet, at værdien af det hybride system med en optimeret konfiguration var højere end værdien af solpaneler alene. Et hybridsystem øger også muligheden for at ventilere og køle (lukkede) væksthuse hvorved forbruget af CO₂ reduceres. Også mulighed for at reducere mængden af plantebeskyttelsesmidler er til stede, fordi der ingen skadegørere kan komme ind i de mere lukkede væksthuse ifbm. ventilation og køling med energi fra de alternative energikilder og lagring.

Et modelstudie for et ca. 10 ha stort Venlo-type væksthuse i Ontario, Canada har analyseret effekten af to subsystemer (Naghbi et al., 2021). Subsystemerne bestod dels af solceller integreret med varmepumper til opvarmning af vand i buffertanke og anvendelse af varme fra tankene til opvarmning af væksthuset (ST), og dels solpaneler, invertere og regulatorer koblet til de elektriske installationer og batterienheder á 2.568 kWh (PV-BES) som blev dimensioneret til at strømforsyne fra 6 og op til 10 timer. Venlo-type væksthuset havde en tagrendehøjde på 5,5 m og en taghældning på 25 grader, hvori der blev produceret peberfrugter. Resultatet viste at PV-BES systemet kunne reducere det årlige strømforbrug med 51%, mens ST systemet kunne dække 36 % af det årlige varmebrug (Naghbi et al., 2021). Buffertanke og batterier til henholdsvis lagring af varme og elektricitet fra CHP- anlæg kan have en effekt på at øge væksthuseplanternes vækst (Ridder et al., 2021).

I 2020 var det årlige strømforbrug i danske væksthuse 56 kWh pr m², og det årlige energiforbrug til opvarmning ca. 232 kWh pr m² (Dansk Gartneri, 2022). Med udgangspunkt i resultaterne opnået i Naghbi et al. (2021) vil den årlige reduktion være 112 kWh pr m² pr år i gennemsnit for danske væksthuse (tabel 4.10). Generelt vil elopvarmet vand (fra solceller eller vindmøller) og akkumulatortanke i princippet fjerne energiforbruget til opvarmning i væksthuse iflg. Tafuni (2023), som dog ikke har set på elforbrug da studiet er fra Sydeuropa. Et modelstudie viser dog at med integrering af styringen i forhold til energipriser/ solopvarmede paneler/langtidsopbevaring af varme kan reducere energiforbrug til opvarmning med 100% (Khaloie, H. et al. 2020)

Specifikationer. Teknologien skal anvendes til energiforsyning til væksthuse og lagerrum for at reducere el-energiforbruget.

Obligatoriske elementer. Akkumulatortank med elpatron kombineret med solpaneler og eller vindmøller.

Valgfrie elementer. Batterier til el lagring. Varmepumper (omtalt ovenfor).

Standardmiljøeffekt: Energilagring fra solceller, vindmøller og CHP-anlæg

Som nævnt ovenfor vil et PV-BES system kunne reducere det årlige strømforbrug med op til 51 % af 56+232 kWh pr m², Et PV-BES system tilsluttet solcellepark, vindmølle eller anden vedvarende energikilde vil også være relevant i forhold til strømforsyning af køl/varme/affugtningsanlæg og opbyggede isolerede rum i bygninger til lagring af frugt og grønt (se afsnit 4.1 for teknisk beskrivelse af disse). I afsnit 4.1 antages et strømforbrug på gennemsnitlig 325,5 kWh pr m² pr år for et typisk kølerum til frugt og grønt med en højde på 5 m. Antages at et PV-BES system kan levere op til 51% af elektriciteten til disse rum med køl/varme/affugtningsanlæg vil bidraget fra vedvarende energikilder være op til 166 kWh pr m² pr år (tabel 4.9).

Tabel 4.9: Standardmiljøeffekten for energilagring fra solceller, vindmøller og CHP-anlæg.

Nr.	Teknologi	Levetid, år	Areal, der kan indgå i beregningen	Årlig standardmiljøeffekt Fladebelastning, kWh/m ² /år
4.5	Energilagring fra solceller, vindmøller og CHP-anlæg	>10	Væksthuseplanter, lagerrum for frugt og grønt mv.	Op til for 140 for væksthuse anlæg og 150 for kølerum/lagerrum) ved en samlet energireduktion på op til 51% og 36 % for henholdsvis PV-BES og ST hybridssystemerne

Referencer

- BCG, 2011. WeedSeeker technology. BCG report. <https://www.bcg.org.au/weedseeker-technology/>
- Bertelsen M 2017. Højværdiafgrøder rykker under tag. moMentum nr. 2, juni 2017.
- Bertelsen M, Pedersen HL 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.
- Burns IG, Hammond JP, White PJ 2010. Precision Placement of Fertiliser for Optimising the Early Nutrition of Vegetable Crops - a Review of the Implications for the Yield and Quality of Crops, and their Nutrient Use Efficiency. *Acta Horticulturae* 852, 177-187.
- Cheng ML, Uva WF 2008. Removing Barriers to Increase High Tunnel Production of Horticultural Commodities in New York. Economic and Marketing Study Final Report.
- Danmarks Statistik 2017. Statistikbanken.
- Daugaard H 2008. Table-top production of strawberries: performance of six strawberry cultivars. *Acta Agricultura Scandinavica* 58(3), 261-266.
- Demchak K 2009. Small fruit production in high tunnels. *HortTechnology* 19(1), 44-49.
- Dieleman JA, Marcelis LFM, Elings A, Dueck TA, Meinen E 2006. Energy Saving in Greenhouses: Optimal Use of Climate Conditions and Crop Management. *Acta Hort* 718, 203-209.
- Ding D, 2021. Integration of Active Solar Thermal Technologies in Greenhouses: A Mini Review. *Frontiers in Energy Research* 9. DOI=10.3389/fenrg.2021.757553
- Evans RG, Sadler EJ 2008. Methods and technologies to improve efficiency of water use. *Water Resources Research* 44, 1-15.
- 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.
- Garcia ME, Dickey DA, Frey SD, Johnson DT 2016. Increasing economic and environmental sustainability of table grapes using high tunnel advanced production. *Acta Hort.* 1115, 29-31.
- Giuffrida F, Leonardi C 2012. Nutrient solution concentration on pepper grown in a soilless closed system: yield, fruit quality, water and nutrient efficiency. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science.* 62, 1-6.
- HDC (2006). HNS Cold Storage - A Grower Guide.
- Hannan et al. 2021. Battery energy-storage system: A review of technologies, optimization objectives, constraints, approaches, and outstanding issues, *Journal of Energy Storage*, 42, 103023,

Hemming S, Baeza E, Mohammadkhani V, van Breugel B 2017. Energy saving screen materials - Measurement method of radiation exchange, air permeability and humidity transport and a calculation method for energy saving. Wageningen Report GTB-1431, 92 pp. <http://edepot.wur.nl/409298>

Hohenstein JA 2014. Diffuse light for better plants. *Grower Talks* 78(8).

JKI, 2018. <https://www.julius-kuehn.de/at/ab/abdrift-und-risikominderung/pflanzenschutzmitteleinsparung/>

Karabelas A, Plakas K 2011. Membrane treatment of potable water for pesticides removal. <https://www.slideshare.net/kplakas/membrane-treatment-of-potable-water-for-pesticides-removal>

Katzin, D, Marcelis, Leo, van Mourik, S. 2021 Energy savings in greenhouses by transition from high-pressure sodium to LED lighting, *Applied Energy*, 281, 116019

Maqbool, M. & Cameron, A. C. (1994). Regrowth Performance of Field-grown Herbaceous Perennials following Bareroot Storage between -10 and +5C. *HortScience* 29, 1039-1041.

Martínez-Blanco J, Munoz P, Antón A, Rieradevall J 2011. Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse, with compost or mineral fertilizers, from an agricultural and environmental standpoint. *Journal of Cleaner Production* 19, 985-997.

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. & McCollough M.R. 2021. CH-11 Advances in mechanical weed control technologies. In: *Advances in integrated weed management* (edited by Per Kudsk). Burleigh Dodds Science Publishing (<https://bdspublishing.com/open-access/>), pp. 27; <http://dx.doi.org/10.19103/AS.2021.0098.11>

Melander B. 2021. Notat ang. automatisk ukrudtslugning tæt på kulturplanterne i sukkerroer og udplantet salat – resultater fra vækstsæsonen 2021. Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi.

Nørremark, M., Hansen, M.J., Kai, P., Børsting, C.F., Ottosen, C.-O., Konnerup, D., Jensen, P.K, Melander, B. Landbrugsteknisk hjælp til besvarelse af høringssvar til Miljø- og klimateknologi 2023. 41 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.

Miljøstyrelsen 2018: Håndtering af pesticidholdigt spildevand fra væksthusholderier. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 48.

Miljøstyrelsen 2019a: Bekæmpelsesmiddelstatistik 2017 - Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Revideret udgave. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 32.

Miljøstyrelsen 2019b: Vejledning om pesticidholdigt spildevand og pesticidholdigt affald fra væksthusholderier. Vejledning nr. 38.

Miljøstyrelsen 2020: Bekæmpelsesmiddelstatistik 2018 - Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 45.

Miljøstyrelsen 2021: Bekæmpelsesmiddelstatistik 2019 - Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 48.

Miljøstyrelsen 2022: Bekæmpelsesmiddelstatistik 2020 - Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 54.

Miljøstyrelsen 2023: Bekæmpelsesmiddelstatistik 2021 - Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 63.

Nkebiwe PM, Weinmann M, Bar-Tal A 2016. Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: A review and meta-analysis. *Field Crops Research* 196, 389-401.

Odense Kommune 2017. Afrapportering af projekt om væksthushavens miljøforhold. August 2017, 41 sider, Odense Kommune.

Ottosen AR, Furgal KM 2017. Pesticiders skæbne i biologiske rensningsanlæg. Litteraturundersøgelse. Miljøstyrelsen, 40 sider.

Ouzounis T, Giday H, Kjaer KH, Ottosen CO 2018. LED or HPS in ornamentals? A case study in roses and campanulas. *J. European Hort. Sci.* 83(3), 166-172.

Pedersen, H.L., Christensen, J.V. (1992) Ukrudtsbekæmpelse i æble uden brug af herbicider. *Tidsskrift for planteavl* 96, 473-477.

Pedersen, H.L., 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.

Pedersen, H.L., Linddal Pedersen, K., 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.

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

Pedersen HL 2012. Mekanik mod ukrudt. *Frugt & Grønt*, 232-233.

Pedersen HL, 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 systems. *Pesticides research* no. 139. 2012. Danish Ministry of the Environment. Environmental protection Agency. ISBN no. 978-87-92779-70-0. pp 113.

Pergher, G. Gubiani, R., Cividino, R. S., Dell'Antonia, D., Lagazio, 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.

Rasheed, Na, Lee, Kim, Lee, 2019. Optimization of Greenhouse Thermal Screens for Maximized Energy Conservation. *Energies* 12, 3592.. doi:10.3390/en12193592

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

- Reid J 2008. Comparisons of Temperatures under Clear Polyethylene and Infrared Blocking Coverings for High Tunnels. Report Cornell University.
- Sanchez-Del Castillo F, Moreno-Perez ED, Pineda-Pineda J, Osuna JM, Rodriguez-Perez JE, Osuna-Encino T 2014. Hydroponic tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production with and without recirculation of nutrient solution. *Agrociencia* 48(2), 185-197.
- Sheridan, R. A. & Nackley, L. L. (2022). Applying Plant Hydraulic Physiology Methods to Investigate Desiccation During Prolonged Cold Storage of Horticultural Trees. *Front Plant Sci* 13, 818769.
- Särkkä LE, Jokinen K, Ottosen CO, Kaukoranta T 2017. Effects of HPS and LED lighting on cucumber leaf photosynthesis, light quality penetration and temperature in the canopy, plant morphology and yield. *Agricultural and Food Science* 26, 102-110
- Sørensen JN 1996. Improved N efficiency in vegetable production by fertilizer placement and irrigation. *Acta Hort* 428, 131-140.
- Sørensen JN 2013. Startgødskning af sålæg. *Dansk Løgavl* 59(1), 4-7.
- Tahir II, Johansson E and Olsson ME 2009. Improvement of apple quality and storability by a combination of heat treatment and controlled atmosphere storage. *HortScience* 44 (6), 1648-1654.
- Tillett ND, Hague T, Grundy AC, Dedousis AP 2008. Mechanical within-row weed control for trans-planted crops using computer vision. *Biosystems Engineering* 99, 171-178.
- van Ruijven JPM, van Os EA, van der Staij M, Beerling EAM 2014. Evaluation of Technologies for Purification of Greenhouse Horticultural Discharge Water. *Acta hort.* 1034, 133-140.
- Wien HC, Reid JC, Rasmussen C, Orzolek MD 2008. Use of Low Tunnels to Improve Plant Growth in High Tunnels. Report from PennState University.
- Wooten M 2015. Blueberry research focuses on gentler methods of harvesting tiny fruit. UGA Today. <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
- 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.
- Zhao S, Ma C, Liu C, Sun G 2011. Computing method for thermal transmittance and saving ratio of heat loss in multi-layer covering of greenhouse. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 27(7), 264-269.
- Ørum JE, Kudsk P, Jørgensen LN, Paaske K. 2016. Behandlingshyppighed og pesticidbelastning for solgte pesticider 2007-2015. Miljøstyrelsen.

- Khaloie, H. et al. (2020). Offering strategy of thermal-photovoltaic-storage based generation company in day-ahead market. In: Nojavan, S., & Zare K. (eds). Electricity markets :new players and pricing uncertainties (pp. 113-133). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36979-8_6
- Liao, Q., Zhang, Y., Tao, Y., Ye, J., Li, C. (2019) Economic analysis of an industrial photovoltaic system coupling with battery storage. *Int J Energy Res.* 43: 6461– 6474. <https://doi.org/10.1002/er.4482>
- Naghbi, Z., Ekhtiari, S., Carriveau, R., Ting, D-K. (2021) Hybrid solar thermal/photovoltaic-battery energy storage system in a commercial greenhouse: Performance and economic analysis. *Energy Storage.* 2021; 3:e215. <https://doi.org/10.1002/est2.215>
- Dansk Gartneri (2022) Tal om Gartneriet 2022. <https://danskgartneri.dk/publikationer/publikationer/tal-om-gartneriet>
- Ridder, F., van Roy, J., de Schutter, B., Mazairac, W. (2021) An exploration of shared heat storage systems in the greenhouse horticulture industry. *Energy* 235,121425. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121425>
- Prussi, M., Yugo, M., De Prada, L., Padella, M., Edwards, R. (2020) JEC Well-to-Wheels report v5: Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context (No. EUR 30284 EN), JRC Technical reports. JRC.
- Tafuni, A. Giannotta A, Mersch, M. Pantaleo, AM. Amirante, R Markides, C.N. De Palma, P. 2023Thermo-economic analysis of a low-cost greenhouse thermal solar plant with seasonal energy storage, *Energy Conversion and Management*, 288, 117123

Bilag 1: Oversigt over teknologiernes afledte klimaeffekter

Nedenstående tabel angiver alle teknologier i indsatsområde 1-4, og hvilken afledt klimaeffekt hver enkelt teknologi har.

Indsatsområde 1: Reducere ammoniakudledning fra gylletanke.	
Teknologi	Afledt klimaeffekt (neutral/positiv/negativ)
1.1 Teltoverdækning	Neutral

Indsatsområde 2: Reduceret ammoniakudledning fra kvægstalde.	
Teknologi	Afledt klimaeffekt (neutral/positiv/negativ)
2.1 Halsremme med drøvtygger- og aktivitetsmålere til malkekvæg	Positiv
2.2 Vomboluser til overvågning af malkekvæg	Positiv
2.3 Øremærkesensorer til overvågning af malkekvæg	Positiv
2.4 Hængebanevogn med indbygget blander	Positiv
2.5 Hængebanevogn/foderbånd sammen med stationær foderblander	Positiv
2.6 Foderrobot	Positiv
2.7 Etablering af miljøgulve i eksisterende stalde	Positiv
2.8 Luftrensning	Positiv

Indsatsområde 3: Reducere pesticidforbruget i planteavl	
Teknologi	Afledt klimaeffekt (neutral/positiv/negativ)
3.1 Sektions- eller dyseafblænding i kombination med pletsprøjtning	Neutral
3.2 Dobbelt tanksystem og dyse-linjer for pletsprøjtning og gradueret tildeling af plantebeskyttelsesmidler som tankblandinger i kombination med sektions- eller dyseafblænding	Neutral
3.3 Et-tanksinjectionssystem for pletsprøjtning og gradueret tildeling i kombination med sektions- eller dyseafblænding	Neutral
3.4 Fler-tanksinjectionssystem for pletsprøjtning og gradueret tildeling i kombination med sektions- eller dyseafblænding	Neutral
3.5 Kameraer til kortlægning af ukrudt	Neutral
3.6 Båndsprøjtningsudstyr til marksprøjtning	Neutral

Indsatsområde 3: Reducere pesticidforbruget i planteavl	
3.7 Standard båndsprøjte	Neutral
3.8 Førerløs såning og ukrudtsbekæmpelse mellem afgrøderækker	Neutral/Negativ
3.9 Robotbaseret ukrudtslugning i afgrøderækker	Negativ
3.10 Radrensere	Negativ
3.11 Luftudstyr til sprøjtebom	Neutral
3.12 Kartoffelradrenser	Negativ

Indsatsområde 4: Reducere energiforbruget i væksthuse	
Teknologi	Afledt klimaeffekt (neutral/positiv/negativ)
4.1 Gardiner til isolering - væksthuse	Positiv
4.2 Højisolierende to- eller flerlags dækkemateriale - væksthuse	Positiv
4.3 Klimastyring - væksthuse	Positiv
4.4 LED-belysning - væksthuse	Positiv
4.5 Energilagring fra solceller, vindmøller og CHP-anlæg	Positiv