

FRAMTIDAS 'NULLUTSLIPPSGÅRD'

KONSEPTUTREDNING AV LÖSNINGER FOR ENERGIBRUK OG
ENERGIFORSYNING VED MÆRE LANDBRUKSSKOLE



Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver:	Trøndelag Fylkeskommune
Tittel på rapport:	Framtidas 'nullutslippsgård'
Oppdragsnavn:	Enova konseptutredning Mære Landbruksskole
Oppdragsnummer:	628240-01
Utarbeidet av:	Inger Andresen, Tonje Skoglund Hermansen, Henriette Mo Sandberg, Lars Bugge, Andreas Mørkved, Trygve Mongstad
Oppdragsleder:	Inger Andresen / Tonje Skoglund Hermansen
Tilgjengelighet:	Åpen

Kort sammendrag

Denne rapporten beskriver resultatene fra konseptutredningen *Framtidas 'nullutslippsgård' - løsninger for energibruk og energiforsyning ved Mære landbruksskole*. Det konkrete målet med konseptutredningen er å legge et grunnlag for at Fylkeskommunen skal ta best mulig beslutninger om investeringer i demonstrasjonsanlegget på Mære, knyttet til bygg og energiforsyning. Dette innebærer å finne frem til løsninger som totalt sett gir det beste forholdet mellom kostnad og nytte for å oppnå målet om 'nullutslippsgården'. Her adresseres både eksisterende og fremtidige energi- og klimaløsninger på Mære, og også løsninger som vil være relevante for typiske norske gårder (spesielt i Trøndelag).

Basert på utredningen av ulike teknologier er det gjort en prioritering av mulige tiltak, som inngår som en del av beslutningsgrunnlaget for investeringer i demonstrasjonsanlegget på Mære. I tillegg til potensialet for reduksjon av energi, effekt og klimagassutslipp, er det også sett på relevans for gårdsbruk generelt, modenhet av teknologi og marked, og viktighet av at Mære går foran og demonstrerer ny teknologi for landbruket. Det er foreslått tiltak innen de tre temaene; Bygninger, materialer og landbruksmaskiner; Energiforsynings- og lagringsløsninger; og Fleksibilitet og styringssystemer.

VERSJON	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KS
01	22.12.21	Sluttrapport konseptutredning	TSH, IA, MHMS, LB, AM, TM	CS

Forord

Asplan Viak har vært engasjert av Trøndelag Fylkeskommune for å gjennomføre en konseptutredning av løsninger for energibruk og energiforsyning ved Mære landbruksskole. Torger Mjønes ved Trøndelag Fylkeskommune og Tove Jystad ved Mære har vært kontaktpersoner for oppdraget. Videre har NTE, Tensio, Entro, Forskningscenteret for nullutslippsrområder (FME ZEN) og Gether bidratt i arbeidet.

Takk også til bønder som har delt informasjon om sitt energibruk som eksempelgårder for Trøndelag.

Arbeidet er delfinansiert med støtte fra Enova.

Trondheim, 22.12.2021

Inger Andresen / Tonje S. Hermansen
Oppdragsleder

Christian Solli
Kvalitetssikrer

1. SAMMENDRAG

Trøndelag Fylkeskommune (TRFK) har gjennom mange år hatt høyt fokus på innovasjon og bærekraft innen byggsektoren. Gjennom aktiv deltagelse i forskningscenteret for nullutslippsområder i smarte byer (FME ZEN) fikk fylkeskommunen høsten 2019 etablert Mære landbruksskole som pilotområde i FME ZEN, med en ambisjon om å utvikle Mære som landets første moderne netto 'nullutslippsgård'.

Høsten 2020 fikk Trøndelag Fylkeskommune innvilget støtte fra Enova gjennom programmet *konseptutredning for innovative energi- og klimaløsninger*. Det konkrete målet med konseptutredningen er å legge et grunnlag for at Fylkeskommunen skal ta best mulig beslutninger om investeringer i demonstrasjonsanlegget på Mære, knyttet til bygg og energiforsyning. Dette innebærer å finne frem til løsninger som totalt sett gir det beste forholdet mellom kostnad og nytte for å oppnå målet om 'nullutslippsgården'. Her må man både adressere eksisterende og fremtidige energi- og klimaløsninger på Mære, men også å ta i betraktning løsninger som vil være relevante for typiske norske gårder (spesielt i Trøndelag).

Generelt for norske gårder

Konseptutredningen har vist at det finnes lite detaljerte og systematiske data for **energibruk** i Norske gårdsbruk. I utredningen er det gjort litteraturstudier og intervjuer med utvalgte eksempelgårder for å få informasjon om energi- og effektbehov. Melkegårder bruker i hovedsak elektrisk energi til maskiner og utstyr, og trenger ikke tilført energi til oppvarming. Svine- og kyllingproduksjon har stort behov for varme og ventilasjon, og det ser ut til å være et stort potensial for reduksjon av energibruk gjennom å ta i bruk varmegjenvinning i kombinasjon med god utforming av fjøset. En stor del av varmebehovet i kyllingfjøs dekkes i dag av fossilt brensel, spesielt propan, og omlegging til fornybar varme vil kunne gi store klimagassbesparelser. Kornproduksjon har et stort energibehov i en kort periode på høsten til tørking av korn. Her har det tradisjonelt blitt brukt en stor del diesel, og det er her også potensiale for omlegging til fornybar varme. Veksthus har stort varmebehov om vinteren og krever mye energi til belysning. Her vil energieffektivisering, energieffektiv belysning og varmelagring være gode tiltak.

Også for klimagassutslipp knyttet til **materialbruk** i norske gårdsbruk finnes det lite informasjon. Noen få studier viser at utslipp fra materialer og utstyr utgjør 8-25% av totale livsløpsbaserte klimagassutslipp. Klimavennlige materialer har generelt lavere utslipp i produksjonsfasen, men det er viktig å også inkludere transportavstand når man vurderer ulike typer materialer opp mot hverandre.

Ulike **energiforsynings- og lagringsløsninger** er vurdert med hensyn på klimagassutslipp og kostander. Når det kommer til lokal energiproduksjon / skifte av energibærer, er solceller for strømproduksjon, varmepumpeanlegg og biobrenselanlegg for varmeproduksjon de mest modne teknologiene å vurdere. Merk at det for bioenergi er store usikkerheter knyttet til estimering av klimaeffekten, som diskutert i innledningen i kap. 4.1.

Nye tariffmodeller for nettleie vil gjøre at **effekt** vil bli dyrere fra 2022. De nye tariffene er utformet slik at de skal gi økonomiske incentiver til å redusere effekttoppene. Man kan redusere effekttopper ved å utnytte fleksibilitet gjennom reduksjon eller flytting av laster og evt. bruk av batteri som energi- eller effektlager. Et første steg i denne retningen vil være å starte med å få oversikt over effektprofiler på gården, for å identifisere laster som bidrar til effekttopper, og vurdere mulige tiltak for å redusere disse.

Det er gjort beregninger på konkrete tiltak for tre eksempelgårder; en melkegård, en kyllinggård og en svinegård. Tiltakene omfatter

- Energieffektiviseringstiltak: oppgradere belysning til LED, etterisolering og varmegjenvinning,
- Lokal strømproduksjon fra solceller, og
- Erstatte fossil energi med fornybar energi: fra traktorforblander til elektrisk forblander, og erstatte propanforbruk med biobrensel.

Beregningene viser at alle tiltakene vil gi klimagassbesparelser over livsløpet, og de fleste tiltakene har god lønnsomhet.

Anbefalte tiltak for Mære

Basert på utredningen av ulike teknologier er det gjort en prioritering av mulige tiltak, som inngår som en del av beslutningsgrunnlaget for **investeringer i demonstrasjonsanlegget på Mære**, som bidrag til å oppnå målet om 'nullutslippsgården'. I tillegg til potensialet for reduksjon av energi, effekt og klimagassutslipp, er det her også sett på relevans for gårdsbruk generelt, modenhet av teknologi og marked, og viktighet av at Mære går foran og demonstrerer ny teknologi for landbruket. Det er foreslått tiltak innen alle tre temaene; Bygninger, materialer og landbruksmaskiner; Energiforsynings- og lagringsløsninger; og Fleksibilitet og styringssystemer. Følgende tiltak er anbefalt å gå videre med for demonstrasjonsanlegget på Mære:

Tiltak	Beskrivelse
A1	Teste ut varmegjenvinner på grisfjøsset, for erfaring med drift i korrosivt miljø.
A2	Energieffektivisering i veksthuset: energigardin og LED-belysning i taket.
A3	Gjøre spesifikke beregninger på det planlagte sauefjøsset, for å få bedre beslutningsunderlag med tanke på klimagassutslipp for ulike typer materialer / alternative oppbygginger, og for å vurdere renovering av eksisterende fjøs opp mot nybygg.
A4	Teste ut autonome, elektriske landbruksmaskiner.
A5	Teste solcelleløsninger på jordbruksmark, i kombinasjon med landbruk.
A6	Dokumentere og vise fram solvarmeløsningen for høytørke.
A7	Jobbe for å få ut mer informasjon om nærvarmeanlegget, for å følge opp, dokumentere og vise fram erfaringer fra anlegget til andre.
A8	Jobbe videre med testanlegg for biokull på Mære, og se hvordan dette kan bidra inn i energisystemet.
A9	Teste ombruk av elbilbatterier i forbindelse med framtidig mikronett.
A10	Gå videre med å etablere mikronett på Mære, og i tillegg inkludere ytterligere elementer i prosjektet for å optimalisere samspillet mellom forbruk, lager og produksjon.

Begrepsordbok

AVTREKKSVENTILASJON	Vifteassistert anlegg som trekker luft ut av bygningen. Bygningen blir tilført frisk luft via ventiler i yttervegg.
BALANSERT VENTILASJON MED VARMEGJENVINNING	To hovedkanaler med hver sin vifte, trekker ut og tilfører luft i tilnærmet like mengder og hastighet. Varmen fra brukt inneluft (avtrekksluft) overføres via varmeveksler til frisk uteluft (tilluft). Dermed reduseres behovet for å tilføre varme.
BEREGNET LEVERT ENERGI	Summen av energi levert brukt i bygningen for å dekke bygningens samlede energibehov, inkludert tap som skyldes virkningsgrad og ikke gjenvinnes. Beregnes vanligvis etter regler og normerte faktorer i NS 3031.
BEREGNET NETTO ENERGI BEHOV	Bygningens beregnede behov for energi for å dekke postene i bygningens energibudsjett. Beregnes vanligvis etter regler og normerte faktorer i NS 3031.
BIOGENT KARBON	Karbon som er bundet i trevirket, pga. opptak av CO ₂ fra atmosfæren gjennom fotosyntesen ila. treets levetid
BTA	Bruksareal. Bruttoareal minus yttervegger.
CO ₂ -EKVIVALENTER (CO ₂ -ekv)	Måleenheten for klimapåvirkning.
DRIFTSTID	Den delen av en periode, vanligvis 1 døgn, der personbelastning og bruk av varme, kjøling, varmtvann, lys og teknisk utstyr har mest aktivitet.
EFFEKT	Energibehov per tidsenhet. Effekt måles i Watt, som er arbeid utført per sekund.
ELEKTRISITETSMIKS	Utslippsfaktor for elektrisitet som forutsetter en gitt sammensetning av hvilke energikilder som ligger til grunn for produksjon av elektrisitet innenfor et geografisk område
ENERGI	Effektbruk over tid, og måles i kilowatt-timer (kWh). En 1000W panelovn (1 kW) bruker 1 kWh i løpet av 1 time.
ENERGIBUDSJETT	Oppstilling over de postene som krever energi i en bygning. Vanligvis er dette; oppvarming, varmtvann, kjøling, lys og teknisk utstyr.
EPD	Environmental Product Declaration, miljødeklarasjon for produkter.
DIREKTE KLIMAGASSUTSLIPP	(For et byggeprosjekt): Utslipp som forekommer på tomten enten i byggefasen eller i drift.
GWP 100	Global Warming Potential, En av flere indikatorer for klimapåvirkning. Indikatoren aggregerer absorbert varme fra utslipp av en kg gass over 100 år relativt til tilsvarende fra utslipp av 1 kg CO ₂ .

INDIREKTE KLIMAGASSUTSLIPP	Utslipp som skjer utenfor gården / andre steder i verdikjeden, for innkjøpt energi, og innkjøpte varer og tjenester.
INFILTRASJON	Luftlekkasjer gjennom bygningens klimaskall, utenom innretninger som sørger for ventilasjon.
KALDTFJØS	Fjøs uten isolasjon og oppvarming
KLIMAFOTAVTRYKK	Summen av direkte og indirekte klimagassutslipp.
KLIMAGASSUTSLIPP	Utslipp til luft av gasser som påvirker atmosfærens evne til å holde på varmen (drivhuseffekten) og dermed også påvirker klodens klima. Eksempler på slike gasser er karbondioksid (CO ₂), metan (CH ₄) og lystgass (N ₂ O).
KLIMASKJERM	De delene av bygningen som skiller oppvarmet BRA fra utvendig klima.
KULDEBRO	Deler av bygningens konstruksjon med høyere varmeledningsevne. Slike deler er gjerne helt eller delvis gjennomgående mellom oppvarmet BRA og det utvendige, eller soner med lavere temperatur.
LCA	Life Cycle Assessment, det engelske navnet på livsløpsvurdering.
LCC	Life Cycle Cost, det engelske navnet på levetidskostnad.
LEVETIDSKOSTNAD	Det norske navnet på LCC.
LIVSLØPSFASER	De ulike fasene i livsløpet til et produkt eller en tjeneste; for eksempel produksjonsfase, bruksfase og avhendingsfase.
LIVSLØPSVURDERING	Metodikk for å beregne miljøpåvirkning over livsløpet til et produkt eller en tjeneste. Det norske navnet på LCA.
MILJØDEKLARASJON	En miljødeklarasjon (EPD på engelsk), er et tredjepartsverifisert dokument som oppsummerer miljøbelastning og ressursforbruk gjennom hele produktets livsløp. Se EPD.
NATURLIG VENTILASJON	Luftutskifting i bygning besørget av naturlige drivkrefter. Primær oppdrift ved at varm luft stiger opp, og trykkforskjeller inne og ute på grunn av vindpåvirkning.
NS3701	Norsk passivhusstandard for yrkesbygninger
NS3720	Norsk standard for klimagassberegninger av bygninger

NS3031	Norsk standard for beregning av energibruk i bygninger
OPPVARMET BRA	Den delen av bruksarealet som tilføres varme eller kjøling fra bygningens varme- eller kjøleanlegg
REFERANSEBYGG	Referansenivå for bygg - Et nullscenario der man hadde oppført bygget med standard løsninger uten spesielle hensyn til klima.
REFERANSENIVÅ	Et nullscenario/gjennomsnittlig nivå av klimagassutslipp forbundet med en aktivitet/prosjekt som legges til grunn for å vurdere måloppnåelse.
SPESIFIKT ENERGIBEHOV	Netto energibehov, eventuelt levert energi, fordelt på oppvarmet BRA (kWh/m ²).
SYSTEMGRENSER	Avgrensninger i tid og rom som legges til grunn for en klimagassberegning.
TEK17	Byggteknisk forskrift som trådte i kraft 1. juli 2017
UTSLIPPSFAKTOR	Beregningsfaktor for klimagassutslipp knyttet til en bestemt energivare, materialtype eller prosess. Angis i kg CO ₂ -ekvivalenter per enhet.
VARMEANLEGG	Et system av en eller flere varmekilder som kan inkludere varmegenerering, lagring, fordeling og avgivelse.
VARMETAPSTALL	Beregnet varmeeffekt-tap gjennom et element i klimaskallet delt på oppvarmet BRA. Kan også beregnes for infiltrasjon og ventilasjon, men da med hensyn på volum.
U-VERDI	Mål på hvor mye varmeeffekt som går gjennom 1 m ² av et element i klimaskallet ved 1 grads forskjell i lufttemperaturen på hver side.

Innholdsfortegnelse

1. SAMMENDRAG.....	4
2. INNLEDNING.....	11
2.1. Trøndelag Fylkeskommune og Mære landbruksskole	11
2.2. Bakgrunn og formålet med konseptutredningen	12
2.3. Landbrukets klimapåvirkning - avgrensning	13
2.4. Systemgrenser for «nullutslippsgården»	13
2.5. Rapportens innhold.....	14
3. BYGNINGER, UTSTYR OG LANDBRUKSMASKINER: ENERGI, EFFEKT OG MATERIALBRUK	15
3.1. Energibruk i ulike typer gårdsbruk.....	15
3.1.1. Våningshus.....	19
3.1.2. Melkeproduksjon	19
3.1.3. Svineproduksjon	24
3.1.4. Kyllingproduksjon.....	29
3.1.5. Kornproduksjon	31
3.1.6. Veksthus	33
3.1.7. Oppsummering energibruk	36
3.1.8. Mulige tiltak for energieffektivisering av landbruksbygg.....	37
3.2. Klimagassutslipp fra materialbruk	37
3.2.1. Klimagassutslipp fra materialbruk i norske gårdsbruk - litteraturgjennomgang.....	38
3.2.2. Klimagassutslipp for kalde bygg.....	42
3.2.3. Sammenligning av materialbruk i fjøs.....	44
3.2.4. Oppsummering – klimagassutslipp fra materialbruk.....	45
3.3. Utvikling av nye typer landbruksmaskiner og -utstyr	46
3.3.1. Robotisering og smart teknologi.....	46
3.3.2. Elektrifisering av landbruksutstyr	49
4. ENERGI Forsynings- og Lagringsløsninger.....	50
4.1. Bioenergi	50
4.1.1. Fast biobrensel.....	50
4.1.2. Flytende biodrivstoff	52
4.1.3. Biogass.....	53
4.1.4. CHP (Combined Heat and Power) - kraft/varme-anlegg basert på biobrensel	55
4.1.5. Biokull.....	57
4.1.6. Oppsummering bioenergi.....	58
4.2. Vindkraft.....	59
4.3. Vannkraft.....	61
4.4. Solceller	63
4.4.1. Takmonterte solcelleanlegg	64
4.4.2. Fasademonterte solcelleanlegg.....	66
4.4.3. Bakkemonterte solcelleanlegg.....	67
4.4.4. Agrivoltaics – solcelleanlegg i symbiose med landbruk	69
4.4.5. Oppsummering – solceller.....	69
4.5. Solvarme.....	69
4.6. Varmepumpeanlegg.....	71

4.7.	Batterier som elektrisk energilager.....	75
4.8.	Hydrogen	77
4.9.	Oppsummering energiforsyningsløsninger	79
5.	FLEKSIBILITET OG STYRINGSSYSTEMER	81
5.1.	Forbrukerfleksibilitet.....	81
5.2.	Fleksibilitet på «nullutslippsgården»	82
5.2.1.	Potensiale for fleksibilitet på Mære – i dag.....	83
5.2.2.	Fleksibilitet på framtidens 'nullutslippsgård'	85
5.3.	Mikronett.....	85
5.4.	Styringssystemer	86
5.5.	Oppsummering fleksibilitet og styringssystemer	87
6.	KOSTNADER FOR ENERGI OG EFFEKT	88
6.1.	Tariffmodeller for gårdsbruk og endringer i nettleie	88
6.2.	Kraftpriser i dag og i fremtiden.....	88
6.3.	Støtteordninger og insentiver fra det offentlige	89
7.	TILTAKSPAKKER FOR ULIKE TYPER GÅRDSBRUK	91
7.1.	Generelle tiltak	91
7.2.	Eksempelgårder	92
7.2.1.	Eksempelbruk 1: Melkegård	93
7.2.2.	Eksempelbruk 2: Kyllingfjøs	96
7.2.3.	Eksempelbruk 3: Svinegård	101
8.	ANBEFALTE TILTAK PÅ MÆRE LANDBRUKSSKOLE	105
8.1.	Bygninger, materialer og landbruksmaskiner.....	105
8.1.1.	Energieffektivisering	105
8.1.2.	Materialbruk	106
8.1.3.	Landbruksmaskiner og utstyr	107
8.2.	Energiforsynings- og lagringsløsninger	108
8.2.1.	Solenergi.....	108
8.2.2.	Vannkraft.....	109
8.2.3.	Vindkraft.....	109
8.2.4.	Varmepumpeanlegg.....	110
8.2.5.	Bioenergi	110
8.2.6.	Energilager.....	111
8.2.7.	Hydrogen	112
8.3.	Fleksibilitet og styringssystemer.....	113
8.4.	Oppsummering anbefalte tiltak på Mære Landbruksskole	114
9.	MARKEDSPOTENSIAL.....	116
10.	INFORMASJONSSPREDNING	118
	KILDER.....	119

2. INNLEDNING

2.1. Trøndelag Fylkeskommune og Mære landbruksskole

Konseptutredningen eies og ledes av Trøndelag fylkeskommune (TRFK). TRFK har gjennom mange år hatt høyt fokus på innovasjon og bærekraft innen byggsektoren. Herunder deltagelse i FME ZEB der TRFK fikk realisert Heimdal vgs som den største av ZEB-O pilotene (Nullutslipp drift). Gjennom aktiv deltagelse i FME ZEN fikk fylkeskommunen høsten 2019 etablert Mære landbruksskole som pilotområde i FME ZEN, med en ambisjon mot 'Nullutslippsgården'. Den politiske forankringen finner vi flere plasser, bl.a. i gjeldene økonomiplan 2020 - 2023 som under kapittel 3.5 Eiendomsstrategi har et eget avsnitt knyttet til Mære landbruksskole: *'Fylkeskommunen er partner i FME ZEN (Zero Emission Neighbourhood) hvor Mære landbruksskole i 2019 er tatt opp som pilotområde for utvikling som landets første moderne netto nullutslippsgård. Dette er et prosjekt som vil kunne ha høy overføringsverdi på flere områder for en næring som er svært viktig i Trøndelag regionalt. Prosjektet kan ha god relevans langt utover regionens og nasjonens grenser.'*

Mære landbruksskole (lbs) er eid av Trøndelag fylkeskommune (TRFK). Her utdannes 200 elever på videregående nivå og det tilbys utdanning for voksne (voksenagronom og voksengartner). Skolen har også 70 ansatte. Ved skolens utviklingsavdeling tilbys kurs innen jordbruk, skogbruk, lokal matproduksjon og klima/ energitiltak i landbruket. Mære har et samlet byggeareal på om lag 26 000 m² der om lag 14 000 m² er oppvarmet areal. Gårdsbruket på Mære er relativt stort og inkluderer ulike typer driftsbygninger som ammekufjøs, melkefjøs, stall, grisehus, veksthus, etc., i tillegg til hybelhus, administrasjonsbygg og undervisningsbygg.



Det finnes allerede en rekke interessante og innovative løsninger på Mære. I senere år har Mære fått nytt melkefjøs i tre som er naturlig klimatisert, et ammekufjøs med takintegreert solcelleanlegg, et hybelbygg med passivhusstandard og solceller, og en ny stall som tilfredsstiller kriteriene for nullutslippsgård i drift, ZEB-O med bruk av et tredje solcelleanlegg. Det er etablert et nærvarmeanlegg mellom de fleste byggene, noe som danner et godt grunnlag for videre optimalisering av styring og termisk energiutveksling

mellom byggene. Det hentes i dag grunnvarme via varmepumper, samt at overskuddsvarme fra veksthuset utnyttes.

2.2. Bakgrunn og formålet med konseptutredningen

Landbruksektoren står for ca. 9% av Norges samlede direkte klimagassutslipp. Landbruket har forpliktet seg til å redusere sin direkte klimabelastning med 5 millioner tonn (akkumulert) innen 2030, noe som er mer enn sektorenes nåværende samlede klimabelastning (4,5 millioner tonn CO₂ ekv.). Landbruksaktiviteten har også betydelig energi- og effektbruk, og et stort potensial for energieffektivisering og for produksjon av fornybar energi.

Trøndelag er målt i landbruksareal, en av landets største jordbruksfylker. Fylkeskommunen etablerte i 2015 'Landbrukets klima og energisenter' på Mære som er en arena for innovasjon, kunnskapsformidling og ulike demonstrasjonsanlegg. Utviklingen av Landbrukets klima- og energisenter skjer i nært samarbeid med landbrukets organisasjoner. I 2019 ble Mære et pilotprosjekt i FME-ZEN - forskningscenter for nullutslippsområder i smarte byer. Forskningscenteret fokuserer på utvikling av teknologi og løsninger for bygg og energisystemer, i samarbeid med 32 næringslivspartnere. Pilotprosjektet på Mære gir spennende innovasjonsmuligheter i skjæringspunktet mellom energiteknologi og landbruksteknologi, og prosjektet har potensielt stor spredningseffekt både regionalt, nasjonalt og internasjonalt.

Fylkeskommunen er sammen med bl.a. NTE og Asplan Viak partnere i FME-ZEN. Det er partnerne i FME-ZEN som har ansvar for den praktiske gjennomføring av pilotprosjektene, mens forskerne i senteret vil følge prosjekteringen og driften, bruke det som grunnlag for å utvikle og teste verktøy og løsninger, samt evaluere og dokumentere erfaringer fra prosjektering og drift.

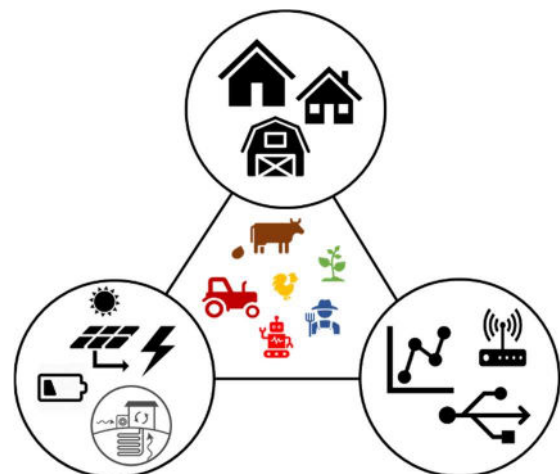
Det konkrete målet med konseptutredningen er å legge et grunnlag for at Fylkeskommunen skal ta en best mulig beslutning om investeringer i demonstrasjonsanlegget på Mære, knyttet til bygg og energiforsyning. Dette innebærer å finne frem til løsninger som totalt sett gir det beste forholdet mellom kostnad og nytte for å oppnå målet om 'nullutslippsgården'. Her må man både adressere eksisterende og fremtidige energi- og klimaløsninger på Mære, men også å ta i betraktning løsninger som vil være relevante for typiske norske gårder (spesielt i Trøndelag).

Konseptutredningen vil foreslå løsninger knyttet tre hovedområder:

- 1) Bygninger, utstyr og landbruksmaskiner
- energi, effekt og materialbruk
- 2) Energiforsyningsløsninger og lagring
- 3) Fleksibilitet og styringssystemer

Løsningene vil vurderes hver for seg og i ulike sammensetninger, og vurderes opp imot følgende kriterier:

- a. Klimagassutslipp over livsløpet
- b. Energibruk i drift
- c. Effektbehov / reduksjon av effekttopper
- d. Økonomi / lønnsomhet



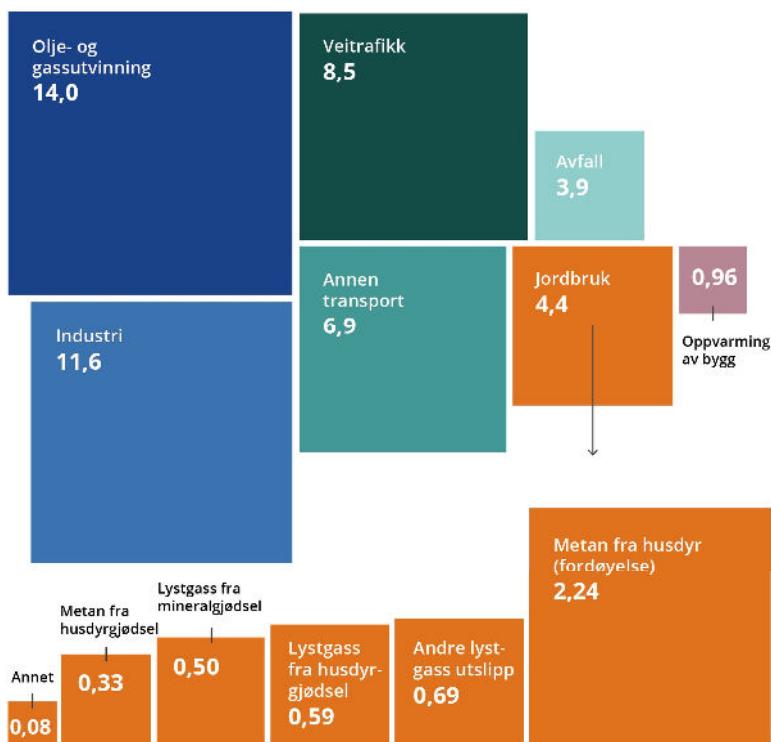
2.3. Landbrukets klimapåvirkning - avgrensning

I denne utredningen fokuserer vi på direkte og indirekte klimagassutslipp fra landbruksbygg og -maskiner. De største direkte klimagassutslippene fra landbruket kommer imidlertid fra husdyr og gjødsel, se Figur 2-1. Mære landbruksskole har andre prosjekter som tar for seg disse utslippene, bl.a. gjennomførte NIBIO nylig en utredning om tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra gårdsdrifta på Mære (Rivedal m.fl. 2021).

Selv om hovedfokus i denne utredningen vil være på bygg og energiforsyningssystemer, vil vi også komme inn på løsninger som ligger i skjæringspunktet mellom landbruksprosesser og energi/byggteknologi, slik som biogassproduksjon fra gjødsel og produksjon av biokull.

Utslipp av klimagasser fra jordbruk i 2019 Millioner tonn CO₂-ekvivalenter

Norges totale klimagassutslipp



Kilde: Miljødirektoratet og Statistisk sentralbyrå 2020 / Miljøstatus.no

Figur 2-1 Klimagassutslipp fra jordbruk, sammenlignet med de totale klimagassutslippene i 2019. Kilde: Miljødirektoratet og Statistisk sentralbyrå 2021/Miljøstatus.no.

2.4. Systemgrenser for «nullutslippsgården»

FME ZEN sin definisjon for et nullutslippsområde er basert på et sett med vurderingskriterier og nøkkelindikatorer gruppert i syv ulike kategorier: klimagassutslipp, energi, effekt, mobilitet, økonomi, stedskvaliteter og innovasjon.

I FME ZEN jobbes det med å definere systemgrenser for nullutslippsgården, med hovedfokus på klimagassutslipp (Skaar m.fl. 2021).

I ZEN-piloten på Mære vil det være mulig å undersøke nullutslippsgårdens rolle i et nullutslippsområde, hvor samspillet mellom landbruk, bygningsmasse, mobilitet og energi kan sees i sammenheng. Alle ZEN-pilotene vil se på nullutslippsambisjonen i et livsløpsperspektiv. Klimafotavtrykket beregnes med tanke på materialbruk til bygninger og infrastruktur, energibruk og mobilitet. Netto null utslipp oppnås når området bidrar med klimapositive tiltak som veier opp for klimagassutslippene innenfor valgte systemgrenser. Klimapositive tiltak er for eksempel eksport av fornybar energi, som kan bidra til å redusere utslipp fra fossile energikilder. For Mære lbs vil også landbruksperspektivet komme med i systemgrensene, for eksempel knyttet til klimasmart agronomi i fjøs, på jordet og i skogen. I denne konseptutredningen er det imidlertid energi, effekt og materialbruk som er hovedfokus, som beskrevet i kapittelet over (2.3).

Arbeidet med å definere systemgrensene for ZEN-piloten på Mære lbs vil være en trinnvis prosess, hvor det vil være nødvendig å gjøre en vurdering etter hvert som nye elementer inkluderes. Dette gir hele tiden en operativ systemgrense, samtidig som nye metoder og nye tiltak kan inkluderes. Dette er spesielt relevant for et område som Mære lbs, hvor det også utvikles ny teknologi (Skaar m.fl. 2021).

2.5. Rapportens innhold

Rapporten er delt inn i følgende hovedkapitler:

Kapittel 3 gir en kartlegging og systematisering av tilgjengelig litteratur og data om energibruk i ulike typer gårdsbruk i Norge. Det gis også eksempler på tiltak for energieffektivisering i landbruksbygg. Videre gis det en oversikt over eksisterende kunnskap og data om klimagassutslipp fra materialbruk i landbruksbygg, og eksempler på utvikling av nye teknologier og maskiner i landbruket.

Kapittel 4 gir en gjennomgang av ulike energiforsynings- og lagringsløsninger som kan være aktuelle i landbruket. Beskrivelse av energiutbytte, klimagassutslipp, kostnader, og driftsforhold.

I kapittel 5 beskriver vi prinsipper og strategier for fleksibilitet. Vi gjennomgår effektprofiler for ulike typer gårdsdrift og ser på muligheter for reduksjon av topplast og forskyvning av effektbehov.

Kapittel 6 gir en beskrivelse av dagens og fremtidens kostnadsbilde for energi- og effekt, samt en oversikt over støtteordninger og insentiver for å investere i tiltak for reduksjon av klimagassutslipp i landbruket.

I kapittel 7 gir vi forslag til tiltak for ulike typer gårdsbruk, basert på tre eksempelbruk i Trøndelag. Tiltakene er kombinasjoner av tiltak for bygg, utstyr og energiforsyning utformet med tanke på å minimere energi- og effektbruk, klimagassutslipp og levetidskostnader.

I kapittel 8 gir vi en anbefaling om mulige tiltak som kan implementeres på Mære landbruksskole for å teste og demonstrere nye løsninger for fremtidens nullutslippsgård.

Kapittel 9 beskriver markedspotensialet for løsningene som omfattes av utredningsprosjektet, mens kapittel 10 beskriver informasjonsspredning fra prosjektet.

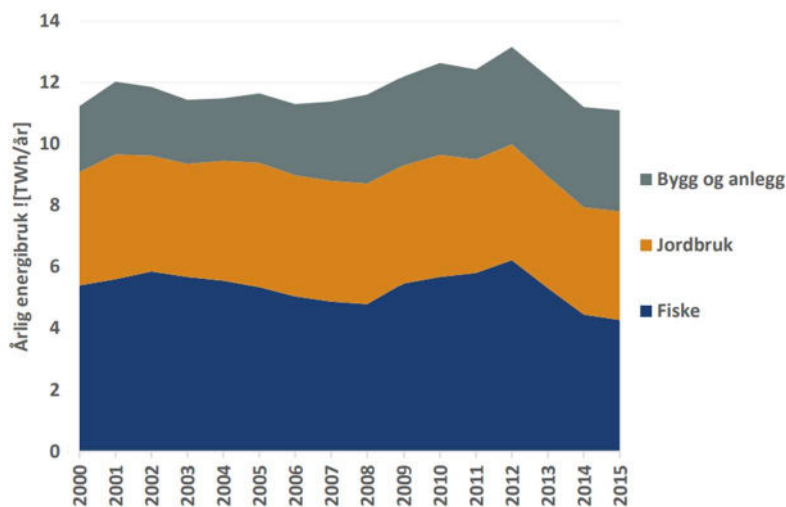
3. BYGNINGER, UTSTYR OG LANDBRUKSMASKINER: ENERGI, EFFEKT OG MATERIALBRUK

Dette kapitlet tar for seg det første temaet i utredningen. Her gjennomgås rapporterte data for energibruk og effektbehov for ulike typer gårdsbruk, basert på litteraturgjennomgang, innsamlede data fra Mære landbruksskole og noen eksempelbruk. I kapittel 3.1 inkluderes data for energibruk til drift av bygg og maskiner. I kapittel 3.2 behandles data for bunden energi og klimagassutslipp i materialer, mens kapittel 3.3 gir eksempler på utvikling av nye teknologier og maskiner i landbruket.

3.1. Energibruk i ulike typer gårdsbruk

Ifølge en undersøkelse fra SSB (Rognstad m.fl. 2016), var det i 2015 ca. 1 million bygninger tilknyttet landbrukseiendommer i Norge. Nesten halvparten av disse var driftsbygninger som låver, lager og fjøs, mens en fjerdedel var boliger (våningshus). Mer enn 200 000 var bygget før 1900, og i alt 2 400 av bygningene var fredet.

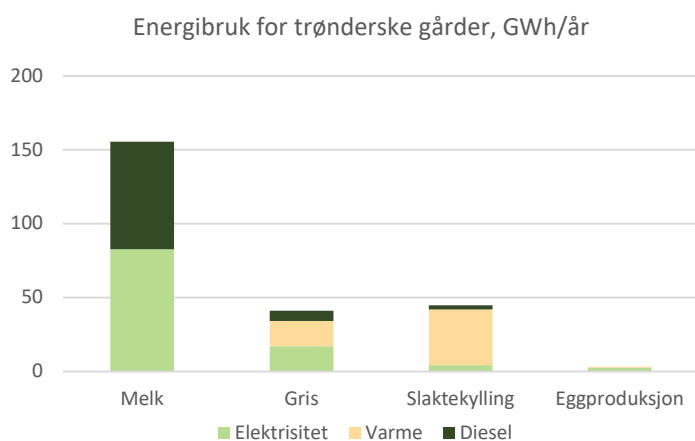
Det finnes lite tilgjengelig statistikk for energibruken i landbruksbygg. Dette understreker nytteverdien av økt fokus på energibruk i landbruket generelt, og prosjektet på Mære spesielt. SSB oppgir kun energibrukstall for våningshus fra utvalgte år mellom 1995 og 2012. Denne statistikken viser et årlig energibruk på mellom 216 og 229 kWh/m² boligareal¹. NVE (2017a) viser utviklingen av total energibruk i landbruk, fiske, bygg/anlegg fra 2000 til 2015, se Figur 3-1, og skriver at en stor del av dette er fossilt drivstoff til maskiner.



Figur 3-1 Årlig energibruk i næringene fiske, jordbruk og bygg/anlegg. Kilde: NVE (2017a).

Trøndelag Forskning og Utvikling (TFOU) gjennomførte i 2018 en kartlegging av energibruk til produksjon av melk, gris, kylling og egg for trønderske gårder (Andersson og Sand 2018). Figur 3-2 og Tabell 3-1 viser energibruk og fordeling på energibærere for gårdene, og Tabell 3-2 viser energibruk per produsert enhet. Melkegårdene bruker i hovedsak elektrisitet og diesel, men har lite oppvarmingsbehov. Svine- og kyllingproduksjon har derimot stort varmebehov, og i kyllingproduksjon brukes det i stor grad fossile kilder til oppvarming.

¹ <https://www.ssb.no/statbank/table/10573/>



Figur 3-2 Totalt energibruk og fordeling av energibærere på de trønderske gårdene (fra Andersson og Sand 2018). Merk at elektrisitetsforbruket også inkluderer oppvarming av vann og noe romoppvarming.

Tabell 3-1 Fordeling av elektrisitet og varmebehov for de trønderske gårdene (fra Andersson og Sand 2018).

FORDELING AV ENERGIBEHOV	Elektrisitet [%]	Varmebehov [%]
A. Svineproduksjon- slaktegris	76 %	24 %
B. Svineproduksjon- smågris	31 %	69 %
C. Eggproduksjon	83 %	17 %
D. Kyllingproduksjon	10 %	90 %
E. Melkeproduksjon	100 %	0 %
F. Ammekuproduksjon	-	-
G. Sauproduksjon	-	-
H. Grønnsak- og bærproduksjon utomhus	-	-
I. Kornproduksjon	-	-
J. Veksthus	-	-

Tabell 3-2 Nøkkeltall for gjennomsnittlig energibruk per produsert enhet for de trønderske gårdene (fra Andersson og Sand 2018).

NØKKELTAKK FOR SPESIFIKT ENERGIBEHOV	Nøkkeltall	Enhet [-]
A. Svineproduksjon- slaktegris	0,17	kWh varme/kg kjøtt
	0,52	kWh el/kg kjøtt
B. Svineproduksjon- smågris	70	kWh varme/stk smågris
	32	kWh el/stk smågris
C. Eggproduksjon		
D. Kyllingproduksjon	1,53	kWh varme/stk kylling
	0,17	kWh el/stk kylling
E. Melkeproduksjon	0,25	kWh pr kg melk
F. Ammekuproduksjon		
G. Sauproduksjon		
H. Grønnsak- og bærproduksjon utomhus		
I. Kornproduksjon		
J. Veksthus		

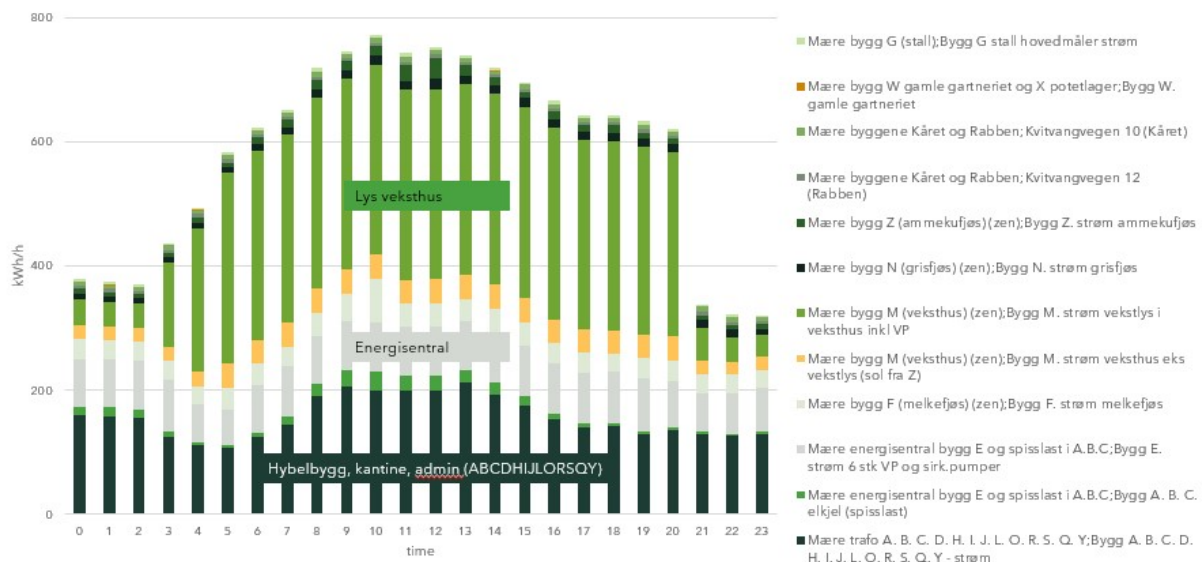
I rapporten fra TFOU foreligger det imidlertid ingen nærmere beskrivelse av landbruksbyggene (størrelse, utforming, etc.) eller av maskiner og utstyr som er benyttet for de ulike gårdene. For Mære landbruksskole finnes det tilgjengelig flere års målinger av

energibruk for de ulike byggene på området. Tabell 3-3 viser målte energibrukstall for 2019, fordelt på de ulike produksjonsbyggene.

Tabell 3-3 Målt energibehov (strøm og varme) for bygg på Mære landbruksskole, 2019.

SPESIFIKT ENERGIBEHOV, ERFARING MÆRE Behov fra 2019	Areal [m ²]	Energibehov [kWh/år]	Spesifikt energibehov [kWh/m ²]	Kommentar
A. Svineproduksjon- slaktegris	1 800	174 200	96,8	Mære bygg N
B. Svineproduksjon- smågris				
C. Eggproduksjon				
D. Kyllingproduksjon				
E. Melkeproduksjon	1 700	95 000	55,9	Mære bygg F
F. Ammekuproduksjon				
G. Sauproduksjon	400	16 000	40,0	Mære bygg O
H. Grønnsak- og bærproduksjon utomhus				
I. Kornproduksjon				
J. Veksthus	2 870	1 380 000	480,8	Mære bygg M

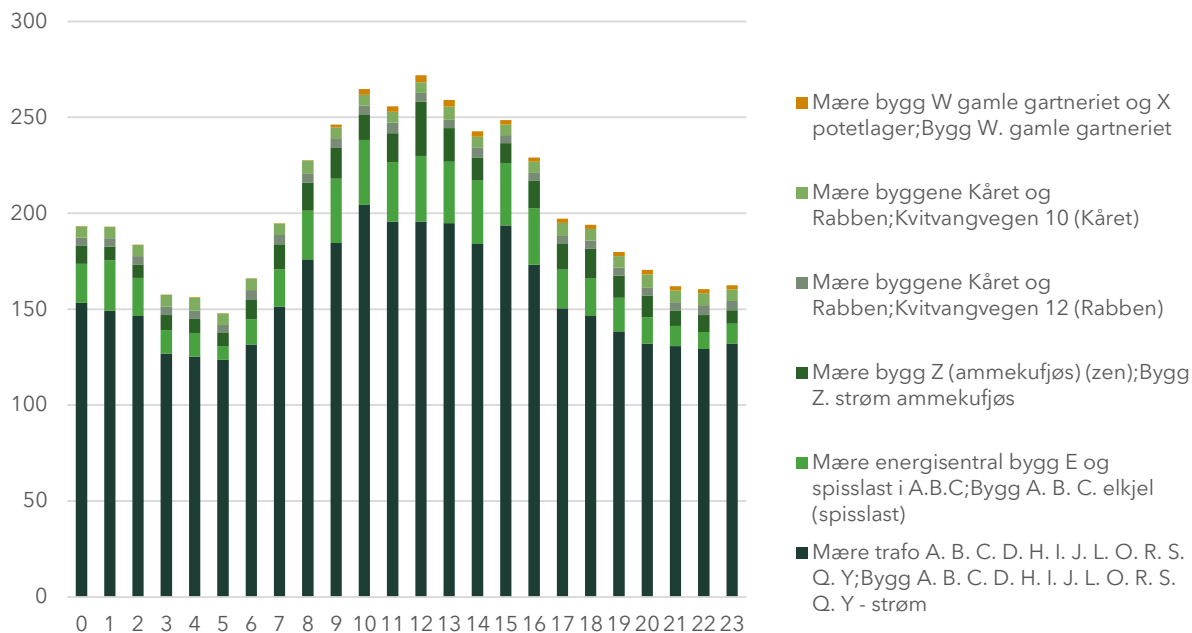
Som en del av konseptutredningen ble timesprofiler fra januar 2020 til våren 2021 for strømmålerne på Mære gjennomgått, for å identifisere effekttopper og for å identifisere muligheter for lastflytting / fleksibilitetstiltak. Høyeste samtidige effektuttak (timesmidlet) for alle strømmålerne på Mære i perioden ble funnet til å være opp under 800 kWh/h. Figuren under viser døgnprofilen for døgnet med den høyeste effekttoppen i perioden (11/02/2021). De største bidragene til effekttoppen er lys i veksthuset, hybel- og administrasjonsbygningene, samt elektrisk effektbehov til energisentralen.



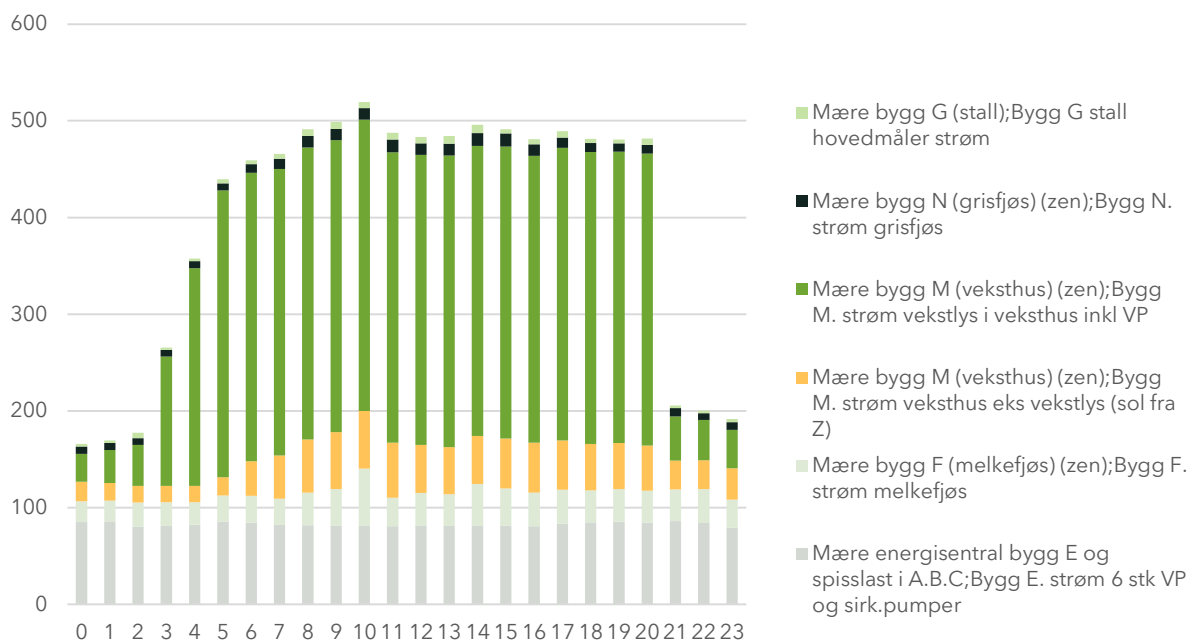
Figur 3-3 Samlet effektprofil for alle strømmålerne på Mære, for døgnet med høyest effekttopp i perioden (11/02/2021)

I aktiv samhandling med Tensio simuleres det på hvordan Mære landbruksskole kan optimalisere lavspennetnettet for best mulig utnyttelse av lokal produsert og lagret energi, se kapittel 5.3. I den forbindelse er det foreslått å gå fra elleve til to målere på Mære (en

for 230V-forsyning, og en for 400V-forsyning). Figurene under viser samlet effektprofil for døgnet med høyeste effekttopp for hhv 230V-forsyningen og 400V-forsyningen.



Figur 3-4 Samlet effektprofil for 230V-strømmålerne på Mære, for døgnet med høyest effekttopp i perioden (03/02/2021)



Figur 3-5 Samlet effektprofil for 400V-strømmålerne på Mære, for døgnet med høyest effekttopp i perioden (18/01/2021)

3.1.1. Våningshus

Statistisk sentralbyrå oppgir energibrukstall for husholdninger i utvalgte år mellom 1995 og 2012². Tabell 3-4 viser statistikken for våningshus og andre eneboliger hentet fra SSB-databasen. I 2012 var den årlige energibruken til våningshus på ca. 31 000 kWh, eller 229 kWh/m² boligareal. Til oppvarming benyttes i all hovedsak elektrisk oppvarming og vedfyring (i 2012 hadde 94% elektrisk oppvarming og 99% hadde vedfyring). Vi ser at den spesifikke energibruken i våningshus ligger betydelig over energibruken i andre eneboliger, noe som tilsier at det er et betydelig energieffektiviserings-potensial for våningshus. Type og omfang av tiltak må imidlertid vurderes og tilpasses det enkelte bygg, basert på en grundig gjennomgang av tilstanden til bygningskropp og tekniske installasjoner.

Tabell 3-4 Gjennomsnittlig energibruk per husholdning for våningshus og eneboliger, fra SSB-statistikk, <https://www.ssb.no/statbank/table/10573/>.

	Spesifikt energiforbruk (kWh per m2 boligareal)					
	1995	2001	2004	2006	2009	2012
Våningshus	238	256	216	220	219	229
Enebolig	223	214	192	199	182	198

3.1.2. Melkeproduksjon

Melkeproduksjon krever elektrisk energi til ulike maskiner, som melkemaskin/-robot, melketank, foringssystem, lys og annet utstyr i fjøset. I tillegg brukes det diesel til førproduksjon og innhøsting. I et melkefjøs er det ikke behov for oppvarming av fjøsrommet. Noen melkefjøs er isolerte, andre er uisolerte; såkalte kaldfjøs. Det kreves et system for utlufting av ammoniakk, fukt og CO₂, men her finnes det gode løsninger for naturlig ventilasjon, slik at det ikke alltid er nødvendig å bruke energi til ventilasjon. Det er noe varmebehov til oppvarming av vann, men dette kan i stor grad dekkes ved varmegjenvinning fra elektriske apparater og kjøling av råmelk.

Tabell 3-5 Beskrivelse av typisk bruksmønster for melkeproduksjon mht. elektrisk energibehov, og mulighet for fleksibilitet i forbruket. Kilde: Mære landbruksskole.

Aktivitet	Tidsrom for aktivitet (morgen/formiddag/ettermiddag/kveld/hele døgnet)	Fleksibilitet (kan utførelse av aktiviteten forskyves i tid?)	Sensitiv for utetemperatur, krever oppvarming (ja/nei)
Belysning	Dagtid, litt belysning natt.	Nei. Avhengig av hvor mye lys som slipper inn naturlig. Mindre lys om sommeren.	Nei
Melkerobot		Vaskeprogram fleksibelt	Nei
Melking i stall/bås	Morgen og kveld.	Nei	Nei
Ventilasjon	Noen fjøs har mekanisk ventilasjon, de fleste har vifter som styres av temperatur.	Nei	Ja
Oppvarming av vann til vasking	Melkerobot vaskes tre ganger daglig. Melke-anlegg i båse/stall vaskes morgen og kveld	Ja Nei	Nei

² <https://www.ssb.no/statbank/table/10573/>

	Automatiske anlegg kan kjøres når som helst (flere ganger daglig - ca en time pr døgn)	Ja	
Gjødseltrekk	Manuelle anlegg kjøres i fjøsstellet.	Nei	Nei
Foringsanlegg	Stor variasjon mellom bruk, automatisk eller manuelt.		

Box 1. Kaldfjøs

Et kaldfjøs er et uisolert fjøs. Kyr, sauer og geiter kan godt trives ved lave temperaturer, så lenge de har det tørt og god tilgang på fôr. I kaldfjøs benyttes det som regel naturlig ventilasjon, dvs. at fjøset er bygget slik at det blir god lufting uten bruk av vifter. Friskluft slippes typisk inn langs langveggene, og i takmønet er det en åpning som slipper luften ut. Luftinntaket langs veggene har ofte rullegardiner eller gjennomskinnelige og isolerende plater som kan justeres automatisk opp og ned avhengig av vind og vær.



Naturlig ventilasjon gir godt innelima og sparer strøm i melkefjøset på Mære landbruksskole.

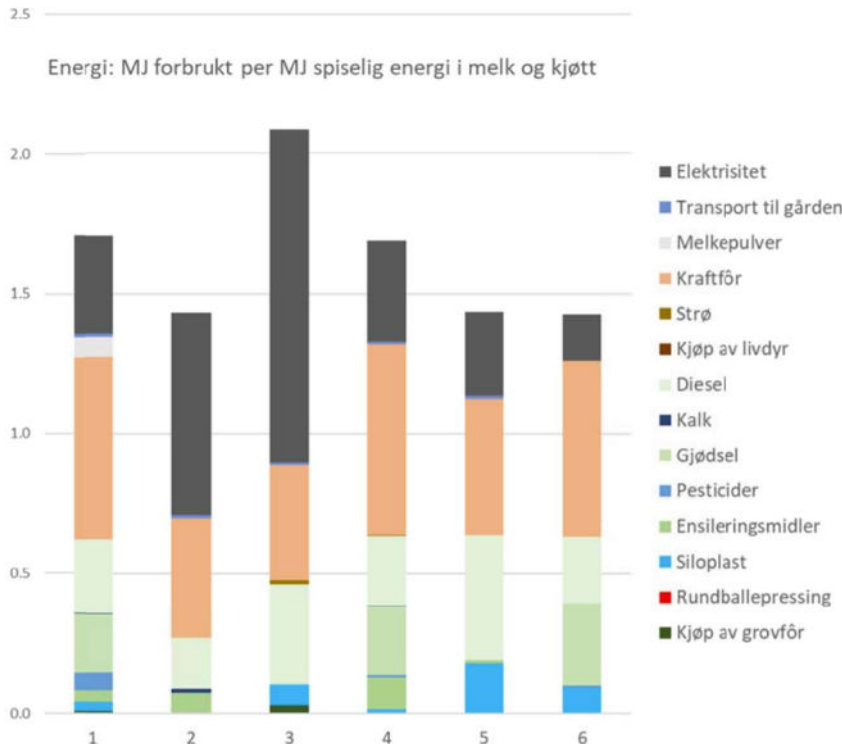
NIBIO, Norsk Landbruksrådgiving og Norsøk gjennomførte i årene 2015-2016 prosjektet 'Muligheter for miljø- og klimavennlig melkeproduksjon - Klimaprojektet', hvor energibruk og utslipp ved seks norske melkegårder ble studert (Hansen m.fl. 2018). Gårdene lå i Hordaland, Møre og Romsdal og i Trøndelag, og var av varierende størrelse - fra 20 til 60 melkekyr. Tre av gårdene var drevet konvensjonelt og tre var drivet økologisk. Det ble registrert store forskjeller i energibruken på gårdene, se Figur 3-6. Bruk av elektrisitet til drift varierte fra ca. 40.000 - 120.000 kWh/år, eller om lag 0,11-0,87 kWh per liter produsert melk i året. Bruk av diesel varierte fra ca. 17.000 til 170.000 kWh/år, eller fra 0,11 til 0,30 kWh per liter årsproduksjon melk.

Felles for alle de seks gårdene var fokus på god agronomi og godt husdyrstell. Dette bidrar til energieffektivisering fordi ressursene som tilføres gården utnyttes bedre. Det samme gjelder utnyttelsen av husdyrbygningene; hvis fjøskapasiteten ikke utnyttes fullt ut, f.eks. på grunn av mangel på grovfôr, må energien som brukes til gjødsel, melking og lys, fordeles på færre dyr.

Rapporten konkluderer med følgende anbefalinger av tiltak for å redusere klimagassutslippene:

- Godt vedlikehold av maskiner og bygg for å forlenge levetiden.
- Ikke større maskinpark enn nødvendig.
- Bruk av tre i fjøs i stedet for stål og betong. Ombruk av gamle materialer ved nybygg.

- Takplater som slipper igjennom lys.
- Konsentrert kalving.
- Gjødsekum plassert lavere i terrenget enn fjøset.
- Samarbeid med naboer om bruk av husdyrgjødsling for å spare kjøring.
- Kløver i enga til erstatning for kunstgjødselnitrogen.
- Mer beiting på bekostning av innkjøpt kraftfor.



Figur 3-6 Fordeling av energibruken på 6 norske melkegårder, fra (Hansen m.fl. 2018).

Som en del av det såkalte 'Miljømelkprosjektet' undersøkte Bioforsk energibruk til materialer og drift av 20 melkefjøs i Møre og Romsdal (Koesling m. fl. 2015). Fjøsene varierte i størrelse fra ca. 300 til 1750 m² i grunnflate, og fra 14 til 81 kyr. Resultatene viste store variasjoner i energibruken til drift, fra 35 til 104 kWh/m² per år, og i gjennomsnitt 0,25 kWh per liter årsprodusert melk.

I en rapport fra Bioforsk (Johansen et al. 2013) presenteres en livsløpsanalyse (LCA) av kombinert mjølk- og kjøttproduksjon på tre modellerte norske melkegårder. De tre gårdsbrukene representerer typiske melkeproduksjonsbruk i sine respektive regioner; Rogaland, Nord-Trøndelag og Oppland. Gårdene er forholdsvis små, med 20-24 kyr og en melkeproduksjon på 132 000 - 164 000 liter per år. Resultatene fra analysen er publisert i tidsskriftet *Livestock Science* (Roer et al 2013). For alle gårdene er det oppgitt en elektrisitetsbruk på 26 000 kWh/år, noe som tilsvarer fra 0,16 til 0,20 kWh per liter produsert melk i året. Dette fremstår som lavt sammenlignet med tall fra de andre studiene, men kan trolig delvis forklares med at ingen av gårdene hadde melkerobot. Energi bruk til diesel lå på 24 000 til 48 000 kWh/år, eller ca. 0,26-0,29 kWh per liter årsprodusert melk.

Dieselbruken er avhengig av prosedyrer og utstyr for gjødselhåndtering og arrondering. Transport av gjødsel med slepeslange i stedet for tankvogn gir mindre forbruk av diesel. God arrondering og skift som ligger nær fjøset gir mindre transport til og fra jordene.



Foto: Thomas Thomas Jergel, Camerat.

Nytt melkefjøs stod ferdig i 2016. Det er bygd for 50 årskyr med påsett. Det er satt inn melkerobot, og fjøset inneholder forøvrig mye teknisk utstyr til fôrhandtering som bl.a. gir muligheter for å blande ulike typer grovfôr i en og samme fôrasjon.

Byggematerialer

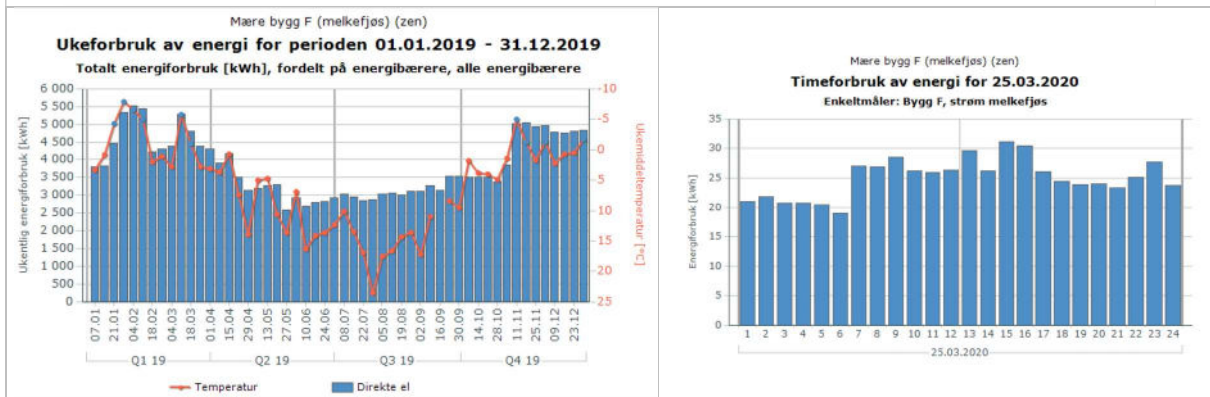
Fjøset er bygd i tre, noe som binder mye CO₂ sammenligna med bygg i betong. Veggene er i massivtre og det er ikke lagt inn ekstra isolasjon utover treets egen isolasjonsevne. Det er naturlig ventilasjon i bygget.

Varmegjenvinning

Når melka kommer fra kua holder den en temperatur på ca 38°C. Når den kjøles ned i melketanken avgis mye varme. Det er montert varmeveksler på melketanken slik at varmen som avgis brukes til å varme opp vannet i varmtvannstanken, eller gis som temperert drikkevann til dyra.

Varmepumpe

Det er installert varmepumpe (luft til luft) som skaffer varme til oppvarming av garderobes og andre fellesrom.



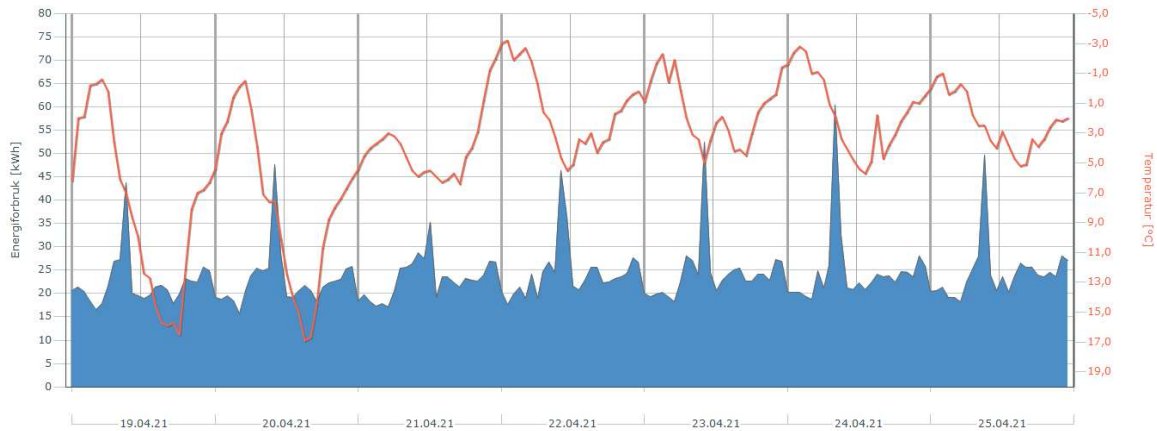
Figur 3-7 Melkefjøs på Mære. Årlig energibruk (elektrisitet) er ca. 200 000 kWh (ca. 120 kWh/m²), som tilsvarer 0,56 kWh per liter produsert melk i året.

Melkefjøs på Mære er ikke koblet til energi-/varmesentralen, så hele energibehovet dekkes av elektrisitet. I gjennomgangen av timesprofiler for strømmåleren for melkefjøs på Mære, ble høyeste effekttopp funnet til å være på ca 70 kWh/h. Figuren under viser en typisk ukesprofil for strømforbruket i melkefjøs i en kald periode. Grunnlasten består av lys, oppvarmingsystem, forvogn, noe gulvvarme, elkjel, melkerobot og varmepumpe. De daglige effekttoppene er to fôrblendere, som hver er på maks 38 kW. Fôrblenderne går en gang hver dag, og hvor mye effekt som kreves er avhengig av temperaturen i foret.

Mære bygg F (melkefjøs) (zen)

Timeforbruk av energi for perioden 19.04.2021 - 25.04.2021

Enkeltnåler: Bygg F, strøm melkefjøs



Figur 3-8 Timeforbruk av elektrisk energi for melkefjøsset på Mære 19.-25. april 2021 (Kilde: Entro)

Box 1: Melkefjøsset på Kiserud gård i Spydeberg, Østfold

Årlig energibruk (elektrisitet) er 120 000 kWh (ca. 120 kWh/m²), som tilsvarer ca. 0,28 kWh per liter årsproduisert melk. Kilder: Norsk Landbruk (2014)³ og Norges Vel (2018).



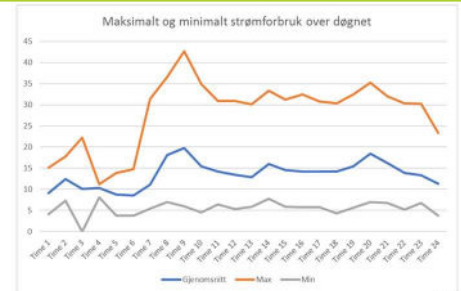
Det 1000 kvadratmeter store fjøsset er isolert, men har naturlig ventilasjon med gardiner på begge langsiden.

Fjøsset har 4,5 meter bredt kjørbart forbrett, og føringa foregår med en miksevogn fra Siloking.

På den ene siden av forbrettet er det tre liggebåsrekker til melkeku, samt komfortavdeling og sykebinge. På den andre siden står drektige kyr, sinkyr og kalver.

Det blir levert 430 000 liter melk i året til Tine. Gården har 60 melkekuer og 90 ungdyr. Oksekalvene blir solgt ved fire måneders alder til nabo som også driver økologisk.

Maksimal og minimal effekt (kW)



Tabell 3-6 gir en oppsummering av nøkkeltall for gårdsbruk som vi har funnet data for. Totalt har vi funnet rapporterte data for årlig energibruk for 32 gårdsbruk, men ikke alle data var

³ <https://www.norsklandbruk.no/article/fornoyd-med-nokkelferdig-robotfjos/>

tilgjengelig for alle brukene. Data for m² BRA manglet for noen av fjøsene, og i tillegg fant vi kun oppgitt dieselforbruk for 9 av gårdene.

I TFOU-rapporten (Andersson og Sand 2018) oppgis det nøkkeltall for 'lavt', 'middels', og 'høyt' forbruk, hvor 'lavt' elektrisitetsforbruk er 0,2 kWh per kg melk og 'høyt' ligger på 0,3 kWh per kg melk. For dieselforbruk, ligger 'lavt' forbruk på 0,2 kWh per kg melk, og 'høyt' på 0,24 kWh per kg melk. Hvis vi sammenligner med data fra vår gjennomgang, ser vi at det er flere gårder som ligger betydelig over det som i TFOU-rapporten karakteriseres som 'høyt' forbruk.

Eksempelbruket er en melkegård i Trøndelag som vi har fått tilgang til energibruksdata (timesdata) for via NTE. Disse 'eksempelbrukene' brukes som basis for å utforme tiltak som kan gjøres på gårdene for å redusere energibruk og klimagassutslipp, og er vist i kapittel 7.

Tabell 3-6 Oppsummering av rapporterte nøkkeltall for melkeproduksjonsbruk.

Kilde	Størrelse fjøs, m ² BRA	Antall dyr	Årlig melkeproduksjon, liter	Årlig totalt elektrisitetsbruk, kWh/år	Årlig spesifikt elektrisitetsbruk, kWh/m ²	Årlig spesifikt elektrisitetsbruk, kWh/liter melk	Årlig totalt forbruk av diesel, kWh	Årlig spesifikt forbruk av diesel, kWh/liter melk
Litteraturstudie	292-1755	14-81	98 000 – 567 000	16 000 – 130 000	35-120	0,10 – 0,87	17 000 – 170 000	0,11 – 0,30
Eksempelbruk	1220	140	360 000	82 200	67	0,23	160 500 – 171 000*	0,44 – 0,47*

* inkluderer kornproduksjon

3.1.3. Svineproduksjon

Ifølge Andersson og Sand (2018) har svineholdet i Trøndelag blitt mer og mer effektivt de senere årene. Det bygges større fjøs og næringen bærer preg av økende spesialisering innen smågrisproduksjon og slaktegrisproduksjon. Noen bruk holder seg imidlertid til den tradisjonelle produksjonen som består av både smågris og slaktegris. Produksjon av gris krever relativt mye energi til oppvarming, da temperaturen i dyrerommene ligger mellom 18 og 25 grader i de ulike fasene av tilveksten. Spesielt trenger smågrisene mye varme, og denne tilføres vanligvis i form av gulvvarme og glødelamper.

Tabell 3-7 og Tabell 3-8 gir beskrivelser av typiske forbruksmønstre for svineproduksjon (hvh slaktegris og smågris).

Tabell 3-7 Beskrivelse av typisk bruksmønster for svineproduksjon (slaktegris) mht. elektrisk energibehov, og mulighet for fleksibilitet i forbruket. Kilde: Mære landbruksskole.

Aktivitet	Tidsrom for aktivitet (morgen/formiddag/ettermiddag/kveld/hele døgnet)	Fleksibilitet (kan utførelse av aktiviteten forskyves i tid?)	Sensitiv for utetemperatur, krever oppvarming (ja/nei)
Belysning	Ved fjøsstell	Ja	Nei
Ventilasjon	Går konstant, varierer i hastighet med utetemperatur og hvor mye gris det er i fjøset	Nei	Ja

Utforing	Fire ganger daglig	Ja	Nei
Gjødseltrekk	Noen har dette, men mange har andre løsninger.		Nei
Forvarming av vaskevann i forbindelse med rengjøring mellom innsett	For hver 14. uke	Ja	Nei
Tørking av rom etter vasking	Etter vasking, krever mye energi	Ja	Nei
Golvvarme	Brukes ikke mye i slakteproduksjonen, litt ved innsett, kan brukes ved opptørking.	Ja	Ja

Tabell 3-8 Beskrivelse av typisk bruksmønster for svineproduksjon (smågris) mht. elektrisk energibehov, og mulighet for fleksibilitet i forbruket. Kilde: Mære landbruksskole.

Aktivitet	Tidsrom for aktivitet (morgen/formiddag/ettermiddag/kveld/hele døgnet)	Fleksibilitet (kan utførelse av aktiviteten forskyves i tid?)	Sensitiv for utetemperatur, krever oppvarming (ja/nei)
Belysning	Lyset på døgnet rundt ved grising, resten av perioden 15 timer. Varierer litt gjennom året ut fra naturlig lysmengde.	Nei	Nei
Ventilasjon	Går konstant, varierer i hastighet med utetemperatur og hvor mye gris det er i fjøset	Nei	Ja
Utforing	Fire ganger daglig	Ja	Nei
Gjødseltrekk	Mange flere har gjødseltrekk i fødeavdelinger enn i slaktegris.	Ja	Nei
Golvvarme	Starter varmt ved fødsel, trapper ned temp, så temp opp igjen ved avvenning fra purka, og så ned igjen. Går over 8 uker.	Nei	Ja
Forvarming av vaskevann i forbindelse med rengjøring mellom innsett	For hver 14. uke, eller hver 7. uke når gården har flere hus.	Ja	Nei
Tørking av rom etter vasking	Etter vasking, krever mye energi	Ja	Nei

Det er viktig med god ventilasjon og utskifting av luft på grunn av den høye ammoniakk-konsentrasjonen fra husdyrgjødsel. Det finnes ulike typer ventilasjonsprinsipper for grisefjøs, hvorav den vanligste er mekanisk undertrykksventilasjon (se Box 2). Varmegjenvinning ser ut til å være lite utbredt for grisefjøs.

Box 2. Ulike typer ventilasjonsløsninger i grisefjøs*Diffus ventilasjon (pustende himling)*

I et system med pustende himling suges lufta ut gjennom avtrekkskanaler, mens friskluft kommer inn i rommet gjennom en pustende himling i innertaket. Dette gir en trekkfri ventilasjon med lav investeringskostnad. Anbefales ved husbredde over 26 meter. Kan være utfordrende å få inn nok luft i sommerhalvåret.

Kombidiffus

Kombidiffus ventilasjon fungerer i utgangspunktet som diffus, men ved behov for større lufthastighet eller styrt luftstrøm, kan takventiler åpnes. Takventilene i et kombidiffust anlegg plasseres over gjødselareal slik at luft styres inn på liggeareal. I varme perioder kan dette redusere risiko for at grisen legger seg i gjødselarealet.

Mekanisk ventilasjon med undertrykk

Ventilasjon basert på undertrykk kan settes opp i ulike varianter og kombinasjoner. Friskluft kommer inn i rommet gjennom vegg- eller loftsventiler, mens luft suges ut av rommet gjennom avtrekkskanaler med vifte. Dette skaper undertrykk, typisk på 10-15 Pa. Brukes ved husbredde opptil ca 26 meter.

Naturlig ventilasjon

Samme prinsipp som for melkefjøs. Anbefales kun i mildt klima, slik som ved kysten i Sør-Norge. Kan evt suppleres med lokalt oppvarmingssystem.

Kilder: Svineportalen.no og fjossystemer.no

Det finnes lite detaljerte data for energibruk til svineproduksjon. TFOU-rapporten (Andersson og Sand 2018) oppgir et gjennomsnittlig varme- og elektrisitetsforbruk på henholdsvis 70 og 32 kWh per stk. smågris, og 0,17 og 0,52 kWh per stk. slaktegris.

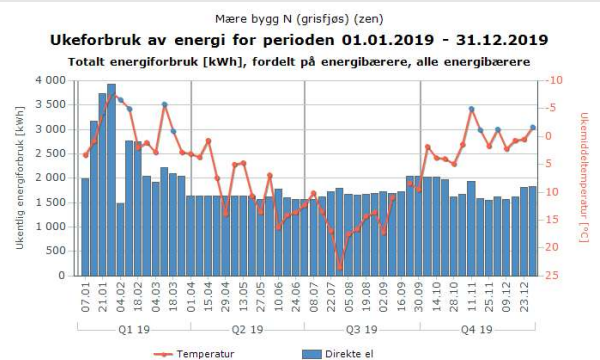
En masteroppgave ved NTNU (Kummen 2018) fant et årlig energibruk på ca. 140 kWh/m² for et grisefjøs i Nord-Gudbrandsdalen. Oppvarming utgjorde ca. 80 kWh/m², ventilasjon 16 kWh/m², belysning 7 kWh/m² og utstyr 41 kWh/m². Det mest energikrevende utstyret var fôringsanlegg, samt høy- og korntørker. Fordelingen av varme vs. elektrisitet stemmer godt overens med tallene fra TFOU-undersøkelsen (Andersson og Sand 2018).

Som en del av studien 'Livsløpsanalyser av norsk svinekjøttproduksjon med og utan heimprodusert grassaft som fôr' (Johansen og Roer 2018), oppgir NIBIO et strømforbruk på 41 kWh/m² per år for et 'referansefjøs' på 1440 m². Energibruken er basert på NILF sine driftsgranskinger og referansebruk (NILF 2013) som tar utgangspunkt i gårdbrukers utgifter

til strøm (i kr), og det er ikke oppgitt hva som inngår i dette tallet, f.eks. om det omfatter oppvarming.

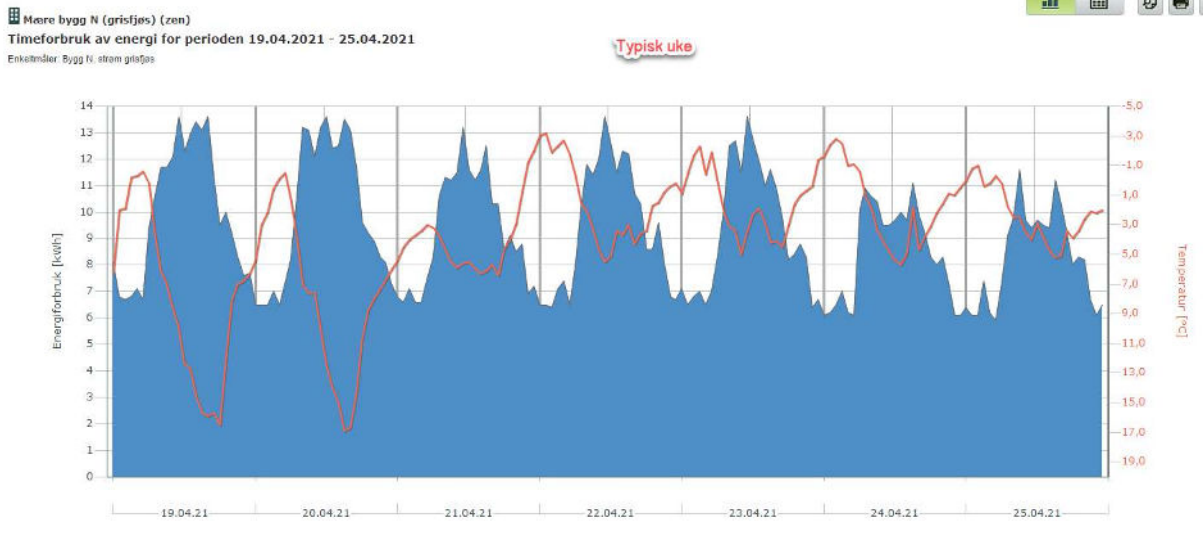
Grisefjøsset på Mære har et areal på 1800 m², rommer 55 årspurker, og hadde i 2019 et elektrisitets-forbruk på 50 kWh/m² og et varmeforbruk på 46 kWh/m², se Box 3. Det ble installert LED-lys i august 2019.

Box 3. Grisfjøsset på Mære



Kilde: Gunnar Larsen, Mære Landbruksskole.

Grisfjøsset på Mære har vannbåren oppvarming fra energisentralen. Data for energisentralen har ikke vært tilgjengelig i konseptutredningen. I gjennomgangen av timesprofiler for strømmåleren for grisfjøsset på Mære, ble høyeste effekttopp i perioden funnet til å være på 24 kWh/h. Figuren under viser timeforbruk av strøm en typisk uke i april 2021. Figuren viser en grunnlast, med tydelige topper på dagtid. Strømforbruket består av lys, dusjer og garderover, foringssystem, pumper og motorer.



Figur 3-9 Timeforbruk av elektrisk energi for grisfjøsset på Mære en typisk uke (Kilde: Entro)

Tabell 3-9 gir en oppsummering av nøkkeltall for gårdsbruk som vi har funnet data for. Eksempelbruket er en svingård i Trøndelag som vi har fått tilgang til energibruksdata (timesdata) for via NTE. Disse 'eksempelbrukene' brukes som basis for å utforme tiltak som kan gjøres på gårdene for å redusere energibruk og klimagassutslipp, og er vist i kapittel 7.

Tabell 3-9 Oppsummering av rapporterte nøkkeltall for svineproduksjonsbruk.

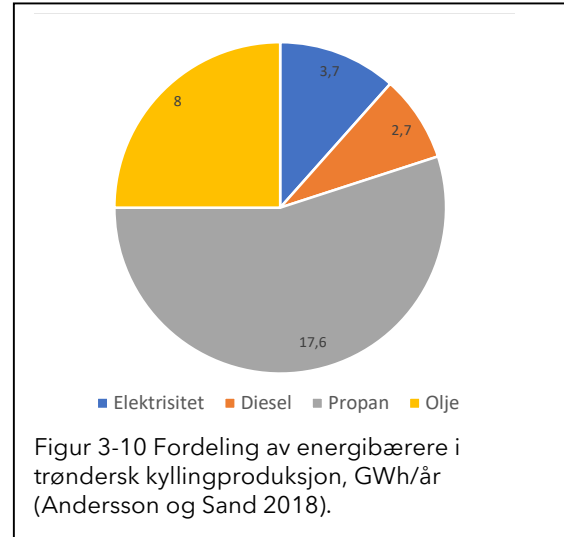
Kilde	Årlig totalt el-forbruk, kWh	Årlig totalt varme-forbruk, kWh	Årlig spesifikt el-forbruk, kWh/gris	Årlig spesifikt varme-forbruk, kWh/gris	Diesel (liter/år)	Kommentar
Andersson og Sand (2018)			32 per smågris 0,52 per slaktegris	70 per smågris 0,17 per slaktegris	2446	I gjennomsnitt per gårdsbruk
Johansen og Roer (2018)	73 000*					*59 000 til fjøs (1439 m ²) og 14 000 til korntørke (200 m ²)
Mære	90 000	82 000				Fjøs: 1800 m ² 55 årspurker
Norges Vel (2018a)	170 000	82 000*				*til korntørke (olje)
Kummen (2018)	90 000	112 000				Fjøs: 1400 m ²
Eksempelbruk Trøndelag	104 500	170 000	70-90 pr gris	121	5800	Driver med avl med lavere effektivitet enn andre raser.

3.1.4. Kyllingproduksjon

Kyllingproduksjon krever mye energi til oppvarming og ventilasjon. Kyllinger settes inn daggamle og går i fjøset i ca. 35 dager før transport til slakt, og det er typisk 4-7 innsett per år. Fjøset vaskes og desinfiseres mellom hvert innsett. De optimale temperatur-forholdene varierer i takt med dyras ulike vekstfaser. Mens små kyllinger gjerne skal ha temperaturer opp mot 34-35°C, trives de slakteferdige dyrene med temperaturer i området 18-20°C. I den tidlige vekstfasen er behovet for varmetilskudd stort, dels pga. temperaturnivået og dels fordi dyra avgir lite varme. Når det nærmer seg slakting er varmeavgivelsen fra dyra betydelig høyere, samtidig som optimal temperatur er lavere, noe som gir mindre behov for oppvarming. Ventilasjon er viktig for å fjerne skadelige gasser, fjerne støv og mikroorganismer, og tilføre oksygen. Luftmengdene økes i takt med at kyllingene vokser og det produseres mer forurensninger. Det brukes derfor en del energi til viftedrift, og ventilasjonen gir også et varmetap når man erstatter varm luft med frisk luft som må varmes opp. I nye driftsbygninger installeres som regel vannbårne varmeanlegg, basert på biobrensel og/eller gass (LPG), avhengig av lokale forhold, tilgang på biobrensel, eksisterende bygningsmasse og varmegrunnlag etc. (Vista Analyse 2020). Tabell 3-11 gir en oversikt over typisk forbruksmønster for energibruk i kyllingfjøs.

Tabell 3-10 Energibruk i trøndersk kyllingproduksjon (Andersson og Sand 2018).

	Lavt	Middels	Høyt
kWh elektrisitet per kg	0,15	0,17	0,19
kWh varme per kg	1,35	1,53	1,71



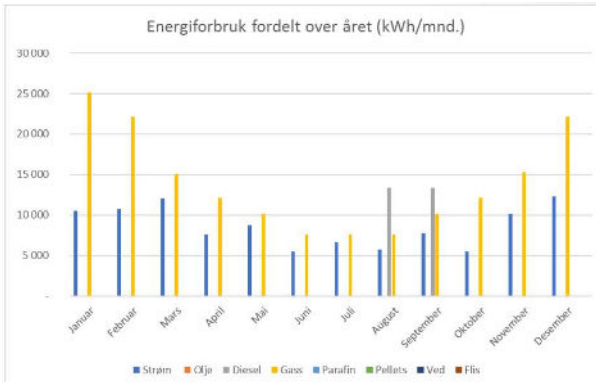
Tabell 3-11 Beskrivelse av typisk bruksmønster for kyllingproduksjon mht. elektrisk energibehov, og mulighet for fleksibilitet i forbruket. Kilde: Mære landbruksskole.

Aktivitet	Tidsrom for aktivitet (morgen/formiddag/ettermiddag/kveld/hele døgnet)	Fleksibilitet (kan utførelse av aktiviteten forskyves i tid?)	Sensitiv for utetemperatur, krever oppvarming (ja/nei)
Belysning	Mange skifter til LED, står på 18 av 24 timer under innsettperioden.	Nei	Nei
Ventilasjon	Går konstant, svært sårbart. Dette er den største posten. Ulike trinn som er styrt av temperatur og fukt.	Nei	Ja
Utforing	Motorer som er sensorstyrt, det går mer og mer for utover i innsettet.	Nei	Nei

Det finnes lite detaljerte data for energibruk til kyllingproduksjon. TFOU-rapporten (Andersson og Sand 2018) oppgir bruk av elektrisitet og varme per kg kyllingproduksjon for Trønderske gårder, se Tabell 3-10. En stor del av energibruken til oppvarming dekkes av fossile energikilder, spesielt propan, se Figur 3-10. Til sammen brukes nesten 40 GWh/år til kyllingproduksjon i Trøndelag.

Norges Vel (2018a) oppgir energibruk til to kyllingfjøs i Østfold, hvorav den ene bruker ca. 165 000 kWh/år og den andre bruker ca. 150 000 kWh/år til oppvarming av kyllingfjøs. Begge bruker propangass til oppvarming av fjøset.

Box 4. Energibruk på gården Otterstad Østre i Rygge.



Gule søyler viser oppvarming av kyllingfjøs (propan). Grå søyler er korntørking (diesel). Blå søyler viser forbruk av strøm. Kilde: Norges Vel (2018a).

I en spørreundersøkelse blant 202 norske kyllingprodusenter gjennomført av Agri Analyse (Bunger m.fl. 2020), oppgir 59% av de benytter propan til oppvarming, mens 5% oppgir oljefyring. Biobrenselanlegg benyttes av 32%, mens 5% benytter elektrisitet og 0,5% bruker fjernvarme.

Tabell 3-12 gir en oppsummering av nøkkeltall for gårdsbruk som vi har funnet data for. Eksempelbruket er en kyllinggård i Trøndelag som vi har fått tilgang til energibruksdata (timesdata) for via NTE. Disse 'eksempelbrukene' brukes som basis for å utforme tiltak som kan gjøres på gårdene for å redusere energibruk og klimagassutslipp, og er vist i kapittel 7.

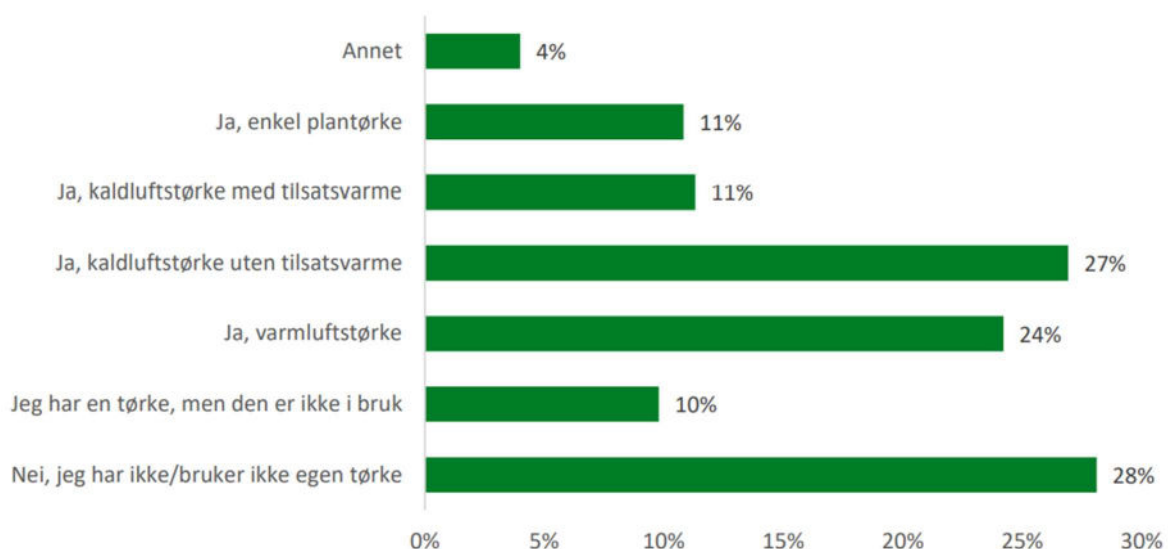
Tabell 3-12 Oppsummering av rapporterte nøkkeltall for kyllingproduksjonsbruk.

Kilde	Årlig totalt el-forbruk, kWh	Årlig totalt varme-forbruk, kWh	Årlig spesifikt el-forbruk, kWh/kg kylling	Årlig spesifikt varme-forbruk, kWh/kg kylling	Diesel (liter/år)	Kommentar
Andersson og Sand (2018)			0,15-0,19	1,35-1,71	0,011 liter per kylling	I gjennomsnitt per gårdsbruk
Norges Vel (2018a)		150 000 - 165 000*			Gård 1: 12-15 000** Gård 2: 2500**	*propan **til korntørke
Eksempelbruk Trøndelag	81500	300 000*	0,30	1,11	180**	*Propan **Diesel til vask mellom innsett

3.1.5. Kornproduksjon

Kornproduksjon krever energi til tørking, samt til drift av maskiner og utstyr for høsting, transport, jordbearbeiding, etc. Høsting foregår i august/september. Energiforbruk til tørking bestemmes av fuktigheten i kornet, hvis kornet har et vanninnhold over ca. 15%, er det behov for tørking. Korntørking er energikrevende, men foregår i en forholdsvis kort periode på høsten. Korntørka kjøres stort sett på dagtid og når det ikke regner, og kan gå over en dag til fire uker, avhengig av høsteforholdene.

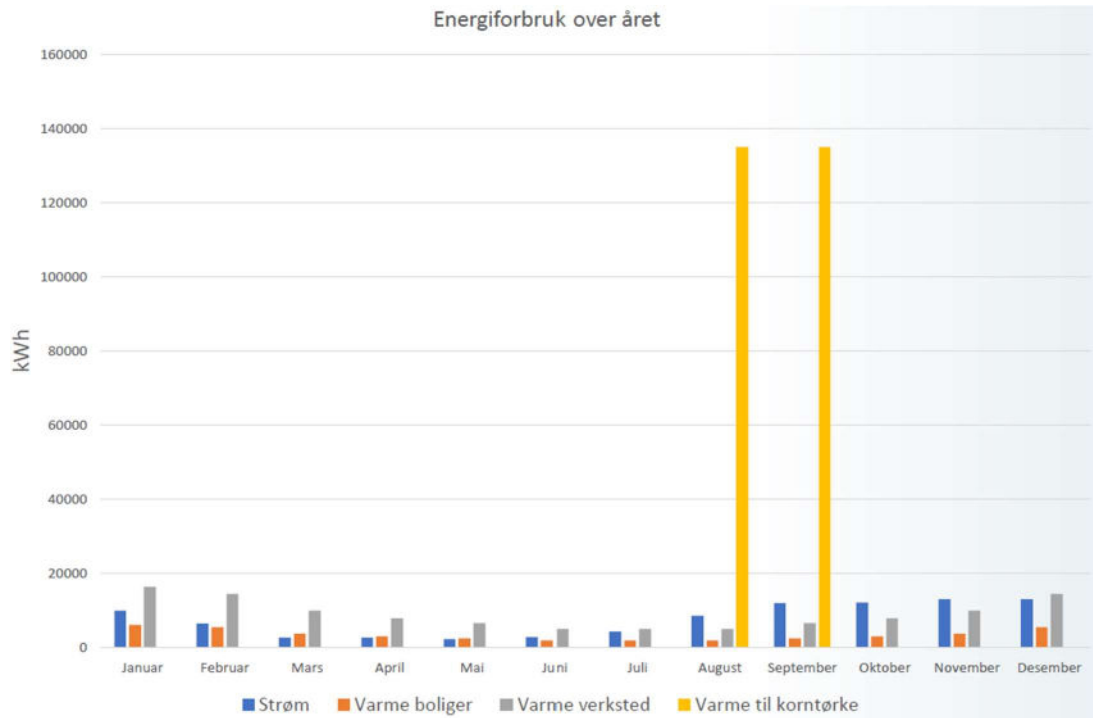
Selv om mye av kornet sendes til tørking i større anlegg, er det fremdeles noen gårdbrukere som tørker kornet selv. I følge Agri Analyse ble det i 2016 brukt 6 816 000 liter fyringsolje til korntørking på norske gårdsbruk (Hillestad og Bungler 2019). Agri Analyse gjennomførte i 2018 en spørreundersøkelse som viste at ca. 70% av de spurte gårdbrukerne hadde egen korntørke (Hillestad og Bungler 2019). De fleste hadde kaldluftstørke, mens noen hadde varmluftstørke, se Figur 3-11. For dem som hadde korntørke, brukte de fleste strøm som energikilde (51%), mens 37% svarte at de brukte olje. 5% svarte at de brukte solenergi og 4% at de brukte bioenergi i tørkene.



Figur 3-11 Resultat av spørreundersøkelse gjennomført av Agri Analyse, på spørsmålet: 'Bruker du egen tørke, og i så fall hva slags tørker(r) har du?' N=1256. Fra (Hillestad og Bungler 2019).

I rapporten fra Agri Analyse konkluderes det med at det er behov for fornyelse av tørke- og lagringskapasitet på gårdsnivå, men også på kornmottakene. Det anbefales å bruke en kombinasjon av solfanger og elektrisitet, evt bioenergi som halm og flis til korntørker med en kapasitet på over 1000 tonn i året. Ved etablering av biofyrte anlegg anbefales det å kombinere med oppvarming av fjøs til gris og fjørfe.

Figur 3-12 viser at energibehovet til en kornbasert gård kan være svært effektkrevende i en begrenset tidsperiode i året (innhøsting og tørking). I dette eksempelet lå korntørking på om lag 270 000 kWh/årlig, mens det totale energibehovet (elektrisitet og oppvarming) var på ca. 507 000 kWh/år. Dermed bestod korntørkingen for over 50% av det totale energibehovet for gården, og dette over en begrenset tidsperiode.



Figur 3-12 Illustrasjon av energibehov for kornbasert gårdsdrift. Kilde: Norges Vel (2019).

I tillegg til tørking, krever kornproduksjon bruk av maskiner og utstyr til tresking, jordbearbeiding og transport, etc. Tabell 3-13 viser eksempler på utstyr brukt på en norsk korgård.

Tabell 3-13 Oversikt over maskiner og utstyr benyttet til kornproduksjon på en norsk gård med 30.5 ha med bygg (62% av arealet), hvete (28%), og havre (10%). Fra (Henriksen og Korsæth 2013).

Machinery and equipment	“Size”	Weight (kg)	Expected lifetime (years)
New tractor	90 kW	5300	15
Old tractor	60 kW	4800	15
Very old tractor	45 kW	3800	15
Thresher 12 feet	95 kW	7000	15
	12 feet		
Reversible plough	4-furrow	1360	12
Leveller	4 m	1400	20
Loader		350	12
Stone rake	3 m	350	12
Seed drill (Rapid)	3 m	4000	10
Roller	4 m	1700	20
Sprayer	12 m	200	12
Disc spreader	10 m	200	10
Trailer, rough		2000	15

I 2013 gjennomførte Bioforsk en livsløpsanalyse av 6 norske korgårder, der de bl.a. rapporterte forbruk av diesel (Henriksen og Korsæth 2013). Dieselforbruket på gårdene varierte fra 75 til 130 liter per hektar med kornproduksjon, og størrelsen på jordene varierte fra 28 til 237 hektar. Detaljerte resultater for en av gårdene er vist i Tabell 3-14.

Tabell 3-14 Drivstofforbruk til kornproduksjon på en norsk gård med 30.5 ha med bygg (62% av arealet), hvete (28%), og havre (10%). Fra (Henriksen og Korsæth 2013).

Process	Tractor (kW)	Workload (ltr h ⁻¹ kW ⁻¹)	Labour (h ha ⁻¹)	Diesel (ltr ha ⁻¹)
Chemical fallow ¹	60	0.12	0.74	2.0
Ploughing	90	0.19	1.24	21.2
Levelling	90	0.19	0.45	7.7
Stone picking	90	0.19	0.2 ²	2.2
Liming ³	120	0.19	0.29	6.6
Sowing and fertilization	90	0.12	0.78	8.4
Split fertilization	60	0.12	0.23	1.7
Spraying ⁴	60	0.12	0.28	2.0
Drumming	45	0.12	0.44	2.4
Treshing barley	95	0.19	0.90	16.2
Treshing s. wheat	95	0.19	1.03	18.6
Treshing oats	95	0.19	1.13 ²	20.5

¹Per spraying (every 3rd year), ²value set, ³every 8th year ⁴per spraying.

Tabell 3-15 gir en oppsummering av nøkkeltall for gårdsbruk som vi har funnet data for.

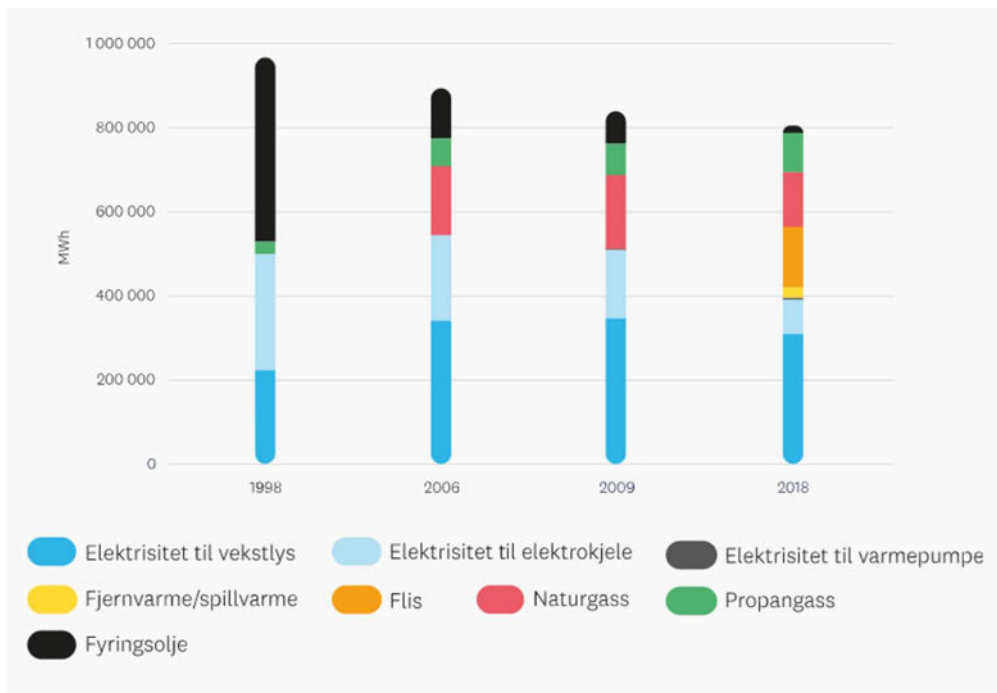
Tabell 3-15 Oppsummering av rapporterte nøkkeltall for gårder med kornproduksjon.

Kilde	Årlig totalt el- forbruk, kWh	Årlig totalt varme- forbruk, kWh	Diesel til korntørring, liter per år	Diesel til pløying etc, liter/år per ha	Kommentar
Henriksen og Korsæth (2013)			1,35-1,71 liter per ha	75-130	
Norges Vel (2018a)	Gård 1: 30 000 Gård 2: 75 000 + 21 000 til korntørring	Gård 1: 12 000*	Gård 1: 1000-3000 Gård 2: 2000		*propan

3.1.6. Veksthus

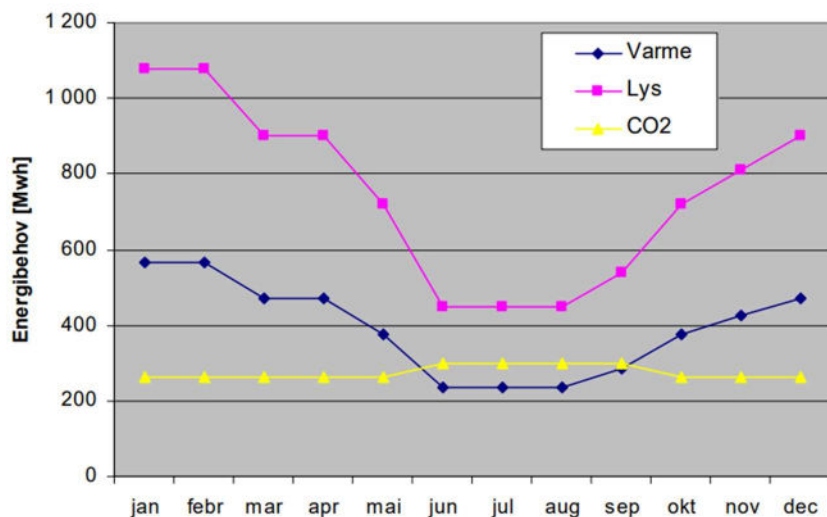
Planteproduksjon i veksthus er energikrevende fordi plantene som normalt dyrkes i veksthus krever relativ høy temperatur og mye lys og i og med at produksjonen foregår i bygninger med stort varmetap. Samtidig fungerer veksthus som solfangere, og i varme perioder med mye sol er det som regel behov for utlufting av overskuddsvarme. Det tilføres vanligvis CO₂ for å øke veksten, noe som også krever energi. Vanddampen er også en viktig faktor i energibalansen.

Ifølge SSB brukte veksthusnæringen ca. 800 GWh i 2018. Dette var fordelt på flere ulike energikilder og formål. Elektrisitet til lys var den største enkeltposten med en andel på 38% i 2018. Fyringsolje har nærmest blitt faset helt ut og den fossile andelen av energibruken utgjorde i 2018 ca. 29% av totalen, hovedsakelig i form av naturgass og propan, se Figur 3-13.



Figur 3-13 Utvikling og fordeling av energibruk i norske veksthus. Kilde: SSB

Norges gartnerforbund oppgir et gjennomsnittlig spesifikt energibruk i norske veksthus på 414 kWh/m² veksthusareal (NGF 2020). Det er forholdsvis store årstidsvariasjoner, med betydelig høyere energibruk om vinteren, se Figur 3-14.



Figur 3-14 Eksempel på energibruk over et år i et norsk veksthus på 10 000 m² hvor det dyrkes agurker. CO₂-behovet er oppgitt i brenselsekvivalenter (hvor mye naturgass man må brenne for å produsere ønsket mengde CO₂). Kilde: Bævre m.fl. (2006).

I Bioforsk-rapporten Energi til norsk veksthusnæring (Bævre m.fl. (2006)) er det også oppgitt eksempel på dimensjonskrav til et typisk energisystem i et veksthus, se tabellen under.

Tabell 3-16 Eksempel på dimensjonskrav til typisk energisystem i 10 000 m² veksthus med agurkproduksjon. Kilde: Bævre m.fl. (2006).

Energibehov		
	Maximum	Gjennomsnitt
Varme	1005	539 kW
Lys	5455	1027 kW
CO ₂	99	75 kg/h
CO ₂ - Brenselekv.	495	377 kW

Box 5. Veksthuset på Mære



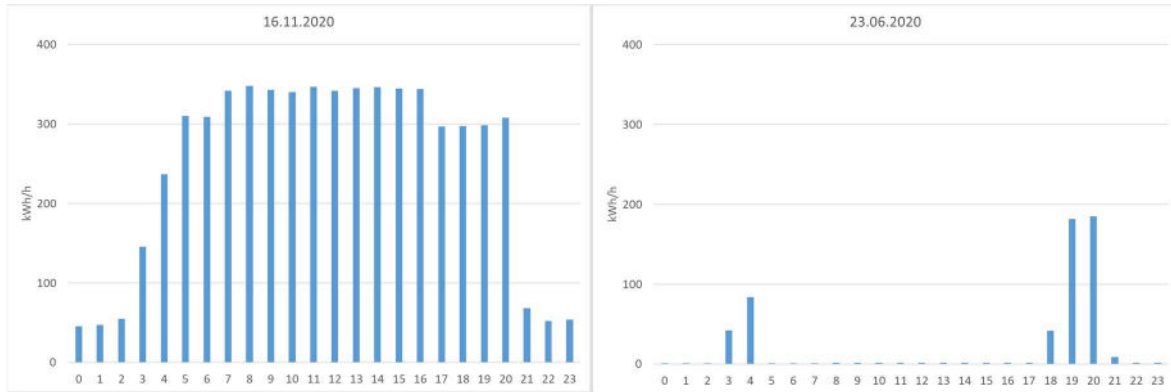
Veksthusene på Mære er på 3000 m², og tilføres energi i form av sol, vekstlys og som vannbåren varme. Vekstlysene er i hovedsak SON-T lamper (høytrykks natriumlamper også kalt HPS) og noe LED lys. I tillegg gis varme fra varmerør ved behov. Denne varmen kommer fra energisentralen med en miks av lagret varme, varmepumper og litt propan (på den kaldeste årstiden). Veksthuset kjøles og avfuktes med aerotempere i taket og denne varmen lagres til senere bruk i veksthuset og til skolen. CO₂ gis som ren gass fra tank for å øke veksten av plantene.



Som et forsøk er det satt inn LED-armaturer nede mellom tomatrekkene (såkalt mellomlys). Tanken med plasseringen er at dette lyset kan øke fotosyntesen nede i plantesjiktet hvor sol og toppmontert lys ikke slipper til. Om en sammenligner med den andre halvparten av huset uten LED så har tomatproduksjonen på Mære oppnådd 22% økt avling (i 2020 og hittil 2021).

Kilde: Mære landbruksskole.

Vekstlys er den største forbrukeren av elektrisitet i veksthuset på Mære, med et totalt årsforbruk på ca 1,1 mill kWh. I gjennomgangen av timesprofiler for strømmålerne for veksthuset på Mære, ble høyeste effekttopp for vekstlysene i perioden funnet til å være på ca 350 kWh/h. Vekstlysene er sensorstyrt, følger naturlig lysfase, og har natt ca 6 timer i døgnet. Figurene under viser timeforbruk av strøm for to døgn; november til venstre, og juni til høyre.



Figur 3-15 Timeforbruk for vekstlys for to døgn, november til venstre og juni til høyre

3.1.7. Oppsummering energibruk

Vi har ikke funnet mange kilder med detaljerte og systematiske data for energibruk i norske gårdsbruk. Offentlig statistikk finnes kun for våningshus, og da kun samlet energibruk per m², og ikke oppdelt i ulike poster som oppvarming, belysning, osv. Basert på tilgjengelige data, kan vi dra følgende foreløpige konklusjoner:

- Våningshus bruker i gjennomsnitt noe mer energi enn andre bolighus, og de langt fleste våningshus bruker i all hovedsak strøm og ved.
- Melkegårder bruker i hovedsak elektrisk energi til maskiner og utstyr, inkludert oppvarming av vann. Et melkefjøs trenger ikke tilført energi til oppvarming i dyrerommet og kan klare seg uten tilført energi til ventilasjon hvis bygningen utformes for dette (kaldfjøs, naturlig ventilert). Det ser ut til å være stor variasjon i energibruken til norske melkegårder.
- Svineproduksjon (smågrisproduksjon) krever forholdsvis mye energi til oppvarming og en del til ventilasjon. Det ser ut til å være et stort potensial for reduksjon av energibruken gjennom å ta i bruk varmegjenvinning i kombinasjon med god utforming av fjøset.
- Kyllingproduksjon er varmekrevende, og krever også en del elektrisk energi til drift av ventilasjonsanlegg. En stor del av energien dekkes i dag av fossilt brensel, spesielt propan. Varmegjenvinning og omlegging til fornybar varme (biobrensel) fremstår som aktuelle tiltak.
- Kornproduksjon har et stort energibehov i en kort periode på høsten (august/september), da kornet tørkes etter innhøsting. På gårdstørkene (varmluftstørker) har for en stor del diesel vært brukt som varmekilde. Kornproduksjon kombineres ofte med grise- og/eller kyllingproduksjon, og det er da et potensiale for å benytte fornybar varme (biobrensel).

- Veksthus har et stort varmebehov i vinterhalvåret, og krever også forholdsvis mye energi til belysning. Brorparten av energibehovet i norske veksthus dekkes i dag ved elektrisitet. Det er et stort potensial for energieffektivisering ved riktig utforming av drivhuset (materialvalg, soning), bruk av energieffektiv belysning, og varmelagring.

3.1.8. Mulige tiltak for energieffektivisering av landbruksbygg

Tiltak for energieffektivisering av landbruksbygg må vurderes basert på tilstanden til bygningskroppen og installasjonene i hvert enkelt tilfelle, da dette kan variere mye. I tillegg til spart energi og klimagassutslipp, bør man også vurdere lønnsomhet og drifts/vedlikeholdsbehov over levetiden. Generelt bør følgende tiltak vurderes:

- Etterisolering og lufttetting av bygningskroppen
- Regelmessig rengjøring og vedlikehold av spjeld og luftinntak, pumper og vifter
- Ikke ha høyere temperatur enn nødvendig
- Samregulering av ventilasjon og varme
- Frekvensstyrte vifter og pumper
- Naturlig ventilasjon av melkefjøs
- Utnytte overskuddsvarme fra prosesser
- Installere varmegjenvinning
- Utnytte naturlig lys (dagslys)
- Styre belysningen og oppvarming/kjøling/ventilasjon etter behov, og evt. dele opp i egnede soner med separat styring
- Skifte til LED-lys

Box 6. Naturlig ventilasjon og utnyttelse av dagslys i melkefjøs



Kilde: Mære Landbrukskole

Box 7. Varmegjenvinning i kyllingfjøs



Gårdbruker Sigbjørn Rød i Andebu har god erfaring med varmegjenvinnings-anlegget i sitt kyllingfjøs på 1200 m².

Varmegjenvinneren fra Agro Supply har redusert oppvarmingsbehovet med 50-60%. Installasjonskostnad ca. 500 000 kr (2014). Lite vedlikehold utover 1-2 timer vasking mellom innsettene.

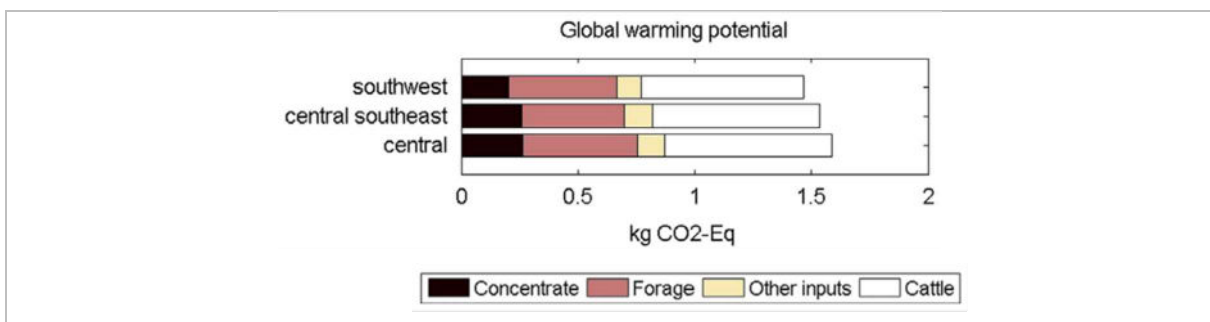
Kilde: <https://klimasmartlandbruk.no/klimalosninger-husdyrhold/smart-oppvarming-av-kyllinghus-article231-871.html>

3.2. Klimagassutslipp fra materialbruk

Det finnes forholdsvis lite data og litteratur med resultater fra livsløpsanalyser mht. klimagassutslipp og andre miljøeffekter av materialbruk i norske gårdsbruk, men i det følgende har vi oppsummert resultater av noen relevante studier vi har funnet.

3.2.1. Klimagassutslipp fra materialbruk i norske gårdsbruk - litteraturgjennomgang

Bioforsk har publisert en rapport med beskrivelse av en livsløpsanalyse av 3 norske gårder med melk- og kjøttproduksjon (Johansen et al. 2013). Resultatene fra analysen er publisert i en artikkel i tidsskriftet *Livestock Science* (Roer et al 2013). Bygningene bestod av et fjøs på ca. 500 m² og et skur på 200 m². Fjøset bestod hovedsakelig av trekonstruksjoner, mens skuret hadde en stålkonstruksjon. Det ble også regnet på klimagassutslipp fra materialbruk til en kjøletank i stål, en fôrutlegger og en silo i glassfiber, rørføringer og en kraftforvogn. Levetiden til bygningskonstruksjonene ble satt til 40 år, mens det ble satt 20 år for kjøletanken og 10 år for det øvrige utstyret. Analysen viste at ca. halvparten av klimagassutslippene var direkte utslipp av metan fra dyrene og at ca. 30% av utslippene kom fra fôrproduksjonen, se Figur 3-16. Bygningsmaterialer og inventar stod for ca. 8% av utslippene. Totale utslipp av klimagasser ble beregnet til å ligge mellom 1,47 og 1,59 kg CO₂-ekvivalenter per kg melk og ca. 18 kg CO₂-ekvivalenter per kg slaktedyr.



Figur 3-16 Utslipp av klimagasser for de 3 gårdene, fordelt på ulike prosesser, fra (Roer et al 2013). Utslippene i figuren er angitt i kg CO₂-ekvivalenter per kg produsert melk per år.

I 2018 publiserte NIBIO en rapport med resultater fra livsløpsanalyser av norsk svinerproduksjon (Johansen og Roer 2018). Utgangspunktet for analysen var et fiktivt gårdsbruk plassert i Stange kommune med kombinert svinerproduksjon (både smågris- og slaktegrisproduksjon) og med kornproduksjon (bygg, vårhvete og havre) der gjødsel fra svinerbesetninga ble utnyttet. Globalt oppvarmingspotensial for 1 kg slaktevekt fra tradisjonelt fôret gris ble beregnet til å ligge mellom 3,8-4,6 kg CO₂-ekvivalenter. Figur 3-17 viser en oversikt over hva som ble regnet med av bygninger og installasjoner. Fjøset er konstruert som et tradisjonelt norsk grisevogn med betong i gulv og vegger, treverk i takkonstruksjonen, og tak av stål.

	Storleik	Levetid
Fjøs ¹⁾	1 439 m ²	30
Gjødselkum	2 000 m ³	30
2 kraftfôrsiloer (purke- og slaktegrisfôr) à	6,5 m ³	15
1 kraftfôrsilo (smågrisfôr) à	3,5 m ³	15
Maskinhus (stål)	300 m ²	30
Korntørke	200 m ²	30

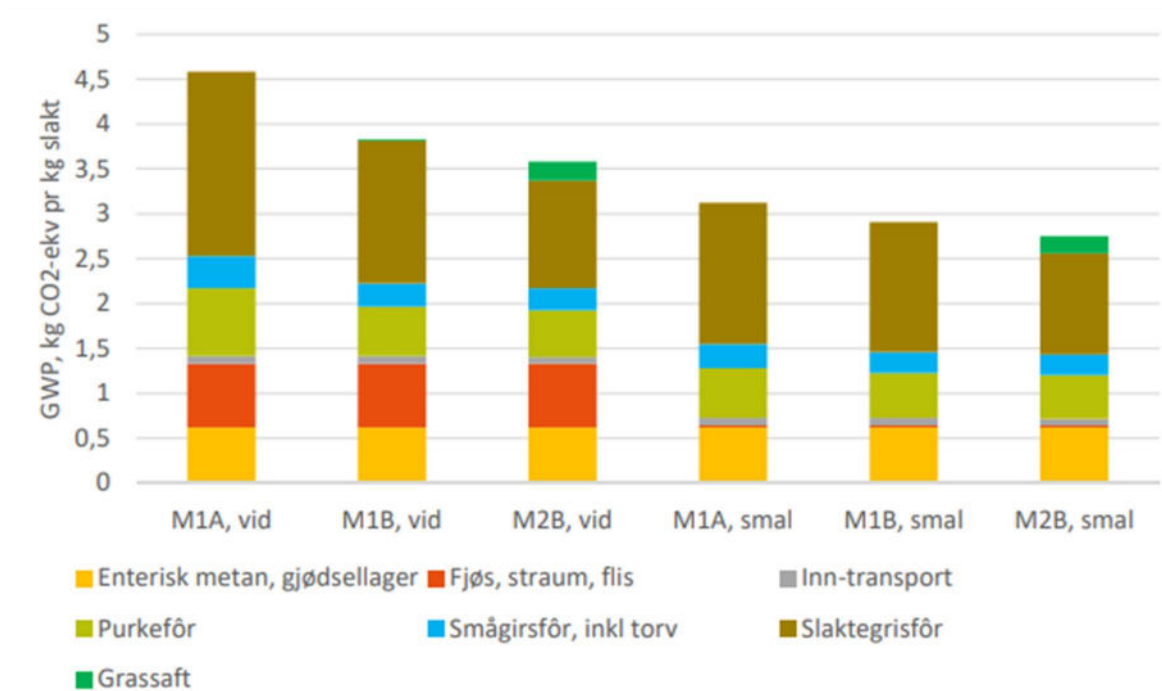
¹⁾ Inkludert innreiingar, ventilasjon, lys, fôringsanlegg, utgjødslingsanlegg.

Figur 3-17 Bygninger og maskiner inkludert i LCA-studien (Johansen og Roer 2018).

Figur 3-18 viser resultatet av analysen mht. GWP⁴ per kg slakt for modellbruket med 2 forskjellige forblandinger (M1 og M2) og ulik opprinnelse (A, B), samt ulike systemgrenser der smal systemgrense ikke omfatter utslipp fra produksjon av innsatsfaktorer som maskiner

⁴ Global Warming Potential

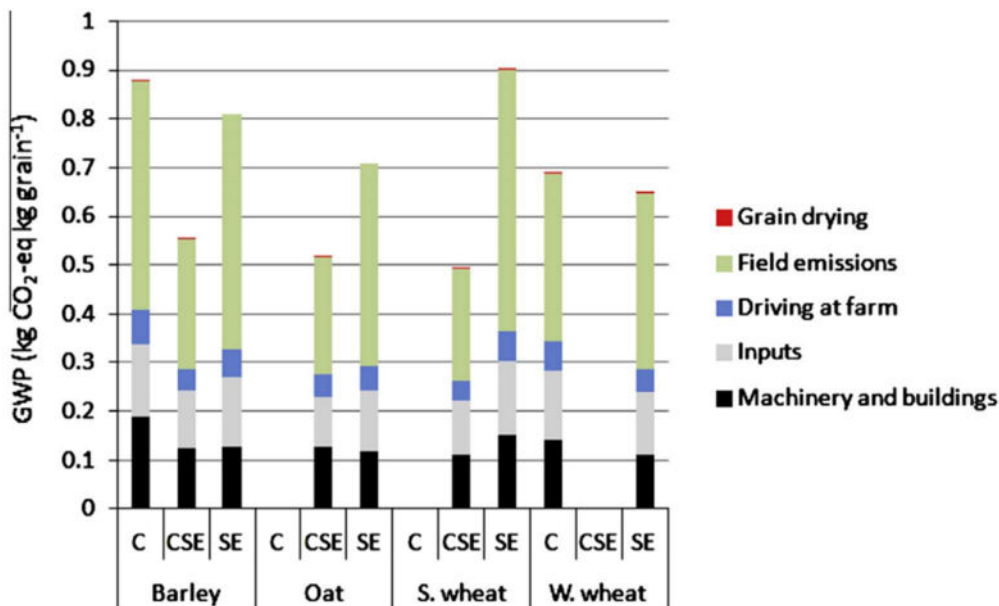
og fôr. Vi ser at utslipp fra bygg og maskiner utgjør en betydelig andel (20-25%) i alternativene med utvidet systemgrense (røde felt). Dette er hovedsakelig utslipp knyttet til produksjon av materialer og utstyr.



Figur 3-18 Resultater fra LCA-studien mht. GWP per kg levert slakt ut fra gården (Johansen og Roer 2018).

I det såkalte 'Miljømelkprosjektet' undersøkte Bioforsk energibruk til materialer og drift av 20 melkefjøs i Møre og Romsdal (Koesling m. fl. 2015). Resultater fra prosjektet er også publisert i en doktoravhandling (Koesling 2016). Fjøsene i studien varierte i størrelse fra ca. 300 til 1750 m² i grunnflate, med fra 14 til 81 kyr. Bunden energi i materialer og utstyr ble beregnet til å utgjøre mellom 10 og 30% av den totale energibruken på gårdene. Studien fant at konstruksjonsmaterialene i hovedsak var de samme for de ulike gårdene, men design og detaljering varierte.

Forskere ved Agri Analyse og NTNU (Korsæth et al 2014) har publisert en artikkel om LCA av norsk kornproduksjon. Studien var basert på 3 typiske korngårder lokalisert i Midt-Norge, på Østlandet og på Vestlandet. De beregnet en GWP på 0,5-0,9 kg CO₂-ekvivalenter per kg korn, avhengig av type korn og stedsforhold. Utslipp fra produksjon av materialer til bygg og maskiner utgjorde i gjennomsnitt 20% av de totale utslippene, se Figur 3-19. Figur 3-20 viser en oversikt over maskiner og utstyr som ble inkludert i analysen. Bygningen som lå til grunn for analysen var en låve for tørking og lagring av korn (200 m²) og et skur for maskiner og utstyr (300 m²). Levetiden for byggene ble satt til 30 år.



Figur 3-19 Resultater av LCA-studien mht. GWP i CO₂-ekv per kg korn for de 3 korngårdene (C=Midt-Norge, CSE=Østlandet, SE=Vestlandet). Kilde (Korsæth et al 2014).

Machinery and equipment of the three farms located in Central (C), Central Southeast (CSE) and Southeast Norway (SE).

Region	C			CSE			SE		
	Size ^a (m or kW)	Weight (kg)	Exp. life ^b (years)	Size ^a (m/kW)	Weight (kg)	Exp. life ^b (years)	Size ^a (m/kW)	Weight (kg)	Exp. life ^b (years)
Tractor 1	90 kW	5300	15	90 kW	5300	15	90 kW	5300	15
Tractor 2	60 kW	4800	15	60 kW	4800	15	60 kW	4800	15
Old tractor ^c	45 kW	3800	15	45 kW	3800	15	45 kW	3800	15
Combined	95 kW	7000	15	95 kW	7000	15	95 kW	7000	15
Harvester	4 m	4 m	4 m	4 m	4 m	4 m	4 m	4 m	4 m
Plough ^d	1.4 m	1360	12	1.4 m	1360	12	1.1 m	1000	12
Leveller	4 m	1400	20	4 m	1400	20	4 m	1400	20
Harrow	4 m	1200	20	4 m	1200	20	4 m	1200	20
Loader	-	350	12	-	350	12	-	350	12
Stone rake	3 m	350	12	3 m	350	12	3 m	350	12
Seed drill ^e	3 m	2700	10	3 m	4000	10	3 m	2700	10
Roller	4 m	1700	20	4 m	1700	20	4 m	1700	20
Sprayer	12 m	200	12	12 m	200	12	12 m	200	12
Disc spreader	10 m	200	10	10 m	200	10	10 m	200	10
Trailer, rough	-	2000	15	-	2000	15	-	2000	15

^a Engine power (kW) and/or working width (m).

^b Expected lifetime.

^c Older than expected lifetime, i.e. emissions related to production excluded.

^d Reversible plough.

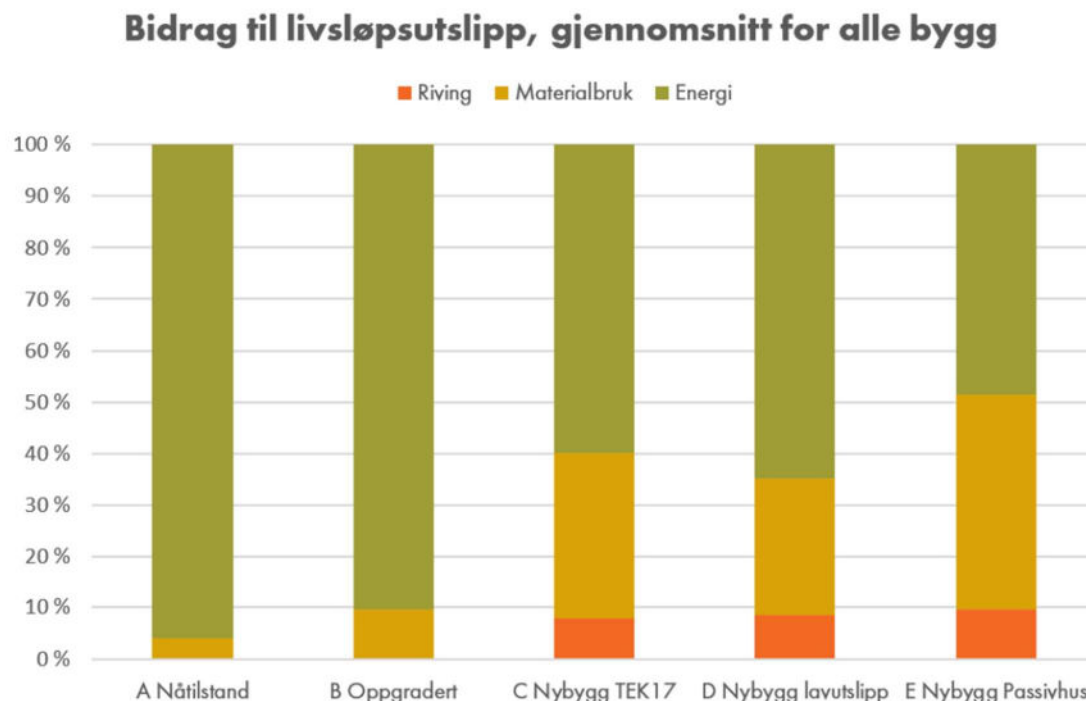
^e Combined seed and fertilizer drill.

Figur 3-20 Oversikt over maskiner og utsyr inkludert i LCA-studien til (Korsæth et al 2014).

Asplan Viak gjennomførte nylig en klimagassberegning av materialer og energibruk ved rehabilitering/oppgradering av 24 bygninger i Innlandet fylkeskommune. Analysen omfattet 9 boligbygg, 5 kontorbygg, 4 låver/fjøs, 2 forretnings/industribygg og ett pensjonat.⁵ Bygningene var av varierende størrelse fra 123 m² til 5774 m², byggeår varierte fra 1700-tallet til rundt 1970, og noen var verneverdige. For alle byggene ble det foreslått tilpassede oppgraderingstiltak med fokus på å oppnå godt inneklima, redusert energibruk og klimagassutslipp, miljøvennlig materialbruk, ivaretagelse av vernehensyn, samt kostnadseffektivitet. Det ble også foretatt en sammenligning mellom utslipp forbundet med nybygg versus oppgradering av eksisterende bygg. Beregningene viste at oppgradering av byggene i gjennomsnitt reduserte klimagassutslippene med 38%. For 5 av byggene var det ikke lønnsomt med oppgradering, hverken med tanke på klimagassutslipp eller

⁵ Klimagassutslipp fra oppgradering av eldre bygg, M. Fuglset m.fl, 2020

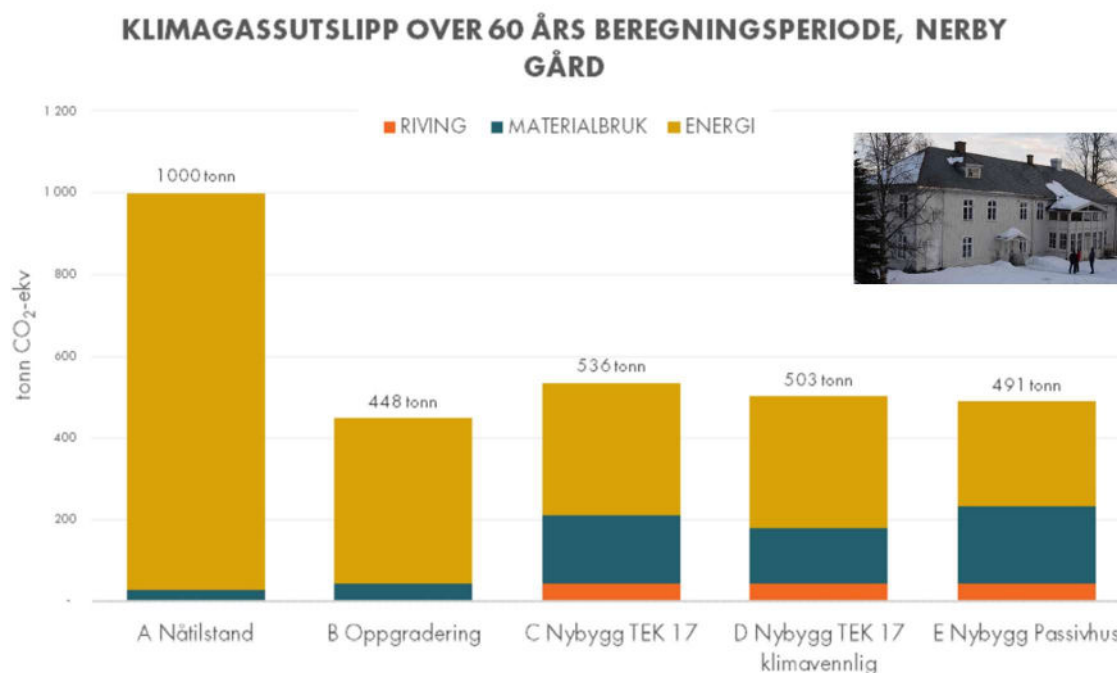
kostnader. For 8 av byggene lønte det seg å rive og bygge nytt for å minimere utslippene. Utslipp fra energibruk til drift utgjorde over 50% av utslippene for alle oppgraderingene. For nybygg til passivhus-standard utgjorde klimagassutslipp til energibruk ca. 50% av de totale utslippene, mens materialbruk utgjorde ca. 40% og riving utgjorde ca. 10%, se Figur 3-21.



Figur 3-21 Gjennomsnittlig fordeling av bidrag til klimagassutslipp fra riving, materialbruk og energibruk i drift, for oppgradering og ulike energistandarder for nybygg. Kilde: (Fuglseth m.fl. 2021).

Det var store forskjeller i klimagassutslipp og potensialet for reduksjoner, noe som tilsier at det er vanskelig å gi generelle råd, og at tiltak må vurderes i hvert enkelt tilfelle. viser resultatet av beregningene for Nerby Gård, som er et våningshus på total 484 m² BRA. Vi ser at oppgradering av eksisterende bygg totalt sett gir lavere utslipp enn å rive og bygge nytt. Tiltakene for oppgradering omfattet:

- Innblåsing av isolasjon over laget av flis i etasjeskiller mot kjeller. Fjerning av flis i etasjeskiller mot kaldt loft, og mellomrom mellom bjelker fylles med isolasjon. Gulv monteres igjen.
- Vinduer fra 1987 erstattes med nye med U-verdi 1,2 W/(m²K) og glass i originale varerammer erstattes med glass med varmereflekterende belegg med U-verdi 1,5 W/(m²K).
- Uisolerte yttervegger føres ut med 50 mm isolasjon, med ny luftet kledning
- Bergvarmepumpe med radiatoranlegg.



Figur 3-22 Klimagassutslipp for våningshuset på Nerby Gård, for oppgradering og ulike energistandarder for nybygg. Kilde: (Fuglseth m.fl. 2021).

3.2.2. Klimagassutslipp for kalde bygg

I en analyse gjort for Innlandet fylkeskommune i 2021 av M. Fuglseth m.fl ble det sett på klimagassutslipp ved oppgradering av et melkefjøs uten oppvarming. I denne analysen ble det konkludert med at ikke ble gjort energiberegninger av kalde fjøs som også forble kalde etter oppgraderingen. Det ble likevel sett på hvilke klimagassutslipp som kommer fra materialene ved oppgradering og dersom fjøset ble erstattet med et nytt fjøs i betongelementer. Eksempelet er et melkefjøs på Steig Gård med tre og stein som hovedmaterialer. Dette er et fjøs fra tidlig 1700, med behov for flere oppgraderingstiltak for å kunne videreføres som sikker driftsbygning.

I denne analysen ble det sett på fem ulike scenarier, men siden det ikke ble lagt til noen energioppgraderingstiltak på kalde fjøs ble det kun sett på utslipp knyttet til materialer og ikke energibruk. Scenario A er å la bygget stå som det er i dag, kun utslipp fra materialer til nødvendig vedlikehold. Scenario B er å gjøre tiltak for å kunne bruke bygget som en sikker driftsbygning, med ekstra tiltak mot mur og tak.

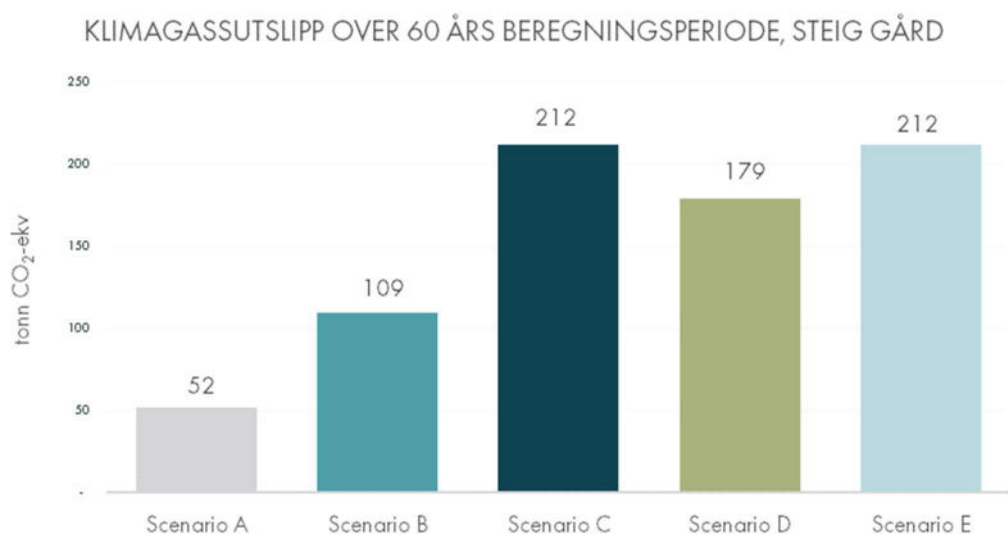
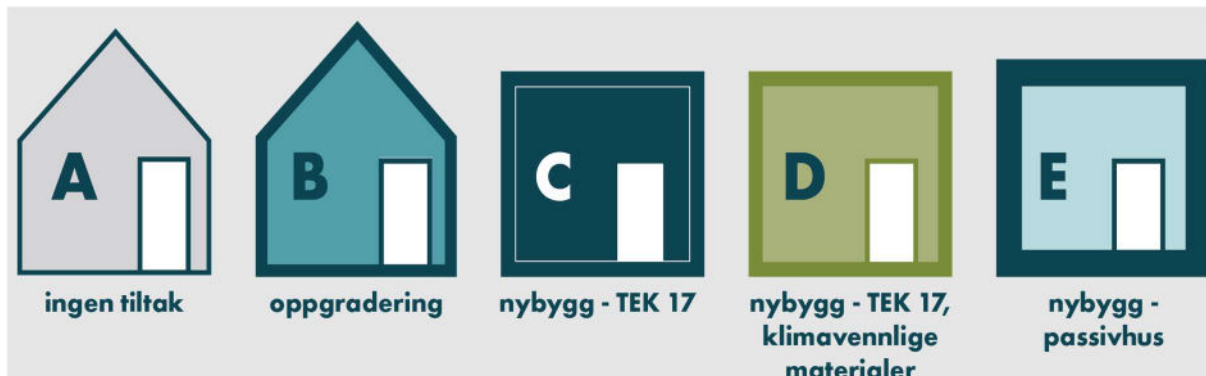
Siden det ikke er noen oppvarming som inngår i bygget ble det sett på som lite hensiktsmessig å skille på nytt TEK 17 (scenario C) og nytt Passivhusbygg (scenario E) med hensyn til dette. Materialmengdene og også utslippene fra materialbruk være de samme de samme pr kvadratmeter for scenario C og scenario E. Scenario D ser på et nytt bygg iht. TEK 17 standard med mer klimavennlige materialer. For å beregne materialbruk for et nytt landbruksbygg er informasjon om bygget og materialer tilsendt fra Tine.

Scenario A Bygning i nåtilstand, uten oppgraderingstiltak

Scenario B Oppgradering

Scenario C Erstatte eksisterende bygg med nytt bygg iht. forskriftsnivå (TEK 17)

- Scenario D Rive eksisterende bygg og oppføre nytt bygg iht. forskriftsnivå (TEK 17) med spesiell vekt på klimavennlige byggematerialer
- Scenario E Rive eksisterende bygg og oppføre nytt bygg iht. Passivhusnivå



Figur 3-23 Totale utslipp pr kvadratmeter, over analyseperioden på 60 år. Søyleetiketter viser utslipp pr m² for scenario A og B, og endring fra scenario B for øvrige scenarioer. (Kilde: M. Fuglseth m.fl. 2021)

Ettersom det ikke er noe energibruk til oppvarming i bygget er utslippene knyttet til scenario A kun forbundet med standard materialutskifting over analyseperioden, og er derfor svært lave. I scenario B er det inkludert utslipp fra materialer for mer omfattende oppgradering av bygget for å kunne videreføre det som en sikker driftsbygning. Alternativ C, D og E viser resultater for klimagassutslipp fra et nytt bygg, hvor scenario D har lavere utslipp ettersom det er brukt mer klimavennlige materialer i bygget. Fra resultatene i Figur 3-23 ser vi at det fra et klimagassperspektiv lønner seg å oppgradere istedenfor å bygge nytt.

Det var også langt lavere kostnader for oppgradering av bygget enn for nybygg (1,5 MNOK for oppgradering, mot 4,75 MNOK for nybyggene). Det må likevel nevnes at effektiviteten kan være noe lavere i et eldre bygg som ikke er egnet for ny teknologi som effektiviserer driften, enn i nye bygg for det er lagt opp til utvidet bruk av teknologi.

3.2.3. Sammenligning av materialbruk i fjøs

Det er ikke funnet noen sammenligning av klimagassutslipp fra fjøs oppført i f.eks. tre og sandwichelementer i litteraturen. For å fremskaffe noen tall på dette er det gjort et regneeksempel med en sammenligning av to melkefjøs, hvor det ene er et eksempelbygg som er tilsendt fra Tine, mens det andre bygget er melkefjøset på Mære. Fjøset har et areal på 1000 m².

Fjøset fra Tine er bygd opp med bæresystem i stål, gulv på grunn i betong, yttervegger og tak med sandwichpanel. Fjøset på Mære har et bæresystem i tre, gulv på grunn i betong elementvegger og tak i massivtre og takplater i stål. Elementene i massivtre fra Talgø består av flere lag med planker⁶, som er spikret eller skrudd sammen, og har lektet utvendig kledning.

For å forenkle beregningen er det kun gjort en sammenligning av materialene som er ulike i de to byggene. Det er derfor ikke tatt med gulv på grunn, takplater og innvendige vegger, det er også kun sett på livsløpsfasene fra materialuttak til byggeplass.

Fjøset med materialer av limtre og massivtre har 65% lavere utslipp enn fjøset i stål og sandwichelementer. Det er ytterveggene av sandwichelementer som står for den største delen av utslippet, med 27 tonn CO₂e. Materialene som er brukt i trefjøset har kort transportavstand, noe som påvirker klimagassregnskapet i en positiv retning.

Det er også gjort en sensitivitetsberegning for å vise hvordan resultatet vil endre seg dersom man hadde brukt massivtre f.eks. hentet fra Tyskland. Dette vil gi en mye lengre transportdistanse, og materialproduksjonen⁷ har også høyere utslipp. Dersom massivtreet er hentet fra Tyskland vil utslippene være 20% høyere enn for fjøset med stål og sandwich elementer.

Stål/Sandwich element					
	Materiale	Transport-avstand ⁸	A1-A3	A4	Totale utslipp (A1-A4)
Bæresystem/Takstoler	Stål	500 km	20,2 tCO ₂ e	1,4 tCO ₂ e	21,6 tCO₂e
Yttervegger	Sandwichelement	500 km	27,0 tCO ₂ e	0,3 tCO ₂ e	27,3 tCO₂e
Sum			47,2 tCO₂e	1,7 tCO₂e	48,9 tCO₂e
Limtre/elementer i tre (Norge/Norden)					
	Materiale	Transport-avstand ⁸	A1-A3	A4	Totale utslipp (A1-A4)
Bæresystem	Limtre	500 km	1,6 tCO ₂ e	1,9 tCO ₂ e	3,5 tCO ₂ e
Yttervegger	Element i massivtre ⁹	250 km	3,9 tCO ₂ e	1 tCO ₂ e	4,8 tCO ₂ e
Tak, primærkonstruksjon	Element i massivtre ⁹	250 km	5,9 tCO ₂ e	2 tCO ₂ e	7,9 tCO ₂ e
Sum			11,4 tCO₂e	4,8 tCO₂e	16,2 tCO₂e

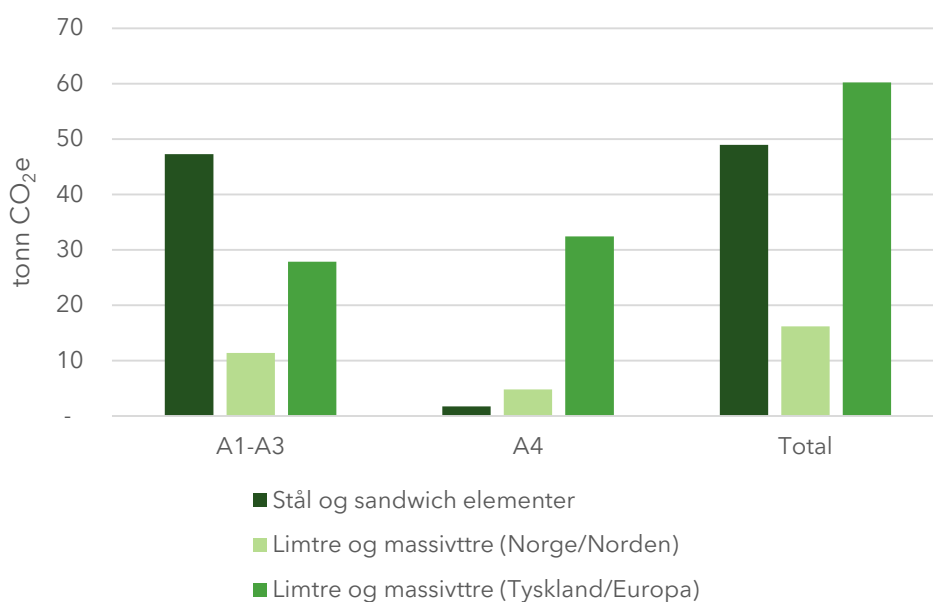
⁶ Elmiks brukt i EPD - Norge (2018), 31,7 gCO₂/kWh og Sverige (2018) 48 gCO₂/kWh

⁷ Elmiks brukt i EPD - Tyskland (2017), 485 gCO₂/kWh

⁸ Transport med lastebil

⁹ Elementer fra Talgø, [Massivtre - Talgø Bygg - Talgø MøreRoyal \(talgobygg.no\)](http://Massivtre - Talgø Bygg - Talgø MøreRoyal (talgobygg.no))

Limtre/massivtre (Tyskland/Europa)					
	Materiale	Transport-avstand ⁸	A1-A3	A4	Totale utslipp (A1-A4)
Bæresystem	Limtre	2000 km	1,6 tCO ₂ e	7,5 tCO ₂ e	9,1 tCO ₂ e
Yttervegger	Massivtre	2000 km	8,2 tCO ₂ e	7,4 tCO ₂ e	15,6 tCO ₂ e
Tak, primærkonstruksjon	Massivtre	2000 km	18 tCO ₂ e	17,5 tCO ₂ e	35,5 tCO ₂ e
Sum			27,8 tCO₂e	32,4 tCO₂e	60,2 tCO₂e



Figur 3-24 Klimagassutslipp knyttet til materialbruk for bruk av stål og sandwich elementer, sammenliknet med bruk av limtre og massivtre, med to ulike transportavstander og produksjonsland.

3.2.4. Oppsummering – klimagassutslipp fra materialbruk

Vi har ikke funnet noen studier som kun fokuserer på klimagassutslipp fra materialbruk i landbruket. Derimot er det gjort noen få studier som omfatter livsløpsanalyser av noen gårdsproduksjoner (melkeproduksjon, griseproduksjon og kornproduksjon), og som også inkluderer utslipp fra materialbruk til bygninger og landbruksmaskiner. Oppsummert gir disse studiene følgende forholdstall for andel klimagassutslipp fra materialer og utstyr:

- Melkeproduksjon: klimagassutslipp fra materialer og utstyr utgjør 8% av totale livsløpsbaserte klimagassutslipp og 30% av total livsløpsbasert energibruk (2 studier).
- Svineproduksjon: klimagassutslipp fra materialer og utstyr utgjør 20-25% av totale livsløpsbaserte klimagassutslipp (1 studie)
- Kornproduksjon: klimagassutslipp fra materialer og utstyr utgjør 20% av totale livsløpsbaserte klimagassutslipp (1 studie)

En analyse gjennomført av Asplan Viak (Fuglseth m.fl. 2021), som omfattet klimagassberegninger av materialer og energibruk til 24 bygg i innlandet (derav 4

landbruksbygg) viste at oppgradering av de eksisterende byggene kunne gi en reduksjon av klimagassutslippene med over 50%. For landbruksbygg kan imidlertid endring i produksjonsmåter og effektivisering av driften i noen tilfeller gjøre at nybygg er mer aktuelt enn oppgradering av eksisterende bygg.

I sammenligningen av ulike materialbruk er det vist at det har mye å si hvor materialene som blir brukt i et bygg kommer fra. Et regneeksempel som sammenlikner bygg i massivtre med bygg i stål og sandwichelementer, viser at det vil gi svært ulikt utslag på klimagassutslippene om massivtreet er hentet lokalt eller hentet fra et land med høyere utslippsfaktor i produksjonen og lengre transportavstand.

3.3. Utvikling av nye typer landbruksmaskiner og -utstyr

Det foregår en kontinuerlig utvikling av maskiner og utstyr for å gjøre produksjonen av landbruksvarer mer effektiv. Relevante trender er økt robotisering og elektrifisering av landbruksutstyr, samt bruk av sensorteknologi og GPS.

3.3.1. Robotisering og smart teknologi

Landbruk.no skriver i en artikkel at landbruksroboter er det neste store teknologiskiftet i landbruket, og at mange av de mest fremtidsrettede robotene utvikles i Norge¹⁰.

Figur 3-25 viser eksempler på klimasmarte teknologier ved Mære landbruksskole, Figur 3-26 viser en oversikt over ulike nye landbruksroboter, og Figur 3-27 viser en ny teknologi for produksjon av gjødsel med mindre klimagassutslipp.

¹⁰ <https://www.landbruk.no/baerekraft/norge-kan-bli-et-foregangsland-innen-det-elektriske-landbruket/>



Klimasmart teknologi

Ved hjelp av avansert teknologi kan vi skreddersy behandlingen av jord og vekster på ulike deler av et jorde ned til centimeteren. Det gir økte avlinger, mindre arbeid for bonden og klimaløft for norsk matproduksjon. Vi kan kalle dette for presisjonslandbruk, og er et av flere tiltak på veien mot et klimasmart landbruk, et landbruk der mat produseres med minst mulig klimagassutslipp pr. produsert enhet.

GPS-teknologi

GPS på traktorer har eksistert i mange år, og på Mære har vi traktorer med denne teknologien. GPS er et nettverk av satellitter som går i bane rundt jorda og gjør det mulig for en mottaker å fastsette egen posisjon helt nøyaktig. Ved å legge inn nødvendige data kan traktoren styres nøyaktig i forhold til ulike arbeidsoperasjoner.

Presis nitrogen gjødsling

Yara N-Sensor monteres på traktorens tak, og måler nitrogennivået i åkeren via klorofyllets grønnfarge og biomassen. Det er montert N-sensor på en ny John Deere-traktor på Mære. N-sensoren kalkulerer umiddelbart riktig gjødsling der den styrer tildeling av

mineralgjødsel mens du kjører gjennom åkeren ved delgjødsling. Det kreves en smart gjødselspreder som mottar data fra N-sensoren og fordeler gjødsla etter behov. EN slik gjødselspreder er også anskaffet på Mære og monteres på traktor med GPS og N-sensor.

Holdvurdering i melkefjøset

Melkekyrne på Mære måles hver dag i melkeroboten for å se om de legger på seg eller tar av vekt. Ved å se på vektendring over tid kan vi justere kraftfordelingen slik at kyrne har ei mest mulig stabil vekt gjennom laktasjonen. Vi sparer dermed kraftfor og kua får bedre helse. Dette påvirker vårt klimaregnskap.

Kameraovervåking i grisehuset

Slaktegrisene våre måles over ryggen hver gang de er inne i førautomaten for å spise. Vi følger slik med tilveksten på grisene hver eneste dag. Ut fra dette justeres kraftfordelingen slik at vi kan føre grisen best mulig. Dette er et forsøk som kjøres sammen med Felleskjøpet og NMBU.

Figur 3-25 Eksempler på klimasmarte teknologier på Mære landbruksskole. Kilde: Mære landbruksskole.



Elektrisk landbruksrobot utviklet i Trøndelag av AutoAgri. Roboten er en redskapsbærer som er tilpasset eksisterende utstyr i landbruket, og kan erstatte den tradisjonelle traktoren. Kilde: www.autoagri.no



Det norske selskapet Adigo har utviklet landbruksroboten Asterix i samarbeid med norske grønnsaksprodusenter. Roboten kan gjøre ugressfjerning mer skånsomt enn slik det vanligvis blir gjort i dag. Ved å dryppe plantevern-middel utelukkende på ugresset og ikke på nytteplanten, kan forbruket av plantevernmiddel reduseres. Kilde: Landbruk.no



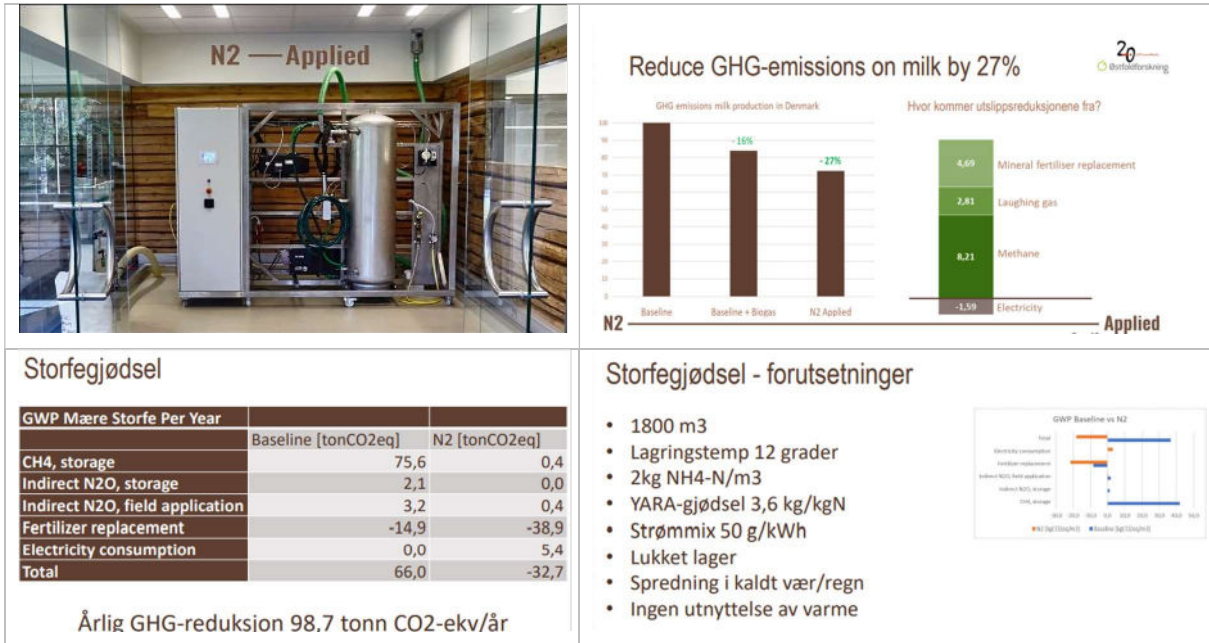
Landbruksroboten Thorvald utviklet ved NBMU. Roboten kan pløye, så, gjødsle, luke og høste. Kilde: Landbruk.no.



Elektrisk autonom traktor fra Ztractor. Kilde: www.ztractor.com

Figur 3-26 Ulike typer landbruksroboter og elektriske landbruksmaskiner.

Gründerbedriften N2 Applied har utviklet en interessant teknologi for produksjon av gjødsel på en mer miljøvennlig måte. Løsningen består av en plasmareaktor som blander husdyrmøkk sammen med nitrogen fra luften for å produsere høyverdig organisk gjødsel med mindre utslipp av lystgass, ammoniakk og metan. Målet er at maskinen skal kunne installeres på gårdsbruk og redusere forbruket av kunstgjødsel. Prosessen krever strøm med relativt høye effekter.



Figur 3-27 Et demonstrasjonsbilde av plasmareaktoren til N2 Applied og eksempel på beregning av reduserte utslipp ved produksjon av gjødsel fra storfe. Kilde: N2 Applied, www.N2Applied.com.

3.3.2. Elektrifisering av landbruksutstyr

Per i dag er de elektriske maskinene som finnes i bruk på gårder stort sett små maskiner med lav motorkraft spesialisert på mindre effektkrevede oppgaver. Det finnes foreløpig ikke store elektriske traktorer kommersielt tilgjengelig på markedet. Årsaken til at elektrifiseringen i landbruket har latt vente på seg er trolig at energitetthet på batterier hittil ikke har vært tilstrekkelig for å elektrifisere traktorer uten et stort tillegg i vekt og volum (DNV GL 2020). I DNV GLs potensialstudie av elektrifisering av landbruket ble mulighetsrommet for elektrifisering presentert. Studien viser at potensialet for elektrifisering av maskinparken i landbruket er stort. Med dagens estimerte utvikling i energitetthet på batterier er det trolig at traktoren kan bære et batteri på opptil 400 kWh i 2030, mens prototyper på traktorer til nå har vært begrenset til 130 kWh (DNV GL 2020).

En utfordring med elektrifisering av traktorer er at brukstiden blir begrenset og bonden må lade opp traktoren eller skifte ut batteriet etter noen timers bruk. For at dette ikke skal medføre for store ulemper bør hurtiglading være tilgjengelig. Ved utskiftbare batterier vil behovet for hurtiglading reduseres.

Elektrifisering av landbruksutstyr vil kreve tilgang på høye effekter ved lading. Mange gårdsbruk befinner seg langt ute i nettet, og i svake nett kan store effekter medføre utfordringer med både kapasitet og spenningskvalitet. Med elektrifisering av landbruksutstyr vil dermed tiltak for å redusere effekttopper bli ytterligere aktualisert.

Fleksibilitet og reduksjon av effekttopper er diskutert i kapittel 5.

4. ENERGIFORSYNING- OG LAGRINGSLØSNINGER

I dette kapitlet gis en oversikt over ulike teknologier og løsninger for fornybar energiforsyning og energilagring som kan være egnet for gårdsbruk. De ulike teknologiene beskrives kort, med tilhørende nøkkeltall for energi- og effekt, økonomi, klimagassutslipp, og andre relevante forhold.

4.1. Bioenergi

Det finnes ulike måter å evaluere klimaeffekten fra ulike typer bioenergi og biodrivstoff. Dette er både knyttet til aspekter med selve inventaranalysen i seg selv (gjelder for eksempel allokering mellom «avfallsbehandling» og energiproduksjon samt hvordan indirekte arealbruksendringer behandles), men også hvordan utslipp (og opptak) av CO₂ og andre gasser blir omgjort til en klimaindikator.

Bioenergi regnes likevel ofte som klimanøytral, siden det slippes ut like mye CO₂ ved forbrenning av biomasse som det ble akkumulert ved tilveksten. Men siden tilvekst av ny biomasse tar tid, kan utslippene imidlertid bidra til global oppvarming. Det er derfor grunn til å sette spørsmålsteget ved klimanøytralitet for bioenergi, spesielt for boreal skog som vokser langsomt. Forbrenning av biomasse fra landbruket som f.eks., halm, regnes imidlertid vanligvis som tilnærmet klimanøytralt, siden tilveksten skjer relativt raskt.

For å gi et godt svar på klimaeffekten av bioenergi trengs det detaljerte analyser som vurderer alle relevante faktorer, som CO₂-lagring i jord, albedoeffekt, utslipp ved uttak, transport og foredling av biomasse, osv. Disse spørsmålene er bl.a. diskutert i en rapport fra forskningssenteret Zero Emission Buildings (Lien 2013) og i annen forskningslitteratur (se f.eks Guest m.fl. 2013.)

Den vanligste klimaindikatoren er GWP100 (det finnes andre¹¹). Denne indikatoren evaluerer potensialet til å absorbere infrarød stråling over en periode på 100 år uttrykt som en ekvivalent mengde CO₂ sluppet ut (implisitt ved år 0 i tidsperioden). Normalt differensieres det ikke mellom utslipp som skjer på ulike tidspunkt i de 100 år. Men *hvis man gjør det* vil en situasjon hvor man antar *karbon* (ikke klima)-nøytralitet over en periode på 100 år (hugge og brenne et tre i dag, plante nytt og samme mengde CO₂ er tatt opp igjen om 100 år) ha en GWP100-faktor på 0,61 kg CO₂-ekv./kg CO₂_bio. Denne faktoren er hentet fra den tidligere refererte studien til Guest et al. For utslippsestimatene fra bioenergi i denne rapporten viser vi både estimerte klimafaktorer ved en antakelse om «klimanøytralitet» og ved bruk av faktoren på 0,61.

4.1.1. Fast biobrensel

De viktigste faste biobrensler er ved, pellets, flis og briketter. De produseres hovedsakelig av rent trevirke fra skog, inkludert hogstavfall og restprodukter fra treforedlings- og treindustri. I noen grad brukes også halm som brensel i gårdsanlegg.

Skogbruket er kilde til produksjon av skogsflis. Såkalt energivirke, dvs. tømmer av trær bl.a. med tørke- og råteskader, er råstoff for produksjon av skogsflis. I noen grad vil også tynningsvirke og virke f.eks. fra rydding av tomter, rydding av vei- og jordkanter benyttes.

¹¹ Andre klimaindikatorer (ikke mye brukt utover i klima-litteraturen) inkluderer blant annet Global Temperatur Change Potential (GTP). Denne indikatoren sier noe om potensialet til å bidra til temperaturendring på et gitt punkt i fremtiden. F.eks om 100 år (GTP100). Igjen evaluert relativt til CO₂ sluppet ut ved år 0.

Box 8. Kostnader for biovarme basert på fast biobrensel, fra NIBIO (2017), øre/kWh

	Investering*	Brensel	Drift	Total
Flis	48	21	2	61
Halm	27	14	7	48
Ved	74	31	13	118

*levetid over 20 år, 4% kalkulasjonsrente, uten investeringsstøtte.

Kostnader for bioenergi er knyttet til både investering, brensel og drift. Kapitalkostnadene vil være avhengig av både anleggsstørrelse og -type, rentekostnader og brukstid på anlegg, samt støtteordninger¹². Brenselskostnader vil i noen grad svinge med kostnader for andre energibærere, først og fremst strøm, men de kan også variere med bl.a. tømmerpriser. Driftskostnadene er relativt lave, men vil henge sammen med

automatiseringsgrad og hvordan eier/driver av anlegget priser arbeidstid og øvrige ressurser. Et velfungerende flisfyringsanlegg vil f.eks. kreve mindre manuell innsats enn et anlegg som fyres med halmballer og tømmer.

Generelt vil bearbeidet brensel som pellets og briketter koste mer enn flis per kWh i råvare pris. Men for kapitalkostnadene er det generelt motsatt; de er lavere for anlegg med bearbeidet brensel.

Energirapporten nr. 38/2020¹³ forteller at prisene på flis i 2020 lå på 24 øre/kWh for fuktig flis og 28 øre/kWh for tørr flis, levert terminal, eks mva. NIBIO's publikasjon 'Flisfyring gir økt komfort og lønnsomhet'¹⁴ angir noenlunde samme prisbilde, men med noe lavere brenselskostnader, se Box 8.



Figur 4-1 - Fyrsentral for utnyttelse av halm, energivirke m.m. Brukes bl.a. til oppvarming av anlegg for kyllingproduksjon. (Foto: Lars Bugge)

¹² Innovasjon Norge gir investeringsstøtte til gårdsvarmeanlegg med inntil 35% og maks. kr. 1 000 000, ref. <https://www.innovasjon Norge.no/no/tjenester/landbruk/finansiering-for-landbruket/fornybar-energi-i-landbruket/>

¹³ <https://www.tekniskenyheter.no/energirapporten/statiske-sider/energirapporten>

¹⁴ <https://nibio.no/tema/skog/bruk-av-tre/bioenergi/Flisfyring>

Box 9. Flisfyring på Bekketun gård, Hå i Rogaland

Kyllingfjøs på 1300 m² med golvvarme til 300.000 slaktekyllinger. Flisfyrte varmekjel type KSM Multistoker XL med en effekt på 190 kW. Dekker 500.000 kWh av et varmebehov på 700.000 kWh/år. Bruker 1000 m³ ferdig kuttet og tørket flis i året. Investering: 1.000.000 kroner, hvorav 300.000 i støtte fra Innovasjon Norge.

Kilde: <https://www.skogeier.no/nyheter/fyrer-kyllingfjosene-med-flis/>

4.1.2. Flytende biodrivstoff

Flytende biodrivstoff er en fellesbetegnelse på drivstoff framstilt av biologisk materiale, og kan redusere klimagassutslipp ved å erstatte fossilt drivstoff i landbruket.

Det er vanlig å skille mellom konvensjonelt og avansert biodrivstoff etter hvilket råstoff som er benyttet, og etter produksjonsmetode:

- Konvensjonelt biodrivstoff er biodrivstoff produsert av råstoff som også kan brukes til å produsere mat- eller dyrefor. Dette kalles også 1. generasjons biodrivstoff.
- Avansert biodrivstoff er biodrivstoff produsert av avfall og rester. Dette kalles også 2. generasjons biodrivstoff.

Det finnes ulike typer biodrivstoff:

- Bioetanol: alkohol som fremstilles ved gjæring av ulike sukkerarter. Råstoff er som regel sukker- og stivelsesholdige vekster (mais, hvete, sukkerrør, sukkerroer). Bensinkvaliteten 95-oktan inneholder i dag cirka 5 prosent bioetanol.
- FAME (fatty acid methyl ester): biodiesel fremstilt fra vegetabiliske oljer, som for eksempel soya-, raps- og palmeolje. Brukes til erstatning for diesel, men har en helt annen kjemisk struktur.
- FAME-diesel kan også gis navn avhengig av råstoffet som blir brukt: RME (raps), SME (soya), POME (palmeolje), UCOME (brukt fritureolje, used cooking oil). I noen land brukes begrepet biodiesel kun om FAME. Diesel på norske bensinstasjoner inneholder cirka 7 prosent FAME.
- HVO (hydrotreated vegetable oil): hydrogenbehandlet vegetabilisk olje. Betegnelsen HVO brukes ofte også om andre hydrogenbehandlede råstoff som animalske fettstoffer. HVO har tekniske egenskaper tilnærmet lik fossil diesel, og fremstilles av mange av de samme råstoffene som FAME. Mange busser og andre tunge kjøretøy går i dag på HVO.

Biodrivstoff kan gi betydelige utslippsreduksjoner når det produseres bærekraftig og erstatter fossilt drivstoff. Det er viktig at biodrivstoffet som benyttes bidrar til reduserte klimagassutslipp globalt, og hele livsløpet må derfor tas med i betraktningen. Som for bioenergi generelt er det store usikkerheter knyttet til estimering av klimaeffekten¹⁵.

¹⁵ Brandao et. al. 2021. The modelling approach determines the carbon footprint of biofuels: The role of LCA in informing decision makers in government and industry
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666789421000192>

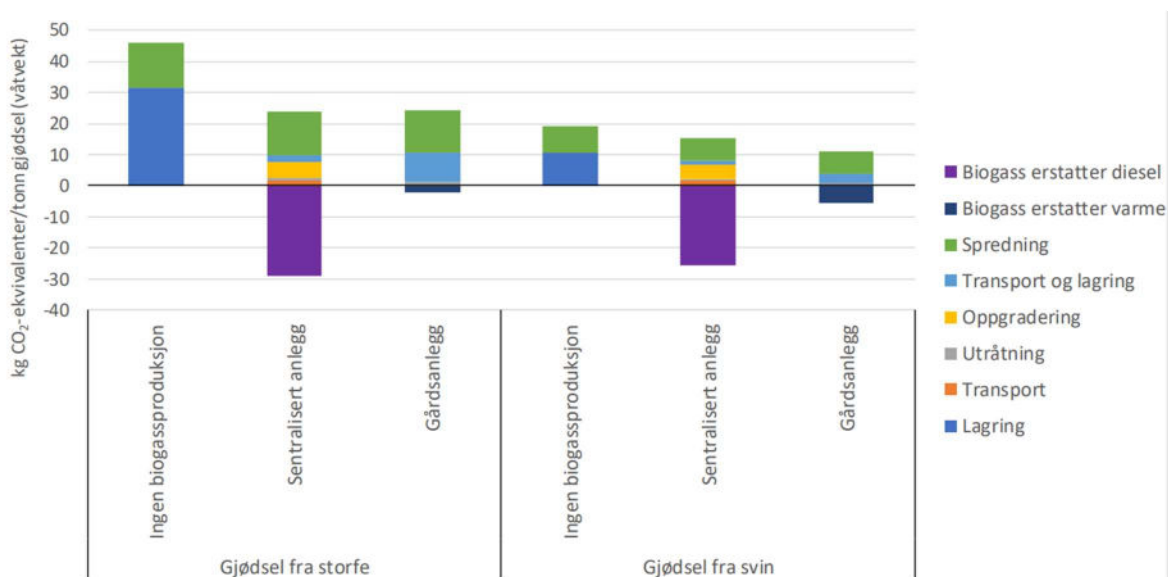
Produksjon av biodrivstoff kan også ha andre effekter, som blant annet beslaglegging av arealer brukt til matproduksjon og effekter på biologisk mangfold. Biodrivstoff har som fossilt drivstoff også utslipp av lokal luftforurensning ved forbrenning.

Kilde: <https://nettarkiv.miljodirektoratet.no/hoeringer/tema.miljodirektoratet.no/no/Tema/Energi/Biodrivstoff/Fakta-om-biodrivstoff/index.html>

4.1.3. Biogass

Biogass er en blanding av metan, karbondioksid og noen andre komponenter som dannes fra nedbryting av organisk materiale, uten tilførsel av oksygen (anaerobt). Biogass kan produseres bl.a. med gjødsel og annet organisk materiale som råstoff. Biometan er biogass som er renses for andre bestanddeler (oppgradert), og har samme egenskaper som naturgass. Det har lenge pågått diskusjoner omkring mulighetene for økt produksjon av biogass i landbruket. Ved å bruke husdyrgjødsel til biogass reduserer man utslipp av metan og lystgass fra gjødsellager. Det kreves normalt en rensing av gassen før den kan brukes som drivstoff. Klimagassutslippene reduseres ytterligere hvis produsert biogass erstatter fossile energibærere.

I en rapport om evaluering av tilskudd for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegg har Østfoldforskning estimert reduksjon i klimagassutslipp gjennom verdikjeden til husdyrgjødsel i biogassproduksjonen (Lyng m.fl. 2019). Resultatene er vist i Figur 4-2. Den største reduksjonen av klimagassutslipp kommer fra alternativet med behandling av husdyrgjødsel i et sentralisert biogassanlegg, hvor det er forutsatt at biogassen oppgraderes og dermed kan brukes til drivstoffformål som kommer til erstatning for diesel.



Figur 4-2 Utslipp (over x-aksen) og reduksjon (under x-aksen) av klimagasser for ulike ledd i verdikjeden for biogass. Kilde: Lyng m.fl. (2019).

Myndighetene har hatt som mål at 30% av norsk husdyrgjødsel skal gå til biogassproduksjon innen 2020. I dag er det imidlertid kun 1% av gjødsel-ressursene (ca. 70 000 tonn) som er utnyttet i biogass-produksjon. Land-bruksdirektoratet presenterte i februar 2020 rapporten 'Husdyrgjødsel til biogass - gjennomgang av virkemidler for økt utnyttelse av husdyrgjødsel til biogassproduksjon' (Ålund og Weeghel 2020). Rapporten sier bl.a. følgende om barrierer mot etablering av biogassproduksjon i gårdsanlegg:

For gårdsanlegg er store investeringskostnader, lavt biogassutbytte og relativt lave priser på alternative energibærere (elektrisitet) som biogass kan erstatte, viktige barrierer for økt bruk av husdyrgjødsel til produksjon av biogass i småskala anlegg. Etablering av gårdsanlegg krever grundig og helhetlig planlegging knyttet til både bruk av råvarer og bruk av biogass og biorest. Mangel på lett tilgjengelig og oppdatert informasjon om biogass-produksjon på gården vurderes som en viktig barriere for at det etableres flere gårdsanlegg.

I rapporten presenteres det flere anbefalinger for å øke utnyttelse av husdyrgjødsel til biogassproduksjon, bl.a. investeringsstøtte til produksjonsanlegg, tilskudd for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegg, samt utarbeidelse av veiledere og rådgivingstjenester.

Rapporten beskriver også at klimagevinsten ved å utnytte husdyrgjødsel til biogass vil avhenge av en rekke forhold, som lagringstid av gjødsla, transportavstand mellom gjødselressursene og anlegget, lagrings- og spredemetoder for biorest, alternative energibærere som biogass erstatter, mm. Det henvises til at det er gjort flere forsøk på å beregne klimaeffekten ved biogassproduksjon fra husdyrgjødsel. Resultatene fra disse utredningene varierer avhengig av hvilke forutsetninger som er lagt til grunn for beregningene (Ålund og Weeghel 2020).

Biogassanlegg basert på kun husdyrgjødsel kan være problematisk å holde i gang. Det må helst blandes inn noe substrat som gir mere gass i tillegg til husdyrgjødsla. Fellesanlegg er mer robust, og kan driftes av personer med mer kompetanse i produksjonen enn den enkelte gårdbruker har mulighet til.

Et pågående SINTEF-prosjekt har sett på transport av komprimert, rå biogass fra Mære og to andre lokasjoner til et felles renseanlegg. Prosjektet konkluderer med at konseptet ikke er gjennomførbart basert på vurderingen som ligger til grunn og dagens tilskuddsrammer for produksjon og bruk av biogass. Kostnader knyttet til transport av gassen er den viktigste variabelen.

Box 10. Biogassanlegget til gårdbruker Inge Hoemsnes i Hustadvika.



Basert på gjødsel fra storfe og gris, ca. 5000 tonn i året. Kraft/varmeverk (CHP) med kapasitet på 50 kW Forventet energi-produksjon: 650-700 000 kWh/år. Biorest brukes som gjødsel på gården.

Kilde: www.nlr.no/nyhetsarkiv/default/2021/fornybar-energi-i-landbruket

4.1.4. CHP (Combined Heat and Power) - kraft/varme-anlegg basert på biobrensel
Kraft/varme-anlegg kan være aktuelle hvis det finnes etterspørsel etter kraft og varme samt tilgjengelig brensel til en konkurransedyktig pris.

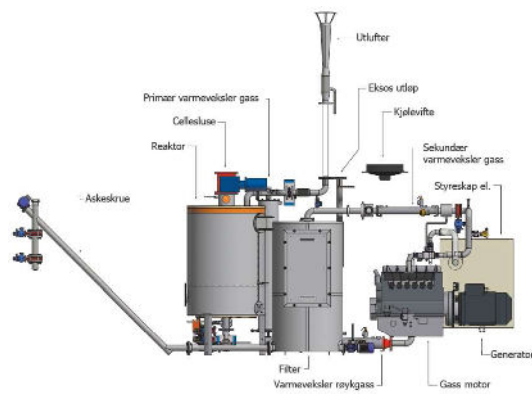
Størrelsen på CHP-anlegg kan variere fra 1 kW opp til noen hundre MW avgitt elektrisk effekt. Konvensjonelle teknologier som brukes i dag er dampturbiner, forbrenningsmotorer og gassturbiner. I fremtiden kan brenselceller og Stirlingmotorer spille en viktigere rolle. Teknologier som brukes for kraft- og kraftvarmeproduksjon ved forbrenning av fast biomasse inkluderer gass- og dampmotorer- og turbiner, Organic Rankine Cycle (ORC) og Stirlingmotorer (NVE 2015).

Gassmotorer og gassturbiner har høyere elektrisk virkningsgrad og dermed lavere utslipp sammenliknet med dampturbiner på samme størrelse. Stirlingmotorer har en fordel sammenliknet med andre stempelmotorer ved at forbrenningen ikke skjer inne i motorsylindrene, men på utsiden. Dette gjør det mulig å bruke et bredere spekter av biobrensel, inkludert fast biobrensel. I tillegg er det lettere å kontrollere forbrenningsprosessen. Virkningsgrader for kraftproduksjon ligger på 20-30 %. På grunn av mulig forurensning og korrosjon i varmeveksleren på varm side, stilles det krav til brenselets renhet. Til tross for at Stirlingteknologien har vært kjent i mange år, er bruken av den relativt beskjeden og antall leverandører få.

Bruk av kraft-varme anlegg for gårdbruk kan vise seg å kunne bli aktuelt i fremtiden. Anvendelse vil være aktuelt der varme- og strømbehov sammenfaller på samme tidspunkt, alternativt med en form for korttids varmelager. Størrelsene og forskjell mellom jevnt effektbehov på varme og strøm på et gårdsbruk vil legge avgjøre hvor aktuelt et kraft-varmeanlegg vil være. Felles for kraft varme løsninger krever jevn og lang driftstid over året for å gi lønnsomhet, dvs. minimum over 5 000 timer i året. Prisen på alternativ energi, da gjerne elektrisitet, vil spille en betydelig rolle for lønnsomheten.

Boksene under viser eksempler på CHP-anlegg i Norge og Sverige.

Box 11. CHP-anlegg på Høgskolen i Innlandet, Evenstad



CHP-anlegget på Campus Evenstad er det første småskala flisbaserte CHP-anlegget i Norge. Maskinen, en Volter40, drives av lokalprodusert skogsflis som i CHP-anlegget gassifiseres og forbrennes i en forbrenningsmotor. Flisa må være av god kvalitet, dvs. tørr flis i riktig størrelse. Behovet for flis er estimert til 800-1000 m³ per år. Anlegget gir en effekt på ca. 40 kW strøm (45kW generator) og 100 kW varme. Virkningsgraden til anlegget er totalt ca. 70%, fordelt på ca. 20% elektrisitetsproduksjon og ca. 50% fra varmeproduksjonen. Med en driftstid på 3500 timer produseres det i størrelsesorden 130 000 kWh strøm og 320 000 kWh varme i året. Estimert investeringskostnad for CHP-anlegget er 5,28 mill. eks. mva. inkludert flissilo, flismater, tørkesystem, installasjon, utvidelse av eksisterende energisentral, ekstra rør- og elektroarbeider, samkjøring, prosjektering, rigg og risikopåslag på 20 prosent (Selvig m.fl. 2017).

Foto og illustrasjon: ETA Norge

Box 12. CHP-anlegg på Heimdal videregående skole, Trondheim

CHP MED TILKNYTTET BIOGASS ANLEGG



Samlet effekt 117 kW
To gassmotorer a 58,5 kW

Prod. Termisk 582 kWh
Prod. Elkraft 303 kWh

Biogass: 1 042 000 kWh



Selve CHP-maskinene er to kompakte gassmotor.

Drift kan reguleres mot behov i anlegget og nett.

Ved å nyttiggjøre el. og termisk, er energiutnyttelsen god, med en virkningsgrad på 85 %.

Kilde: Trøndelag Fylkeskommune

Driftserfaringen med anlegget er god. Biogassen til anlegget på Heimdal kjøpes fra Biokraft sitt produksjonsanlegg på Skogn.

Box 13. CHP-anlegg ved Bräkne-Hoby fjernvarmeanlegg, Sverige (Organisk Rankine Cycle)

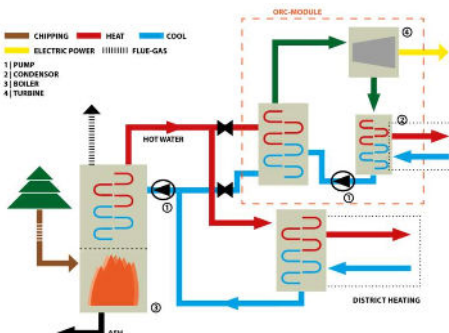


Foto: energikontorsydost

CHP-anlegget ved Bräkne-Hoby fjernvarmeanlegg er basert på bioenergi (flis, bark og grot). Maskinen, Aginity AT50, drives av biobasert fjernvarme som igjen driver en lukket ORC (Organic Rankine Cycle) krets med arbeidsmedium med kokepunkt lavere enn vann. ORC enheten produserer varme og elektrisitet. Enheten har en kapasitet på 49 kW elektrisk.

Etter vel 3 års drift gav ORC enheten en lav elektrisk effektivitet som lå på ca. 2,3% (andel strøm produsert mot innfyrt mengde varme og strøm). Totaleffektiviteten på enheten var likevel høy. Med en driftstid på 4 700 timer/år produseres det i størrelsesorden 231 000 kWh strøm varme i året. Estimert investeringskostnad for CHP-anlegget er 1,7 mill. SEK. Erfaringer gjort for prosjektet er at det bl.a. var påkrevd daglig inspeksjon på vel 15 minutter og oljeskift 2-3 ganger pr måned.

Det anslås en «payback» på mellom 10 til 14 år for tilsvarende anlegg med dagens svenske rammevilkår og energipriser.

Kilde: Energikontor Sydost <http://energikontorsydost.se/>

4.1.5. Biokull

Biokull er langt på vei det samme som trekull, og produseres ved å varme opp tremateriale til ca. 500°C uten tilførsel av oksygen. Prosessen som kalles pyrolyse, gir tre produkter: Metanholdig brenngass, bio-olje og biokull. Biokull kan tilføres dyrket mark som et tiltak for å forbedre jordstruktur og for å lagre karbon. Siden biokull brytes ned over forholdsvis lang tid, kan man se på biokull en form for karbonfangst og lagring. Produksjon av 1 tonn biokull binder 3 tonn CO₂ (Rasse m.fl. 2019).

Norge produserer lite biokull i dag, men flere bedrifter og anlegg er i oppstartsfasen. I juni 2020 startet f.eks. Opplandske Bioenergi bygging av et produksjonsanlegg på Rudshøgda nord for Hamar, se Box 14. Hovedinntekten vil være salg av biokull til bruk i plentejord. Brenngassen vil bli utnyttet til varmeproduksjon for å dekke behov hos Nortura. Den samlede investeringen var på 17 millioner kroner, og prosjektet fikk innvilget syv millioner kroner i støtte fra Innovasjon Norge gjennom Verdiskapnings-programmet for fornybar energi i landbruket. Prosjektet har også fått støtte fra Innlandet fylkeskommune og det Regionale Forskningsfondet.

I andre europeiske land har man kommet noe lenger i å ta i bruk biokull i landbruket. Her er tilførsel av biokull til jord også tatt i bruk som et rent klimagasstiltak der bønder får betalt for å bruke biokull på sine jordbruksarealer.

Skal biokull produseres i Norge vil det mest sannsynlig også trenge støtteordninger for å utløse produksjon. Om slike tiltak kommer, vil landbruket kunne spille en viktig rolle, dels fordi råstoff for biokullproduksjon finnes her (biomasse) og dels fordi landbruket kan bruke biokullet til jordforbedring og for å lagre karbon i jord. En viktig forutsetning vil imidlertid være at produsenter nyttiggjør seg av brenngassene på en miljøvennlig måte, kanskje først og fremst ved å utnytte dem til energiformål.

Trøndelag fylkeskommune har bevilget midler til etablering av et biokullanlegg. Det vil bli bygd på Mære landbruksskole og prognosen er så langt en produksjon av ca 100 tonn biokull og ca 400 000 kWh termisk energi pr år. Varmeenergien skal mates inn på gårdens varmelager, og biokull skal brukes som tilsetning i fôr og/eller i husdyrgjødsellager og brukes på åkerarealene.

4.1.6. Oppsummering bioenergi

Fast biobrensel har lange tradisjoner i jordbruket. I de siste 15-20 år er det bygd mange gårdsanlegg som benytter ved og flis til oppvarming av boliger, ulike typer fjøs og andre driftsbygninger. Det er samtidig blitt etablert en leverandørbransje som kan tilby anlegg med god kvalitet. Produksjon av brensel og drift av slike anlegg passer ofte godt sammen med hovedvirksomheten på gården. Det finnes også gode eksempler på teknologi som er benyttet i andre land, som kan være aktuelle for norske gårdsbruk. Lønnsomheten vil kunne være god, men avhenger av hvordan gårdbrukeren priser egen arbeidstid, samt tilgjengeligheten på offentlige tilskudd.

Biogass-prosesser er krevende å styre, og det vil være en fordel med profesjonell drift, samt kombinert utnyttelse av husdyrgjødsel og annet råstoff slik som kloakkslam, biologiske rester fra næringsmiddelproduksjon o.l.

Biokull vil kunne ha potensial for klimagassreduksjoner i landbruket på lengre sikt. Biokullanlegget som skal bygges på Mære vil gi nyttige erfaringer for fremtidig bruk.

Box 14. Ny fabrikk skal lage biokull av landbruksavfall.

På Rudshøgda i Innlandet kommer Norges første fabrikk der biomasse fra jordbruk og skogbruk omdannes til biokull via pyrolyse. Anlegget vil kunne produsere 1400 m³ biokull per år, og vil kunne binde opp CO₂-utslipp tilsvarende utslippene fra rundt regnet 900 personbiler med forbrenningsmotor.



Kilde: www.utemiljonytt.no/ny-fabrikk-skal-lage-biokull-av-landbruksavfall/

4.2. Vindkraft

Småskala vindkraft for gårdsbruk omfatter mindre anlegg på typisk 2-5 kW til større turbiner på 0,5-1,0 MW.

Småskala vindkraft kan representere en mulighet for el-produksjon i landbruket, men det fordrer at en del forutsetninger er til stede, hvorav det viktigste er stedlige vindressurser. I praksis bør man ha tilgjengelig en årsmiddelvind på mer enn 6-7 meter/sekund, noe som regel kun er til stede på vindusatte områder ved kysten eller i fjellet. Siden småskala vindkraft innebærer relativt lave tårnhøyder, vil også risiko knyttet til turbulens være viktig. Dette er igjen knyttet til stedlig topografi, nærhet til bygninger, vegetasjon m.m. Det er viktig å være klar over at vindressursen kan variere mye selv innenfor et mindre område.

På oppdrag for NVE har Kjeller Vindteknikk laget et vindkart/atlas¹⁶ for Norge (Byrkjedal m.fl. 2009). I dette opereres det med navhøyder på 50, 80 og 120 meter. Småskala vindkraft innebærer navhøyder som er lavere enn dette, der turbinene gjerne monteres på master med høyde 10-20 meter over bakken. Derfor er det viktig at man foretar grundig kartlegging av vindressursene på stedet man ønsker å etablere turbiner, noe som er både tids- og kostnadskrevende. Det er imidlertid viktig å etablere et korrekt bilde av vindressursene, slik at man unngår overraskelser i en eventuell senere driftsfase.

Box 15. Gårdsvindmølle på Øvre Langørjan, Byneset, Trondheim

I oktober 2015 fikk Lars og Jorun Kristin Home på Øvre Langørjan en egen gårdsvindmølle, etter en lang godkjenningssprosess som startet 2006. Vindmølla er av typen Vestas V27 med en kapasitet på 225 kW. Den er 32 meter høy og veier 20 tonn. Investeringskostnaden var ca. 3 mill. kr. I 2016 produserte turbinen rundt 200 000 kWh, og ca. halvparten ble brukt på gården, mens det resterende ble solgt til Trønderenergi.

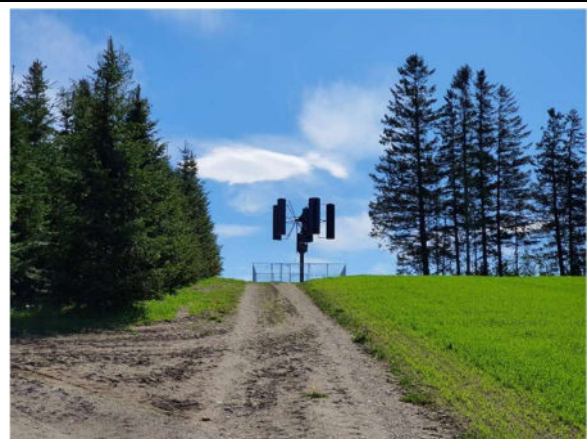


Kilde: www.klimasmartlandbruk.no og www.langorgenovre.no

Box 16. Vertikalakslet vindturbin på Snåsa

Bildet til høyre viser en første utgave av en vertikalakslet vindturbin som er installert på Snåsa. Endelig design vil få en totalhøyde på 14 meter, og ha tre blader, i stedet for fem som på bildet. Diameter ca 4,5m. Ved gjennomsnittsvind er det beregnet en årsproduksjon på ca 43 000 kWh. Beregnet investeringskostnad på NOK 420 000 før serieproduksjon, antatt NOK 280 000 ved serieproduksjon.

Kilde: Håkon Kalseth



Skal man utløse mer småskala vindkraft, er det viktig å finne frem til løsninger som gjør at man kan skaffe seg pålitelig informasjon om lokale vindforhold (vindressurser) innenfor en akseptabel kostnadsramme. Rapporten 'Muligheter for småskala vindkraft i Møre og

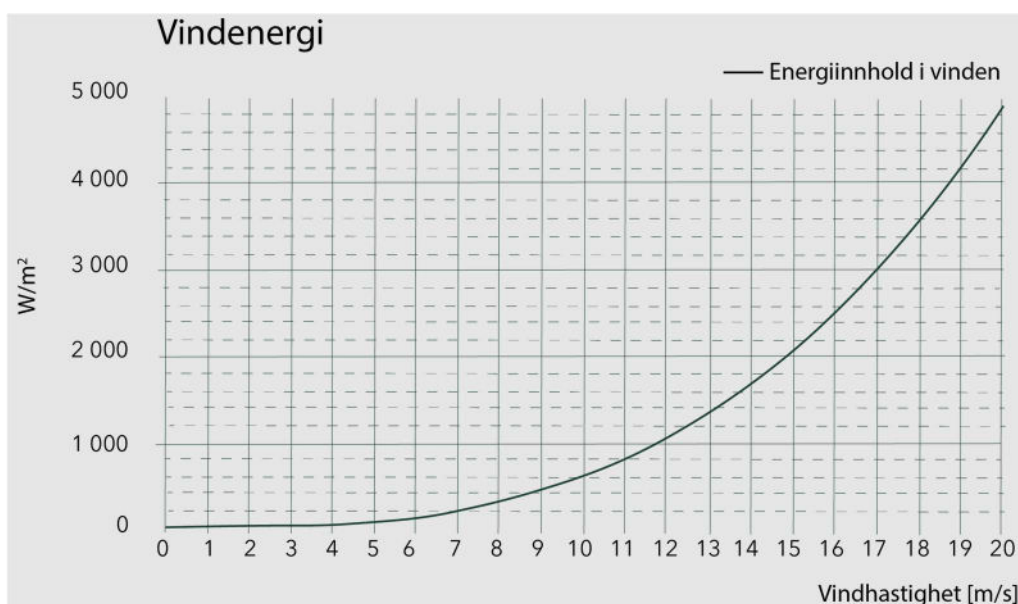
¹⁶ [NVE Temakart](#)

Romsdal' fra 2016¹⁷ peker bl.a. på bruk av mikroelektronikk for å senke kartleggingskostnadene og samtidig sikre at resultatene har tilstrekkelig kvalitet/pålitelighet.

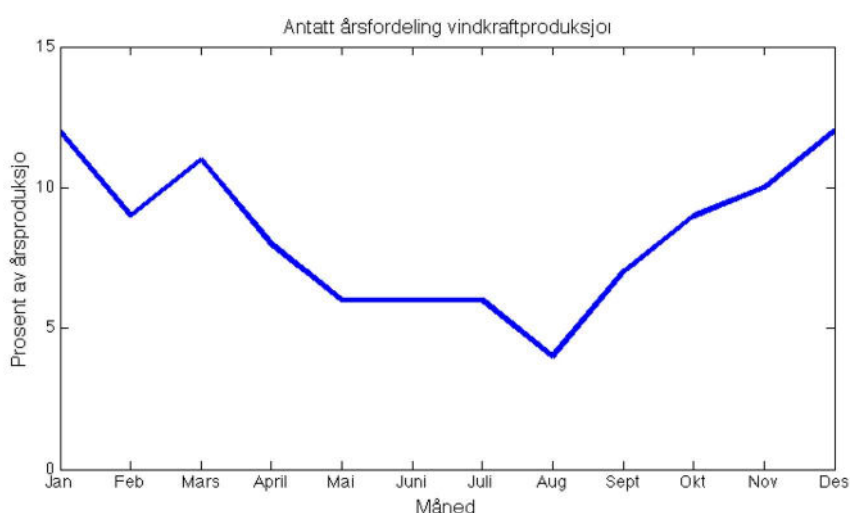
Strømutbytte fra en vindturbin kan uttrykkes ved følgende formel:

$$P = \frac{1}{2} \cdot A \cdot V^3 \cdot \rho \cdot C_p$$

Litt forenklet sier dette at effekten er proporsjonal med arealet som vindturbinens vinger sveiper over og vindhastigheten opphøyd i tredje potens. Denne sammenhengen er plottet i grafen i Figur 4-3. Her ser man tydelig at praktisk utnyttbar effekt først kommer ved vindhastighet på minst 6 m/s. Når man øker vindhastigheten til 12 m/s, om lag tidobler effekten seg. Siden det som regel blåser mer om vinteren enn om sommeren, vil kraftproduksjonen ofte være høyest i vintermånedene, se Figur 4-3.



Figur 4-3 Typisk effektkurve for en vindturbin, Kilde: Nasjonalt Vindkraftsenter NEAS



Figur 4-4 Estimert produksjonsprofil for en 5 kW vindturbin på Flø i Ulstein kommune. Kilde: Revheim (2017).

¹⁷ <https://nves.no/site/wp-content/uploads/2019/07/Sm%C3%A5skala-vindkraft-i-M%C3%B8re-og-Romsdal.pdf>

Størrelsen på vindturbinen er viktig for vurdering av lønnsomhet. Jo større turbin, desto større investering, men med økt størrelse faller gjerne enhetskostnaden, altså kostnad pr kWh produsert. Ser man på inntektssiden, er det slik at det mest lønnsomme er kun å dekke eget kraftbehov med egen produksjon. Da er verdien av en produsert kWh om lag en krone, altså summen av markedspris, nettleie og avgifter. Om man selger strøm til nettet, vil inntektene stort sett være relatert til markedspris (ofte spotpris) pluss mulig kompensasjon for reduserte tap i nettet. Disse inntektene vil i praksis være om lag 20-30 øre/kWh, altså langt lavere enn det man betaler for strøm fra nettet. For å øke egenbruk av vindkraften, kan man knytte flere brukere til produksjonen i et internt nett og/eller koble produksjonen til en batteribank eller annen energilagring-løsning.

Regneeksempel: Investeringskostnaden for en liten vindturbin på 3-5 kW vil typisk være i området 250 000 - 350 000 kr. Her vil det være variasjoner knyttet til hvilken mastehøyde og type man velger, fundamentering og integrasjon med kraftsystemet på gården. For vurdering av størrelsen på årlig kraftproduksjon kan man legge til grunn 2700 - 3600 brukstimer forutsatt gunstige vindforhold. Dette betyr at turbinen (3-5 kW) vil produsere mellom 8000 kWh og 18 000 kWh årlig. Til tross for at det er lagt inn optimistiske forutsetninger med tanke på vindressurs og energiproduksjon, viser regneeksemplet svak lønnsomhet. Man kan regne på større anlegg, men bør da også ta hensyn til utfordringene knyttet til feilvurderinger av vindressurser og forventet egenutnyttelse av kraftproduksjonen.

Det var store forhåpninger til at markedet for småskala vindkraft skulle ta seg opp i Norge etter en regelverksendring som trådte i kraft i 2013 (Revheim 2017). Regelverksendringen innebar en forenkling av søknadsprosessen for oppsetting av mindre vindturbiner (opp til 500 kW i 2013, ytterligere hevet til 1 MW i 2015), med konsesjonsfritak og lokal behandling etter plan- og bygningsloven. Når småskala vindkraft likevel ikke har fått nevneverdig omfang i Norge, skyldes dette i all hovedsak to ting - lav lønnsomhet og kunnskapsmangel (Revheim 2017).

4.3. Vannkraft

Småkraftverk kan anlegges der det finnes et tilstrekkelig hydrologisk ressursgrunnlag i et vassdrag. En utbygging forutsetter i prinsippet også at den ikke er til nevneverdig skade eller ulempe for allmenne interesser i vassdraget. Med et tilstrekkelig hydrologisk ressursgrunnlag menes et vassdrag der kombinasjonen av vannføring (volumstrøm) og fallhøyde, samt regularitet, er av en slik art at man kan bygge ut lønnsom kraftproduksjon.

De siste 20-25 år er det bygd ut en lang rekke småkraftanlegg. Medlemmene i Småkraftforeningen, hvor mange anleggseiere har organisert seg, har rundt 400 kraftverk i drift, og ytterligere et stort antall prosjekter er i planfase, se Figur 4-5. Kraftverkene dekker hele spekteret av småskala vannkraftanlegg, fra mikrokraft på 20 kW til større småkraftverk med en installert effekt på 10 MW.

Box 17. Minikraftverk på Gullbrå i Eksingedalen



Landsoversikt – gitte byggetillatelser små kraftverk

Fylke	Antall anlegg	Gjennomsnitt Årsproduksjon GWh	Gjennomsnitt Installert effekt MW
Aust-Agder	11	9,42	2,18
Buskerud	12	3,37	1,31
Finnmark	2	11,90	4,39
Hedmark	5	3,66	1,24
Hordaland	63	7,62	2,46
Møre og Romsdal	35	6,09	2,04
Nordland	66	9,70	3,19
Oppland	10	7,72	2,55
Rogaland	30	7,92	2,52
Sogn og Fjordane	64	9,66	3,32
Telemark	28	4,71	1,67
Troms	23	8,09	3,07
Trøndelag	35	8,54	2,80
Vest-Agder	24	5,14	1,58
Østfold	2	3,93	0,80
Total	410	7,81	2,59

Figur 4-5 Småkraftverk med byggetillatelser i Norge per 2018. Kilde: Småkraftforeninga (2018).

Småkraft defineres typisk som anlegg med kapasitet opp til 10 MW. Anleggene under denne størrelsen inndeles gjerne i:

- Mikrokraftverk under 100 kW
- Minikraftverk 100 kW - 1 000 kW
- Småkraftverk fra 1 000 kW og oppover til rundt 10 MW

Utbygging av småkraftverk krever grundig planlegging, forberedelser og organisering. Det kreves kompetanse på en rekke områder, bl.a. innenfor hydrologi, bygg, elektro, maskin, el-nett, el-marked, økonomi og miljø. I de fleste tilfeller vil det være nødvendig å leie inn spesialkompetanse for å lykkes.

Der forholdene ligger godt til rette for det kan man oppnå både enkel drift og god lønnsomhet. Det er først og fremst egenskapene knyttet til vannressursene som bestemmer kostnader og langt på vei lønnsomheten ved en utbygging. Stort nedbørsfelt, jevnt tilsig, kort avstand mellom inntak og kraftstasjon, samt gunstige muligheter for nettilknytning er viktige forutsetninger for å oppnå god lønnsomhet.

Imidlertid er det en betydelig risiko knyttet til investering i vannkraft, først og fremst knyttet til varierende nedbør, rentenivå og kraftpriser. Store deler av 2020 har markedsprisene på kraft vært såpass lave at flere eiere av småkraftanlegg har kommet i likviditetsvansker. Man kan redusere risiko ved grundig planlegging, men også ved å ta inn flere eiere, eller søke samarbeid med større aktører som ofte vil kunne ta seg av både utbygging og drift.

Inntektssiden bestemmes av i hvilken grad man kan utnytte egenprodusert kraft selv, eller om brorparten av produksjonen må selges i kraftmarkedet (via el-nettet). Bruker man kraften selv, vil verdien av en produsert kWh være om lag en krone, altså summen av markedspris, nettleie og avgifter. Om man selger strøm til nettet vil inntektene stort sett handle om markedspris (ofte spot-pris) pluss mulig kompensasjon for reduserte tap i nettet. Markedsprisen på kraft vil variere, og småkrafteiere som selger brorparten av sin produksjon i markedet, påtar seg dermed en markedsrisiko som det er viktig å kunne håndtere.

Tidligere pekte mange på 2 kr/kWh/år som en investeringsgrense for nye småkraftverk. Ser man på tabellen fra Småkraftforeningen over, betyr det at investeringskostnaden for et gjennomsnitt av anleggene med årsproduksjon på 7,8 GWh, vil være på 15-16 MNOK. Om man er forholdsvis konservativ og legger til grunn enhetsinntekter (netto) på rundt 15 øre/kWh, vil en produksjon på 7,8 GWh/år gi en årsinntekt på 1,1 - 1,2 MNOK.

I de senere år, hvor mange har ment at kraftprisene vil øke, har man også ment at investeringsgrensen kan økes en del. Mange innen landbruket har blitt vant til store investeringer f.eks. i fellesfjøs og lignende. Men når investeringene øker til 10-20 MNOK og mer, blir det ofte i praksis nødvendig å søke samarbeid med andre og kanskje større aktører.

Noen gårdsbruk vil kunne utnytte sine fallressurser i mini- eller mikrokraftanlegg, dvs. under 1 MW kW. Slike anlegg kan f.eks. bygges og tilpasses steder der det tidligere har vært sagbruk, møller e.l., og gårdbrukeren kan ofte yte betydelig egeninnsats. Mikroanlegg er det bygd en god del av, og planlegges disse grundig kan økonomien også være fordelaktig.

4.4. Solceller

Et solcelleanlegg består av solcellepaneler, vekselretter(e) med styringssystem, kabler, og monteringsystem. Solcellepaneler kan være montert på tak eller fasader på bygninger, eller de kan være frittstående.

Et solcelleanlegg produserer typisk 100-170 kWh strøm per m² solcellepanel per år, eller sagt på en annen måte 750-1000 kWh per installert kWp (kilowatt peak) per år. kWp er enheten for nominell effekt for et solcellepanel, og angir panelets effekt målt under gitte testforhold som temperatur og solinnstråling.

Siden solinnstrålingen varierer over året og døgnet, vil det ikke alltid være mulig å utnytte all strømmen som produseres lokalt. Solcellestrømmen man ikke har bruk for selv, selges til strømmettet. En plusskunde¹⁸ betaler ikke fastledd for innmating på nettet, og kan måle innmating og uttak i et felles målepunkt. Det er også mulig å få grønne elsertifikater, men det er planlagt å avvikle ordningen etter 2021 så dette er av mindre relevans¹⁹. Å kvalifisere for grønne sertifikater har også vært en omstendelig prosess som ikke lønner seg for anlegg som er mindre enn ca 500 kW_p.

Box 18. Solcelleanlegg på Mære Landbruksskole.



Solcellepaneler på taket av ammeku-fjøset, totalt 192 m². I 2019 produserte anlegget 24 680 kWh strøm. Gjennom året varierte produksjonen fra 6,2 kWh i januar til 4250 kWh i april.

Kilde: Mære Landbruksskole

¹⁸ Sluttbruker med forbruk og produksjon bak tilknytningspunkt, hvor innmatet effekt i tilknytningspunktet ikke på noe tidspunkt overstiger 100 kW.

¹⁹ <https://www.nve.no/energi/virkemidler/elsertifikater/>

4.4.1. Takmonterte solcelleanlegg

Beskrivelse av løsning/system



Foto: Hybelbygget på Mære Landbruksskole

Det finnes flere ulike solcelleteknologier og innfestingsløsninger for solcelleanlegg, men alle fungerer omtrent på samme måten.

Fordeler:

- Gårder har ofte store, sørvendte skråtak med meget god solinnstråling.
- Stålplatetak er mye brukt på gårdsbruk, dette gir lav kostnad i installasjon og lang levetid på solcelleanlegget.

Ulemper for gårdsbruk:

- Lavt energiforbruk på mange gårder i sommermånedene gjør at man ikke får brukt energien internt på gården
- Usentral plassering i nettet gjør at det ofte blir spenningsproblemer i nettet dersom store solcelleanlegg på gårder selger mye strøm til nettet om sommeren.

<p>Klimagassutslipp (karbonfotavtrykk)</p> <p>Solcelleanlegg per i dag har et fotavtrykk på 300 - 1200 g CO₂e/Wp i produksjon av paneler og utstyr. Det forventes at dette vil reduseres drastisk (10x) over de neste 20 årene.</p> <p>Det er ingen eller minimale utslipp knyttet til drift og vedlikehold.</p>	<p>Nøkkeltall</p> <p>300-1200 gCO₂e/Wp 13-190 gCO₂e/kWh</p>
<p>Energiytelse</p> <p>Dagens solcellepaneler har en virkningsgrad på 18-20%. I løpet av de neste 10 årene vil dette kunne stige til 22-24%. Videre utvikling krever en annen teknologi enn det som finnes i dag (silisium), og er mer usikker, selv om det skjer mye interessant forskning, f.eks. på tandemsolceller med silisium som ett av absorbatormaterialene.</p> <p>De viktigste parameterne for energiytelse er lokasjon, skyggeforhold og orientering av panelene. Temperatur er</p>	<p>Nøkkeltall</p> <p>kWh/m²/år Horisontalt / 30 grader mot sør. Mære: 120 / 158 Kristiansand: 168 / 218 Tromsø:</p>

også en faktor, men spiller i praksis liten rolle. Som vi ser av tallene til høyre er en 30 ° installasjon i Kristiansand mer enn dobbelt så bra med tanke på ytelse som en flat installasjon i Tromsø.	107 / 139
<p>Potensial for reduksjon av effektbehov</p> <p>Kan redusere effektbehov dersom effektbehovet er regelmessig og toppene inntreffer om sommeren, i løpet av dagen.</p> <p>Vanligvis gir solceller lite reduksjon av effektbehov, med unntak av aktiviteter der kjøling dominerer energibehovet.</p>	<p>Nøkkeltall</p> <p>0-10 % reduksjon?</p>
<p>Kostnader og lønnsomhet</p> <p>Solceller på tak koster i dag 6-11 000 kr per kWp installert effekt (eksl mva)²⁰. Et typisk gårdsanlegg vil være på 50-150 kWp. De beste anleggene har god lønnsomhet, men dersom anlegget er svært stort i forhold til energibehovet på sommerdager vil lønnsomheten gå ned da verdien av strøm solgt til nettet er ca 50% lavere enn strøm som dekker eget forbruk.</p> <p>Landbruket stiller i særklasse når det kommer til støtteordninger for solcelleanlegg. Innovasjon Norge tilbyr 35% investeringsstøtte til solcelleanlegg i landbruket for anlegg der energien nyttes til næringsformål på landbrukseiendommen (i 2021).</p>	<p>Nøkkeltall</p> <p>6-11 000 NOK/kW_p LCOE 0,4-1,2 kr/kWh</p>
<p>Annet</p> <p>Det er viktig å ta hensyn til byggets egnethet, særlig med tanke på:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Bæreevne på tak -Alder på bygg og takteking -Tilstand på strømnnett og svake strømnnett 	
<p>Oppsummering – anbefalinger for videre arbeid</p> <p>Takmonterte solceller anbefales for alle gårdsbruk, særlig de som har elbehov på dagen om sommeren.</p> <p>Bygg, solenergiløsning og energibehov bør undersøkes før investering, da langt fra alle anlegg vil være lønnsomme.</p>	

²⁰ Tall fra Solenergiklyngens rapport fra 2020: <https://www.solenergiklyngen.no/wp-content/uploads/2021/08/TE-21-07-Verdiskaping-og-ringvirkninger-av-solkraftutbygging-i-Norge-mot-2040.pdf>

4.4.2. Fasademonterte solcelleanlegg

Beskrivelse av løsning/system



Fasademontert solcelleanlegg på ASKO Hedmark (Foto: Solenergi FUSen)

Solcellepaneler montert på fasade kan gi meget bra utbytte for sørvendte anlegg med lite skygge. Solenergi FUSen har rapportert om anlegget på ASKO Hedmark i Brummundal, hvor ytelsen i kWh/kW_p er høyere på fasadeanlegget enn på de takmonterte panelene.

Fordeler:

- Gir bra ytelse dersom det ikke er skygge
- Gir bedre bidrag høst, vinter og vår i forhold til takmonterte anlegg, på grunn av lav sol og snødekke.

Ulemper:

- Det er ofte mindre arealer tilgjengelig på fasade.
- Fasaden er ofte mer utsatt for skygge fra f.eks. trær, bygg og kjøretøy.
- Standard solcellepaneler i svart eller svart/alu utførelse kan passe dårlig inn i arkitekturen på mange bygg.

<p>Klimagassutslipp (karbonfotavtrykk)</p> <p>Klimagassutslipp på fasademonterte anlegg er sammenlignbare med takmonterte anlegg (se forrige avsnitt).</p>	<p>Nøkkeltall</p>
<p>Energiytelse</p> <p>Energiytelse på fasademonterte anlegg er sammenlignbare med takmonterte anlegg (se forrige avsnitt), men siden utnyttbare overflater på fasade oftest er mindre enn på tak, er utbyttet ofte relativt lavt.</p>	<p>Nøkkeltall</p> <p>kWh/m²/år Vertikalt rett mot sør Mære: 134 Kristiansand: 175 Tromsø: 120</p>
<p>Potensial for reduksjon av effektbehov</p>	<p>Nøkkeltall</p>

<p>Kan redusere effektbehov dersom effektbehovet er regelmessig og toppene inntreffer i løpet av dagen.</p> <p>Vanligvis gir solceller lite reduksjon av effektbehov, med unntak av aktiviteter der kjøling dominerer energibehovet.</p>	<p>Varierende</p>
<p>Kostnader og lønnsomhet</p> <p>Solceller på fasade koster i dag 8-20 000 kr per kW_p installert effekt (eksl mva).</p> <p>Lønnsomheten på fasademonterte solcelleanlegg kan være bra, spesielt siden de leverer mer energi om vinteren.</p>	<p>Nøkkeltall</p> <p>8-20 000 NOK/kW_p</p> <p>LCOE 0,5-2 kr/kWh</p>

4.4.3. Bakkemonterte solcelleanlegg

<p>Beskrivelse av løsning/system</p>	
	
<p>Foto: Smartgrid RYE / Trønderenergi Nett / Solbes AS</p> <p>Bakkemonterte solcelleanlegg er enda ikke vanlig i Norge, men dominerer markedet for solenergi internasjonalt. Det er flere aktører som planlegger å bygge større bakkemonterte solcelleparker i Norge i løpet av 2021-2022, og både i Sverige og Danmark finnes det allerede flere store bakkemonterte solcelleparker.</p> <p>Fordeler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stort volum gir lave anskaffelseskostnader per kW_p. • Gårder har store områder tilgjengelige <p>Ulemper for gårdsbruk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beslaglegger arealer. • Større solcelleparker vil være avhengige av å kunne tilbakebetales ved å selge strøm til spotpris. 	
<p>Klimagassutslipp (karbonfotavtrykk)</p>	<p>Nøkkeltall</p> <p>300-1200 gCO_{2e}/Wp</p>

<p>Solcelleanlegg per i dag har et fotavtrykk på 300 - 1200 g CO_{2e}/Wp i produksjon av paneler og utstyr. Det forventes at dette vil reduseres drastisk (minimum 10x) over de neste 20 årene.</p> <p>Det er ingen eller minimale utslipp knyttet til drift.</p> <p>For bakkemonterte anlegg kan det tilkomme noe ekstra klimagassutslipp fra fundamentering.</p>	<p>13-190 gCO_{2e}/kWh</p>
<p>Energiytelse</p> <p>Dagens solcellepaneler har en virkningsgrad på 18-20%. I løpet av de neste 10 årene vil dette kunne stige til 22-24%. Videre utvikling krever en helt annen teknologi enn det som finnes i dag (silisium), og er mer usikker.</p> <p>De viktigste parameterne for energiytelse er lokasjon, skyggeforhold og orientering av panelene. Bakkemonterte solcelleparker vil nok først og fremst være aktuelt i de mer sørlige delene av Norge. Mære har nesten 30% lavere energiutbytte enn Kristiansand, i henhold til innstrålingsdatabasen ERA5.</p>	<p>Nøkkeltall</p> <p>30 ° helning mot sør</p> <p>Mære: 814 kWh/kW_p Kristiansand: 1124 kWh/kW_p Tromsø: 716 kWh/kW_p</p>
<p>Potensial for reduksjon av effektbehov</p> <p>Større, bakkemonterte solcelleparker kan ikke antas å redusere effektbehov, det er snarere behov for stor kapasitet for eksport av energi i nettet, som for mange gårder i Norge ikke vil være sterkt nok.</p>	<p>Nøkkeltall</p> <p>100 - 10 000 % økning</p>
<p>Kostnader og lønnsomhet</p> <p>Bakkemonterte solcelleanlegg bygges i dag for ca 5500 kr per kW_p installert effekt (ekskl. mva.) for store anlegg. På flate områder kan det bygges ca 60-70 MW_p per km², eller 60-70 kW_p per mål (1000 m²).</p> <p>For en gård med 200 mål egnet flate snakker vi om en investeringskostnad på ca 80 millioner kr for et anlegg på 13 MW_p. Anlegget, dersom lokalisert på Mære, vil levere ca 10,5 GWh årlig.</p>	<p>Nøkkeltall</p> <p>5500 NOK/kW_p LCOE 0,34-0,8 kr/kWh</p>
<p>Annet</p> <ul style="list-style-type: none"> -Beslaglegger matjord -Tilstand på strømnnett og svake strømnnett 	
<p>Oppsummering - anbefalinger for videre arbeid</p> <p>Da bakkemonterte solcelleanlegg beslaglegger matjord, anbefaler vi ikke dette for gårdsbruk.</p> <p>Solcelleparker kan være et alternativ dersom man ønsker å avvikle driften på et gårdsbruk og ser etter alternativ utnyttelse av områdene, men man bør ha et driftsperspektiv av solcelleparken på minimum 30 år, og lønnsomheten må undersøkes nøye.</p>	

4.4.4. Agrivoltaics – solcelleanlegg i symbiose med landbruk

Som nevnt i tabellen over kommer bakkemonterte solcelleanlegg oftest i konflikt med annen bruk av jorda. I det siste har det imidlertid vokst frem mange gode alternativer for å kombinere solceller og jordbruk, og for enkelte typer avlinger som for eksempel tomater, blåbær og bjørnebær er det funnet at delvis skygge fra solcellepaneler øker avlingen²¹.



Foto: (venstre) Ukjent opphav, viser standard solcellepaneler i kombinasjon med dyrking av grønnsaker. (høyre) Løsning for vertikal montasje av solcellepaneler i kombinasjon med gress, utviklet av tyske Next2Sun.

4.4.5. Oppsummering – solceller

Tabellen under oppsummerer nøkkeltall for solceller.

Tabell 4-1 Kostnader for solcelleanlegg

Type anlegg	Årsproduksjon Trøndelag	Investeringskostnad	Driftskostnad	LCOE*	Referanser
Takmontert anlegg 50 kW _p (skråtak)	40 MWh	450 000 kr	2 000 kr/år	55 øre/kWh	Kostnadstall for 2021, PVGIS
Bakkemontert anlegg, 13 MW _p , 200 mål	10,5 GWh	80 mill kr	50 000 kr/år	34 øre/kWh	Kostnadstall for 2021, PVGIS

*Levelized cost of energy – ekvivalent energikostnad over 25 år med 4% kalkylerente, uten investeringsstøtte. LCOE er beregnet i Asplan Viak's verktøy Lønnsom solenergi.

4.5. Solvarme

Solfangeranlegg til oppvarming av varmtvann består av følgende hoveddeler:

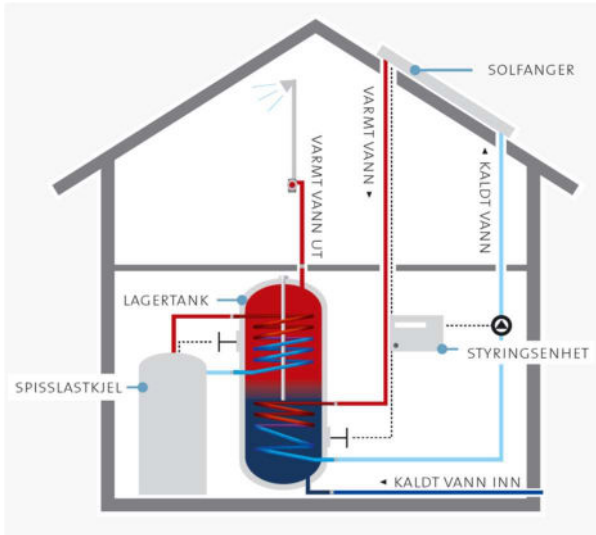
- solfanger
- varmelager (akkumulatortank)
- distribusjonssystem
- styringsautomatikk

Solfangeren er selve hjertet i solvarmesystemet, det er her solstrålingen blir omdannet til varme. Det finnes flere ulike typer solfangere, f.eks. plane solfangere, vakuumsolfangere og parabol-solfangere. Den plane solfangeren er den som tradisjonelt har vært mest brukt i bygninger. Etter hvert har også vakuumsolfangere fått en større andel av markedet.

Et varmelager (typisk en varmtvannstank) er nødvendig for å ta vare på varmen i perioder hvor det ikke er solinnstråling, f.eks. om natten eller i overskyede perioder.

²¹ AGRIVOLTAICS, Forskningsstatus internasjonalt -hva med Norge? Gaute Stokkan, SINTEF 21.02.2021.

Distribusjonssystemet består av rør og pumper som sørger for å bringe varmen fra solfanger til lager og forbruksstedet. I de fleste tilfeller er det også nødvendig med et automatisk styringssystem som overvåker anlegget og sørger for optimalt energiutbytte. Styringssystemet kan f.eks. gi beskjed om at pumper skal slås av og på avhengig av temperatur og solinnstråling.



Figur 4-6 Prinsippkisse av et solvarmeanlegg til oppvarming av forbruksvann (figuren viser ikke reelle forholdsmessige størrelser på tank, kjel, osv). Illustrasjon: Tibe-T. Kilde: Andresen (2008)

Box 19. Solfangere gir varmt tappevann og lader geobrønner på Moholt studentby.



Solfangere montert på taket av barnehagen i studentbyen Moholt 50/50. Solfangerareal ca. 70 m²
 Produsert energi ca. 40 000 kWh/år.
 Investering: ca. 1 mill. NOK.

Foto: Trondheim kommune.

Det norske leverandørmarkedet for solvarmeanlegg er lite, og det kan derfor være utfordrende med tilgang på ekspertise for installasjon og vedlikehold. Det er begrenset erfaring med gode prosjekter, men solvarmeanlegg kan være godt egnet til tappevannoppvarming på sommeren, og kan vurderes til høytørking.

Selv om man kan benytte all energien selv, viser konkrete erfaringer fra prosjekter at lønnsomheten i solvarmesystemer oftest er dårlig.

Virkningsgraden til termiske solfangere er i teorien høy, opp mot 60% kan oppnås. Dette krever imidlertid at all varme kan utnyttes, og det er sjelden tilfellet. Mest varme vil leveres på dager med mye sol, som er dager hvor det ikke er stort varmebehov. Fasademonterte solvarmeanlegg vil være mer aktuelle enn takmonterte i store deler av Norge, siden disse produserer bedre i vintermånedene.

Levetid: 15-20 år. Vedlikehold: noe

Tabellen under oppsummerer nøkkeltall for solvarmeanlegg.

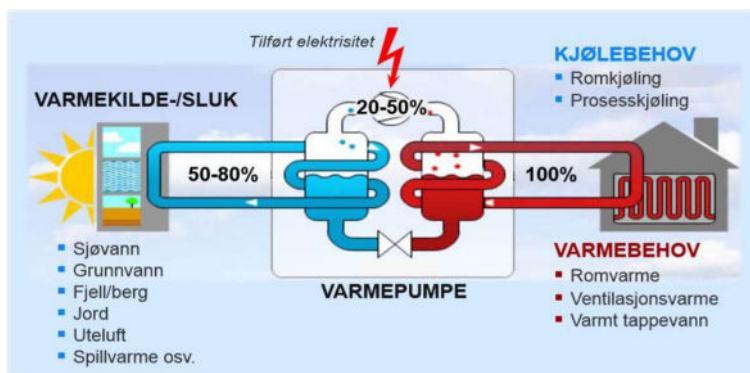
Tabell 4-2 Kostnader for solvarmeanlegg

Type anlegg	Årsproduksjon Trøndelag	Investeringskostnad	Driftskostnad	LCOE*	Referanser
Varmtvannsoppvarming enebolig, 10 m ² solfangere på sørvendt tak.	5 000 kWh	150 000 kr	2000 kr/år	251 øre/kWh	Referansetall fra diverse anskaffelser, 15 000 kr/m ² for komplett system
Større takmontert anlegg, 70 m ² , tilsvarende anlegg på Moholt studentby	40 000 kWh	1 000 000 kr	5000 kr/år	187 øre/kWh	Erfaringstall fra Moholt studentby (SIT)

*Levelized cost of energy - ekvivalent årskostnad over 20 år med 4% kalkulasjonsrente, uten investeringsstøtte

4.6. Varmepumpeanlegg

Varmepumper liker jevn drift - stabile temperatur og jevn effekt. Bruk av varmepumpe egner seg derfor best til å dekke grunnlast. Forsyning av varme ved lavere temperaturer krever gjerne større heteflater (gulvvarme, radiatorer). Det er spesielt gunstig å utnytte både varm og kald side på varmepumpe. Figuren under viser en prinsippskisse for en varmepumpe, mens tabellen viser ulike anvendelsesområder.



Figur 4-7 Prinsippskisse for en varmepumpe. Kilde: COWI

Tabell 4-3 Anvendelsesområder for varmepumper.

Applikasjon	Beskrivelse	Effektivitet
Varmt tappevann	Varmepumpe varmer opp varmtvann fra 10°C til 55-80°C. Ved stort varmtvannsbehov (> 100 000 kWh/år), vurdere CO ₂ varmepumpe	COP : fra 3 – 4
Gulvvarme	Varmepumpe forsyner lavtemperatur varme 40-35°C.	COP: fra 3 – 4
Romoppvarming	Varmepumpe forsyner lavtemperatur varme 65-40°C. Aerotemper/fancoils.	COP: fra 2,5 – 3,5
Kombinasjon varme og kjøling	F.eks. kjøling av melk/ oppvarming av tappevann	-

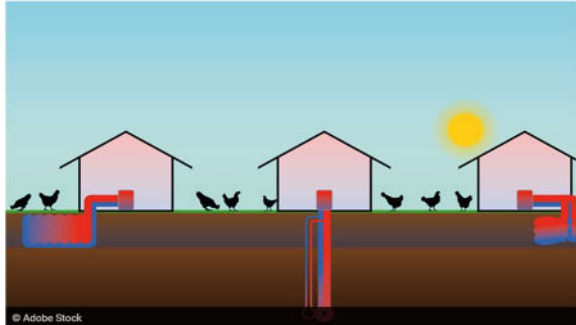
F-gass forordningen peker mot naturlige kuldemedier for å minimere klimafotavtrykket til varmepumpens arbeidsmedium:

- Ammoniakk kan «normalt» forsyne varme ved 50°C
- Propan kan «normalt» forsyne varme ved 60°C
- CO₂ kan «normalt» forsyne varme ved 90°C

Grunnen (fjell) vil ved mange lokasjoner i Norge kunne benytte som et lager for termisk energi. Det finnes ulike konseptløsninger for å lagre termisk energi:

- A. Sesonglager (brukes til både varme- og kjøleuttak, balanseres over året, kjøling om sommer og varme om vinter)
- B. Varmelager (grunnen varmes gradvis opp til å forsyne varme, kunne utnytte flere kilder som sol, uteluft. Høyere temperaturnivå enn alt. A)
- C. Kjølelager (ved dominerende kjølebehov vil en over året ta ut mer varme enn det som tilføres.)

Box 20. Prinsippskisse for utnyttelse av grunnen til forsyning av varme og kjøling (sesonglanger) for en kyllingfjøs i England.



Kilde: www.fwi.co.uk/livestock/poultry/layers/a-poultrykeepers-guide-to-ground-source-heat-pumps

Box 22. Sesonglagring med 'GeoTermos' ved Fjell skole i Drammen.



100 brønner i fjellet, hver er 50 meter dype. Satt i sirkel med relativt tett avstand. Lades av solvarme (125 m² solpaneler på taket) og luft/vann varmepumpe. Anlegget leverer ca. 350 000 kWh/år til oppvarming av skolebygget.

Kilde: Drammen kommune.

Box 21. Varmesentral med grunnvarmepumpe på studentbyen Moholt 50/50 i Trondheim.



Foto: adressa.no.

Varmesentralen er utstyrt med glassvegger for å fungere som demonstrasjonsanlegg. 23 geobrønner med en dybde på 270 meter i snitt. Produserer ca. 1 GWh/år til ventilasjon og varmt tappevann til 632 hybler. Overskuddsvarme fra byggene om sommeren brukes til å lade brønnene. Lades også med varme fra solfangere. Total merkostnad ca. 18 mill. kr. Enova-tilskudd ca. 8 mill. kr.

Box 23. Anlegget til Gether AS på Mære

Varmelagring i veksthuset

I veksthusanlegget på Mære er det utviklet et avansert system for å ta vare på varmeenergi som skapes av sol og lys i drivhuset. Denne energien lagres under bakken i en stor vanntank (korttidslagret), og kan ledes videre ned i dype borehull, 150-250 m i berggrunnen utenfor veksthuset (langtidslagret).

Det er montert såkalte aerotempere i taket i veksthuset som gjennom kjøling og avfukting gjør det mulig å ta vare på overskuddsenergien. Uten aerotempere må denne energien (varmen) slippes ut gjennom taklukene.

Anlegget hadde i 2017 en nettoleveranse på 877 000 kWh, og bruken av propan til oppvarming er kraftig redusert.

Varmepumper

Temperaturene i korttids- og langtidslagret er forholdsvis lave, 0-15 °C. Det er vanskelig å bruke vann med slik temperatur til oppvarming. Varmepumper brukes til å heve temperaturen ytterligere. Det er i tillegg mulighet til å ta energi fra uteluft.

Kapasitet

Under siste utbygging av varmelagret ble det satt opp flere aerotempere, og det samles varme fra et større område av veksthuset. Videre ble både korttids- og langtidslagret utbygd. I alt er det nå 44 borehull som kan ta imot varme fra veksthuset. Maksimal effekt av varmelagret er beregnet til 1,2 mill. kWh energi pr. år.

Borehull

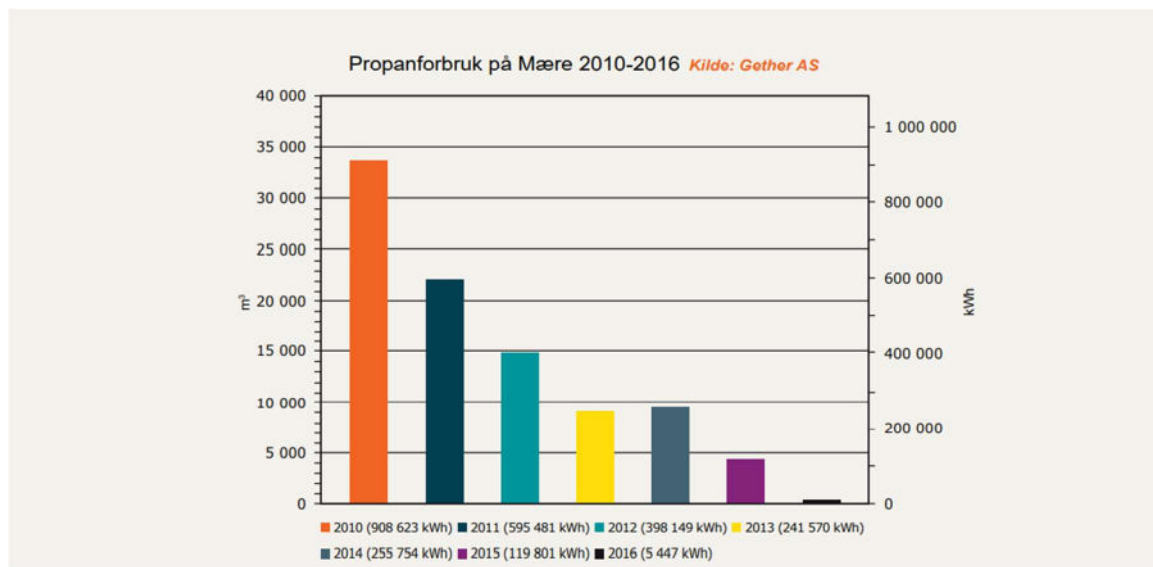
Temperaturen i berggrunnen under de dype borehullene stiger når varme ledes ned om sommeren. Energitapet i området så dypt nede er lite, slik at det meste av varmen som lagres kan tas ut igjen i den kalde årstida. Energitransporten inn og ut av borehullene skjer ved hjelp av et flytende medium som ledes i plastrør inne i borehullene.

Klimatiltak

Tidligere ble det brukt propangass til oppvarming i veksthuset. Etter at varmelagret ble satt i full funksjon er propanbrenneren nesten ikke brukt. Å heste energi på den måten som gjøres i veksthuset er et godt klimatiltak, siden vi gjør oss uavhengig av fossil energi.

Bruk av energien fra veksthuset

Varmen som tas ut fra borehullene brukes til oppvarming av veksthuset og det meste av bygningsmassen ved skolen i den kalde årstiden. Det er nedgravd varmerør som leder varmtvann til driftsbygninger samt til klasserom, kontorer, kantine og hybelhus. Det er installert et lavtemperatur varmeanlegg som gir god effekt selv ved overføring av vatn som holder en temperatur på om lag 40 °C. Det er i andre varmeanlegg vanlig med en vanntemperatur på 80-90° C.



Tabellen under oppsummerer eksempler på kostnader for ulike typer varmepumpeanlegg.

Tabell 4-4 Eksempler på kostnader for varmepumpeanlegg

Type anlegg	Dim varmepumpeeffekt (varme)	Investeringskostnad	Driftskostnad	LCOE*	Referanser
Bergvarmepumpe anlegg (20 år)	10 kW	185 000 kr	0,32 kr/kWh _t	0,83 kr/kWh _t	NVE rapport**
Luft/vann varmepumpe anlegg (15 år)	10 kW	160 000 kr	0,35 kr/kWh _t	0,88 kr/kWh _t	NVE rapport**

*Levelized cost of energy - ekvivalent årskostnad over 20 år med 6% kalkulasjonsrente, uten investeringsstøtte. Varmepumpe kan levere vanntemperatur til 55°C.

**NVE rapport: «Kostnader i energisektoren», 2015 - oppdatert kostnadstall fra 2016.

Tallunderlaget er justert slik at anleggene kan sammenlignes.

Kostnadstall er korrigert etter SSB indeks 04534: 203,6 (2016M07), 261,4 (2021M07)

4.7. Batterier som elektrisk energilager

Beskrivelse av løsning/system



Foto venstre: 195 kWh system fra den norske leverandøren Pixii.
Foto høyre: Batterier for lagring av solenergi på Skjerpe gård i Rogaland
(<https://www.norgesvel.no/aktuelt/innsikt-i-fremtiden-kan-klimasmarte-grder-g-p-batteri>)

Stasjonær lagring av energi i batterier blir stadig mer vanlig. Det finnes ulike teknologier for batterier, men det er blir mer og mer klart at Li-ion batterier er den mest aktuelle teknologien for stasjonær energilagring i batterier.

Energilager i landbruket kan ha ulike funksjoner:

- Effektlager: Kutting av effekttopper i forbruket, for reduksjon i nettleie knyttet til effektledd
- Lagring av overskuddsstrøm fra solcelleanlegg for bruk om natten
- Nødstrøm

De ulike funksjonene kan til en viss grad inkluderes i samme produkt, selv om styringsalgoritmene i utgangspunktet vil ha motstridende mål.

Den mest lønnsomme funksjonen til et batteri er normalt som effektlager. Imidlertid er det per i dag slik at de fleste gårdsbruk har unntak for effekttariff, og med slikt unntak er det ingen økonomisk motivasjon for å ha eget effektlager.

Klimagassutslipp (karbonfotavtrykk)

Utslipp ved produksjon av batteri er ca 70-90 kg CO₂e/kWh_{kap} per i dag.

Asplan Viaks undersøkelser i andre prosjekter viser at dette kan reduseres ned mot 60 kg CO₂e/kWh_{kap} innen 2040, for en megafabrikk basert på nordisk strømmiks. Det norske selskapet Freyr, som jobber med planer for en slik fabrikk, hevder imidlertid å kunne produsere med ned mot 15 kg CO₂e/kWh_{kap}.

Det er lite utslipp knyttet til drift, men man må regne med utskifting av både batteri og kraftelektronikk hvert 10-15. år.

Nøkkeltall

60-90
kgCO₂e/kWh_{kapasitet}

54-81
gCO₂e/kWh_{lagret}*

*v/ 1000 syklor og tap på 10%

<p>Energiytelse</p> <p>Sykluseffektivitet er på ca 85-90% for Li-ion batteriteknologi.</p>	<p>Nøkkeltall</p> <p>Tap på 10-15% av lagret energi.</p>
<p>Potensial for reduksjon av effektbehov</p> <p>Stort potensial for reduksjon av effektbehov. For gårder med meget stor variasjon i forbruket og begrenset varighet av effekttoppene, kan effekttoppene reduseres med flere titalls prosent. For jevnere forbruk eller effekttopper med lengre varighet kan det være vanskelig å få til effektiv reduksjon. Det må gjøres en detaljert evaluering for hvert enkelt tilfelle.</p>	<p>Nøkkeltall</p> <p>10-50 % reduksjon?</p>
<p>Kostnader og lønnsomhet</p> <p>Stasjonære batterier inkludert kraftelektronikk og styringssystemer koster i dag 5000 - 10 000 kr/kWh ekskl mva, ferdig installert. I stasjonære anlegg kan man ikke regne med mer enn maksimalt ca 2000 sykluser i løpet av en levetid på 10-15 år, og lagringskostnaden er derfor ca 2,5-5 kr/kWh.</p> <p>Dette medfører at bruk av energilager for lagring av solenergi ikke er lønnsomt, da inntjeningen for besparelse i nettleie og elavgift ligger på 30-40 øre/kWh. Lønnsomhet vil kreve en reduksjon i innkjøpskostnader på ca 90%.</p> <p>Som et effektlager vil lønnsomheten ofte være bedre, og kan allerede i dag være lønnsomt for næringskunder (ikke gårdsbruk).</p> <p>Det er forventet at kostnadene ved innkjøp av batteri vil reduseres med minst 50% over de neste ti årene, og lønnsomheten som effektlager vil derfor bli enda bedre. For lagring av solenergi er det tvilsomt om batterier blir lønnsomt, med mindre betingelsene forandrer seg mye.</p>	<p>Nøkkeltall</p> <p>5 - 10 000 NOK/kWh</p>
<p>Annet</p> <ul style="list-style-type: none"> - Det er per dd. ikke noe effektledd for gårdsbruk i Tensio sitt nett, og derfor er det ingen lønnsomhet i bruk av batteri som effektlager. - Batterier som fungerer som nødsstrømløsning er underlagt strenge krav med tanke på elsikkerhet, som kan virke fordyrende på installasjonen. 	
<p>Oppsummering - anbefalinger for videre arbeid</p> <p>Batteri vil sannsynligvis ha lav lønnsomhet som investeringsobjekt for de fleste gårdsbruk med dagens priser på batterier og dagens regulering av kraft- og nettmarkedet.</p> <p>På tross av dårlig lønnsomhet kan det være interessant å se på et effektlager for Mære, og kanskje se dette i kombinasjon med muligheter for at lageret kan fungere som nødstrøm og lagring av solenergi som en bifunksjon.</p>	

Tabellen under viser eksempler på kostnader for batterianlegg.

Tabell 4-5 Eksempler på kostnader for batterianlegg

Type anlegg	Årlig besparelse	Investeringskostnad	Driftskostnad	LCOE*	Referanser
Effektlager 100 kWh	Avhenger av tariffregime og forbruksmønster	700 000 kr	2000 kr/år	250-500 øre/kWh	Erfaringstall fra anskaffelsesprosesser i Asplan Viak.

*Levelized cost of energy - ekvivalent typisk kostnad per lagret kWh. Det er ikke benyttet kalkulasjonsrente, og ingen investeringsstøtte.

4.8. Hydrogen

Beskrivelse av løsning/system



Figur (venstre) Eksempel på en alkaline-enhet for produksjon av hydrogen fra Nel ASA. (høyre) Ombygget og delvis hydrogen-drevet traktor fra New Holland.

Etter en del år med lave forventninger til hydrogen som energibærer, har oppmerksomheten knyttet til denne energiløsningen på nytt tiltatt. Hydrogen seiler opp som et reelt alternativ for avkarbonisering, særlig av tungtransport og skipsfart, og det testes om det er mulig å blande hydrogen i naturgass i eksisterende infrastruktur, for eksempel til oppvarming i boliger og bygg i land der dette er vanlig i dag. I Regjeringens hydrogenstrategi fra 2020 identifiseres transport og industri som sektorene i Norge som er mest aktuelle, landbruket er ikke nevnt som en aktuell sektor for hydrogen.

Det kan likevel være interessant å undersøke hvilken rolle hydrogen kan få i gårdsdrift i fremtiden. Hydrogen er en energibærer, ikke en energikilde, og det må derfor vurderes både hvordan hydrogen skal produseres og hvordan den skal forbrukes, og eventuelt om den må transporteres. For en effektiv gårdsløsning basert på hydrogen bør produksjonskapasitet og behov/forbruk balanseres.

Hydrogen Mem-Teck er eksempel på en startup bedrift som sammen med Agri-e jobber med å utvikle teknologi for hydrogen-separatorer med membranteknologi som omdanner biogass eller naturgass til hydrogen og CO₂ i desentraliserte anlegg.

Klimagassutslipp (karbonfotavtrykk)

TÜV-standard (standard for grønn hydrogen) krever at hydrogen fra elektrolyse har lavere fotavtrykk enn 2,7 kgCO_{2e}/kgH₂. Dette krever strømmiks med lavere enn 54 gCO_{2e}/kWh.

Nøkkeltall

Varies

<p>Energiytelse</p> <p>Det forventes noe forbedring i hydrogenproduksjonsteknologiens virkningsgrad de neste ti årene, PEM-elektrolyse fra 56-60% til 63-68% og alkalisk elektrolyse fra 63-70% til 65-70%²².</p>	<p>Nøkkeltall</p> <p>Virkningsgrad 60% i lagring 60% i forbruk 36% totalt i syklus</p>
<p>Potensial for reduksjon av effektbehov</p> <p>Hydrogenproduksjon kan i teorien bidra til å ta ned topper i eksport av solenergi til nett. Hydrogen brukt i landbruksmaskiner vil «eliminere» problemer med effekttopper fra lading av elektriske maskiner dersom alternativet er batteridrevne landbruksmaskiner.</p>	<p>Nøkkeltall</p>
<p>Kostnader og lønnsomhet</p> <p>NEL (sitat DNVs hydrogenrapport 2019): Capex 2020: 6 000 kr/kW (PEM), uten installasjon Capex 2030: 3 500 kr/kW (PEM) Capex utgjør 12 øre/kWh i 2020 ved 50 000 brukstimer og null kapitalkostnad.</p>	<p>Nøkkeltall</p> <p>12 øre/kWh i avskrivning på utstyr. Kostnad på energitap 100-300 øre/kWh H₂ produsert.</p>
<p>Annet</p> <p>Produksjon og lagring av hydrogen knytter til seg sikkerhetsutfordringer på grunn av at hydrogen er en gass som er svært utsatt for lekkasjer og svært eksplosiv i kombinasjon med luft i lukkede rom.</p> <p>En hydrogen-basert gård eller lokale gårdssamfunn basert på hydrogen vil ikke bare ha store utfordringer med tanke på sikkerhet, men vil måtte bygge ut og drifte en komplisert og kostbar infrastruktur for produksjon, lagring, transport og bruk av hydrogen.</p> <p>Både produksjon og forbruk av hydrogen skaper store mengder varme. Dersom denne varmen kan benyttes direkte vil det ha store fordeler, hvis ikke, representerer den store tap av energi.</p>	
<p>Oppsummering - anbefalinger for videre arbeid</p> <p>Det er relativt usannsynlig at hydrogen blir en større del av energiløsningen for landbruket de nærmeste årene. Hydrogenproduksjon vil i Norge i første omgang skje i tilknytning til større behov i industrien, og produksjon fra naturgass med karbonfangst vil være mer konkurransedyktig enn elektrolyse.</p> <p>Bruk av hydrogen i landbruksmaskiner er på et veldig tidlig stadium, og det virker mer sannsynlig at batteridrevne maskiner med større eller mindre grad av autonomi vil være mer aktuelle enn maskiner som går på hydrogen.</p>	

²² Regjeringens hydrogenstrategi, 2020

4.9. Oppsummering energiforsyningsløsninger

I tabellen under er representative kostnadstall og klimagassutslipp for ulike energiforsynings- og lagringsløsninger oppsummert. Kostnadstallene er basert på ulike referanser og erfaringsdata, og det kan være store variasjoner og usikkerheter knyttet til tallene. Klimagassutslipp er i hovedsak hentet fra Ecoinvent v3.7. For biomasse viser utslippsintensitetene forskjellen på om man inkluderer biogent karbon eller ikke.

Tabell 4-6 Oppsummering av kostnader for ulike energiforsyningsløsninger

	Klimagassutslipp (kg CO ₂ e/kWh)	Varme- kostnad* øre/kWh	Strøm- kostnad* øre/kWh	Kommentar
Ved	0,051-0,423	Uavklart		Ecoinvent v3.7
Halm	0,051-0,423	Uavklart		Ecoinvent v3.7
Flis	0,051-0,423	60-100		Laveste kostnad er for et 420 kW anlegg på en gård til oppvarming av kyllingfjøs og korntørke med egenprodusert flis (Norges Vel 2018) og høyeste er for en 150 kW kjel, tørr flis. Levetid 20 år (NVE 2017). Utslippsintensitet fra Ecoinvent v3.7.
Pellets	0,051-0,423	100-120		Laveste kostnad er for 150 kW kjel og høyeste kostnad er for en 10 kW kjel. Levetid 20 år. Kilde: NVE (2017). Utslippsintensitet fra Ecoinvent v3.7.
Bioolje		150-195		Laveste kostnad er for 150 kW kjel og høyeste kostnad er for en 10 kW kjel. Levetid 20 år. Fra Energirapporten nr 28, 2021 viser høye priser på bioolje; 161 øre/kWh (HVO) og 172 øre/kWh (FAME). Kilde: NVE (2017).
Biogass	0,043-0,157	100-432		3 gårdsanlegg. 15 års levetid, kalkylrente 4%. Fratrasket 40% støtte fra Innovasjon Norge til investering i anlegg. Kilde: Lyng m.fl. (2019). Utslippsintensitet fra Ecoinvent v3.7.
Vind	0,012		110-160	Laveste kostnad er for en 225 kW mølle, og høyeste er for en 5 kW mølle. Levetid 20 år. Kilder: Wergeland (2017) og www.langorgenovre.no . Utslippsintensitet fra Ecoinvent v3.7 ved vindproduksjon <1MW.
Vann	0,006		10-70	Gjennomsnitt alle småkraftverk (søknader + restpotensial). Levetid: 40 år. Kilde: NVE (2015). Utslippsintensitet fra Ecoinvent v3.7.
Solceller	0,102		30-120	Laveste kostnad for anlegg på industri tak og store bakkemonterte solcelleanlegg. Høyeste kostnad er for mindre takmonterte anlegg (ca 10 kW _p) og noe dårlige solforhold. Kilder: Beregnet fra kostnadstall fra Solenergiklyngen (2021). Utslippsintensitet fra Ecoinvent v3.7 for 1 stk 3kWp panel fra et globalt marked, som er justert opp til 21 kWp ihht denne studien og dens spesifikke ytelse på 730 kWh/kWp. Levetiden er satt til 30 år. En norsk produsert solcelle er forventet å ha lavere utslippsintensitet.
Solvarme	0,012	75-300		Laveste kostnad er for et stort frittstående anlegg med 300 m ² solfangere, mens høyeste kostnad er for et lite tappevannsanlegg til enebolig, 12 m ² solfangere samt erfaringstall.

				Kilde: NVE (2017) og beregninger av Asplan Viak, se kapittel 4.5. Utslippsintensitet fra Ecoinvent v3.7.
Varmepumpe Grunnvarme (Ulike strømmikser)	EU: 0,129-0,138 Nordisk: 0,051-0,060 Norsk: 0,0275	45-60		Laveste kostnad er for en luft-vann varmepumpe på 150 kW og høyeste kostnad er for en grunnvarmepumpe på 10 kW (55°C). Levetid 15 år (luft-vann) og 20 år (grunn). Kilde: NVE (2017). Utslippsintensitet fra Ecoinvent v3.7 for varmepumper på 10kW med forskjellige strømmiks. COP er 3,9 for grunnvarmepumpen.
Varmepumpe Luft-vann (Ulike strømmikser)	EU: 0,180-0,192 Nordisk: 0,072-0,084 Norsk: 0,0385			Utslippsintensitet fra Ecoinventv3.7 for varmepumper på 10kW med forskjellige strømmikser. COP er 2,8 for luft-vann varmepumpen.
Batteri	83,4 per kWh lagringskapasitet		250-500**	Kg CO2/kWh lagringskapasitet. Utslippet er knyttet til produksjon av Li-ion batterier er basert på data fra LCA-studier av Li-ion batterier (Ellingsen et al., 2014; Ellingsen, Singh and Strømman, 2016; Ellingsen, Hung and Strømman, 2017; Ellingsen, 2020).
Hydrogen	0,187 per kWh komprimert H ₂		100-300**	kg CO2/kWh med hydrogen. Utslippsintensitet for produksjon av hydrogen med elektrolyse og kompresjon (til 350 bar) med nordisk strømmiks. Erfaringstall fra tidligere studier.

*LCOE - 'levelized cost of energy', årskostnader basert på 4% kalkylerente over levetiden.

**Anslag uten kalkylerente

Gjennom kapittel 4 er det blitt vurdert et utvalg av ulike teknologier for produksjon og lagring av varme og/eller elektrisitet som kan være aktuelle for gårdsbruk. Størrelse på behov for varme, kjøling og elektrisitet, og tidspunkt når behovene oppstår i tillegg til lokalt tilgjengelig energiresurser (f.eks. vindressurser, sol og treflis), vil være med på å legge føringer på den mest hensiktsmessige energiforsyningen. Driftssikkerhet og kompleksitet av teknologi samt behov for oppfølging vil også være faktorer som spiller inn.

Det er viktig å minne om at kostnader og lønnsomhet for energiproduksjon er avhengig av en rekke forhold eller forutsetninger som bør knyttes til kostnadstallene. Dette er bl.a.

- Bruktid på anlegget, (kapasitetsutnyttelse)
- Kalkulasjonsrente
- Verdsetting (prising) av egen tid for drift
- Brenselkostnader
- Sammenfall av energiproduksjon og eget energibehov over tid (gjerne over døgnet)
- Lokalt ressurstilgang (bl.a. vindressurser, lokale biomasseressurser, m.m.)
- Utnyttelse av egenprodusert el

Disse forutsetningene gjør at et anlegg av samme type vil kunne representere ulike kostnader og lønnsomhet avhengig av hvordan anlegget er tilpasset og drevet gårdsbruket for øvrig. Det er derfor ofte nyttig å gjøre en innledende mulighetsstudie for ulike teknologivalg før man vurderer investeringer nærmere.

5. FLEKSIBILITET OG STYRINGSSYSTEMER

I planlegging av energisystem er det maksimalt effektuttak som er dimensjonerende. Flere trender gjør at man forventer at maksimalt effektuttak vil øke framover. Det forventes at flere aktiviteter i landbruket vil gå over på strøm, og elektrifisering av transportmidler og maskiner vil kreve høye effekter til lading, som diskutert i kapittel 3.3.2. I tillegg til at effektbehovet forventes å øke, er det også økt utbredelse av uregulerbar lokal produksjon (hovedsakelig sol). Dette gir et mer komplekst bilde, med høyere variasjoner i produksjon og forbruk.

Å fortsette å dimensjonere etter ekstremisituasjonene framover vil kreve betydelige investeringer i nettet, og gjøre at man har et energisystem som er overdimensjonert store deler av året. For å redusere effekttoppene og dermed unngå eller utsette dyre investeringer, kan man utnytte fleksible ressurser i systemet (fleksibel produksjon, energilager og fleksible laster). Produksjon kan være fleksibel ved at man starter eller stopper produksjonen ut fra behov i nettet, man kan utnytte energilager for å lagre produsert strøm fra uregulerbar kraft til senere bruk, eller man kan utnytte fleksibilitet ved å skru av og på laster i systemet (forbrukerfleksibilitet).

For «nullutslippsgården» vil lokal strømproduksjon trolig komme fra solceller eller andre uregulerbare energikilder. Uregulerbar kraft produserer når sola skinner eller vinden blåser, og man har dermed ikke mulighet til å spare produksjonen til senere, slik man har for et vannkraftanlegg med magasin. Dersom overskuddsproduksjon skaper utfordringer for energisystemet, vil en fleksibilitetsløsning være å koble ut den lokale produksjonen, selv om dette ikke er ønskelig ut fra et nullutslippsperspektiv. Fleksibilitet i produksjonen er derfor ikke vurdert videre her. Energilager kan benyttes for å ta vare på overskudd fra lokal kraftproduksjon, eller innkjøpt energi fra nettet, for senere bruk (effektlager). Batterier er vurdert i kap 4.7. Dette kapitlet behandler i hovedsak fleksible laster / forbrukerfleksibilitet.

5.1. Forbrukerfleksibilitet

For strømmettet betyr forbrukerfleksibilitet at forbrukerne av strøm har mulighet og vilje til å endre strømforbruket ut fra situasjonen i nettet²³. Forbruket kan reduseres når det er høy belastning i strømmettet, og økes om belastningen er for lav. Med strømpriser og nettatariffer som varierer med belastningen i nettet vil denne typen lastendring også gi en økonomisk gevinst for sluttbrukeren.

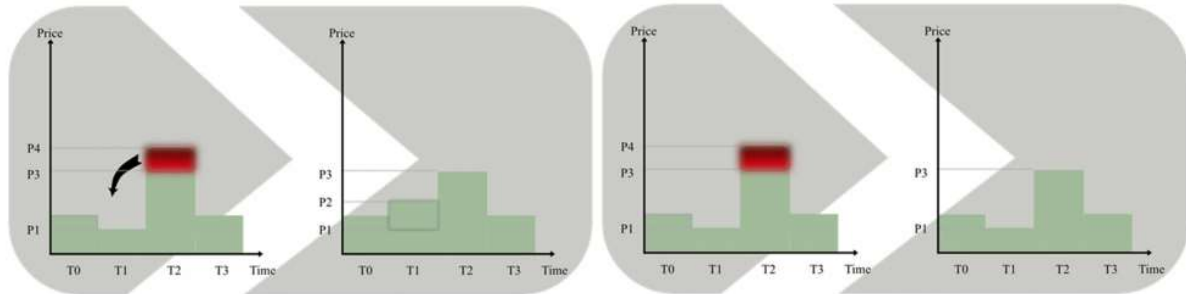
For et gårdsbruk kan utnyttelse av fleksibilitet ha flere formål, som kan være delvis overlappende: Fleksibilitet kan f.eks. ha som formål å utnytte mest mulig av evt. egenprodusert strøm, å ha lavest mulig effektuttak fra nettet (redusere makseffekt og dermed strømkostnader), å tilgjengeliggjøre effekt til annet bruk på gården, salg av effekt mot nettet, eller annet.

Sluttbrukerfleksibilitet kan ha ulike mekanismer, som er forklart under.

- *Lastflytting* (load shifting) betyr at man flytter lasten i tid, fra en periode med høyt effektbehov til en periode med lavere effektbehov. Dette kan gjøres f.eks. ved å forvarme et bygg slik at man kan slå av varmen når lasttoppen kommer, som vist til venstre i figuren under.
- *Lastreduksjon* (peak load shaving) betyr at man reduserer lasten, uten at man flytter den til senere tidspunkt, som vist til høyre i figuren under. Dette kan gjøres ved å skru av f.eks. lys eller utstyr.

²³ Forbrukerfleksibilitet - NVE

- *Lastøkning* (valley filling) er det motsatte av lastbarbering, ved at man øker lasten i perioder hvor effektbehovet er lavt og strømmen er billig, eller man har overskudd av lokal produsert strøm. Eksempler på dette kan være hvis man har to parallelle oppvarmingskilder (en termisk og en elektrisk), som kan brukes om hverandre.



Figur 5-1 Eksempler på lastflytting ('load shifting'), til venstre og lastreduksjon ('load shaving'), til høyre²⁴.

Fleksible laster kan enten være laster der en hel aktivitet flyttes i tid, dvs. at man kan endre starttidspunktet, men når aktiviteten har startet, kan den ikke stoppes eller pauses ('shiftable atomic loads'²⁵). Eksempler på dette er husholdningsapparater som vaskemaskiner, tørketromler og oppvaskmaskiner. Andre laster kan kobles ut i et kortere tidsrom, for så å kobles inn igjen ved et senere tidspunkt, uten at det merkes på komfort eller funksjon hos sluttbrukeren. Eksempler på dette er lading av elbiler (ikke hurtiglading), varmekabler eller kjøleanlegg.

For å oppnå effektutjevning ved hjelp av fleksible laster kreves en form for styring. Styring av fleksible laster kan skje på ulike måter; fra manuelle endringer av aktiviteter og arbeidsoppgaver i drift, til lokale enkle styringssystemer, til mer avanserte sentrale styringssystemer som håndterer automatisk inn- og utkobling basert på f.eks. signaler fra nettet, og prognoser for produksjon og forbruk.

For å få lønnsomhet i forbrukerfleksibilitet er det avgjørende med effekttariffer, slik at det blir en faktisk økonomisk gevinst ved å redusere maksimalt effektuttak. Videre er det i dag individuell avregning for hver kunde (strømmåler), noe som ikke insentiverer balansering på nabolagsnivå. Det vil si at dersom overskudd fra lokal produksjon bak måler A skal dekke forbruk bak måler B innenfor samme område, må energien selges til nettet fra måler A og kjøpes fra nettet hos måler B. I kapittel 5.3 er felles avregning for et område / mikronett beskrevet.

Et pilotprosjekt på å analysere strømforbruk for bedre energituttak og energistyring ble gjennomført av NTE og AiA Science i 2018, og resultater og erfaringer fra dette prosjektet blir viktige å ta med seg inn i arbeidet med nullutslippsgården²⁶.

5.2. Flexibilitet på «nullutslippsgården»

Forbrukerfleksibilitet kan bidra til reduksjon av klimagassutslipp på flere måter; bl.a. ved å unngå eller utsette investeringer i nettet, ved å bidra til økt utnyttelse av egenprodusert strøm, eller ved å tilgjengeliggjøre effekt til andre formål, og støtte overgangen fra fossil til elektrisk energi.

²⁴ [ZEN Report no 27 \(fmezen.no\)](https://www.fmezen.no)

²⁵ [How to estimate flexibility potential of household appliances? \(To reduce peak load\) - #SINTEFblog](#)

²⁶ Presentasjon «NTE Prediksjon og optimalisering strømforbruk»

For å vurdere potensialet for fleksibilitet på fremtidens nullutslippsgård, vil første steg være å få oversikt over hvordan totale effektprofiler ser ut over døgnet / uka / året. Hvilke tidspunkter er det totale effektbehovet størst, og når er det behov for å redusere effekttoppene?

Videre trenger man å få en oversikt ulike typer laster på gården; hva er effektbehov og varighet for de ulike lastene, i dag og i fremtiden? Hvilke laster er fleksible, hvilke kan flyttes på i tid, og hvilke kan kobles ut i kortere perioder?

5.2.1. Potensiale for fleksibilitet på Mære - i dag

Som en del av konseptutredningen ble timesprofiler fra januar 2020 til våren 2021 for strømmålerne på Mære gjennomgått, for å identifisere effekttopper og for å identifisere muligheter for lastflytting / fleksibilitetstiltak.

Som vist i Figur 3-3 på side 17 er det veksthuset, hybel- og administrasjonsbygningene, og elektrisk effektbehov til energisentralen som bidrar mest til samlet effekttopp for alle strømmålerne. En oppsummering av resultatene fra gjennomgangen er gitt under.

Veksthuset

Høyeste effekt for de to målerne på veksthuset til sammen var på ca 400 kWh/h. Det er vekstlysene som bidrar mest til de høye effektene i glasshuset. Vekstlysene følger naturlig lysfase og er sensorstyrt, ut fra dagslyset, med 6 timer natt. Det vil si at det de mørkeste månedene av året kreves høy effekt over mange timer for å ha nok lys, mens det om sommeren kun er behov for ekstra tilført lys noen timer om morgen og kveld. Vekstlysene kan ikke skrus av i korte perioder, da plantene må ha kontinuerlig lys. Tidspunkt for natt kan forskyves noe, men eventuell gevinst av det må sees opp mot produksjonsmessige konsekvenser.

Bygg/måler	Fleksibel ressurs	Effekt (kW)	Fleksibelt av/på i korte perioder?	Fleksibelt i tid?	Kommentar
Veksthus	Vekstlys	10-350	Nei	Noe?	Evt. nytte må sees opp mot produksjonsmessige konsekvenser
	Varmtvannsbereder	Lite	Ja	-	Til klasserom

Hybelbygg, kantine og administrasjonsbygg

Dette er en måler som består av mange bygg og mange forbrukere. Høyeste effekttopp for perioden var på drøyt 200 kWh/h. Av dette utgjorde ABC-bygget ca 120 kWh/h. Videre er det en elkjel i hybelhuset på 60 kW og varmtvannsbereder som antakelig også bidrar til effekttoppene. Mulige fleksible laster i ABC-bygget er varmtvannsbereder og ventilasjonsanlegg. Størrelsene på disse er vist i tabellen under.

Bygg/måler	Fleksibel ressurs	Effekt (kW)	Fleksibelt av/på i korte perioder?	Fleksibelt i tid?	Kommentar
Hybelhus	Elkjel	60	Ja	-	Til varmesystemet?
	Varmtvannsbereder	5-10	Ja	-	
ABC-bygget	Varmtvannsbereder	15	Ja	-	
	Ventilasjonsanlegg	Maks 32	?		Kan vurderes?

Melkefjøs

Høyeste målte timeseffekt for måleren på melkefjøsset viste drøyt 70 kWh/h. Grunnlasten i melkefjøsset består av lys, oppvarming, noe gulvvarme, elkjel, melkerobot og varmepumpe, mens effekttoppene som typisk opptrer 1-2 timer per dag er forblendere. Det er to forblendere i melkefjøsset, på 38 kW hver, og foret blandes en gang per dag. Forblandingen kan flyttes i tid, eventuelt kjøre en om gangen, men dette må i så fall tilpasses arbeidsdagen i fjøsset.

Bygg/måler	Fleksibel ressurs	Effekt (kW)	Fleksibelt av/på i korte perioder?	Fleksibelt i tid?	Kommentar
Melkefjøs	Forblendere	2x 38	Nei	Ja	
	Gulvvarme	Lite	Ja		
	Elkjel	9	Ja		Til hva?

Ammekufjøs

I ammekufjøsset var høyeste effekttopp i perioden på i underkant av 50 kWh/h. Også her bidrar forblenderen, med en makseffekt på 25 kW, mens gjødseltrekk bidrar med 7 kW to ganger om dagen. Høytørking på låven har også bidratt til høye effekter om sommeren.

Bygg/måler	Fleksibel ressurs	Effekt (kW)	Fleksibelt av/på i korte perioder?	Fleksibelt i tid?	Kommentar
Ammekufjøs	Forblender	25	Nei	Ja	
	Høytørking				Mulighet for å endre fra strøm til vannbårent system?

Grisfjøs

I grisfjøsset var høyeste effekttopp i perioden 24 kW. Effektprofilen består av en grunnlast på 6-7 kW med høyere dagtopper. Lastene her er lys, kontorutstyr, dusjer og garderober, foringssystem, pumper og motorer. Grisfjøsset har vannbåren oppvarming fra energisentralen. Mulige fleksible laster kan her være gulvvarme og varmtvannstank.

Bygg/måler	Fleksibel ressurs	Effekt (kW)	Fleksibelt av/på i korte perioder?	Fleksibelt i tid?	Kommentar
Grisfjøs	Gulvvarme	Lite	Ja	-	
	Varmtvannsbereder		Ja		

Stall

Stallen er et nytt bygg med solceller på taket. Stallen har et relativt lavt forbruk, og har overproduksjon fra solceller. Her kunne batteri for å utnytte mer av egenprodusert strøm over døgnet vært et aktuelt tiltak. Dette må sees i sammenheng med arbeid med mikronett på Mære (se kap. 5.3).

Bygg/måler	Fleksibel ressurs	Effekt (kW)	Fleksibelt av/på i korte perioder?	Fleksibelt i tid?	Kommentar
Stall					Batteri for økt utnyttelse av egenprodusert energi

Energisentral

Høyeste effekttopp i energisentralen ble funnet til å være over 100 kW. Dette kunne sees som en topp før midnatt, som en forberedelse til temperaturøkning i veksthuset tidlig om morgenen. Det har vært begrenset tilgjengelighet på informasjon om og data fra energisentralen i konseptutredningen. I gjennomgangen ble det identifisert høye returtemperaturer, og det anbefales en gjennomgang av systemet for å optimalisere driften og dermed redusere behov for tilført spisslast.

Bygg/måler	Fleksibel ressurs	Effekt (kW)	Fleksibelt av/på i korte perioder?	Fleksibelt i tid?	Kommentar
Energisentral	Spisslastkjel				Bedre utnyttelse av systemet kan redusere behov for spisslast.

Oppsummert kan følgende fleksibilitetstiltak vurderes på Mære:

- Mulighet for flytting av laster i tid
 - Veksthuset: Forskyve tidspunkt for natt for vekstlys hvis hensiktsmessig?
 - Melkefjøs: Forblander
 - Ammekufjøs: Forblander
- Fleksible laster som kan kobles ut i kortere perioder (krever en form for styring)
 - Mindre laster i flere av byggene (varmekabler, varmtvannsberedere og elbil)
- Mulighet for å endre energibærere?
 - Ammekufjøs: Høytørking, varme
- Batteri for å utnytte mer egenprodusert solenergi i stallen / på området
- Potensiale for optimalisering av termisk system - redusere effektbehov for spisslastkjel

5.2.2. Flexibilitet på framtidens 'nullutslippsgård'

Det forventes at flere aktiviteter i landbruket vil gå over på strøm, og i tillegg vil elektrifisering av transportmidler og maskiner kreve høye effekter til lading. Dette vil kunne gi et helt annet bilde for effektprofilene for de ulike gårdbrukene enn det vi ser i dag. I en situasjon med utstrakt elektrifisering av aktiviteter og transportmidler vil man se større variasjoner i effektbehov over døgnet, og behovet for samspill og styring øker.

Aktuelle fleksibilitetstiltak på framtidens elektrifiserte gård kan bl.a. være:

- Batteribank for å redusere effekttoppene ved hurtiglading av transportmidler / traktorer
- Systemer for prognosering av lokal strømproduksjon, og tilpasning av forbruk basert på produksjonen
- Sentrale styringssystemer som håndterer automatisk inn- og utkobling basert på f.eks. signaler fra nettet, og prognoser for produksjon og forbruk.

5.3. Mikronett

Lokal energiproduksjon er et viktig element i å komme nærmere målet om 'nullutslippsgården'. NTE, Trøndelag Fylkeskommune og Tensio samarbeider for å synliggjøre et alternativ for dagens nettløsning på Mære, for å optimalisere samspillet mellom forbruk, produksjon og lagring.

Per i dag forsynes Mære fra tre nettstasjoner, med til sammen 11 forskjellige målepunkt. Med dagens regulering når ikke lokalt produsert og lagret energi frem dit den trengs, men overskudd må mates inn på lavspennetnettet. Mange målere gir unødvendig store kostnader for skolen, og det er vanskelig å styre og optimalisere. En helhetlig kartlegging og energiflyt er viktig med tanke på utnyttelse av egenprodusert energi.

Det er i utgangspunktet strenge reguleringer fra Reguleringsmyndigheten for energi (RME). Regelverket tar utgangspunkt i prinsippet om individuell avregning, men er positive til pilotprosjekter innen mikrogrid, gitt at netteier ser elementer i prosjektet med positiv verdi for dem. Effekttutjevning mellom bygg kan være et eksempel som kan gi positive verdier for netteier.

I aktiv samhandling med Tensio simuleres det på hvordan Mære landbruksskole kan optimalisere lavspennetnettet for best mulig utnyttelse av lokal produsert og lagret energi. Samtidig er det et mål om å spare penger på færre antall nettabonnenter (mindre antall målere) og lavere strøm- og effektkostnader.

I den skisserte framtidige løsningen for Mære er det foreslått at man skal gå over til to avregningspunkt på Mære; ett for 230 V IT forsyning og ett for 400 V TN forsyning. Mære lvs vil da selv eie det interne forsyningsnettet bak målerne, og kan på den måten distribuere egenprodusert energi på området mellom byggene på Mære.

Med et mikronett som skissert over vil man bedre kunne utnytte lokal produsert og lagret energi, gjennom at det blir mer lønnsomt for driften på Mære. Videre kan man redusere effektopper, både på forbrukssiden, og ved eventuell overproduksjon av strøm fra solceller, ved å optimalisere forbruk, produksjon og lagring. Dette krever bruk av mer avanserte styringssystemer.

For nettselskapet vil en slik løsning være et første steg for å tilrettelegge for mer utjevning og tilpasning av forbruket internt på Mære, og det vil dermed kunne bidra til å redusere effektoppene, og tilby fleksibilitet til nettet på sikt.

5.4. Styringssystemer

For å oppnå effekttutjevning ved hjelp av fleksible laster, energilagring og lokal strømproduksjon kreves en form for styring. En optimalisering av energisystemet lar seg gjøre gjennom styringssystemer knyttet til målinger av produksjons-, lager- og forbruksenheter. Dette har det vært jobbet med på FME ZEN-piloten Campus Evenstad, og erfaringer herfra blir viktige å ta med seg i arbeidet med 'nullutslippsgården'.

På Campus Evenstad er det, i tillegg til strømmettet, fire kilder til energiforsyning: solceller, kombinert kraft- og varmeproduksjon (CHP) basert på bioenergi, solfangere og biokjel. Det er også en elektrokjel og panelovner som forsynes med strøm fra nettet, og tre kilder til energilagring: akkumulator til varmenett og solfangeranlegg, varmtvannstanker og stasjonært batteri. Det er også en bidireksjonal ladestasjon for elbiler (vehicle to grid, V2G).

For å redusere topplaster er det her planer om driftsoptimering av energisystemet for å øke selvkonsum, gjennom styringssystemer knyttet til målinger av produksjons- og forbruksenheter.

Momentene under for utvikling av styringssystem er hentet fra ZEN-rapport no. 17-2019 (Backe et.al. 2019):

- Data bør logges med timesoppløsning fordelt på ulike bygg, enheter og energitjenester

- For å håndtere data til analyser og styringssystemer bør de mest relevante målingene samles i ett felles system med timesoppløsning. Relevante data kan være: netto strømimport, strømproduksjon fra ulike enheter, varmeproduksjon for ulike enheter, bygningsinndelt energiforbruk (strøm og varme)
- Bruke værprognoser for å produsere produksjon- og forbruksprognoser. Disse kan brukes til driftsoptimalisering gjennom planlagt lading av batteri og elbiler eller foroppvarming av rom og vann for å oppnå energimål (f.eks. redusere effektopper, minimere kostnader el.l.)

5.5. Oppsummering fleksibilitet og styringssystemer

Man kan redusere effektopper ved å utnytte fleksibilitet gjennom reduksjon eller flytting av laster og evt. bruk av batteri som energi- eller effektlager. Styring av fleksible laster kan skje på ulike måter; fra manuelle endringer av aktiviteter og arbeidsoppgaver i drift, til lokale enkle styringssystemer, til mer avanserte sentrale styringssystemer.

Basert på en gjennomgang av timeverdier for strømforbruk på Mære ble det identifisert noen mulige fleksibilitetstiltak som kan vurderes allerede i dag.

- Forblandere: kan disse kjøres på lavere effekt over lengre tid, eller unngå samtidighet i kjøring, evt. kan aktiviteten flyttes samlet i tid?
- Høytørking: mulighet for å endre energibærer
- Varmekabler, varmtvannsberedere, elbillader: Fleksible laster som kan kobles ut i kortere perioder (krever styring)
- Evt. bruk av batteri for å utnytte mer egenprodusert solenergi

Lønnsomhet av disse tiltakene vil avhenge av utforming av effektprising (se kap. 6.1), og må vurderes opp mot produksjonsmessige konsekvenser.

For framtidens elektrifiserte gård vil man se større variasjoner i effektbehov over døgnet, og behovet for samspill og styring øker. Aktuelle tiltak her kan være:

- Bruk av batterier som effektlager
- Prognosering av produksjon og tilpasning av forbruk
- Sentrale styringssystemer

6. KOSTNADER FOR ENERGI OG EFFEKT

6.1. Tariffmodeller for gårdsbruk og endringer i nettleie

Som beskrevet i innledningen i kapittel 5 vil elektrifiseringen av samfunnet medføre høyere effekttopper, og behov for betydelige investeringer i nettet. Alle kostnadene for strømmettet betales av nettkundene gjennom nettleien. Investeringer i nettet vil dermed føre til høyere nettleie for husholdninger og næringsliv. Ved å flytte noe av forbruket til perioder med mindre belastning på nettet, vil man kunne unngå eller utsette noen av disse investeringene. Med dette som bakgrunn, foreslo Reguleringsmyndigheten for energi i NVE (RME) å endre strukturen i nettleien i Norge, med forslag om at effektbruk bør koste mer, og energibruk koste mindre (RME 2020).

Regjeringen har vedtatt å innføre effektbaserte tariffer i distribusjonsnettet, og forskriftsendringer vil tre i kraft fra 1. januar 2022. For kunder med et forbruk under 100 000 kWh per år, skal fastleddet i nettleien differensieres etter effekt slik at kunder med et større effektbehov får et høyere fastledd enn de med lavt effektbehov. Kunder med årlig forbruk over 100 000 kWh kan fortsatt ha et eget effektledd i nettleien som i dag. Det variable energileddet i nettleien kan for alle kunder i distribusjonsnettet ha et påslag når nettet er høyt belastet. Hvordan fastleddet skal differensieres er opp til nettselskapene, og kan for eksempel baseres på kundens høyeste målte forbrukstopp i forrige periode eller kundens sikringsstørrelse (OED 2021).

Ettersom det er opp til hvert enkelt nettselskap å lage prismodeller for sitt distribusjonsnett, er det fortsatt uklart hvordan dette vil slå ut for ulike gårdsbruk. De nye tariffene er imidlertid utformet slik at de skal gi økonomiske insentiver til å redusere effekttoppene.

Norges Bondelag (2020) skriver at for gårdsbruk som allerede i dag er effektmålt, legger man til grunn høyeste effektuttak per måned. For disse vil endringen kunne slå positivt ut ved at høy belastning over kortere tid gir en rimeligere pris sett i forhold til faktisk belastning på nettet. For gårdsbruk der man per i dag ikke har effektprising vil det være vanskelig å si hvordan ny utforming av nettleie vil slå ut. Vi har heller ikke statistikk som viser hvor utbredt effektprising er i dag (Norges Bondelag 2020).

Tariffordning for fleksibelt (utkoblbart) forbruk, som bl.a. mange gartnerier benytter i dag, vil fases ut innen 2022 fra Statnett sin side. Mange nettselskaper har benyttet Statnetts tilbud av utkoblbart forbruk til kunder i sitt nett. Dette er en ordning som gjør at nettselskapet ved avtale med kunden kan koble ut forbruket til kunden på kort varsel. Forutsetningen for en slik avtale er bl.a. at kunden har en back-up-løsning ved eventuelle utkoblinger. Bakgrunnen for at dette avvikes fra Statnett sin side er et ønske om å benytte markedsbaserte produkter ved utkobling (Statnett 2019 og Statnett 2020). En endring av denne ordningen vil kunne gi en markant økning i tariffen for kunder som i dag har denne løsningen. Hvordan de regionale nettselskapene utformer den nye tariffen for disse kundene er ennå ikke klart, men det er sannsynlig at nettleie for disse kundene vil øke.

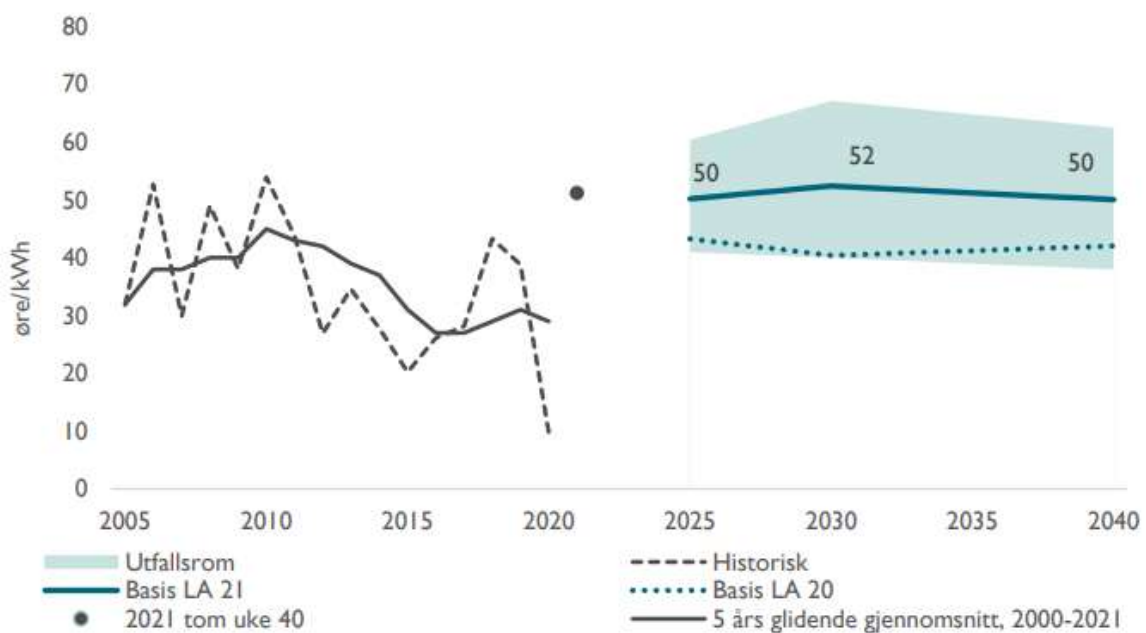
6.2. Kraftpriser i dag og i fremtiden

Thema Consulting leverte i 2020 en rapport om utviklingen i kraftforbruket i Norge og Trøndelag fram mot 2050, skrevet på oppdrag for NTE (Thema 2020). Her anslås det at kraftforbruket vil øke med rundt 33 TWh i året fram mot 2050 hvis man skal fullelektrifisere dagens fossile energibruk. Dersom aktiviteten i industrisektoren også øker, anslås det at etterspørselsveksten bli dobbelt så høy. Situasjonen for Trøndelag beskrives som tilsvarende som for Norge som helhet. For å oppnå et utslippsfritt energisystem i Trøndelag

estimeres det at kraftforbruket må øke med nesten 5 TWh årlig. I tillegg anslås det en ytterligere vekst i forbruket på 2,6 TWh i et scenario med vekst i industrisektoren. Eksisterende og planlagt produksjonskapasitet i Trøndelag er tilstrekkelig for å møte etterspørselsveksten fram til 2030. For å oppnå fullelektrifisering i 2050 vil forbruket derimot være rundt 3 TWh høyere enn produksjonen dersom det ikke bygges ny produksjonskapasitet i Trøndelag. I scenarioet med industrivekst vil forbruket være 6 TWh høyere enn produksjonen.

NVEs langsiktige kraftmarkedsanalyse 2021-2040 (NVE 2021) peker mot at vi kan forvente høyere kraftpriser i Norge framover enn det vi har sett historisk. Dette kommer blant annet av at utvekslingskapasiteten mellom Norden og Europa øker, og at det forventes en vedvarende høy CO₂-pris i årene framover. Prisenivået i årets analyse ligger rundt 10 øre/kWh høyere gjennom hele analyseperioden enn det som var anslått i analysen fra 2020. Det kommer hovedsakelig av at CO₂-prisen har endret seg som følge av EUs oppjusterte utslippsmål.

Figuren under viser historiske kraftpriser og utvikling i gjennomsnittlig årlig kraftpris i Norge i basisbanen fra 2025 til 2040, med et utfallsrom som er gitt av høyere og lavere brensel- og CO₂-priser. Kraftprisene øker mot 2030, men faller på lengre sikt i takt med at den fornybare produksjonen i Europa øker.



Figur 6-1 Historiske, årlige gjennomsnittskraftpriser i Norge (grå linje) og vektet gjennomsnittlig norsk kraftpris fra 2025 til 2040 i NVEs basisscenario for 2021 (LA 21, blå heltrukken linje) og fjorårets analyse (LA 20, blå stiplet linje). Kilde: NVE (2021).

6.3. Støtteordninger og insentiver fra det offentlige

Innovasjon Norge har et eget program for landbruket, kalt 'Verdiskapingsprogrammet for fornybar energi og teknologi i landbruket'²⁷. Programmet har tre satsingsområder: fornybar energi i landbruket, introduksjon av nye produksjonsteknologier og produksjon av

²⁷ <https://www.innovasjonnorge.no/no/tjenester/landbruk/finansiering-for-landbruket/fornybar-energi-i-landbruket>

brenselstoff. Det gis både investeringsstøtte og støtte til kompetanse- og utviklingsprosjekter. Innenfor området gårdsvarmeanlegg gis det f.eks. investeringsstøtte til bioenergi, solenergi, varmepumper og varmegjenvinning. Dette kan støttes med maks 35% av kostnadene, og maks 1 mill. kroner. Det gis også støtte til nye løsninger for biogass-, biokull- og kraft/varmeanlegg, og her kan det søkes om støtte for inntil 45% av investeringen, eller maks 8 mill. kroner.

Landbruksdirektoratet har en støtteordning for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegg²⁸. Det gis et tilskudd på 833 kroner per tonn levert husdyrgjødsel, vektet for tørrstoffinnholdet i gjødselen.

Enova tilbyr også flere støtteordninger som kan brukes i landbruket. Dette gjelder bl.a. støtten til energiltak i boliger²⁹, ny teknologi i energisystemet³⁰, samt støtteprogrammet til prosjekter innen fjernvarme og -kjøling³¹.

²⁸ <https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/jordbruk/ordninger-for-jordbruk/tilskudd-for-a-levere-husdyrgjodsel-til-biogassanlegg>

²⁹ <https://www.enova.no/privat>

³⁰ <https://www.enova.no/bedrift/innovasjon-og-klimateknologi/>

³¹ <https://www.enova.no/bedrift/energisystem/fjernvarme-og-fjernkjoling/>

7. TILTAKSPAKKER FOR ULIKE TYPER GÅRDSBRUK

Siden energi- og effektbehovet varierer mye avhengig av type gårdsbruk, utstyr og prosesser (som vist i kapittel 3.1), er det vanskelig å gjøre beregninger på generelle tiltakspakker som passer for alle typer gårdsbruk. I dette kapitlet er det først kvalitativt oppsummert noen generelle tiltak som kan vurderes for ulike gårdsbruk, før det er vist beregninger for ulike tiltak for utvalgte eksempelgårder i Trøndelag.

7.1. Generelle tiltak

For energieffektivisering av landbruksbygg kan følgende tiltak vurderes:

- Etterisolering og lufttetting av bygningskroppen
- Regelmessig rengjøring og vedlikehold av spjeld og luftinntak, pumper og vifter
- Ikke ha høyere temperatur enn nødvendig
- Samregulering av ventilasjon og varme
- Frekvensstyrte vifter og pumper
- Naturlig ventilasjon av melkefjøs
- Utnytte overskuddsvarme fra prosesser
- Installere varmegjenvinning
- Utnytte naturlig lys (dagslys)
- Styre belysningen og oppvarming/kjøling/ventilasjon etter behov, og evt. dele opp i egnede soner med separat styring
- Skifte til LED-lys

Deleløsninger som felles innkjøp av og deling av maskiner og utstyr mellom gårder er allerede i bruk i noen områder, og er et godt tiltak for å redusere både investeringer og klimagassutslipp.

Når det kommer til lokal energiproduksjon / skifte av energibærer, er biobrenselanlegg for varmeproduksjon, varmepumpeanlegg og solceller for strømproduksjon de mest modne teknologiene å vurdere. Merk at det for bioenergi er store usikkerheter knyttet til estimering av klimaeffekten, som diskutert i innledningen i kap. 4.1.

Nye tariffmodeller for nettleie vil gjøre at effekt vil bli dyrere fra 2022. Det er opp til hvert enkelt nettselskap å lage prismodeller for sitt distribusjonsnett, så er det fortsatt uklart hvordan dette vil slå ut for ulike gårdsbruk. De nye tariffene er imidlertid utformet slik at de skal gi økonomiske insentiver til å redusere effekttoppene. Man kan redusere effekttopper ved å utnytte fleksibilitet gjennom reduksjon eller flytting av laster og evt. bruk av batteri som energi- eller effektlager. Et første steg i denne retningen vil være å starte med å få oversikt over effektprofiler på gården, for å identifisere laster som bidrar til effekttopper, og vurdere mulige tiltak for å redusere disse.

Melkegårder bruker i hovedsak elektrisk energi til maskiner og utstyr, inkludert oppvarming av vann. Et melkefjøs trenger ikke tilført energi til oppvarming i dyrerommet og kan klare seg uten tilført energi til ventilasjon hvis bygningen utformes for dette (kaldfjøs, naturlig ventilert). Det ser ut til å være stor variasjon i energibruken til norske melkegårder.

Kyllingproduksjon er varmekrevende, og krever også en del elektrisk energi til drift av ventilasjonsanlegg. En stor del av energien til kyllingproduksjon dekkes i dag av fossilt

brensel, spesielt propan. Varmegjenvinning og omlegging til fornybar varme (biobrensel) fremstår som aktuelle tiltak.

Svineproduksjon (smågrisproduksjon) krever forholdsvis mye energi til oppvarming og en del til ventilasjon. Det ser ut til å være et stort potensial for reduksjon av energibruken gjennom å ta i bruk varmegjenvinning i kombinasjon med god utforming av fjøset.

Kornproduksjon har et stort energibehov i en kort periode på høsten (august/ september), da kornet tørkes etter innhøsting. På gårdstørkene (varmlufts-tørker) har for en stor del diesel vært brukt som varmekilde. Kornproduksjon kombineres ofte med grise- og/eller kyllingproduksjon, og det er da et potensiale for å benytte fornybar varme (biobrensel, f.eks. halm som energiressurs).

Veksthus har et stort varmebehov i vinterhalvåret, og krever også forholdsvis mye energi til belysning. Brorparten av energibehovet i norske veksthus dekkes i dag ved elektrisitet. Det er et stort potensial for energieffektivisering ved riktig utforming av drivhuset (materialvalg, soning), bruk av energieffektiv belysning, og varmelagring.

7.2. Eksempelgårder

For å beregne effekt av tiltak som kan gjøres på gårdene for å redusere energibruk og klimagassutslipp, har vi tatt utgangspunkt i utvalgte gårder i Trøndelag som 'eksempelbruk'. Her har vi fått tilgang til energibruksdata (timesdata) via NTE, og har foretatt intervjuer med gårdbrukerne. Eksempelbrukene omfatter en melkegård, et kyllingfjøs, og en svinegård.

For eksempelgård 1 (melkegård) er det gjort beregninger på tre tiltak; 1) oppgradere belysning i fjøset til LED, 2) lokal strømproduksjon fra solceller på taket, og 3) bytte til elektrisk forblender. Resultatene er vist i kap. 7.2.1.

For eksempelgård 2 (kyllingfjøs) er det gjort beregninger på tre tiltak; 1) Varmegjenvinning på ventilasjonsluften, 2) erstatte propanforbruk med biobrensel, og 3) lokal strømproduksjon fra solceller på taket. Resultatene er vist i kap. 7.2.2.

For eksempelgård 3 (svinegård) er det gjort beregninger på tre tiltak; 1) Etterisolering av bygget, 2) lokal strømproduksjon fra solceller på taket, 3) Oppgradere belysning til LED. Resultatene er vist i kap. 7.2.3.

Faktorer som er lagt til grunn for klimagassberegningene er vist i Tabell 7-1.

Tabell 7-1 Utslippsfaktorer pr energibærer gCO₂e/kWh med kilder

Energikilde	gCO ₂ e/kWh	Kostnad kr/kWh
Elektrisitet	119 ³²	1 ³³
Propan	241 ³⁴	0,54 ³³
Diesel	265 ³⁵	16,06 ³³
Pellets	51 ³²	0,45 ³³
Halm	51 ³²	0,55 (tall fra bonde)

³² Ecoinvent v.3.7, med antakelse om klimanøytral bioenergi.

³³ Energirapporten, Nr 18 - 2021

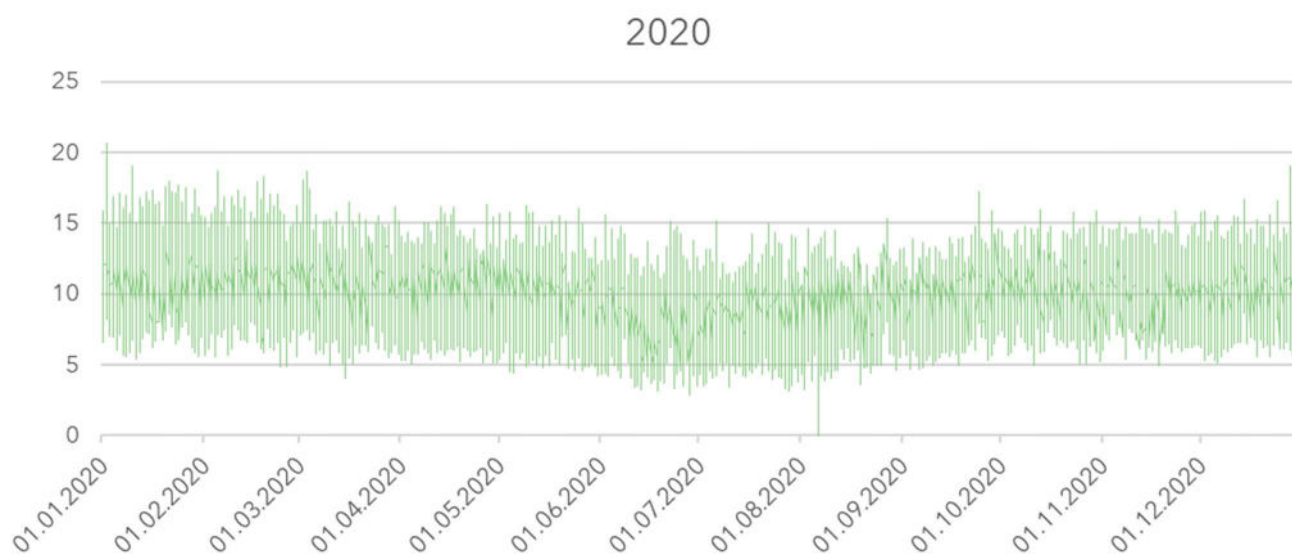
³⁴ «Klimaregnskap for fjernvarme 2020 - Felles utslippsfaktorer for den norske fjernvarmebransjen - oppdatering 2020», 1.juni 2020, Norsk Energi

³⁵ National Inventory report 2021, Miljødirektoratet

7.2.1. Eksempelbruk 1: Melkegård

Eksempelbruket med melkeproduksjon har 140 dyr, hvor av 40 av disse er melkekyr og har en melkekvote på 360 000 liter melk i året. Driftsbygningen er et isolert bygg bestående av to deler, en del fra 1950-tallet, renoverert i 2007 med trekonstruksjon, og en nyere del fra 2006 med betongelement konstruksjon. Det går ikke noe energiforbruk til oppvarming av dyrerommet, siden kyrne produserer mye varme selv (mellom 700 - 1000 W for voksne dyr).

Elektrisitetsforbruket i fjøset er knyttet til belysning, varmtvann, ventilasjon med mekanisk avtrekk og utstyr. Varmtvannet blir varmevekslet med spillvarmen fra melketanken før det går inn i varmtvannsberederen, dette reduserer behovet for elektrisitet til oppvarming av vann. I tillegg blir det brukt diesel til forblander og minilaster for å kjøre ut foret, elektrisitetskurven for gården er vist i Figur 7-1.



Figur 7-1 Elektrisitetskurve for melkegård over et år.

Tabell 7-2 Nøkkeltall for melkegården

Størrelse fjøs, m ² BRA	Antall dyr	Årlig melkeproduksjon, liter	Årlig totalt elektrisitetsbruk, kWh/år	Årlig spesifikt elektrisitetsbruk, kWh/m ²	Årlig spesifikt elektrisitetsbruk, kWh/liter melk	Årlig totalt forbruk av diesel, kWh	Årlig spesifikt forbruk av diesel, kWh/liter melk	Årlig klimagassutslipp [tonnCO ₂ e]
1220	140	360 000	82 200*	67	0,23	160 500 - 171 000 *	0,44 - 0,47 *	42,5 - 45,4

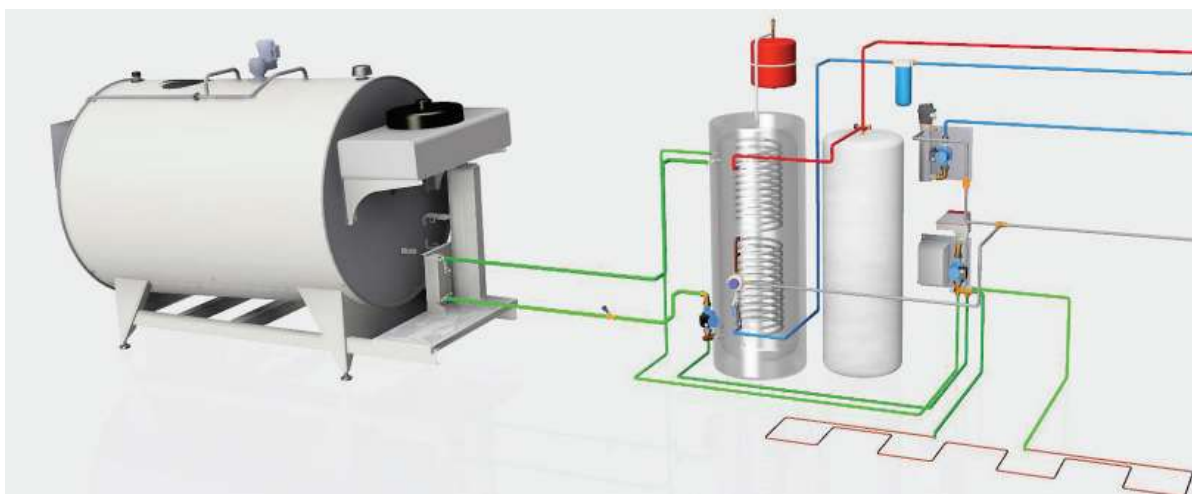
*inkluderer maskiner til kornproduksjon (traktor, trøske)

Varmegjenvinning fra melketank

Det er allerede installert varmegjenvinning fra melketanken. For å vise effekten av dette har vi hentet et eksempel på besparing fra varmegjenvinning fra melketanken fra Skala³⁶. Her benytter systemet platevarmeveksleren som er på melketanken til å varmeveksle vann i en lukket krets inn på en akkumulatortank. Fra akkumulatortanken kan energien hentes ut og benyttes til å forvarme vann til varmtvannsberederen, oppvarming av besetningens

³⁶ Skala fabrikk, Varmegjenvinning

drikkevann og til vannbåren varme i gulv eller radiatorer. Prinsippet for varmevekslingen er vist i Figur 7-2.



Figur 7-2 Prinsippkisse for varmeveksling for melketank (Kilde: Skala fabrikk).

De har også gjort en eksempelberegning for å vise potensialet for besparelse ved bruk av varmegjenvinner, ved en strømpris på 0,90 kr/kWh, vist i Tabell 7-3.

Tabell 7-3 Regneeksempel på innsparing med varmeveksler fra Skala fabrikk.

Melkemengde i liter		Innsparing	
Pr. år	Pr dag	kWh/døgn	Kroner/år
200 000	550	19	6 200
400 000	1 100	35	12 500
600 000	1 650	57	18 700

Tiltakene som er beskrevet nedenfor er sett på hver for seg.

Tiltak 1: Oppgradere belysning

Det er ikke noe energi som går til oppvarming av fjøset, det vil derfor være tiltak som reduserer elektrisitetsbehovet som er aktuelle å se på. Det er i dag standard lysstoffrør i bygget, det er 44 lys på 2x60W. 50% av lyset blir styrt av et astrour, mens de resterende 50% av lysene er på når det fjøsstell. Ved å bytte til LED lys vil det være mulig å spare 8300 kWh/år, noe som utgjør 1,1 tonn CO₂e/år. Investeringskostnadene er innhentet etter samtale med elektriker i NTE, og utgjør 62 000 kr, basert på en timespris på 730 kr og 11 arbeidstimer.

Tiltak 2: Solceller på tak

Det er gjort en vurdering på lønnsomhet av å installere solceller på eksisterende takflater mot sør. Vurderingen er basert på timesoppløst strømprofil fra registrert forbruk fra melkefjøsset, som har et snittforbruk på 3,5 - 4 kW i sommerhalvåret, og tilsvarende effekttopper mellom 14 - 18 kW.

Flere innledende antagelser er gjort i grovvurderingen, bl.a.

Takhelning: 15°
 Orientering: 10° mot vest
 Tilgjengelig takflate: 370 m²
 Antatt installert effekt: 21 kW_p
 Spesifikk ytelse solceller: 730 kWh/kW_p
 Andel solgt solstrøm: 9,7 %
 Støtte fra Innovasjon Norge³⁷: 35%

Et slikt solcelleanlegg vil kunne produsere solstrøm i størrelsesorden 15 300 kWh/år. Anlegget er anslått med en investeringskostnad på ca. 260 000,- eks.mva. Med antatt støtte på 35 % fra Innovasjon Norge medfører det en nedbetalingstid på ca. 11 år.

Tiltak 3: Bytte til elektrisk forblander

På gården blir det i dag brukt traktor til blanding av for, det er estimert et forbruk på 5 liter diesel hver dag. Ca 45 min driftstid. Det totale forbruket av diesel pr år blir da 1 825 liter, dette resulterer i et klimagassutslipp på 4 850 kg CO₂e.

Det er et alternativ å bruke en elektrisk forblander, dette vil både redusere klimagassutslippet og gi andre fordeler til driften, som at den kan stå innendørs og kobles til et automatisk foringsanlegg. Forblanderen vil imidlertid kunne bidra til å øke makseffektene (forblanderen er på 15 kW). En elektrisk forblander vil få lengre blandetid enn en traktorblander, og er estimert til å bruke 1,5 time i dette tilfellet. På et år vil den elektriske forblanderen bruke omtrent 8 000 kWh, som tilsvarer et klimagassutslipp på 1 100 kg CO₂e.

Tabell 7-4 Eksempler på mulige tiltak med estimerte levetidskostnader og klimagassutslipp.

	Elektrisk energi behov [kWh/år]	Energikostnad [NOK]	Investeringskostnad [NOK]	Tilbakebetalingstid [år]	Klimagassutslipp [tonnCO ₂ e/ år]
Eksisterende anlegg	82 200	82 200	-	-	9,8
T1: Oppgradere belysning	74 000	74 000	62 000	8	8,8
T2: Solceller på tak	66 900	66 900	260 000	11	9,5

³⁷ Programmet «Fornybar energi i landbruket», Innovasjon Norge

T3: Effektivisering av utstyr	El. Forbruk [kWh/år]	Diese l [l/år]	Energikostnad [NOK]	Investerings- kostnad [NOK]	Tilbake- betalingstid [år]	Klimagass- utslipp [tonnCO2e/år]
Traktor forblander	-	1825	29 300	478 000	-	4,8
Elektisk forblander	8 000	-	8 000	600 000	28	0,9

7.2.2. Eksempelbruk 2: Kyllingfjøs

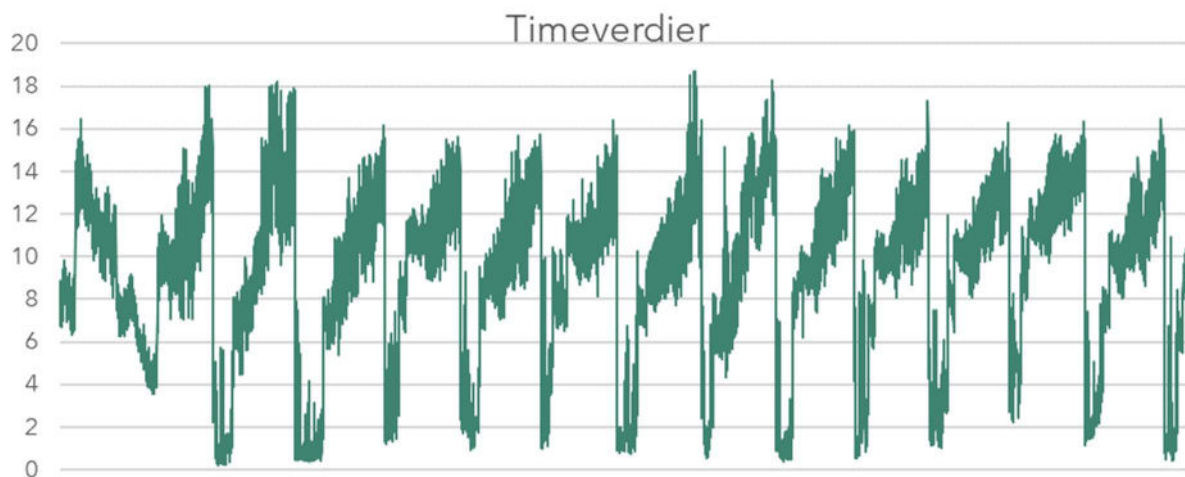
Som utgangspunkt for å kunne se på tiltak for kyllingfjøs er det sett på en eksempelgård i Trøndelag som produserer 270 tonn kyllinger i året, og produksjonen går med 2 mnd intervaller hele året gjennom.

Driftsbyggene på ca. 2000 m² er fra 2005, og består av sandwich elementer med 10 cm isolasjon. Oppvarmingskilden til byggene er to propanbrennere, som er typisk ved kyllingproduksjon. Figur 7-3 viser effektkurven over to år, og det vises tydelig at det er intervaller på produksjonen, hvor ventilasjonen går fra minimumsdrift når kyllingene blir levert, til maksimaldrift når kyllingene er slakteklare. Dersom vi hadde hatt en måling av oppvarming og temperatur i kyllingfjøsene ville denne grafen vært motsatt, med høy temperatur ved innsett (35°C) og synkende ned mot slakteklare kyllinger hvor det er omtrent 20°C i kyllingfjøs.

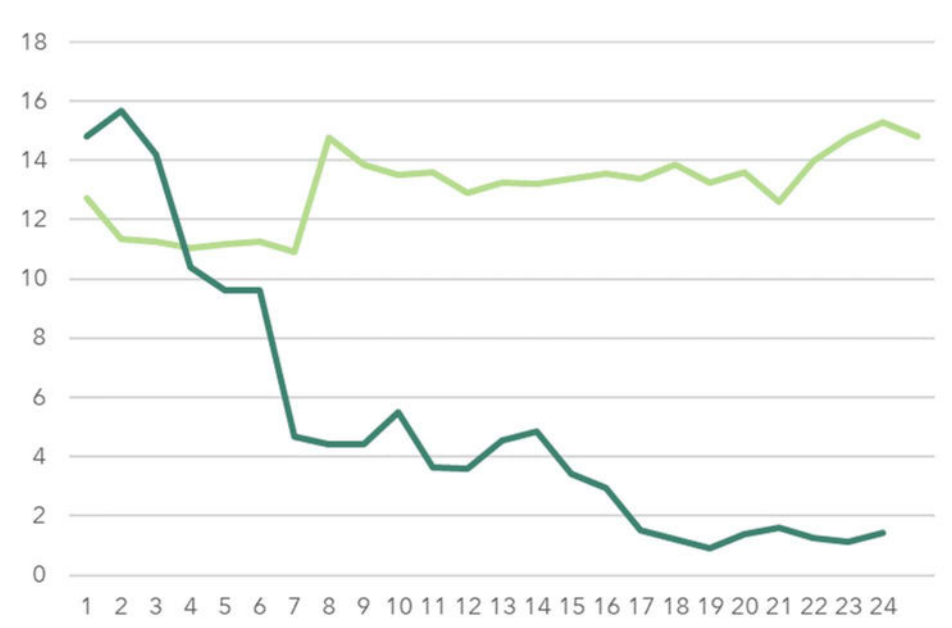
Tabell 7-5 Nøkkeltall for kyllingfjøs

Størrelse fjøs, m ² BRA	Årlig produksjon, tonn	Årlig totalt elektrisitets- bruk, kWh/år	Årlig total varme- forbruk, kWh/år	Årlig spesifikt energiforbruk, kWh/kg kylling	Årlig totalt forbruk av diesel, l/år	Årlig klimagass- utslipp [tonnCO2e]
2000	270	81 500	300 000	1,4	180*	83

*Diesel til vask mellom innsett



Figur 7-3 Målt, felles elektrisk effektkurve for 2 kyllingfjøs over 2 års periode. Det elektriske forbruket utgjør primært ventilasjon, men også belysning (LED) og øvrig utstyr.



Figur 7-4 Elektrisk energiforbruk dagen før (lysegrønn) og etter slakt(mørkegrønn) av kyllinger.

Det er gjort en vurdering av enkelte tiltak for den aktuelle gården, med beregnede levetidskostnader og klimagassutslipp. Kostnadene er basert på tilbud, erfaringstall og øvrige kilder. Klimagassfaktorer er hentet fra en rapport³⁸ med estimat basert på 2020.

Følgende enhetskostnader er benyttet i beregningene:

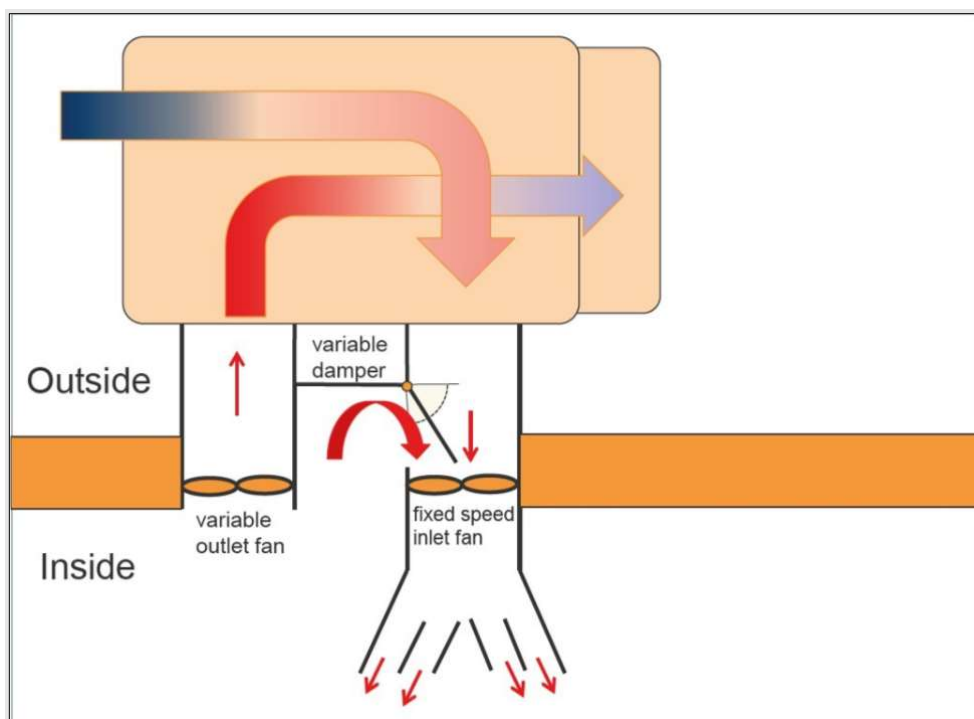
Totalkostnad elektrisitet:	1,00 [kr/kWh]
Totalkostnad trepellets:	0,45 [kr/kWh]
Totalkostnad propangass:	0,54 [kr/kWh]

³⁸ «Klimaregnskap for fjernvarme 2020 - Felles utslippsfaktorer for den norske fjernvarmebransjen - oppdatering 2020», 1.juni 2020, Norsk Energi

Tallene er basert delvis på energirapporten³⁹ samt erfaringstall.

Tiltak 1 - Varmeveksling av ventilasjonsluft

Mange kyllingfjøs ventilerer i dag ut mye varme som kunne vært gjenvunnet. Det finnes flere leverandører som leverer luft/luft varmevekslere som kan håndtere den ammoniakkholdige luften i et kyllingfjøs. Under innsett i frysingsperioden vil en slik platevarmeveksler bidra til besparelser i de 20 første dagene etter innsett. En prinsippskisse er vist i figur 7-5. Når ventilasjonsbehovet øker, med økende kyllingvekt, vil kyllingene generere tilstrekkelig egenvarme og ventilasjonsbehovet medfører at hovedvifter vil overta. For en kyllingbonde⁴⁰ i Vestfold gikk den spesifikke energimengde pr kylling ned med nærmere 60%. Besparelsen vil henge tett sammen med lokale klimatiske forhold, og vil derfor variere avhengig av hvor i landet en slik varmeveksler installeres.



Figur 7-5 - Prinsippskisse funksjon av en varmeveksler (luft/luft). Kilde: skov.com

Flere leverandører reklamerer med å kunne dokumentere en redusert brenselkostnad på 50% ved bruk av varmevekslerer.

³⁹ Energirapporten, Nr 18 - 2021

⁴⁰ <https://www.klimasmartlandbruk.no/klimalosninger-husdyrhold/smart-oppvarming-av-kyllinghus-article231-871.html>



Figur 7-6 - Bilder av varmegjenvinnere installert fra to av de større leverandørene av denne type gjenvinner.

For det aktuelle caset med et fyringsbehov på nærmere 300 000 kWh/år, så vil en antatt reduksjon på 50% medføre en besparelse på 150 000 kWh/år. Basert på karakteristikker fra VVX enhet⁴¹ er det estimert et økt forbruk av elektrisitet på ca. 1 100 kWh/innsett. For installasjon i begge bygg, 6 innsett pr år per bygg, blir økt forbruk av elektrisitet på ca. 13 000 kWh/år.

Det er lagt til grunn investeringskostnad iht. mottatt tilbud på komplett montering av to varmeveksleraggregat på totalt 1,55 MNOK.

Tiltak 2 - Bioenergi som varmekilde, utfasing av propan

Merk at det er store usikkerheter knyttet til estimering av klimaeffekt for bioenergi, som diskutert i kapittel 4.1. I beregningene er biogent karbon ikke inkludert, men om man inkluderer dette, vil resultatene vise langt høyere utslipp fra pelletsanlegget.

Kostnadsoverslag er primært basert på indeksjusterte tall fra kostnadsrapport⁴², men også i vurdering med mottatt tilbud fra komponentleverandør. Det er lagt til grunn en totalvirkningsgrad på pelletsanlegget på 90%, noe som er høyt.

Komplett installert pelletsanlegg er antatt med en kostnad på 1,5 MNOK.

⁴¹ Tilbud mottatt fra Felleskjøpet på Clima+200 enheter. SFPmax (innsug og utblåsning) på ca. 1,17 [kW/m³/s]

⁴² «Kostnader i energisektoren», NVE 2015

Tiltak 3 - Solceller på tak

Det er vurdert installasjon av solceller for å dekke deler av elektrisitetskostnaden til kyllingfjøsene. Orienteringen av de aktuelle kyllingfjøsene har takflater (lengderetning) mot NØ og SV, og her skiller anslått utnyttelse av produsert solstrøm⁴³ på hhv. 520 og 712 [kWh/kW_p] (antatt takvinkel på 12°). Med fokus på tilnærmet 100% direkte anvendelse av solstrømmen anslås derfor kun montering av solceller på takflate mot SV, og med en overdimensjonering på 10% i forhold til maksimal effekttopp fra historisk energiforbruk (23 kW). En tilsvarende installasjon med en orientering av solceller på et kyllingfjøs er vist i figur 7-7.



Figur 7-7 - Bilde på solcelleinstallasjon ved en kyllinggård⁴⁴ ved østkysten i USA på 114 kW_p.

Resultatet av grovdimensjoneringen gir i et solcelleanlegg på ca. 25 kW_p og med en solstrømproduksjon på ca. 18 000 kWh/år. Dette solcelleanlegget vil kreve om lag 120 - 125 m² av det ene fjøstaket. Dersom det fremtiden blir mulig å selge solstrøm til nettet med priser tilsvarende totale elektrisitetskostnad pr kWh vil det kunne svare seg å øke den solcelleinstallasjonen. Fremtidig fall i batteripriser kan også gjøre det mer aktuelt å kunne døgnlagre solstrøm, men pr i dag oppfattes det som lite lønnsomt.

Det er lagt til grunn en komplett installasjonskostnad på 12 000 kr/kW_p for solcelleanlegget. Med antatt tilgjengelig støtte fra Innovasjon Norge³⁷ på 35%, så vil installasjonskostnaden være ca. 7 800 kr/kW_p.

Tabell 7-6 illustrerer hvordan energibehov, levetidskostnad og klimagassutslipp påvirkes av de ulike tiltak som er nevnt over. Resultatene som vises er basert på grove antagelser og vil kunne variere merkbart med endringer i investeringskostnader, energikostnader og egeninnsats/driftskostnader for en kyllingbonde.

⁴³ <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>

⁴⁴ <https://www.paradisepolarenergy.com/farm/fox-chase>

Tabell 7-6 - Eksempler på mulige tiltak med estimerte levetidskostnader og klimagassutslipp.

	Elbehov [kWh/år]	Innfyrt varmebehov [kWh/år]	Drifts- kostnad [MNOK]	Investerings- kostnad [MNOK]	Tilbake- betalings tid [år]	Klimagass- utslipp [tCO _{2e} /år]
Eksisterende anlegg	80 000	300 000	4,9	-	-	83
T1 Varmegjenvinning og ventilasjon	93 000	150 000	5,1	1,55	23	49
T2 Pelletsanlegg	81 000	340 000	6,5	1,5	130	27*
T3 Solceller på tak	63 000	300 000	4,9	0,2	11	80

*uten inkludering av biogent karbon

Et eksempel på et godt tiltak for energi og klima for kyllingfjøs er anlegget som har blitt utviklet og gjennomført av en kyllingbonde i Trøndelag⁴⁵. Denne kyllingproduksjonen er i tilsvarende størrelse som den aktuelle case-gården. I prinsippet går løsningen ut på etablering av vannbåren gulvvarme som eneste oppvarmingskilde, og utnyttelse av ventilasjonsluft via en varmepumpe. Med et relativt lavt temperaturløft mellom varm avkastluft og gulvvarme så blir dette en svært energieffektiv løsning. For dette kyllingfjøset ble det også utført isolering av vegger, gulv og tak i forbindelse med ombyggingen.

For kyllingfjøset har besparelsen vært indikert i størrelsesorden 100 000 kroner pr år. Og med en skissert investeringskostnad i størrelsesorden 250 000 kroner, gir dette en nedbetalingstid på om lag 2,5 år. Mye egeninnsats ble gjort for dette anlegget, da både varmeveksler og gulvvarme ble utført selv av bonden. Likevel kan det basert på erfaring fra dette anlegget tyde på at utnyttelse av avkastluft via en varmepumpe vil være blant de mest hensiktsmessige oppvarmingsløsningene der det er realiserbart. En av utfordringene med utnyttelse av ventilasjonsluften fra kyllingproduksjon er å kunne utnytte en rimelig og enkel løsning for varmeopptaket fra en ammoniakkholdig, kjemisk aggressiv luft.

Klimagassmessig kan en med antagelse om en effektfaktor på varmepumpen på ca. 3 og tidligere propanbehov på 35 000 kg/år, anslå en reduksjon på 60 - 70 tonn CO_{2e} /år.

7.2.3. Eksempelbruk 3: Svinegård

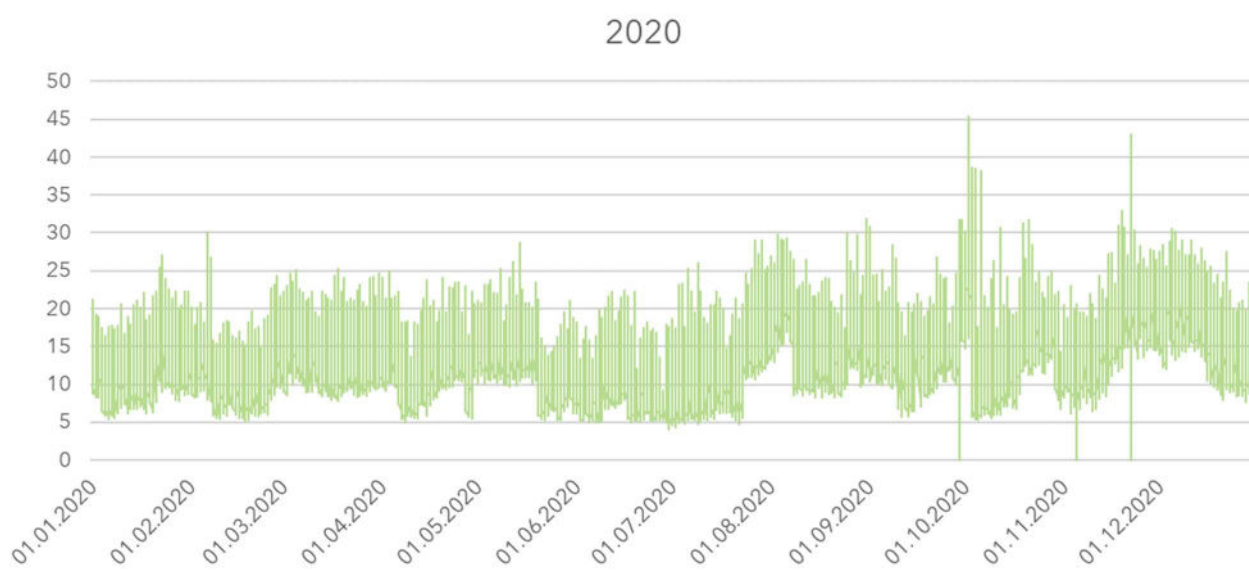
For å kunne se på tiltak på en svinegård er det tatt utgangspunkt i en eksempelgård i Trøndelag som produserer 1100 slaktegris og 300 smågris i året. Driftsbygget er på ca. 2000 m² og består har tre utbyggingsstadier fra 1970-2010. De to eldste delene av fjøset har en konstruksjon i tre, mens den nyeste delen er bygd med betongelementer. Oppvarmingsanlegget i driftsbygget er vannbåret med biobrensel som energikilde, totalt levert energi til oppvarming er ca. 275 000 kWh, det er antatt at 62 % av dette er knyttet til oppvarming av fjøset. Det er installert solceller på taket av fjøset i vår, som er antatt å produsere omtrent 46 000 kWh/år. For å se på tiltak som kan bli gjort på en fjøs for svineproduksjon vil det først bli sett på de tiltakene som allerede er gjennomført på eksempelbruket.

⁴⁵ klimasmartlandbruk.no

Tabell 7-7 Nøkkeltall for svinegård

Størrelse fjøs, m ² BRA	Årlig totalt el-forbruk kWh/år	Årlig spesifikt el-forbruk kWh/m ²	Årlig totalt varmeforbruk kWh/år	Årlig spesifikt varmeforbruk kWh/ m ²	Årlig spesifikt el-forbruk, kWh/gris	Årlig spesifikt varme-forbruk, kWh/gris	Diesel (liter/år)	Årlig klimagass-utslipp [tonnCO2e]
2000	104 500	53	170 000	85	75	121	5800	36

Elektrisitetmåleren til fjøset går også på to mindre boliger og et verksted/kontor. Effektkurven i Figur 7-8 vil derfor ha noen topper som kommer fra bruk av utstyr i disse byggene. Det er antatt at 80% av elektrisitetsforbruket er knyttet til fjøset.



Figur 7-8 Kurve for elektrisitetsforbruk over et år for et svinefjøs, måleren er også tilknyttet to mindre boliger og et verksted, forbruket i fjøset er hovedsakelig ventilasjon, belysning og annet utstyr som går på el.

Halmfyringanlegg

På gården er det et halmfyringsanlegg hvor man brenner halm i et stort brennkammer, med plass til to halmballer, for å varme opp en akkumulatortank til vannbåren distribusjon rundt på gården. Tanken er plassert over brennkammeret og rommer 58 000 liter vann. Det store brennkammeret og akkumulatortanken gjør at det kun er nødvendig å fyre hver 4. dag om sommeren og en gang om dagen om vinteren ved et totalt oppvarmingsbehov på gården på 275 000 kWh.

Komplett installert halmfyringsanlegg med alt nødvendig utstyr, inkludert arbeidstimer, har en antatt kostnad på 1,4 MNOK.

Figur 7-9 Brennkammer for halmfyring⁴⁶

Tiltak 1 Etterisolering av bygget

Det er undersøkt to ulike tiltak for utvendig etterisolering, et scenario med 5 cm ekstra isolasjon i vegger og taket i den eldste delen av bygget, og et med 10 cm ekstra isolasjon. Isolasjonen som er brukt i beregningen er Glava økonomi⁴⁷

	Eksisterende bygg	5 cm isolasjon	10 cm isolasjon
U-verdi vegg [W/m ² K]	0,31	0,2	0,15
U-verdi tak [W/m ² K]	0,3	0,2	0,15

Besparelsene ved å etterisolere bygget er vist i tabellen under.

Besparelse ved etterisolering	5 cm isolasjon	10 cm isolasjon
Reduksjon i årlig energibehov [kWh]	15 600	22 600
Reduksjon i årlig utslipp [kgCO ₂ e]	810	1 200

Det er brukt en gjennomsnittskostnad på materialer og arbeid for etterisolering av vegg og tak på 1875 kr/m²⁴⁸, dette er usikre tall. Dersom man får et annet pristilbud, eller har mulighet til å gjøre arbeidet selv vil investeringskostnaden og tilbakebetalingstiden reduseres. Siden fyring med halm er både billig og har relativt lave klimagassutslipp (med den utslippsintensiteten som ligger til grunn for beregningene), vil dette tiltaket ha

⁴⁶ [Halmframes \(flisvarme.no\)](http://Halmframes(flisvarme.no))

⁴⁷ https://www.epd-norge.no/getfile.php/139857-1603099344/EPDer/Byggevarer/Isolasjon/NEPD-1696-683_Glava-Glassull.pdf

⁴⁸ [Etterisolering: Hva koster det? \(2021-pris\) \(byggstart.no\)](http://Etterisolering:Hva_koster_det?(2021-pris)(byggstart.no))

marginale besparelser for både kostnad og utslipp. Andre tiltak som kan undersøkes er utskiftinger av vindu og kun etterisolering av tak.

Det er også sett på hvor store utslipp som kommer fra materialproduksjon av isolasjon i tiltaket, for å se om det vil være drivende til å ikke gjøre tiltak.

Tiltak 2 Solceller på taket

Det er installert ca. 250 m² solceller taket for å dekke deler av elektrisitetskostnaden på gården. Installasjonen er på 47 kWp og produserer ca. 44 000 kWh/år. Det meste av strømmen blir brukt på gården til lys, ventilasjon og lading av el-bil. Det er lite overskudd som blir solgt ut på nettet. Den totale investeringskostnaden var på 425 000 NOK, og tiltaket utløste tilskudd fra Innovasjon Norge på 25 %.

Tiltak 3 Oppgradere belysning

Ved å bytte de eksisterende lysstoffrørene til lysrør i LED er det et potensial for å redusere energibruken på gården. I dag er det 35 armaturer på 2x58 W lysstoffrør, 15 armaturer på 58 Watt og 14 armaturer på 36 Watt. Dersom disse byttes ut med henholdsvis 25 W og 18 W LED lys rør vil dette gi en reduksjon i elektrisitetsforbruk. Det vil gi en økning i varmebehov på grunn av mindre avgitt varme til bygget.

Tabell 7-8 illustrerer hvordan energibehov, driftskostnader og klimagassutslipp påvirkes av de ulike tiltakene som er nevnt over. Resultatene er basert på antagelser og vil kunne variere med endringer i investeringskostnader, energikostnader og egeninnsats/driftskostnader for driveren av gården. Vedlikeholdskostnader ikke medtatt i beregningene. Hver av tiltakene på bygger på hverandre i fremvisningen nedenfor. Resultatene indikerer at det er lønnsomt å oppgradere belysning, både økonomisk og med tanke på å redusere klimagassutslippene knyttet til driften.

Tabell 7-8 Eksempler på mulige tiltak med estimerte levetidskostnader og klimagassutslipp

	Elektrisk energi [kWh/år]	Termisk energi (varme) [kWh/år]	Årlig driftskostnad [NOK]	Investeringskostnad [MNOK]	Tilbakebetalingstid, år	Klimagassutslipp [tCO ₂ e/år]
Halmbrenner	104 500	170 000	197 000	1,4	18	21
T1 Ekstra isolasjon 10 cm	103 900	145 900	184 000	2,2?	Over 30 år	19,8
T2 Solceller på tak	104 500	170 000	153 000	0,4	10	20,2
T3 Oppgradere belysning	85 500	174 000	181 000	0,1	8	19

8. ANBEFALTE TILTAK PÅ MÆRE LANDBRUKSSKOLE

Som nevnt i innledningen i kapittel 2.2, foreslår konseptutredningen løsninger knyttet følgende tre hovedområder:

- Bygninger, utstyr og landbruksmaskiner – energi, effekt og materialbruk
- Energiforsyningsløsninger og lagring
- Fleksibilitet og styringssystemer

Løsningene vurderes opp imot følgende kriterier:

- a. Klimagassutslipp over livsløpet
- b. Energibruk i drift
- c. Effektbehov / reduksjon av effekttopper
- d. Økonomi / lønnsomhet

I tillegg til vurderingskriteriene over vurderes relevans for løsningene for norske gårder generelt, samt teknologimodenhet og marked. De aktuelle tiltakene som er diskutert i rapporten er oppsummert for hvert tema under, og inngår som en del av beslutningsgrunnlaget for mulige investeringer i demonstrasjonsanlegget på Mære landbruksskole. Prioriteringen av tiltakene ble gjennomført i en workshop 19. november 2021, med deltakere fra Trøndelag fylkeskommune, Mære landbruksskole, og FME ZEN, sammen med Asplan Viaks fagansvarlige.

I workshopen ble tiltakene konkretisert for Mære og kategorisert i tre kategorier:

- A: tiltak man bør gå videre med
- B: tiltak som kan vurderes på litt lengre sikt
- C: ikke aktuelt for Mære per nå

De følgende kapitlene oppsummerer resultatene fra workshopen, og presenterer foreslåtte tiltak i kategori A og B.

8.1. Bygninger, materialer og landbruksmaskiner

Dette kapitlet tar for seg vurderinger av tiltak for energieffektivisering av landbruksbygg, materialbruk i bygg og nye typer landbruksmaskiner og utstyr.

8.1.1. Energieffektivisering

Tabellen under viser oversikt over utredede teknologier innen energieffektivisering av bygg, og vurdering ihht kriteriene. Energieffektiviseringstiltak som varmegjenvinning, LED-belysning og etterisolering er moden teknologi med høy relevans for gårdsbruk generelt. Tiltak innen energieffektivisering vil gi redusert energibehov i drift, redusert effektbehov, og reduserte klimagassutslipp over livsløpet. Økonomi i tiltakene må vurderes i hvert tilfelle.

Tabell 8-1 Vurdering av teknologier / løsninger innen energieffektivisering av bygg

Teknologi/løsning	Relevans for gårdsbruk generelt	Klimagass-utslipp over livsløpet	Energibruk i drift	Effekt-behov	Økonomi / lønnsomhet	Teknologi og marked
Varmegjenvinning	Høy	Reduseres	Reduseres	Reduseres	Må vurderes i hvert enkelt tilfelle	Modent
LED-belysning	Høy	Reduseres	Reduseres	Reduseres	Må vurderes i hvert enkelt tilfelle	Modent
Etterisolering	Høy, ved høyt varmebehov	Reduseres	Reduseres	Effektbehov til varme reduseres	Må vurderes i hvert enkelt tilfelle	Modent

På Mære er det montert LED-belysning i grisfjøset og i veksthuset. I melkefjøset er det gjenvinning av varme fra melketanken.

Både kylling- og svinproduksjon har store behov for varme og ventilasjon, og det er stort potensiale for energieffektiviseringsløsninger. I landbruket diskuteres det muligheter for varmegjenvinning på ventilasjonsluft fra kylling- og grisfjøs, men det har vært utfordringer knyttet til korrosivt miljø. Som beskrevet for eksempelgård 2 i kapittel 7.2.2 finnes det gode erfaringer med installasjon av varmevekslere til kyllingfjøs, med store reduksjoner i energiforbruk.

Det anbefales å teste ut varmegjenvinner på grisfjøset på Mære, for å få erfaringer med drift i korrosivt miljø (kategori A).

I veksthuset er det installert en enkelt energigardin i tomathuset, som gir energibesparende-effekt på natt og på spesielt kalde dager. I potteavdelingen er det installert en kortdags-garding, som er kraftigere og har høyere isolasjonsverdi enn gardinen i tomathuset. Det er også isolasjonsplater i alle vegger i veksthuset.

Aktuelle tiltak for veksthuset vil være å installere LED-belysning også i taket, og dobbel eller tredobbel energigardin for å spare på varmen (kategori A).

8.1.2. Materialbruk

Tabellen under viser utredede løsninger innen temaet materialbruk. Generelt vil klimavennlige materialer og ombruk av materialer ha en positiv effekt på klimagassutslippene, gitt at ikke transportavstanden for materialene er for stor. Når det kommer til oppgradering av bygg i stedet for nybygg, vil dette være avhengig av bl.a. energibruk i og bruk av bygget. Det vil kunne være store forskjeller fra bygg til bygg, og bør beregnes spesifikt i hvert tilfelle.

Tabell 8-2 Vurdering av teknologier / løsninger innen materialbruk

Teknologi/løsning	Relevans for gårdsbruk generelt	Klimagass-utslipp over livsløpet	Energibruk i drift	Effekt-behov	Økonomi / lønnsomhet	Teknologi og marked
Klimavennlige materialer	Høy	Reduseres				Modent for noen materialer?
Oppgradering i stedet for nybygg	Høy	Må vurderes i hvert enkelt tilfelle				

Det nye melkefjøsset på Mære har naturlig ventilasjon og bruk av tre. Det er planer om å bygge et nytt sauefjøs på Mære. Her vurderes oppgradering av eksisterende bygg mot nybygg.

Fokus på klimavennlig materialbruk og ombruk bør ha høy prioritet på Mære. Det anbefales å gjøre spesifikke beregninger for sauefjøsset på Mære, for å få et bedre beslutningsgrunnlag med tanke på klimagassutslipp for ulike typer materialer / alternative oppbygginger, og for å vurdere renovering av eksisterende fjøs opp mot et nybygg (kategori A).

8.1.3. Landbruksmaskiner og utstyr

Tabellen under viser aktuelle løsninger innen landbruksmaskiner og utstyr. Alle teknologiene har høy relevans for gårdsbruk generelt, og gir noe økt behov for effekt til lading og kjøring. Bruk av disse teknologiene vil gi reduserte klimagassutslipp når de erstatter bruk av traktor med fossilt drivstoff.

Tabell 8-3 Vurdering av teknologier / løsninger innen landbruksmaskiner og utstyr

Teknologi/løsning	Relevans for gårdsbruk generelt	Klimagass-utslipp over livsløpet	Energibruk i drift	Effekt-behov	Økonomi / lønnsomhet	Teknologi og marked
Autonome transportredskaper ('traktor')	Høy	Reduseres		Økt behov for effekt til lading		Ikke kommersielt tilgjengelig
Autonome mindre roboter	Høy	Reduseres		Økt behov for effekt til lading		Ikke kommersielt tilgjengelig
Elektriske pumper/blandere/røreutstyr	Høy	Reduseres		Økt effekt ved kjøring		Modent
Droneteknologi	Høy	Reduseres		Økt behov for effekt til lading		Modent

Mære bruker i dag droner som forsøksvirksomhet. Disse brukes til såing, gjødsling, sprøyting og overvåking. Videre er Mære i dialog med Auto Agri rundt mulig testing av landbruksroboter. Landbruksroboter er av mange sett på som det neste store teknologiskiftet i landbruket, da dette muliggjør presisjonslandbruk, smartere bruk av gjødsel og redusert drivstofforbruk.

Det anbefales at Mære går videre med å teste ut autonome landbruksmaskiner (kategori A).

8.2. Energiforsynings- og lagringsløsninger

Dette kapitlet tar for seg vurderinger knyttet til ulike energiforsynings- og lagringsløsninger.

8.2.1. Solenergi

Tabellen under viser vurderinger for solenergi. Solceller på tak er en godt moden teknologi med god økonomi, og mange gårdsbruk ønsker nå å installere solceller. Solvarme kan være en aktuell teknologi for tappevannsoppvarming om sommeren, men erfaringer viser dårlig lønnsomhet og det norske leverandørmarkedet er lite.

Tabell 8-4 Vurdering av teknologier / løsninger innen solenergi

Teknologi/løsning	Relevans for gårdsbruk generelt	Klimagassutslipp over livsløpet	Energi- bruk i drift	Effekt- behov	Økonomi / lønnsomhet	Teknologi og marked
Solceller	Høy	ca 100 g CO ₂ e/kWh, lavere hvis produsert i Norge		Lite effekt-reduksjon, men kan redusere effekttopper på dagtid	Gode støtteordninger (30-120 øre/kWh strøm)	Modent
Solvarmeanlegg	Kan være aktuelt til tappevannsoppvarming om sommer	Lavt (ca 12 g/kWh)		Reduseres	Konkrete erfaringer viser dårlig lønnsomhet (75-300 øre/kWh varme)	Det norske leverandørmarkedet er lite
Solvarme (luft) til høytørrking	Høy	Lavt	Lavt	Reduseres, hvis det erstatter el		Krever ingen ny teknologi

Mære produserer i dag ca 100 000 kWh/år fra solceller fordelt på tre tak. Solceller på tak er veletablert i bransjen, og ikke nødvendig å teste ut. En annen type solceller som mange leverandører som nå ønsker å tilby er bakkemonterte solceller i kombinasjon med landbruk / agrivoltaics. Eksempler på hva som kan testes:

- Sørvendte solcellepaneler i kombinasjon med beite / frittgående høns, etc.
- Vertikale bifacial-paneler i kombinasjon med beite / frittgående høns, etc.
- Agrivoltaics-løsninger med solceller montert over dyrkningsområder for bær (bringebær/bjørnebær) og bladgrønnsaker (salat), som kan gi positiv effekt.

Det anbefales at Mære begynner å teste løsninger for solceller på jordbruksmark i kombinasjon med landbruk. Dette kommer til å være svært aktuelt for bønder i årene som kommer, og det er viktig å bygge seg opp erfaring med ulike typer montaseløsninger og hvordan dette kan kombineres med ulike former for drift (kategori A).

I tillegg til solceller, utnyttes også solvarme i dag til å tørke høy på Mære. På ammekufjøset er himlingen kledd inn slik at luften under himlingen varmes opp av sola. Denne luften

brukes videre til å tørke høy, og er en enkel men effektiv måte å utnytte solenergien på. På Mære vil denne energien erstatte høytørking ved hjelp av strøm (vifte og uteluft). Mange gårdsbruk må endre måten de tørker høy på når fossilt brensel skal utfases. Det finnes lite dokumentasjon på denne løsningen, og det ble i workshopen referert til en veileder for passiv solvarme under tak fra 80-tallet.

Det anbefales at Mære dokumenterer og viser fram solvarmeløsningen for høytørke, for å også skape oppmerksomhet om enkle løsninger som allerede finnes (kategori A).

8.2.2. Vannkraft

Tabellen under viser vurderingen av vannkraft. Markedet for småkraft er modent, og teknologien har lave klimagassutslipp. Relevans for gårdsbruk og lønnsomhet av et småkraftverk er avhengig av vannressurser. Generelt kan man si at jo mindre ressursene er, jo viktigere er det å gjøre grundige analyser for å være sikker på grunnlaget og økonomien i et småkraftanlegg.

Tabell 8-5 Vurdering av vannkraft

Teknologi/ løsning	Relevans for gårdsbruk generelt	Klimagass- utslipp over livsløpet	Energi- bruk i drift	Effekt- behov	Økonomi / lønnsomhet	Teknologi og marked
Vannkraft	Aktuelt ved tilstrekkelig hydrologisk ressursgrunnlag	Lavt (6 / 2-20g CO2e/kWh)			Lønnsomhet avhengig av vannressurser (10-70 øre/kWh strøm)	Modent

Mære har et minikraftverk i Meldal som er tilknyttet skolen og undervisningen, men ingen ressurser på eget område. Det er vurdert som ikke aktuelt å gå videre med aktivitet innen vannkraft (kategori C).

8.2.3. Vindkraft

Tabellen under viser vurderinger av vindkraft. Som for vannkraft, vil vindkraft være avhengig av ressursgrunnlaget. Det er viktig med grundige målinger i lave nok høyder for en gårdsvindmølle, og middelvinden bør være på over 7-8 m/s for å få lønnsomhet i prosjektet. Klimagassutslippene er lave, og markedet er modent, men kostnadene er relativt høye.

Tabell 8-6 Vurdering av vindkraft

Teknologi/ løsning	Relevans for gårdsbruk generelt	Klimagass- utslipp over livsløpet	Energi- bruk i drift	Effekt- behov	Økonomi / lønnsomhet	Teknologi og marked
Vindkraft	Aktuelt i områder med høye vindhastigheter	Lavt (12 / 3-41g CO2e/kWh)			(110-160 øre/kWh strøm)	Modent

På Mære pågår det nå en kartlegging av vindressursene, og vindmålere har stått ute i ca ett år. Videre arbeid med muligheter for vindkraft på Mære er satt på pause, på grunn av nærhet til en gammel kirke og nærhet til jordbruksareal.

Det er vurdert som ikke aktuelt å gå videre med vindkraft på Mære før resultater fra kartleggingen er klare (kategori C).

8.2.4. Varmepumpeanlegg

Tabellen under viser vurderinger for varmpumpeanlegg. Generelt er varmpumper gode løsninger for termisk energiforsyning. Varmepumpeanlegg har lave klimagassutslipp, reduserer effekt- og energibehov i drift sammenliknet med direkte el-oppvarming, har god lønnsomhet og markedet er modent.

Tabell 8-7 Vurdering av varmpumpeanlegg

Teknologi/løsning	Relevans for gårdsbruk generelt	Klimagassutslipp over livsløpet	Energi- bruk i drift	Effektbehov	Økonomi / lønnsomhet	Teknologi og marked
Varmepumpeanlegg	Høy	Grunnvarme 51-60 g/kWh, luft-vann 72-84 g/kWh (v nordisk miks)	Reduseres (COP 2,5-4/5?)	Reduserer effektbehov til oppvarming	(45-60 øre/kWh varme)	Modent

På Mære er det installert flere mindre varmpumper, og et nærvarmeanlegg med varmpumpe og geobrønn, som utnytter spillvarme fra veksthuset. Nærvarmeanlegget forsyner alle hovedbygg på Mære bortsett fra melkefjøsset. Anlegget ble bygget i 2012 og er en sentral del av energisystemet på Mære. Det har imidlertid vært lite tilgjengelig informasjon om anlegget (driftserfaringer, data og oppfølging), noe som er uheldig da Mære skal være en testarena, og dele erfaringer.

Det anbefales å jobbe for å få ut mer informasjon fra nærvarmeanlegget, for å følge opp, dokumentere og vise fram erfaringer fra anlegget til andre (kategori A).

8.2.5. Bioenergi

Tabellen under viser vurderingene for bioenergi. Fast biobrensel brukes i stor grad i landbruket i dag og er en moden teknologi. Flytende biodrivstoff har høy relevans som erstatning for fossilt drivstoff, og biogass har relevans ved store gjødselmengder. Begge teknologiene har imidlertid dårlig lønnsomhet, og biogass er en umoden teknologi. CHP kan være aktuelt dersom varme- og strømbehov sammenfaller, men krever jevn og lang driftstid for å gi lønnsomhet. Biokull kan ha potensial på lengre sikt, og vil også binde karbon i jorda over bruk, men er foreløpig lite utbredt i Norge.

For estimering av klimaeffekten av bioenergi, er det er til dels store usikkerheter, som diskutert innledningsvis i kapittel 4.1. Bioenergi regnes ofte som klimanøytral, siden det slippes ut like mye CO₂ ved forbrenning av biomasse som det ble akkumulert ved tilveksten. Men siden tilvekst av ny biomasse tar tid, kan utslippene imidlertid bidra til global oppvarming. Det er derfor grunn til å sette spørsmålsteget ved klimanøytralitet for bioenergi, spesielt for boreal skog som vokser langsamt. Forbrenning av biomasse fra landbruket som f.eks., halm, regnes imidlertid vanligvis som tilnærmet klimanøytralt, siden tilveksten skjer relativt raskt.

Tabell 8-8 Vurdering av bioenergi

Teknologi/ løsning	Relevans for gårdsbruk generelt	Klimagassutslipp over livsløpet	Energibruk i drift	Effekt- behov	Økonomi / lønnsomhet	Teknologi og marked
Fast biobrensel	Høy, ved høyt varmebehov	Avh. av metode/tilnærming			(60-120 øre/kWh varme)	Modent
Flytende biodrivstoff	Høy som erstatning for fossilt drivstoff	Kan gi betydelige utslippsreduksjoner. Viktig å betrakte hele livsløpet. Avh. av metode/tilnærming			(bioolje 150- 195 øre/kWh varme)	
Biogass	Høy ved store gjødselmengd er	Kan gi betydelige utslippsreduksjoner, avhengig av råstoff og bruk. Avh. av metode/tilnærming			(100-430 øre/kWh varme)	Umodent
CHP	Kan være aktuelt i framtiden, der varme- og strømbehov sammenfaller.	Avh. av metode/ tilnærming			Krever jevn og lang driftstid over året for å gi lønnsomhet	Modent
Biokull	Potensial på lengre sikt	Binder karbon.	Prosessen krever energi i oppstart, men har varmeoverskudd		Trengs støtte- ordninger	Lite utbredt i Norge, noe mer i Europa

På Mære pågår det nå flere initiativ innen bioenergi. Det jobbes med en tredje runde med biogassutredning, for å vurdere fangst av rå biogass for transport, men det er foreløpig ikke lønnsomhet i dette. Ved framtidig gårdsdrift, med større og færre enheter, vil man få større volumer, og mindre transport av biogass. Dette kan være en løsning for framtidig melkeproduksjon, og er noe Mære bør følge med på for mulig å teste etter hvert (kategori B).

Det jobbes også med å få opp et testanlegg for biokull på Mære. Biokull kan tilføres dyrket mark som et tiltak for å forbedre jordstruktur og for å lagre karbon.

Det anbefales å jobbe videre med testanlegg for biokull på Mære, og se hvordan dette kan bidra inn i energisystemet, med utnyttelse av overskuddsvarme fra prosessen (kategori A).

8.2.6. Energilager

Tabellen under viser vurderinger for batterier. Per i dag er det middels relevant for gårdsbruk generelt, men med økt elektrifisering, og økt prising av effekt i strømmettet, vil dette kunne bli mer aktuelt framover. Batterier kan bidra til å redusere effektbehov, og er et modent marked. Foreløpig er det lite lønnsomt å investere i batterier, men det forventes en kraftig reduksjon i kostnader de neste 10 årene. Ombruk av elbilbatterier vil kunne være aktuelt der man ikke har like store krav til lav vekt og kompakt størrelse.

Termisk energilager kan være mange ulike løsninger, fra buffertanker med varmtvann til lagring av varme (eller kjøling) i grunnen / fjell.

Energilagring er primært en løsning for å redusere effekttopper, ikke en løsning for reduksjon av klimagassutslipp, ettersom det medfører tilførsel av ekstra utstyr, og man har et energitap ved lagring av energi. Men dersom lagring av energi medfører at man

erstatte energi fra en energikilde med høyere utslipp, vil det også kunne gi reduksjoner i klimagassutslipp. Dette må imidlertid vurderes per prosjekt.

Tabell 8-9 Vurdering av energilager

Teknologi/løsning	Relevans for gårdsbruk generelt	Klimagassutslipp over livsløpet	Energi- bruk i drift	Effektbehov	Økonomi / lønnsomhet	Teknologi og marked
Batteri	Middels i dag, høyere i framtiden	83kg/kWh lagringskapasitet.		Stort potensial for reduksjon av effektbehov	(250-500**)	Modent. Forventet kraftig reduksjon i investeringskostnader neste 10 år.
Termisk energilager	Høyt ved stort varmebehov			Stort potensial for reduksjon av effektbehov		Modent

På Mære jobbes det nå med å redusere antall målere fra elleve til to, for på denne måten å kunne drifte sitt eget mikronett for bedre utnyttelse av egenprodusert energi, se beskrivelse i kapittel 5.3. I et slikt framtidig mikronett vil batterier kunne spille en viktig rolle.

Det anbefales at Mære tester ut ombruk av elbilbatterier i forbindelse med det framtidige mikronettet på Mære (kategori A).

Termisk energilager finnes allerede på Mære i nærvarmeanlegget. Det anbefales å følge opp dette, for å få for å få ut mer informasjon, dokumentere og vise fram erfaringer fra anlegget, som også nevnt i kapittel 8.2.4.

8.2.7. Hydrogen

Tabellen under viser vurderinger for hydrogen. Det er lite erfaringer med dette i landbruket i dag, og relevansen i framtiden ligger i å erstatte fossilt drivstoff i kjøretøy og traktorer. Økonomien er foreløpig dårlig, og det er store sikkerhetsutfordringer og et umodent marked for hydrogen.

Tabell 8-10 Vurdering av hydrogen

Teknologi /løsning	Relevans for gårdsbruk generelt	Klimagassutslipp over livsløpet	Energi- bruk i drift	Effektbehov	Økonomi / lønnsomhet	Teknologi og marked
Hydrogen	Lavt i dag			Kan redusere eksporttopper fra solenergi, og behov for lading av evt. elektriske maskiner	(100-300**)	Store sikkerhetsutfordringer, umodent.

Det finnes noen små piloter med traktorer og maskiner, men det er vanskelig å beregne klimagassutslipp.

En eventuell uttesting av hydrogen som energibærer på Mære er ikke aktuelt i dag, men er noe Mære bør følge med på for å eventuelt vurdere i framtiden (kategori B).

8.3. Flexibilitet og styringssystemer

Tabellen under viser vurderinger for løsninger innen fleksibilitet og styringssystemer. Reduksjon / utjevning av effektkrevende laster har høy relevans for gårdsbruk generelt med kommende effekttariffer i strømmettet. Spesielt har laster som høytørking, varme og forblendere vist seg som laster som gir effekttopper. Manuelle endringer av disse krever ingen teknologi, og enkle styringssystemer finnes også på markedet.

Mikronett for bedre utnyttelse av egenprodusert energi kan bli mer aktuelt framover, sammen med styringssystemer for optimalisering av forbruk, lager og produksjon. Dette er foreløpig på pilot-stadiet, og lønnsomhet er avhengig av framtidig effektprising.

Reduksjon av effekttopper, mikronett og styringssystemer gir ingen direkte klimagevinst, men kan bidra til å unngå eller utsette utbygginger / investeringer i nettet, og på den måten unngå klimagassutslipp.

Tabell 8-11 Vurdering av løsninger innen fleksibilitet og styringssystemer

Teknologi/løsning	Relevans for gårdsbruk generelt	Klimagassutslipp over livsløpet	Energi- bruk i drift	Effektbehov	Økonomi / lønnsomhet	Teknologi og marked
Reduksjon/ utjevning av effektkrevende laster	Høy			Reduseres	Lønnsomhet avhengig av framtidig effektprising	Manuell endring krever ingen teknologi, enkle styringssystemer finnes på markedet
'Mikronett' for bedre utnyttelse av egenprodusert energi	Middels i dag, høyere i framtiden				Økt egenforbruk bedrer lønnsomhet av solceller	På pilot-stadiet
Styringssystemer for optimalisering av forbruk, lager og produksjon	Middels i dag, høyere i framtiden			Reduseres	Lønnsomhet avhengig av framtidig effektprising	På pilot-stadiet

På Mære jobbes det nå med å redusere antall målere fra elleve til to, for på denne måten å kunne drifte sitt eget mikronett for bedre utnyttelse av egenprodusert energi, noe Tensio stiller seg positive til, se kapittel 5.3. For å få best mulig utnyttelse av denne endringen, trengs det også styringssystemer for å optimalisere samspillet mellom forbruk, lager og produksjon. Styringssystemer krever målinger med timesoppløsning fordelt på ulike bygg, enheter og energitjenester, som samles i ett felles system. Relevante data vil være netto strøimport, strømproduksjon fra ulike enheter, varmeproduksjon for ulike enheter, bygningsinndelt energiforbruk (strøm og varme). Videre vil værprognoser kunne brukes til å lage produksjons- og forbruksprognoser som input til driftsoptimalisering. Erfaringer fra Campus Evenstad i FME ZEN bør tas med her.

Det anbefales å gå videre med å etablere et 'mikronett' på Mære, og i tillegg inkludere ytterligere elementer i prosjektet for å optimalisere samspillet mellom forbruk, lager og produksjon (kategori A).

Mulig støtte fra Enova, Klimasats eller andre støtteordninger bør undersøkes i prosjektet. Et slikt prosjekt kan også kobles opp mot forskningen i FME ZEN.

8.4. Oppsummering anbefalte tiltak på Mære Landbruksskole

De anbefalte tiltakene på Mære i kategori A og B er presentert under. Tiltakene er basert på resultater fra konseptutredningen og diskusjon i workshop 19. november. Listen inngår som en del av beslutningsunderlaget for mulige investeringer i demonstrasjonsanlegget på Mære.

Tabell 8-12 Oppsummering av tiltak i kategori A - tiltak man bør gå videre med

Tiltak	Beskrivelse	Potensiale
A1	Teste ut varmegjenvinner på grisfjøsset, for erfaring med drift i korrosivt miljø	Reduserer energibruk og dermed klimagassutslipp. Erfaringer til andre gårdsbruk.
A2	Energieffektivisering i veksthuset: energigardin og LED-belysning i taket	Reduserer varmetap, energibruk, og effektbehov.
A3	Gjøre spesifikke beregninger på det planlagte sauefjøsset, for å få bedre beslutningsunderlag med tanke på klimagassutslipp for ulike typer materialer / alternative oppbygginger, og for å vurdere renovering av eksisterende fjøs opp mot nybygg.	Kunnskapsgrunnlag for å gjøre klimamessig gode valg.
A4	Teste ut autonome, elektriske landbruksmaskiner	Redusert bruk av fossilt drivstoff og dermed klimagassutslipp. Erfaringer til landbruket.
A5	Teste solcelleløsninger på jordbruksmark, i kombinasjon med landbruk.	Økt produksjon av lokal fornybar energi. Erfaringer til landbruket.
A6	Dokumentere og vise fram solvarmeløsningen for høytørke.	Erfaringer til landbruket
A7	Jobbe for å få ut mer informasjon om nærvarmeanlegget, for å følge opp, dokumentere og vise fram erfaringer fra anlegget til andre.	Erfaringer til landbruket
A8	Jobbe videre med testanlegg for biokull på Mære, og se hvordan dette kan bidra inn i energisystemet.	Binding av karbon, samspill med energisystemet.
A9	Teste ombruk av elbilbatterier i forbindelse med framtidig mikronett.	Redusere effekttopper, øke egenforbruk av lokal fornybar energi.
A10	Gå videre med å etablere mikronett på Mære, og i tillegg inkludere ytterligere elementer i prosjektet for å optimalisere samspillet mellom forbruk, lager og produksjon.	Redusere effekttopper, optimalisere samspill.

Tabell 8-13 Oppsummering av tiltak i kategori B – tiltak som kan vurderes på lengre sikt

Tiltak	Beskrivelse
B1	Produksjon av biogass
B2	Følge med på muligheter for uttesting av bruk og evt. produksjon av hydrogen

9. MARKEDSPOTENSIAL

Det finnes om lag 40 000 gårdsbruk i Norge, med et samlet energibruk på ca 4 TWh/år⁴⁹, hvorav ca halvparten er elektrisitet og det resterende hovedsakelig fossilt brensel. Gjennom Mære sin sentrale rolle som kompetansebærer, pilotprosjekt i FME ZEN, samt en plassering midt i et av Trøndelags mest sentrale landbruksområder, vil 'Nullutslippsgården Mære' være en viktig utviklingsarena både regionalt og nasjonalt.

Trøndelag fylkeskommune har gjennom sin økonomiplan 2022 til 2025 forankret klare målsettinger om utvikling av forretningsmodeller som sikrer gjennomføring av prosjekt med høy bærekraft, herunder aktiv bruk av energiprestasjonsavtaler (EPC) i nybyggsprosjekt og andre energiprojekter. Fylkesutvalget har videre gjort flere vedtak om å initiere/delta i etablering av eget selskap for høsting og lagring av energi fra egen bygningsmasse for produksjon og distribusjon til bruk i egne og nærliggende bygg vil bli konkretisert sammen med teknologipartnere, produktleverandører, energiaktører samt andre større byggeiere. Konseptutredningen vil gi verdifulle innspill til dette.

Samarbeidspartnerne Gether AS, NTE, og Tensio ser også potensiale for å videreutvikle sine produkter, konsepter og tjenester som et resultat av utredningsprosjektet. Dette omfatter nye forretningsmodeller (energy as a service), integrerte konsepter for energiproduksjon og lagring, og styringssystemer med tilhørende hardware/software. I tillegg er Fylkeskommunen/Mære i kontakt med flere gründerbedrifter som ønsker å utvikle og teste sine produkter i samarbeid med Mære. Disse omfatter bl.a. Autoagri AS (landbruksrobot), AgroIT AS (droner og GPS-analyser/gjødsling), Biodrone AS (droner) og Notus AS (vindmølle), og N2Applied (plasmareaktor for produksjon av nitrogen gjødsel).

Også i Europeisk sammenheng vil pilotaktiviteten på Mære være interessant, og Trøndelag fylkeskommune ser allerede en viss interesse for nærmere informasjon/ dialog omkring prosessen. Fylkeskommunen har også en intensjon om å se nærmere på mulighet deltakelse i EU-prosjekt knyttet til Horizon European Green Deal.

Tabell 9-1 gir en oversikt over markedspotensialet for løsningene som omfattes av utredningsprosjektet. Hovedmarkedet vil ligge innenfor landbrukssektoren, men prosjektet vil også ha noe overføringsverdi til bygge- og energisektoren generelt, da en del av løsningene og kunnskapen vil kunne benyttes i ambisiøse i transformasjons- og utbyggingsprosjekter i Norge og andre land.

⁴⁹ Data fra 2015, <https://energifaktanorge.no/norsk-energibruk/energibruken-i-ulike-sektorer/>

Tabell 9-1 Markedspotensialet for de ulike løsningene som er vurdert i konseptutredningsprosjektet

Teknologi / løsning	Hvem andre er interessert i tilsvarende løsninger	Hvor mange tilsvarende bygg/områder kan bruke tilsvarende løsninger	Hvordan bidrar utredningen til at markedet tar i bruk ny energi- og klimateknologi
Bygninger, materialer og landbruksmaskiner	Landbruket, materialleverandører, utstyrsprodusenter- og leverandører, byggevareindustri, energiselskaper	Alle gårdsbruk i Norge Landbruksskoler Andre transformasjonsprosjekter i byer og tettsteder	Gjennom å vise potensialet for kostnad versus nytteverdi. Gjennom å dokumentere potensiale for reduksjon av energi, effekt og klimagassutslipp. Gjennom å vise utviklingsmuligheter for industri og gründere.
Energiforsynings- og lagringsløsninger	Landbruket, teknologileverandører, energiselskaper		
Fleksibilitet og styringssystemer	Landbruket, teknologileverandører, tjenesteleverandører, energiselskaper		

10. INFORMASJONSSPREDNING

Hvert år besøker over 1000 gårdbrukere Mære landbruksskole for påfylling av kompetanse. Skolens elever og andre studenter tar også del i FoU-arbeid som pågår ved skolen. Skolen vil kunne spre resultater fra utredningen både til gårdbrukere og elever i forbindelse med kurs, seminarer og i sosiale kanaler. Mære sin nasjonale rolle som klima og energisenter for landbruket gi også muligheter for spredning av kunnskap nasjonalt. Mære er også del av et nettverk med tre andre naturbruksskoler (derav to private) i fylket, deltar aktivt i Naturbruksskolenes forening (nasjonalt) og vil slik kunne bygge og dele kompetanse på tvers av disse.

I tillegg gir tilknytningen til FME-ZEN store muligheter for spredning både nasjonalt og internasjonalt.

Fylkeskommunen deltar også i ulike relevante arenaer og nettverk regionalt og nasjonalt. NTE, Tensio, Entro og Asplan Viak vil også bidra til å spre info og kunnskap via sine kanaler og nettverk.

Tabell 10-1 Informasjonsspredning fra utredningsprosjektet

Aktivitet	Målgrupper	Aktuelle kanaler	Ansvar prosjektdeltakere
Presentasjon på fagseminarer og konferanser	Landbruksmiljøer: Norges bondelag, Felleskjøpet, Landbruksdirektoratet, Norsk landbruksrådgivning.	Landbrukskonferansen og ZEN-konferansen	Mære, TRFK, FME ZEN, Asplan Viak, NTE, Gether AS
Artikler, sosiale medier og web	Teknologiselskaper Utdanningsinstitusjoner Rådgivermiljøer/RIF, Energiselskaper, Energi Norge, ZEN-partnere	Fagtidsskrifter og aviser. Web-sider, Facebook, LinkedIn, og Twitter-kanaler til samarbeidspartnerne. Klimasmartlandbruk.no, Landbruk.no, Klimalandbruk.no	Mære, TRFK, FME ZEN, Asplan Viak, NTE, Gether AS
Spredning gjennom bransjenettverk		Norges bondelag, Agropub, Landbruk Arena, Norsk Landbrukssamvirke, Midtnorsk forum for energi og miljø	Mære, TRFK, NTE, Tensio, Entro, Gether AS
Interne seminarer	Internt hos prosjektdeltakerne	Fagseminarer, web-kurs	Mære, TRFK, FME ZEN, Asplan Viak, NTE
Master- og prosjektoppgaver	Studenter og ansatte ved universiteter og høyskoler	Mære og andre landbruksskoler, NTNU, NMBU, Nord Universitet	Mære, Fylkeskommunen, FME-ZEN, Asplan Viak, NTE, Gether AS

KILDER

Aarstad m.fl. (2017). 'Muligheter og utfordringer knyttet til fornybar energiproduksjon på norske gårdsbruk. En casestudie av Tingvoll Gard.' Bacheloroppgave NTNU, Trondheim.

Andersson og Sand (2018). 'Landbruket i Trøndelag som energikonsument- og produsent.' TFoU-rapport 2818:15, Trøndelag Forskning og Utvikling.

Andresen, I. (2008). 'Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergiboliger og passivhus.' SINTEF Prosjektrapport 22-2008.

Bakke et. al. (2019). 'Consequences of local energy supply in Norway. A case study on the ZEN pilot project Campus Evenstad', ZEN report No. 17-2019.

Bergan, S. (2020). 'Solstrøm fra gårdsbruk i Vestfold. Prosjektrapport Fase 2.' Vestfold bondelag.

Byrkjedal m.fl. (2009). 'Vindkart for Norge.' Oppdragsrapport A 9-2009, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo.

Bunger m.fl. (2020). 'Fjørfenæringen i Norge - husdyrholdets vekstnæring.' Rapport 4-2020, Agri Analyse, Oslo.

Bævre m.fl. (2006). 'Energi til norsk veksthusnæring. Bruk av naturgass som energibærer og CO₂-kilde.' Bioforsk Rapport Vol 1 nr. 119, 2006, Ås.

DNV-GL (2020). 'Elektrifisering av Landbruket. En potensialstudie utarbeidet på vegne av Energi Norge og Norges Bondelag.' Rapport nr. 2020-0265, Rev 1.0.

Eidem, B., H.C. Endrerud og T.H. Jystad (2019). 'Hovedrapport fra prosjekt Ren biodiesel som drivstoff i Norsk landbruk.' Ruralis Notat nr 3/19, ISSN 1503-2027.

Ellingsen og Filbakk (2016). 'Biogass. Håndbok i etablering og drift av gårdsbaserte biogassanlegg.' Norges Vel.

Energimyndigheten (2018). 'Energihushållning i jordbruk. En vägledning för bästa teknik.' ET 2018:9, ISSN 1404-3343.

Fuglseth m.fl. (2020). 'Klimavennlige byggematerialer. Potensial for utslippskutt og barrierer mot bruk.' Rapport for Enova SF, Asplan Viak, 16.10.2020.

Fuglseth m.fl. (2021). 'Klimagassutslipp fra oppgradering av eldre bygg. 24 case-studier fra Innlandet', Rapport for Innlandet Fylkeskommune, Asplan Viak og Energibygg, 19.02.2021.

Føyn, A. (2017). 'Solstrøm fra gårdsbruk i Vestfold.' Vestfold Bondelag.

Guest m.fl. (2013). 'Consistent quantification of climate impacts due to biogenic carbon storage across a range of bioproduct systems'. Environmental Impact Assessment Review, Vol. 43, November 2013

Hansen m.fl. (2018). 'Miljø- og klimavennlig melkeproduksjon. Inspirasjon fra seks melkeproduksjonsbruk.' NIBIO Rapport 4(96) 2018.

Henriksen og Korsæth (2013). 'Inventory of Norwegian grain production. Data from three average- and three high yielding cereal farms located in the major grain producing areas of Norway.' Bioforsk rapport Vol 8. Nr 69, 2013, Ås.

Hillestad og Bunger (2019). 'Kornhøsting i våtere klima.' Rapport 2-2019, Agri Analyse, Oslo.

Hovlang, J. (2018). 'Biogassproduksjon på gård - hvilke muligheter finnes?' Presentasjon Markens Grøde, Rakkestad, SINTEF Tel-Tek.

Johansen et al. (2013). 'Inventories as basis for life cycle assessments of milk and meat produced at Norwegian dairy farms. Design and data for three modelled farms with medium production intensity.' Bioforsk Report vol. 8 nr. 73, 2013.

Johansen og Roer (2018). 'Livsløpsanalyser av norsk svinekjøttproduksjon med og utan heimprodusert grassaft som for'. NIBIO Rapport Vol 4. Nr. 103.

Koesling m.fl. (2015). 'Embodied and operational energy in buildings on 20 Norwegian dairy farms - Introduction the building construction approach to agriculture.' Energy and Buildings 108 (2015) 330-345, Elsevier.

Koesling (2016). 'Nitrogen and Energy Utilization of Conventional and Organic Dairy Farms in Norway.' Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Agrarwissenschaften, University of Kassel, Germany.

Kollberg, M. m.fl. (2017). 'Utvikling og implementering av biokull som klimatiltak.' Prosjektnotat, SINTEF.

Kummen T.M. (2018). 'Muligheter for energieffektivisering og konvertering til fornybare energikilder på en gård.' Masteroppgave ved Institutt for energi- og prosessteknikk, NTNU. KLIM (2014). 'Nasjonal tverrsektoriell biogasstrategi', Klima- og miljødepartementet.

Lien (2013). 'CO₂ emissions from Biofuels and District Heating in Zero Emission Buildings (ZEB)', ZEB Project report no 10, The research centre on Zero Emission Buildings, Trondheim.

Lyng m.fl. (2019). 'Evaluering av pilotordning for tilskudd til husdyrgjødsel til biogassproduksjon', Rapportnr OR.04.19, Østfoldforskning.

Morken, J. m.fl. (2017). 'Veileder for biogassanlegg - mulighetsstudie, planlegging og drift.' REALTEK Rapport 56, NMBU, ISSN 1503-9196.

NGF (2020). 'NGF's Energi og klimastrategi, 2021-2030.' Norges gartnerforbund, Oslo.

NIBIO (2020). 'Biokull er et effektivt klimatiltak i landbruket.' NIBIO POP Vol 6, No 43-2000.

NILF 2009, 2010, 2011, 2012, 2013. Driftsgranskningene i jordbruket.
<http://nilf.no/statistikk/Driftsgranskinger/NILF-Driftsgranskningene>

Norges Bondelag (2020), 'Høringssvar - forslag til endringer i utforming av nettleie', 19.05.2020

Norges Vel (2018a). 'Kort introduksjon til status for de seks pilotgårdene.' Presentasjon Kihl gård - 13/6 2018.

Norges Vel (2018b). 'Gjennomgang av ulike energiløsninger.' Presentasjon Kihl gård - 13/06 2018.

Norges Vel (2019). 'Energisituasjonen på gårdsbruk i dag - hvordan kan solenergi bidra', presentasjon på Kurs Solenergi i landbruket, 15/1 - Kalnes VGS.

Norges Vel (2020). 'Bruk av fornybar energi i det norske landbruket. En praktisk veileder.'

Norsk gartneriforbund (2020). 'NGF's Energi- og klimastrategi 2021-2030'. Norsk gartneriforbund, Oslo 10.07.2020.

NVE (2015). 'Kostnader i energisektoren. Kraft, varme og effektivisering.' NVE-rapport 2-2015, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo.

NVE (2017a). 'Energibruk i Fastlands-Norge. Historisk utvikling og anslag på utvikling mot 2020.' NVE-rapport 25-2017, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo.

NVE (2017b). 'Kraftmarkedsanalyse 2017-2030. Høyere kraftpriser til tross for økende kraftoverskudd'. NVE-rapport 79-2017, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo.

NVE (2021). 'Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2021-2040. Forsterket klimapolitikk påvirker kraftprisene'. NVE-rapport 29/2021, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo.

OED (2021), Meld. St. 36 (2020-2021) 'Energi til arbeid - langsiktig verdiskaping fra norske energiressurser'

Rasse m.fl. (2019). 'Muligheter og utfordringer for økt karbonbinding i jordbruksjord.' NIBIO Rapport Vol. 5, Nr. 36.

Revheim, P.B. (2017). 'Muligheter for småskala vindkraft i Møre og Romsdal.' Nasjonalt Vindenergiserter.

Rivedal m.fl. (2021). 'Klimagassutslepp frå gardsdrifta på Mære Landbruksskole og aktuelle tiltak for å redusere utsleppa.' NIBIO rapport Vol. 7, Nr 39, Norsk Institutt for bioøkonomi.

RME (2020), 'Oppsummering av høring og anbefaling til endringer i nettleiestrukturen', RME-rapport nr. 6/2020

Roer et al. (2013). 'Environmental impacts of combined milk and meat production in Norway according to a life cycle assessment with expanded system boundaries.' Livestock Science 155 (2013) 384-396, Elsevier.

Rognstad m.fl. (2016). 'Landbruket i Norge 2015'. Statistiske analyser 149, Statistisk sentralbyrå, Oslo.

Selvig m.fl. (2017). 'Campus Evenstad. Jakten på et nullutslippsbygg (ZEB-COM).' Statsbygg, Oslo.

Skaar m.fl. (2021). 'Nullutslippsgården i ZEN. Systemgrenser for en nullutslippsgård i et nullutslippsområde. ZEN-pilot Mære.' ZEN-memo under utarbeidelse

Skala fabrikker, Varmegjenvinning, URL: [Varmegjenvinning - Til melkerommet - Gårdstanker - Nettsteder - Skala Fabrikk](#)

Småkraftforeninga (2018). '400 muligheter.' Småkraftrapporten 24. sept 2018.

Statnett (2019), 'Tariff 2020.' Drøftingsmøte med kundeorganisasjonene, juni 2020.

Statnett (2020), 'Tariffer for transmisjonsnettet 2021. Modellbeskrivelse og satser'

Thema (2020). 'Et fullelektrifisert Norge. Hva er behovet for ny kraft i Norge og Trøndelag?' Thema Consulting Group, På oppdrag fra NTE, juni 2020.

VISTA Analyse (2020). 'Fossilfrie landbruksmaskiner i Møre og Romsdal. Interesse og potensiale for omlegging fra diesel til lav- og nullutslippsdrivstoff i landbruksmaskiner.' Rapport 2020/20 for Møre og Romsdal Fylkeskommune.

Wagner m.fl. (2020). 'Elektrifisering av landbruket - Drift av gård med fornybar energi.' Bacheloroppgave i Elkraft, NTNU, Trondheim.

Wergeland, S. (2017). 'Småskala vindkraft på Flø. En økonomisk beregning av lønnsomheten ved tilknytning av en 5 kW vindturbin til et pluss hus på Flø.' Semesteroppgave ved Master i fornybar energi, NMBU.

Ålund og Weeghel (2020). 'Husdyrgjødsel til biogass - gjennomgang av virkemidler for økt utnyttelse av husdyrgjødsel til biogassproduksjon. Rapport fra arbeidsgruppe 14.02.2020' Landbruksdirektoratet og Fylkesmannen i Vestfold og Telemark.