

Grunnvannsbasert varmepumpeanlegg for lokal, grønn og konkurransedyktig matproduksjon

Av Christian Rekve Bryn, Jørn Stene, Anders Sand, Oddmund Soldal og Bjørn Frengstad

Christian Rekve Bryn (M.Sc.) er hydrogeolog, ansatt som fagspesialist hydrogeologi i COWI AS og Ph.D-stipendiat ved NTNU.

Jørn Stene (Dr. Ing.) er varmepumpe-/kuldeingeniør og ansatt som spesialist varmepumper og kjøleanlegg i COWI AS.

Anders Sand (M.Sc.) er sivilagronom og ansatt som energirådgiver i Norsk Gartnerforbund.

Oddmund Soldal (Dr. Scient.) er hydrogeolog og ansatt som fageksperter i Norconsult.

Bjørn Syvert Frengstad (Dr. Ing.) er ingeniørgeolog og ansatt som professor og faggrupperleder ved Institutt for geovitenskap, NTNU.

Summary

Groundwater-based heat pump system for local, green and competitive food production. This study examines the potential of groundwater-based heat pump systems as an energy source for Norwegian greenhouses, specifically focusing on the Bømoen and Bjørkemoen areas in Voss. Hydrogeological investigations indicate favourable conditions with high-quality groundwater, a stable temperature of 5–6 °C, and significant extraction potential. Utilizing groundwater for both heating and direct cooling can substantially reduce greenhouse energy consumption, leading to considerable economic savings and environmental benefits using renewable energy with a low environmental footprint. Groundwater cooling enables more closed greenhouse operations, maintaining high and stable CO₂ levels with a potential increase in yields of 30–50%. Economic analyses show a payback period of 9.8 years for a 1-hectare greenhouse equipped with groundwater heat pumps and heat exchangers, compared to 26.6

years using biogas for heating. Integration with local biogas plants and fertilizer from larvae production further enhances economic and environmental benefits, contributing to a local circular economy.

Sammendrag

Denne studien vurderer potensialet for grunnvannsbaserte varmepumpeanlegg som energikilde til norske veksthus, med utgangspunkt i Bømoen og Bjørkemoen på Voss. Hydrogeologiske undersøkelser viser gunstige forhold med god grunnvannskvalitet, stabil temperatur (5–6 °C) og stort uttakspotensial. Bruk av grunnvann til både oppvarming og direkte kjøling kan vesentlig redusere energiforbruket i veksthus. Dette gir betydelige økonomiske besparelser samt miljøgevinster, inkludert bruk av fornybar energi og lavt fotavtrykk. Kjøling med grunnvann gjør det mulig å holde veksthusene mer lukket, noe som gir mulighet for et høyt og stabilt CO₂-nivå med forventet vekstøkning på

opptil 30–50 %. Økonomiske analyser viser en inntjenings tid på 9,8 år for et 10 dekar veksthus med grunnvannsvarmepumpe og varmeveksler, sammenlignet med 26,6 år ved biogassoppvarming. Integrasjon med et lokalt biogassanlegg, som kan levere både CO₂ og gjødsel, samt gjødsel fra en lokal larveprodusent, legger til rette for en sirkulær løsning med ytterligere økonomiske og miljømessige fordeler.

Introduksjon

Veksthusnæringen i Norge har over lengre tid redusert sin avhengighet til fossile energikilder til oppvarming og økt bruken av nullutslippsalternativer, blant annet elektrisitet, pellets, biogass og bioolje. Denne utviklingen har til dels grunnlag i økt fokus på reduserte klimagassutslipp, samtidig som Norges rike tilgang på fornybar vann- og vindkraft har gjort elektrisitet til en økonomisk gunstig energikilde. I 2018 utgjorde fornybare energikilder 67 % av energiforbruket i veksthusnæringen (NGF, 2022). Likevel er utfordringer knyttet til energikostnader, teknologiimplementering og klimamål fremdeles aktuelle.

Oppvarming med fossile brenslers står fortsatt for rundt 30 % av energiforsyningen i veksthus, hovedsakelig gjennom bruk av naturgass og propan. Selv om dette er en reduksjon fra 45 % i 1989, representerer det fortsatt en betydelig andel (ENOVA, 2024a). Norges Gartnerforbund har som mål å eliminere fossile brenslers i veksthus innen 2030 (NGF, 2020b). I tillegg vurderer Stortinget å forby bruk av fossil gass fra 2028, noe som ytterligere presser næringen til å utforske alternative energiløsninger (Klima- og miljødepartementet, 2024; Miljødirektoratet, 2024; Statsministerens kontor, 2024).

Selv om den høye andelen fornybar energi i stor grad skyldes billig vannkraft, har de økte strømprisene de siste årene skapt utfordringer. Vinteren 2022–23 var spesielt krevende, med høye priser på både elektrisitet og gass. Strømkostnadene gikk fra et gjennomsnitt for de 5 tidligere årene, på 45 øre/kWh til 150 øre/kWh i 2022 (Holstad, 2023). Regjeringens strømstøtte bidro til å holde flere veksthusanlegg åpne, men

redusert produksjon førte til mangel på tomater og agurker i butikkene (Sannan, 2022; Sannan et al., 2022). Det ble ikke gitt kompensasjon for økte gassutgifter. Energikostnader utgjør opptil 30–40 % av produksjonskostnadene i veksthusdrift (Sannan et al., 2022), noe som gjør energieffektivisering avgjørende for økonomisk lønnsomhet, spesielt fordi marginene ofte er små. I 2030 forventes strømprisen å ligge på rundt 80 øre/kWh (Kirkerud et al., 2023) og nettleien til å øke med ca. 25 % (Finne et al., 2024).

Norges forespeilte strømproduksjon opp mot forventet forbruk har blitt diskutert i nyere tid, og flere analyser viser at Norge kan gå mot kraftunderskudd i 2030 (Andresen et al., 2023; Birkelund et al., 2021; Kirchner et al., 2022; Statnett, 2022), og dette legger ytterligere aktualitet i ulike energisparingsinitiativ både generelt og for veksthusbransjen. I denne sammenhengen er grunnvarme høyaktuelt og kan på generell basis dekke alt av Norges varme- og kjølebehov (Ramstad, 2011).

Alternative energikilder som grunnvarme kan forbedre energieffektiviteten i norske veksthus vesentlig. Varmepumper med grunnvarme som energikilde vil redusere strømforbruket for oppvarming med typisk 70 %, og spart strøm til kjøling vil tallet være vesentlig høyere (75–98 %). Erfaringer fra gartnerier viser at væske/vann-varmepumper har hatt positiv effekt, og grunnvarme peker seg ut som en løsning med betydelig potensial for lavutslippsoppvarming (Sannan et al., 2022). Selv om investeringskostnadene kan være høye, gir slike løsninger langsiktige besparelser og bidrar til å redusere næringens karbonfotavtrykk. Dette gjelder spesielt grunnvannsbaserte varmepumpeanlegg som har en vesentlig lavere investeringskostnad per installert effekt ved riktige hydrogeologiske forhold enn bergvarmeanlegg. Grunnvannsbasert varmepumpeanlegg anses derfor som en alternativ og fremtidsrettet energikilde i matproduksjon. Enova har nylig økt støtten til varmepumper (Enova, 2024b), noe som bidrar til lavere investeringskostnader.

Lokal matproduksjon fører til økt matsikkerhet, et viktig moment i en verden med mer

geopolitisk uro, samt klimaendringers påvirkning på avlingsforutsigbarhet.

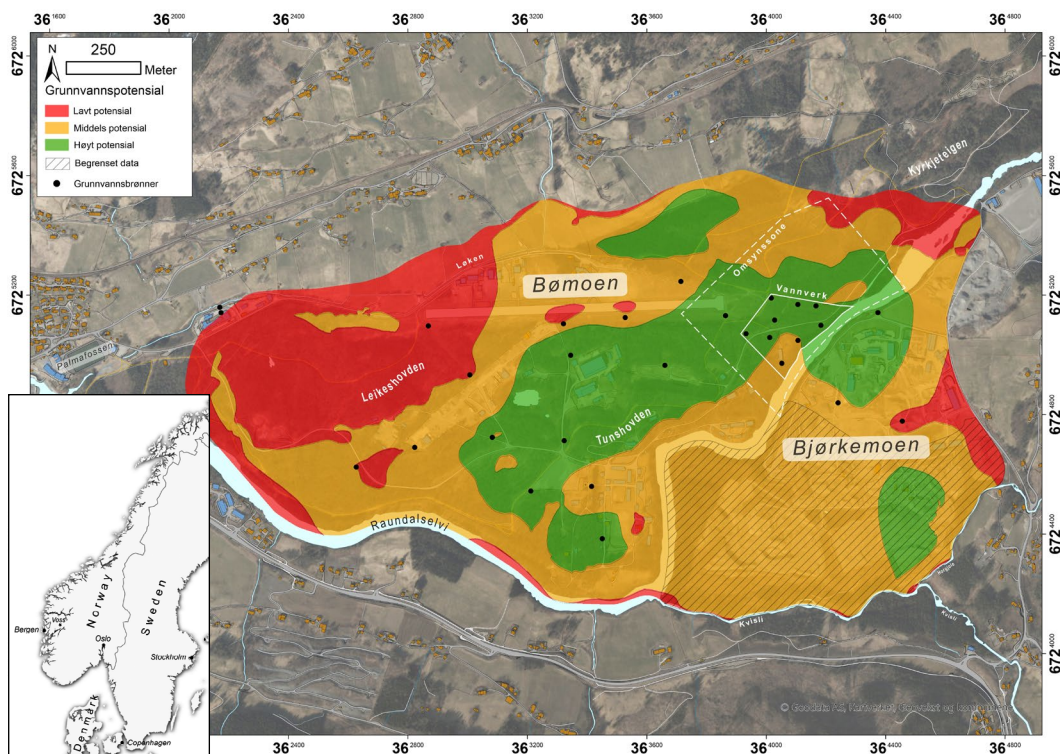
Denne artikkelen er basert på et forskningsprosjekt finansiert av Regionalt forskningsfond Vestland (RFF), COWI AS og Norconsult Norge AS. Prosjektet er utført av COWI AS og Norconsult Norge AS i samarbeid med Norsk Gartnerforbund (NGF) og Voss Herad. Formålet med arbeidet har vært å vurdere om den betydelige grunnvannsressursen på Bømoen og Bjørkemoen på Voss (Figur 1) kan brukes til termisk energiforsyning for matproduksjon i veksthus. Prosjektet er en del av et større forskningsprosjekt («Bømoen Plussbygde») som utforsker bruk av georessurser i planlegging og utvikling av områder. Dette innebærer kartlegging av tilgjengelig geotermisk energi i form av grunnvannsbasert grunnvarme, hvor varmepumper kan utnytte

grunnvannets lagrede solenergi. Vi kjenner bare til ett veksthusprosjekt hvor det er utredet bruk av grunnvann som energikilde og grunnvannsmagasinet til sesonglagring i Norge: De Beer and Ramstad (2008).

Denne artikkelen baseres på de viktigste delene av studien med fokus på grunnvann som termisk energikilde til veksthus med størrelse 10 da og med dyrking av tomater.

Hydrogeologiske forhold i Bømoen og Bjørkemoen

Bømoen og Bjørkemoen ligger på en sandur, dannet av smelte vann fra nedsmelting av breer etter siste istid. Vannmettet sone av sand- og grusforekomsten(e), som utgjør akviferen(e), har et volum på ca. 30 mill. m³ og gjennomsnittlig dyp til grunnvannet er ca. 8 m. Deler av akvi-



Figur 1. Oversiktskart over studieområdet og kart med grunnvannspotensialet for undersøkt område (Bømoen og Bjørkemoen). Grunnvannspotensialet er uttrykt ved transmissivitet: Høyt potensial (>0.02 m²/s), middels potensial (0.003 – 0.02 m²/s), lavt potensial (<0.003 m²/s). Grønne og oransje områder er mest relevante i forhold til grunnvannsuttak. Sorte punkt representerer grunnvannsprøver med informasjon om stratigrafi, kornfordeling, hydraulisk konduktivitet, vannstand, temperatur og vannkvalitet.

feren vil benyttes til drikkevannsformål, og vil være Voss Herads reservevannforsyning. Det er gjort en rekke undersøkelser knyttet til kvartær- og hydrogeologiske forhold for å kartlegge uttakspotensialet for grunnvann, grunnvannskvalitet, temperaturvariasjoner og hvordan grunnvannet beveger seg. Figur 1 viser et ressurspotensialkart for grunnvann i området.

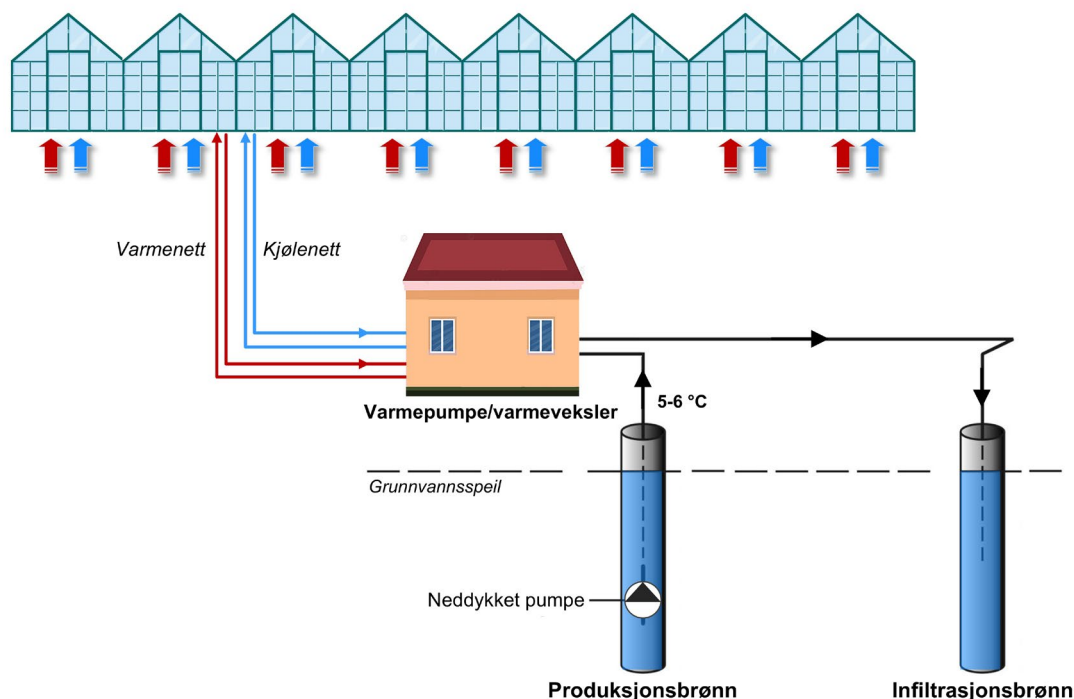
Grunnvannet i området har en relativt stabil temperatur på ca. 5-6 °C gjennom året (Bryn, 2016; Haukanes, 2018; Soldal, 2023). Vannets høye varmekapasitet (4184 J/(K·kg)) gjør at det er mye energi lagret i grunnvannet. Ved bruk av en varmepumpe kan man frigi store mengder energi i form av varme, ved å kjøle nedgrunnvannet. Grunnvannet er også velegnet til kjøling, enten direkte (frikjøling) eller ved bruk av en varmepumpe. Bruk av grunnvann som energikilde i Norge kalles grunnvannsbasert grunnvarme og bruker et åpent system for uttak av energi, kontra et lukket bergvarmesystem hvor en frostvæske i en kollektorslange varmes opp av omgivelsene, typisk i 250-300 m dype borehull i berg. I det åpne systemet pumper man opp grunnvann og fører det gjennom en varmepumpe. En systemvariant er å lagre det oppvarmede/nedkjølte vannet (returvannet) i akviferen. Et slikt system kalles ATES (Aquifer Thermal Energy Storage). Dette systemet kan benyttes som et sesonglagringssystem, og det oppnås et svært energieffektivt system som kan brukes der de hydrogeologiske forholdene (eks. hydraulisk konduktivitet og hydraulisk gradient) ligger til rette. Grunnvannsbasert grunnvarme og ATES er mye brukt i land med gode grunnvannsforhold som f.eks. Nederland. I Norge har blant annet OSL Gardermoen flyplass ATES anlegg, og det jobbes med flere prosjekter i samme område. Selv om det er flere eksempler på grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg i Norge, er det en generell lav utnyttelse av denne energikilden som har bakgrunn i bl.a. tidligere lave strømpriser og begrenset kunnskap om grunnvannets potensiale som termisk energikilde.

Basert på beregnede transmissivitetsverdier er uttaksraten innenfor det grønne (sentrale)

området i Bømoen (Figur 1) estimert til 10-60 l/s per brønn og antall brønner over 10. For områder kategorisert som middels potensiale, er det antatt en uttakssrate per brønn på 5-10 l/s. Eksakte tall må baseres på spesifikke hydrogeologiske undersøkelser for hver brønnetabling og vannbalansen for området. Innenfor det mest aktuelle området (og volumet) for uttak av grunnvann ligger i gjennomsnitt oksygennivået på 10,8 mg/l, pH på 6,3 og jern på 6,5 µg/l. Disse parameterne er viktige for å kunne vurdere risikoen for utfelling av jern i varmepumpene. Lav pH vil typisk bidra til å holde løseligheten av jern oppe. Lavt jerninnhold betyr lavt utfellingspotensial og høyt oksygeninnhold betyr at vannet er oksygenmettet og mye av utfellingen har foregått i selve akviferen. Mangankonsentrasjonen ligger på 1,3 µg/l, og ansees som et mindre problem da manganutfelling er en tregere prosess enn jernutfelling (Stumm & Lee, 1961), som lest i Stenvik and Hilmo (2020). Verdien av mangan er også lave. Vannkvaliteten i Bømoen betyr at sannsynligheten for utfelling i varmevekslere, rør og uttaks/infiltrasjonsbrønn, som bidrar til økt vedlikeholdsbehov og redusert kapasitet, er liten. Det er ikke vurdert slamtiletting som følge av tilstrømming av finstoff, som er avhengig av massenes kornfordeling og brønnfilterdimensjonering.

Bjørkemoen har et mindre datagrunnlag enn Bømoen og verdier for transmissivitet er her mer usikre. Vannprøver for Bjørkemoen viser noe lavere oksygenkonsentrasjon (4,4-9,5mg/l, i gjennomsnitt) og høyere jerninnhold (8,6-15,7µg/l, i gjennomsnitt) enn på Bømoen. Brønner mot midten av denne akviferen har lavere oksygeninnhold enn langs kanten, mot resipient. Akviferen består her av et sandlag over relativt tette masser (fin sand/silt/leire), under det tettende laget ligger det et lag sand og grus som utgjør den mest aktuelle akviferen for utnyttning.

På grunn av forskjeller i vannkjemien antar vi at vedlikeholdskostnadene ved et anlegg i Bjørkemoen vil være noe høyere enn i Bømoen. Vedlikeholdskostnadene kan typisk settes til 1-2% av investeringskostnadene (Ramstad, 2011).



Figur 2. Prinsskisse for grunnvannsbasert grunnvarme til veksthus (COWI AS).

Figur 2 viser en prinsskisse for bruk av grunnvannsbasert grunnvarme til oppvarming og nedkjøling av veksthus.

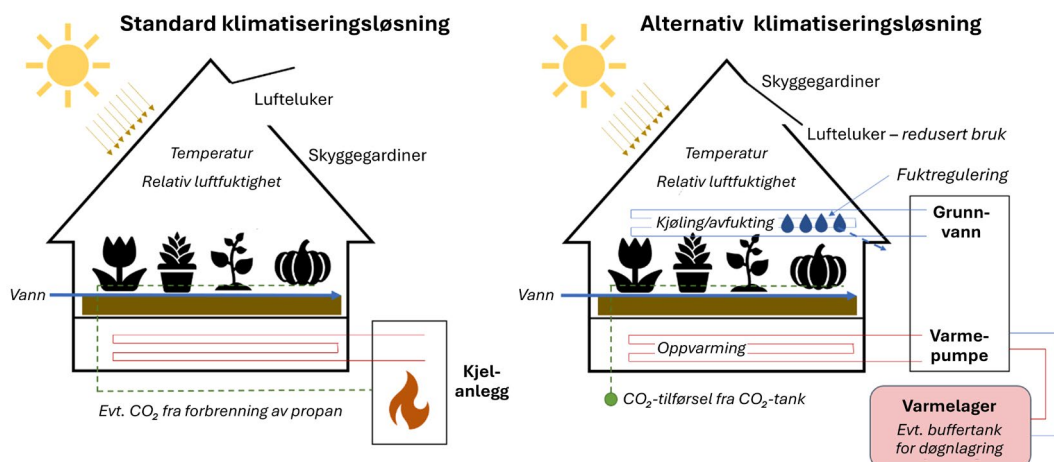
Grunnvann som varme- og kjølekilde i veksthus

Veksthus har et overskudd av varme i sommerhalvåret og et behov for oppvarming i vinterhalvåret. Tidligere ble det brukt belysning i veksthus som ga mye varmetilskudd (høytrykks natriumlamper, HPS), men teknologien for LED-belysning i veksthus er nå på full fart inn i bransjen. Når disse armaturene brukes, reduseres varmetilskuddet og varmebehovet øker tilsvarende. Dette gjør at installasjon av varmepumpeanlegg, som har relativt høy investeringskostnad, har blitt mer aktuelt. I tillegg har Enova økt satsene for tilskudd til væske-vann varmepumper (Enova, 2024b).

Ved å tilføre en stabil CO₂-konsentrasjonen på 800-1000 ppm vil man kunne få en vekstøkning på 30-50% (NGF, 2020a, 2025; Sannan, 2022; Sannan et al., 2022). For å kunne utnytte

innstrålt termisk energi i veksthuset og samtidig opprettholde en høy CO₂-konsentrasjon må luftelukene i taket holdes mest mulig lukket. Da må luften periodevis kjøles ned for å opprettholde ønsket temperatur og luftfuktighet. De to vanligste måtene å avfukte/kjøle luften i veksthus, utover eventuell tilførsel av uteluft fra takluker/ventilasjonsanlegg, har vært kjøleanlegg med varmegjenvinning (varmepumpe) og hygroskopisk (adsorpsjons) avfukter. Det er også mulig å utnytte passiv kjøling (frikjøling) så lenge man har tilgang på en kilde med tilstrekkelig lav temperatur om sommeren. I Bømoen er det tilgjengelig grunnvann i betydelige mengder med moderat stabilt temperaturnivå og god kjemisk kvalitet som er svært godt egnet som varmekilde for varmepumpeanlegg for energieffektiv oppvarming og som effektiv kjølekilde for kjøling/avfuktning.

Figur 3 viser en prinsipiell skisse av en «standard» klimatiseringsløsning for veksthus der varme tilføres via varmerør i golv, vegger, tak og grorør, og der skyggegardiner og åpning av



Figur 3. Prinsipiell framstilling av «standard» klimatiseringsløsning for veksthus og alternativ løsning med varmepumpe for oppvarming og direkte grunnvannskjøling for kjøling/avfuktning (SINTEF Energi AS, revidert av COWI AS).

taklukene («luftefyring») bidrar til å regulere temperatur og relativ luftfuktighet (RH) deler av året. Figuren viser også en alternativ løsning med grunnvannsvarmepumpe for oppvarming og direkte grunnvannskjøling for kjøling/avfuktning.

Varmepumpe-/kjølesystem

I kapitlene under er det utført en vurdering av energikilder til oppvarming (grunnlast og reservelast/spisslast) og nedkjøling.

Oppvarming/nedkjøling – grunnlast- og spisslastkjelde

Det er store variasjoner i behovet for oppvarming, kjøling og avfuktning gjennom døgnet, uka, måneden og året i et veksthus, avhengig av sesong, ønsket innetemperatur og luftfuktighet for plantene i veksthuset, samt utendørs klima (temperatur, relativ luftfuktighet, solinnstråling og vind). Dette krever at et klimatiseringssystem for oppvarming, kjøling og avfuktning i et veksthus har riktig kapasitet og kan reguleres dynamisk.

Oppvarming – grunnlastkilde – varmepumpeanlegg

Varmekilde er i dette prosjektet grunnvann fra en eller flere brønner, avhengig av kapasitet og behov. Dimensjonering av varmepumpen er

typisk etter 90% energidekningsgrad, som tilsvarer ca. 50 % effektdekning ved dimensjonerende utetemperatur og 6/50 °C på kald og varm side av varmepumpen. Varmepumpen vil bruke naturlig kuldemedium (propan, ammoniakk, CO₂). Flere aggregater er fordelaktig for delvis redundans og fleksibilitet. Trinnløs kapasitetsregulering brukes for best mulig regulerbarhet.

Oppvarming – spisslastkilde, reservelast (back-up) – kjelanlegg

Aktuelle kilder for spisslast og reservelast for varmepumpeanlegg i veksthus er kjelanlegg med propan, pellets, biogass, bio-olje samt elektrokjel. Det mest aktuelle alternativet for spisslast/reservelast for dette prosjektet, er biogass kjelanlegg, ettersom det skal etableres et biogassanlegg like i nærheten. Kjelanlegget oppnår høy virkningsgrad, typisk 80 % som spisslastkilde. Det er ingen kjent referansepris for biogass i Norge, og det forventes at prisen vil følge naturgassprisene (Thompson, 2022). I videre vurderinger er det tatt utgangspunkt i et biogass kjelanlegg. Dimensjoneringen er satt til 100 % effektdekning (back-up). Biogass kjelanlegg brukes som referansesystem til termisk energiforsyning i veksthus i videre økonomiske vurderinger.

Kjøling/avfukting

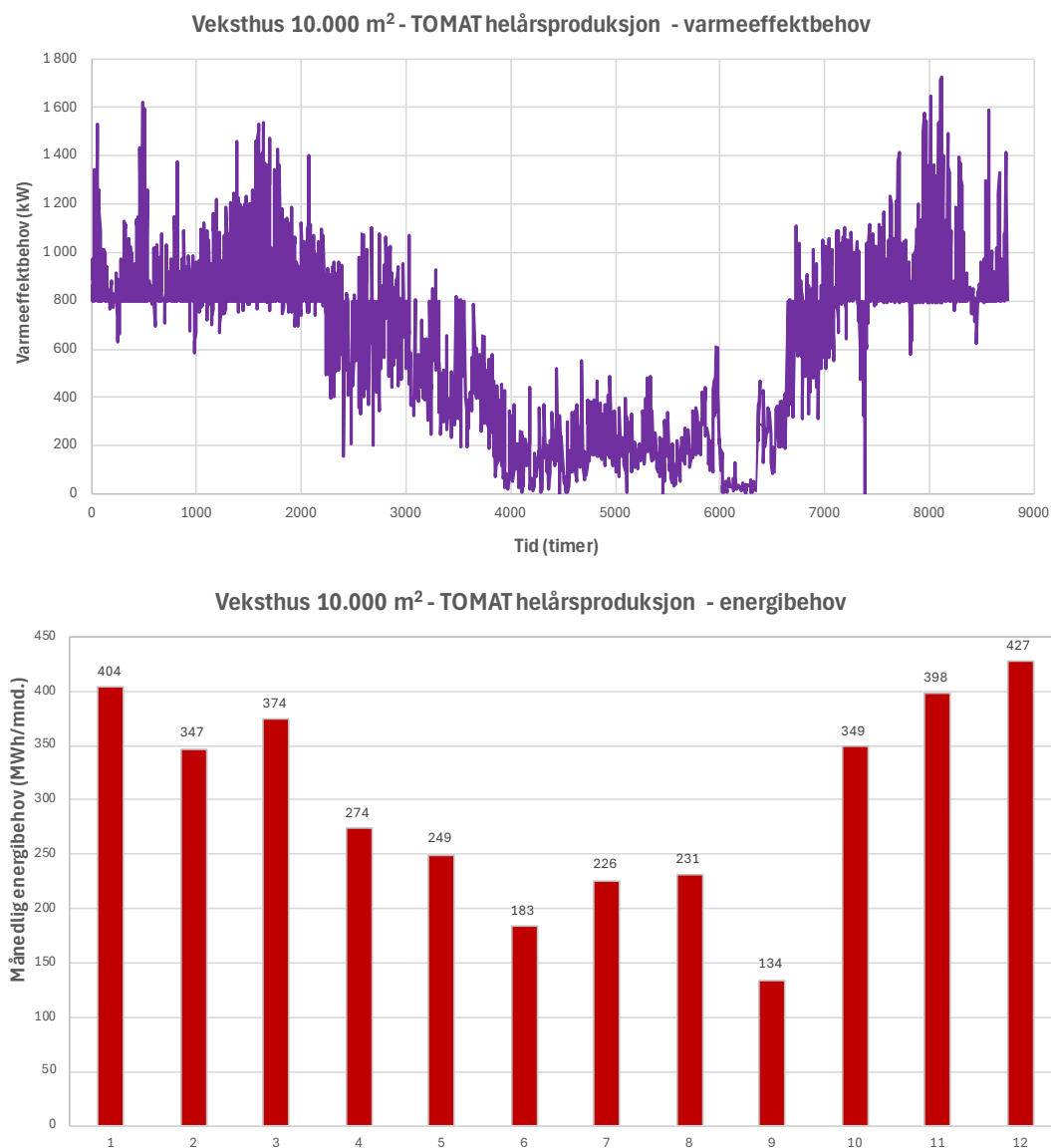
Med god tilgang på grunnvann med en temperatur på rundt 5–6 °C, er en grunnvannsvarmepumpe kombinert med passiv kjøling (frikjøling) fra grunnvann en svært lovende teknisk løsning.

Energibehov for helårsproduksjon av tomater

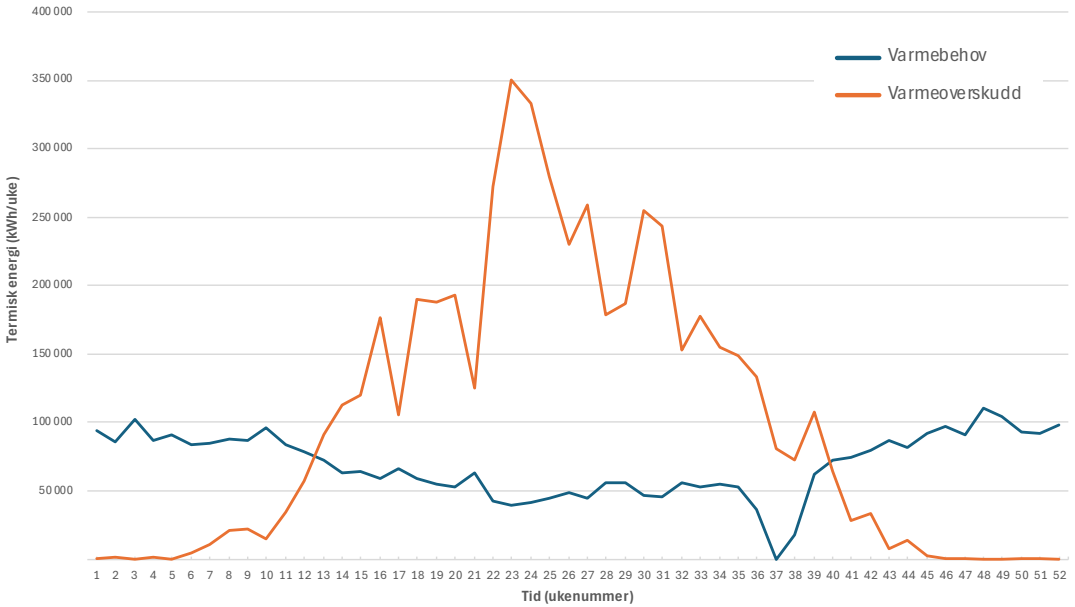
NGF har, med temperaturer og vindhastigheter fra Vossevangen og globalstråling fra Ullens-

vang i 2023, beregnet varmebehov, kjølebehov og resulterende varmeoverskudd for helårs tomatproduksjon i blokkhus på 10 da. Figur 4 viser varmeeffektbehov og energibehov per måned, og Figur 5 viser varmebehov og varmeoverskudd for 10 da veksthus.

Varmeoverskuddet i veksthusene vil redusere det årlige varmebehovet med i størrelsesorden 40 %. Det årlige netto varmebehovet blir da ca. 340 MWh/år (varmepumpen/VP dekker 90 %



Figur 4. Beregnet månedlig energibehov og effektbehov til oppvarming for 10 da blokkhus for helårs tomatproduksjon.



Figur 5. Beregnet ukentlig varmebehov og varmeoverskudd i et 10 da blokkhus for helårs tomatproduksjon.

Tabell 1. Estimert dimensjonerende varmeytelse for varmepumpeanlegg med 90 % energidekningsgrad og spiss-/reservelast (biogasskjeler), samt dimensjonerende kjøleeffekt for kjøleanlegg ved 100 og 200 W/m² spesifikk kjøleeffekt. Tabellen inkluderer også estimert grunnvannsbehov for varmepumpeanlegg og kjølesystem ved dimensjonerende varmeytelse.

	10 da (10.000 m ²) veksthus		
	Oppvarming	Kjøling	
		100 W/m ²	200 W/m ²
Grunnvanns-varmepumpe	1,0 MW (58 l/s)	-	
Spiss-/reservelast	1,6 MW	-	
Kjølesystem	-	1 MW (48 l/s)	2 MW (96 l/s)

av varmebehovet – ca. 305 MWh/år) for 1 da og ca. 2,40 GWh/år (VP 90 % – ca. 2,1 GWh/år) for 10 da.

Dimensjonering av termisk energianlegg

Tabell 1 viser beregnet dimensjonerende effekt for kjelanlegg med biogass, grunnvannsvarmepumpe og kjølesystem for kjøling og avfukting i et 10 da blokkhus. Jo større veksthuset er, desto lavere blir det spesifikke varmeeffektbehovet (W/m²), på grunn av minkende ytterveggandel. Jo høyere kjøleeffekt som installeres, desto færre

dager er det nødvendig å bruke luftelukene for temperatur- og fuktkontroll i veksthuset, og desto flere dager kan veksthuset drives med høy CO₂-konsentrasjon for økt avling. Tidligere har det blitt estimert at omkring 100–200 W kjøling per m² er optimalt. For et veksthus på 10 da er den dimensjonerende vannmengden for varmepumpen omtrent 15 % høyere enn for kjølesystemet ved 100 W/m². Ved 200 W/m² er den dimensjonerende vannmengden for kjøling 45 % høyere. For varmepumpen er det antatt en avkjøling av grunnvannet på 3 °C og en estimert effektfaktor (COP - varmeytelse (kW) dividert

på tilført elektrisk effekt (kW)) på 3,5 ved dimensjonerende forhold. For kjøling med grunnvann er det antatt en temperaturøkning på 5 °C (6/11 °C).

Figur 6 viser et forslag til systemutforming for grunnvannsvarmepumpe til oppvarming og kjøling/avfukting, der separate varmevekslere benyttes for å unngå sirkulasjon av urensset grunnvann og frostvæske i systemet. Varmevexleren til varmepumpeanlegget dimensjoneres med en minimal temperaturredifferanse (MLP) på 2 °C for best mulig COP og krever frostvæske på grunn av lav temperatur. Kjølekretsen har en egen varmeveksler for å unngå sirkulasjon av frostvæske ut til luftvarmevekslere, noe som reduserer temperaturforskjellen og optimaliserer kjøleeffektiviteten.

Økonomisk vurdering

Det er utført en økonomisk analyse for inntjening av investeringer i et veksthusanlegg

med varmepumpe i forhold til et referansesystem med bruk av biogass. I vår analyse er det lagt til grunn bruk av grunnvann som varmekilde og til kjøling for helårsproduksjon av tomater. Biogass i referansesystemet benyttes kun til oppvarming.

I analysen er det beregnet tilbakebetalingstid (TB), inntjeningstid (IT), nåverdi (NV) og største tillatte investering (STI). Formlene som har blitt benyttet er:

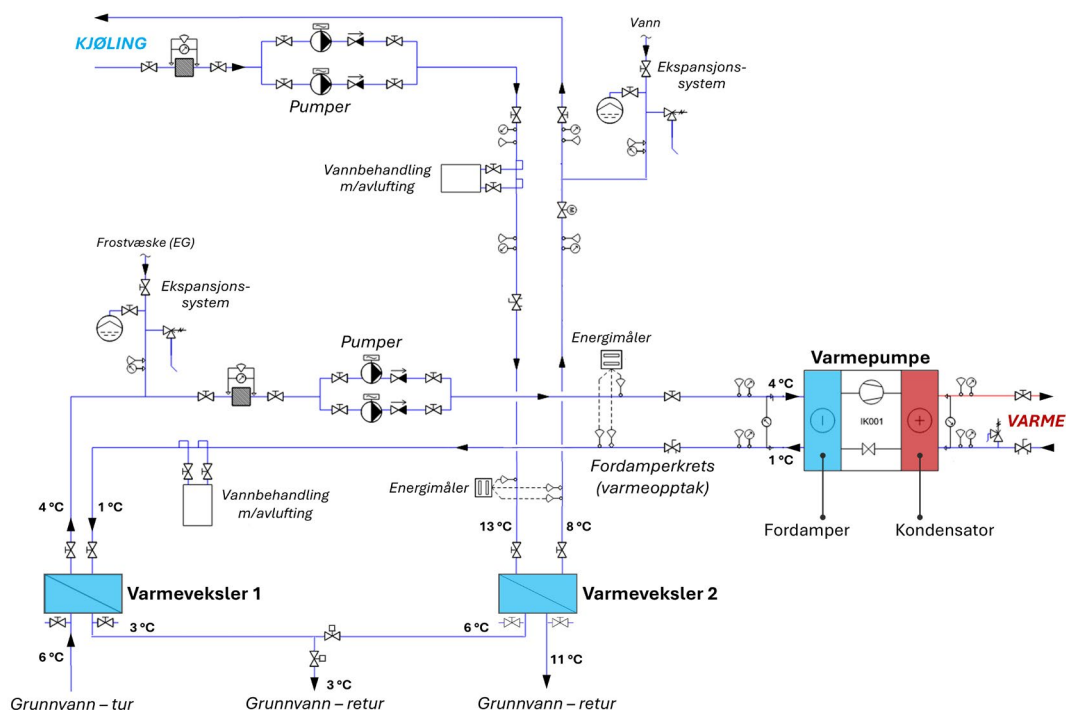
$$TB = \left(\frac{I_0}{B} \right)$$

$$IT = \frac{\ln \left[\left(1 - \left(\frac{I_0}{B} \right) * r \right)^{-1} \right]}{\ln(1+r)}$$

$$NV = \frac{B}{a} + S * (1+r)^{-n} - I_0$$

$$STI = B * \left(\frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} \right) = \left(\frac{B}{a} \right) = (I_0 + NV)$$

$$a = \left(\frac{r}{1 - (1+r)^{-n}} \right)$$



Figur 6. Forslag til systemutforming for varmepumpe til oppvarming og et kjølesystem koblet mot grunnvannsbrønner via to grunnvannsvarmevexlere (1 og 2). Kjølekretsen er direkte koblet til kjølevarmevexlere (fan-coils) i veksthuset (COWI AS).

Hvor I_0 er merinvestering for det grunnvannsbaserte grunnvarmesystemet, i forhold til referanse (biogass). B er netto årlig besparelse/inntjening, r er realrente, n er økonomisk levetid og a er annuitetsfaktor.

- Analysen er blitt utført ved å gjøre:
- Økonomisk analyse av selve energisystemene opp mot hverandre, og da kun for varme-produksjon.
 - Økonomisk analyse av matproduksjon, utgifter og omsetning for hvert energisystem
 - Økonomisk analyse av energisystemene opp mot hverandre i kombinasjon med mat-produksjon

Variabler

Tabell 2 gir informasjon om beregnede investeringskostnader og Tabell 3 beregnede års-kostnader.

Estimert tomatproduksjon i veksthus på 10 da, basert på tall fra NGF, er ca. 110-125 kg/m². Tomatsalget er beregnet til ca. 20-25 kr/kg. Dette gir en omsetning på ca. 2 200 – 3 100 NOK per m². Omsetningen blir da ca. 22 - 31 mill. kr for et 10 da veksthus. Ved tilført CO₂ og bruk av kjøle-system for redusert bruk av lufteluker til kjøling/avfukting er det beregnet en avlingsøkning på 30 %. Dette tilsvarer en omsetning på ca. 28 - 40 mill. kr for 10 da. Personalkostnadene er basert på erfaringstall fra NGF og satt til 25% av om-setningen.

For veksthus med biogasskjel er årskostnadene beregnet til 21 mill. kr. Merk at disse er i hoved-sak lavere grunnet lavere omsetning, og dermed lavere personellkostnader.

Realrenten som er brukt i analysen er satt til 5% og økonomisk levetid er satt til 20 år.

Tabell 2. Investeringskostnader for grunnvannssystem brukt i analysen.

Variabler	10 da	Kommentar
Varmepumpe	kr 8 000 000	Basert på erfaringstall fra COWI-prosjekter
Varmeveksler	kr 500 000	Basert på erfaringstall fra COWI-prosjekter
Gassfyrt kjelanlegg (spisslast/reservelast)	kr 1 750 000	Basert på erfaringstall fra COWI-prosjekter
Brønnpark (forundersøkelser, prosjektering, uttaks -og infiltrasjonsbrønner og grøft med rørføring)	kr 3 400 000	Basert på erfaringstall fra COWI/Norconsult-prosjekter og innhentede priser (2024)
Enova-støtte (varmepumpe)	-kr 3 150 000	Kr 2000 + 1000 kr per KW (Enova, 2024b)
Veksthusanlegg	Kr 60 000 000 – 80 000 000	Basert på beregninger av NGF (Bryn et al., 2024). Et snitt på 70 000 000 er brukt videre i beregningene
Sum	Kr 80 650 000	

For veksthus med biogasskjel er total investeringskostnad beregnet til ca. 71 mill. kr.

Tabell 3. Årskostnader for grunnvannssystem brukt i analysen. Merk at det er brukt en strømpris på 1 kr/kWh for å ta hensyn til forespeilet strømpris (mot 2030) og nettleie.

Variabler	10 da	Kommentar
Pumpekostnader	kr 275 000	Strømpris 1 kr/kWh
Varmekostnader	kr 640 000	SCOP 3,75 (midlere COP) og strømpris 1 kr/kWh
Vedlikeholdskostnader	kr 106 000	1% av investeringskostnad pga. god vannkvalitet
Strømkostnader lys	kr 7 080 000	Basert på beregnet lysbehov for tomater (helårsproduksjon – 7 080 000 kWh/år) og en strømpris på 1 kr/kWh
Personellkostnader	kr 8 610 000	25 % av omsetningen (basert på tall fra NGF, se (se Bryn et al., 2024)
Sum	Ca. kr 24 000 000	

Investeringsanalyse

Økonomisk analyse for varmeproduksjon

Årlig besparelse for energikostnader til oppvarming er beregnet til ca. 1,5 mill. kr ved bruk av grunnvannsvarmepumper. Inkludert investeringskostnader gir dette en tilbakebetalingstid (TB) på 6,4 år, en inntjeningsstid (IT) på 7,8 år, en nåverdi (NV) på 9,2 mill. kr og største tillatte investering (STI) på 18,7 mill. kr.

Økonomisk analyse av matproduksjon med hvert energisystem

Matproduksjon med

grunnvannsvarmepumper

Årlig fortjeneste for tomatproduksjon i 10 da veksthus med bruk av grunnvannsvarmepumper og varmevekslere er beregnet til ca. 10,5 mill. kr. Dette gir en TB på komplett veksthusanlegg på 7,6 år og en IT på 9,8 år.

Matproduksjon med biogasskjelanlegg

Årlig fortjeneste ved bruk av biogass til varmeproduksjon er beregnet til ca. 5,6 mill. kr. Dette gir en TB på komplett veksthusanlegg på 14,5 år og en IT på 26,6 år.

Økonomisk analyse av energi og matproduksjon for referanse- og utfordreranlegg

Differanse i fortjeneste mellom de to systemene er beregnet til 5,7 mill. kr, i favør grunnvannsvarmepumpesystemet. En TB på komplett veksthusanlegg for valgt system i forhold til referanse er beregnet til 1,7 år og en IT på 1,8 år. NV for et komplett system er beregnet til 61,4 mill. kr og STI er beregnet til 70,9 mill. kr.

Usikkerheter

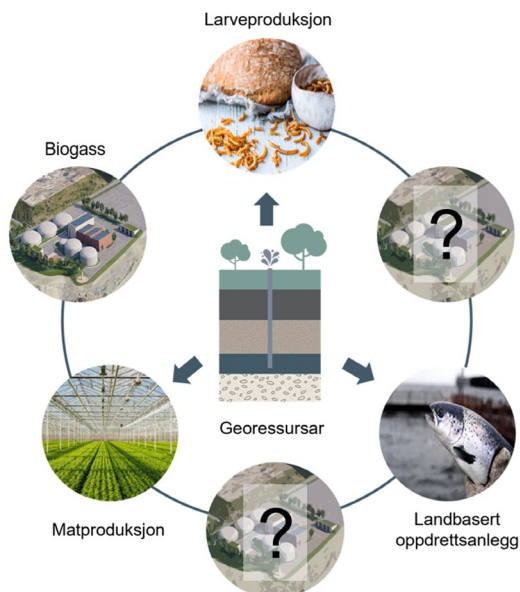
Tallene som presenteres her omfatter ikke faktorer som tomtekostnader (leie eller kjøp), investeringskostnader for fan-coils til kjøling, varme-distribusjonssør, spisslastkostnader (biogass), CO₂ og kompost, diverse vedlikeholds- og servicekostnader, distribusjonskostnader osv. Grøfte- og rørkostnader er anslag. Støtteordning for biogasskjel og varmeveksler er ikke undersøkt, det samme gjelder støtte fra andre støtteordninger (Landbruksdirektoratet, Miljødepar-

tementet gjennom f.eks. Klimasats, eller Enova-støtte til varmeveksler og andre systemer). Det er brukt en vekstøkning som følge av økt CO₂-nivå på 30%, som i realiteten er opp mot 50%. Det er ikke lagt til vedlikeholds-kostnader for biogasskjelanlegget.

Sirkulær økonomi

Det finnes gode muligheter for sirkulære synergieffekter i området. Et nytt biogassanlegg på Bjørkemoen, som skal inngå i en biopark (Grøn Region Vestland, 2024), vil få et overskudd på rundt ca. 2500 tonn CO₂ årlig (Birkeland, 2024), denne gassen kan føres til veksthuset for økt matproduksjon (30-50%).

Biogassanlegget planlegger også å produsere gjødsel (25 % av en separat del gjødsel skal være «tørr», resten flytende) (Birkeland, 2024) i samarbeid med en lokal larveprodusent Invertapro sitt gjødsel «Bløme» (Invertapro AS, 2024)). Denne komposten kan benyttes i veksthus, enten i flytende eller tørr form. Et vellykket



Figur 7. Eksempel på sirkulær økonomi med georessurser som grunnlag i utvikling. Biogassanlegget og Invertapro sin larvefabrikk bygges i området per dags dato. Oppdrettsanlegg er en ide med bakgrunn i behov for riktig temperaturforhold, rent vann, mat fra larver og fiskeslo og slam til biogassproduksjon og larveproduksjon.

Tabell 4. Økonomisk analyse oppsummert.

Variabler	Økonomisk analyse av varmeproduksjon	Økonomisk analyse av matproduksjon med hvert energisystem		Økonomisk analyse av energi og matproduksjon for referanseanlegg mot utfordreranlegg
		Matproduksjon med grunnvannvarmepumper	Matproduksjon med biogasskjanlegg	
TB	6,4 år	7,6 år	14,5 år	1,7 år
IT	7,8 år	9,8 år	26,6 år	1,8 år
NV	9,2 mill. kr	-	-	61,4 mill. kr
STI	18,7 mill. kr	-	-	70,9 mill. kr

eksempel på bruk av både CO₂ og gjødsel fra biogass er prosjektet «Den magiske fabrikken» på Sem (DMF, 2025).

I en lokal, sirkulær økonomi kan grunnvann utgjøre et viktig fundament som en kilde til billig, miljøvennlig og fornybar termisk energi. Stabile energikostnader bidrar ytterligere til økonomisk forutsigbarhet og stabilt driftsbudsjett. Dette er det stort behov for i bygninger for både nærings- og boligformål i Norge.

Oppsummering

Grunnvannsmagasinet i Bømoen/Bjorkemoen har et stort uttakspotensial, god vannkvalitet og stabil temperatur på 5–6 °C. Det er nok energi til å dekke varme- og kjølebehovet for et veksthus på over 10 da (sannsynligvis >100 da). Grunnvann er rimelig, utslippsfritt og fornybart, lite arealkrevende, «usynlig» og egner seg til både oppvarming og kjøling. Selv om investeringskostnadene er relativt høye, kan et anlegg tjenes inn på relativt få år, sammenlignet med konkurrerende termiske energiløsninger.

Når et veksthus kjøles med grunnvann, kan luftelukene i taket i stor grad holdes lukket om sommeren, slik at man bevarer et stabilt høyt CO₂-nivå som erfaringsvis kan øke avlingen med 30–50 % (30 % brukt i vårt eksempel). Ved effekten av billig varme, «gratis» kjøling og tilført CO₂ vil et veksthus på 10 dekar ha et anslått driftsoverskudd på rundt 10 mill. kr. Tilbakebetalingstiden er estimert til 7,6 år og Inntjeningstiden 9,8 år.

Resultatene viser et betydelig potensial for bærekraftig matproduksjon ved bruk av grunn-

vannbasert grunnvarme. Synergieffekter med biogassanlegg og andre aktører i en planlagt biopark gir gode muligheter for sirkulærøkonomiske løsninger, blant annet ved bruk av biprodukter som CO₂ og kompost.

Samlet kostnadsanalyse er vist i tabellen over.

Takksigelser

Stor takk til alle som har bidratt til dette prosjektet utenom selve arbeidet med rapport og artikkel. Dette gjelder Voss Herad (gjennom Hans-Erik Ringkjøb, Tonje Ljones Såkvitne og Karianne Finne) som har vert søkere til finansiering av prosjektet som har ledet til denne artikkelen. Takk til COWI AS og Norconsult AS for egenfinansiering. Takk til Bømoen AS som har bidratt med støtte til det større forskningsprosjektet og som grunneiere av Bømoen. Takk til BIR AS og Invertapro AS for informasjon om fremtidige planer for Voss biopark for biogass- og larveproduksjon. Og til slutt takk til Regionalt forskningsfond Vestland for finansiering av prosjektet.

Referanser

- Andresen, Ø., Hauglie, A., Ringkjøb, H.-E., Seim, H., Tomasgard, A., Fredriksen, B. F., Heia, G., Roland, K., Stubholt, L. M., Ulriksen, A., Gotaas, S., Lundberg, S. A., Rollesfsen, G., & Tennbakk, B. (2023). *Mer av alt – raskere*. Norges offentlige utredninger. <https://www.regjeringen.no/contentassets/5f15fcecac3143d1bf9cade7da6afe6e/no/pdfs/nou202320230003000dddpdfs.pdf>
- Birkeland, Ø. (2024). CO₂ Biogassanlegg. In C. R. Bryn (Ed.).
- Birkelund, H., Arnesen, F., Hole, J., Spilde, D., Jelsness, S., Aulie, F. H., & Haukel, I. E. (2021). *Langsiktig kraft*.

markedsanalyse 2021 – 2040: Forsterket klimapolitikk påvirker kraftprisene. NVE Rapport. https://publikasjoner.nve.no/rapport/2021/rapport2021_29.pdf

Bryn, C. R. (2016). *A reserve water resource in Voss, Norway. Investigation of an integrated hydrogeological system and impact assessment of groundwater pollution using hydrogeological modelling* [Master Thesis, University of Copenhagen]. Copenhagen.

Bryn, C. R., Stene, J., Soldal, O., & Sand, A. (2024). *Potensiale for etablering av veksthus i Bømoen, Voss Herad*.

De Beer, H., & Ramstad, R. K. (2008). *Hydrogeologiske undersøkelser ifm energilagring ved Akkerhaugen Gartneri, Akkerhaugen, Sauherad* (Vol. 2008.006). Norges geologiske undersøkelse. <https://www.ngu.no/publikasjon/hydrogeologiske-undersokelser-ifm-energi-lagring-ved-akkerhaugen-gartneri-akkerhaugen>.

DMF. (2025). *Den Magiske Fabrikken - mer enn et biogassanlegg*! Den Magiske Fabrikken. Besøkt 17.01.2025 fra <https://dmfas.no/>

ENOVA. (2024a). *Gartneri*. Besøkt 14.01.2025 fra <https://www.enova.no/kunnskap/gartneri/>.

Enova. (2024b). *Vilkår for støtte til Varmesentraler*. Enova. <https://www.enova.no/bedrift/bygg-og-eiendom/varmesentraler/>.

Finne, B. E., Moe, S. H., & Undeli, P. (2024). *Framskriving av nettleie i lokalt distribusjonsnett 2024-2030*. Rapport NR. 6 / 2024. <https://www.nve.no/media/17408/rapport-framskriving-nettleie.pdf>.

Grøn Region Vestland. (2024). *Voss Biopark*. Besøkt 17.01.2025 fra <https://www.gronregionvestland.no/vaare-hubbar/voss-biopark>.

Haukanes, L. (2018). *Risiko- og sårbarhetsanalyse av eit reservevassverk på Bømoen, Voss. [Risk and vulnerability analysis of a backup water supply at Bømoen, Voss]. [Master Thesis, University of Bergen]. Bergen. <https://bora.uib.no/bora-xmlui/handle/1956/17855>.*

Holstad, M. (2023). *Rekordhøy strømpris i 2022 – dempet av strømstøtte*. Statistisk Sentralbyrå. Besøkt 15.01.2025 fra <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitetspriser/artikler/rekordhoy-strompris-i-2022--dempet-av-stromstotte>.

Invertapro AS. (2024). *Prøv naturens eige supergjødsl*. Invertapro AS. Besøkt 17.01.2025 fra <https://www.invertapro.com/bloeme-til-heim>.

Kirchner, B., Tennbakk, B., Hauge, H. S., Nagothu, S., & Hoggen, R. L. (2022). *Har vi fleksibilitet nok til å balansere kraftsystemet fram mot 2050? Etterspørsel etter fleksibilitet og kilder som kan levere*. <https://www.regjeringen.no/contentassets/5f15fcec3143d1bf9cade7da6afe6e/no/sved/vedlegg4.pdf>.

Kirkerud, J. G., Buvik, M., Holm, I., Spilde, D., Sørbye, M., Skaansar, E., Kvandal, H., Birkelund, H., Skulstad, H., Petrusson, L., Fjær, K., & Darras, C. (2023). *NVE Rapport nr. 25/2023. Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2023. Energiomstillingen – en balansegang*. https://publikasjoner.nve.no/rapport/2023/rapport2023_25.pdf.

Klima- og miljødepartementet. (2024). *Regjeringens klimastatus og -plan*. <https://www.regjeringen.no/contentassets/1b2fd-715fe494bd886a4756a49737670/no/pdfs/regjeringens-klimastatus-og-plan.pdf>.

Forslag om forbud mot bruk av fossil gass til byggvarme, (2024). <https://www.miljodirektoratet.no/hoeringer/2024/mai-2024/forslag-om-forbud-mot-bruk-av-fossil-gass-til-byggvarme/>.

NGF. (2020a, 10.03.2021). *Det grønne karbonet*. Besøkt 17.01.2025 fra <https://gartnerforbundet.no/det-gronne-karbonet/>.

NGF. (2020b). *NGF's Energi- og klimastrategi*. <https://gartnerforbundet.no/wp-content/uploads/2020/11/NGFs-Energi-og-klimastrategi-2021-2030.pdf>.

NGF. (2022). *Ren energi* (Bærekraftshåndbok for grøntnæringen). <https://xn--brekrafthdboken-lobj.no/>.

NGF. (2025). *CO2*. Besøkt 17.01.2025 fra <https://ngfenergi.no/klimastyring/co2/>.

Ramstad, R. K. (2011). *Grunnvarme i Norge : kartlegging av økonomisk potensial* (Vol. nr 5/2011). Norges vassdrags- og energidirektorat. https://publikasjoner.nve.no/oppdragsrapporta/2011/oppdragsrapporta2011_05.pdf.

Sannan, S. (2022, 30.03.2022). *Strømkriser og matkriser: Kan veksthus bidra til økt selvforsyning i Norge?* <https://blogg.sintef.no/energi/stromkrise-og-matkrise-kan-veksthus-bidra-til-okt-selvforsyning-i-norge/>.

Sannan, S., Enerstvedt, K. E., & Skarphagen, H. (2022). *Energibruk i norske veksthus. Rapport for prosjektet "Energieffektiv klimakontroll for økt produktivitet i norske veksthus"*. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/3023994>.

Soldal, O. (2023). *Søknad om konsesjon for uttak av grunnvatn til drikkevassforsyning på gnr/bnr. 92/43, Bømoen i Voss herad, Vestland fylke.*

Statnett. (2022). *Kortsiktig Markedsanalyse 2022-27.* <https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraft-systemet/planer-og-analyser/kma2022-2027.pdf>.

Statsministerens kontor. (2024). *Anmodnings- og utredningsvedtak i stortingssesjonen 2023–2024.* <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-4-20242025/id3056808/?ch=10>.

Stenvik, L. A., & Hilmo, B. O. (2020). Jern- og mangan-problematikk ved grunnvannsuttag med eksempler fra Ringerike og Sunndal vannverk. *VANN*(02 2020). <https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2020/06/Stenvik.pdf>.

Stumm, W., & Lee, G. F. (1961). Oxygenation of Ferrous Iron. *Industrial and engineering chemistry*, 53(2), 143-146. <https://doi.org/10.1021/ie50614a030>.

Thompson, S. (2022). *Grønt landtransportprogram - biogasspiloten; BIOGASS – ET MARKED I RASK ENDRING.* <https://www.nho.no/siteassets/prosjekter-og-samarbeid/gront-landtransportprogram/2209-stakeholder-markedsanalyse--biogass-26-sept-2022.pdf>.



Screening og kvantifisering av miljøskadelige stoffer

Overvåking og kvalitetskontroll av overflatevann, råvann, prosessert vann, drikkevann og avløpsvann

- Hurtigtester for screening og kvantifisering av cyano- og algetoksiner
- Tester for tilstedeværelse og effekt av hormonhermende stoffer
- Kartlegging av naturlige og menneskeskapte kontaminanter



www.biosense.com
biosense@biosense.com