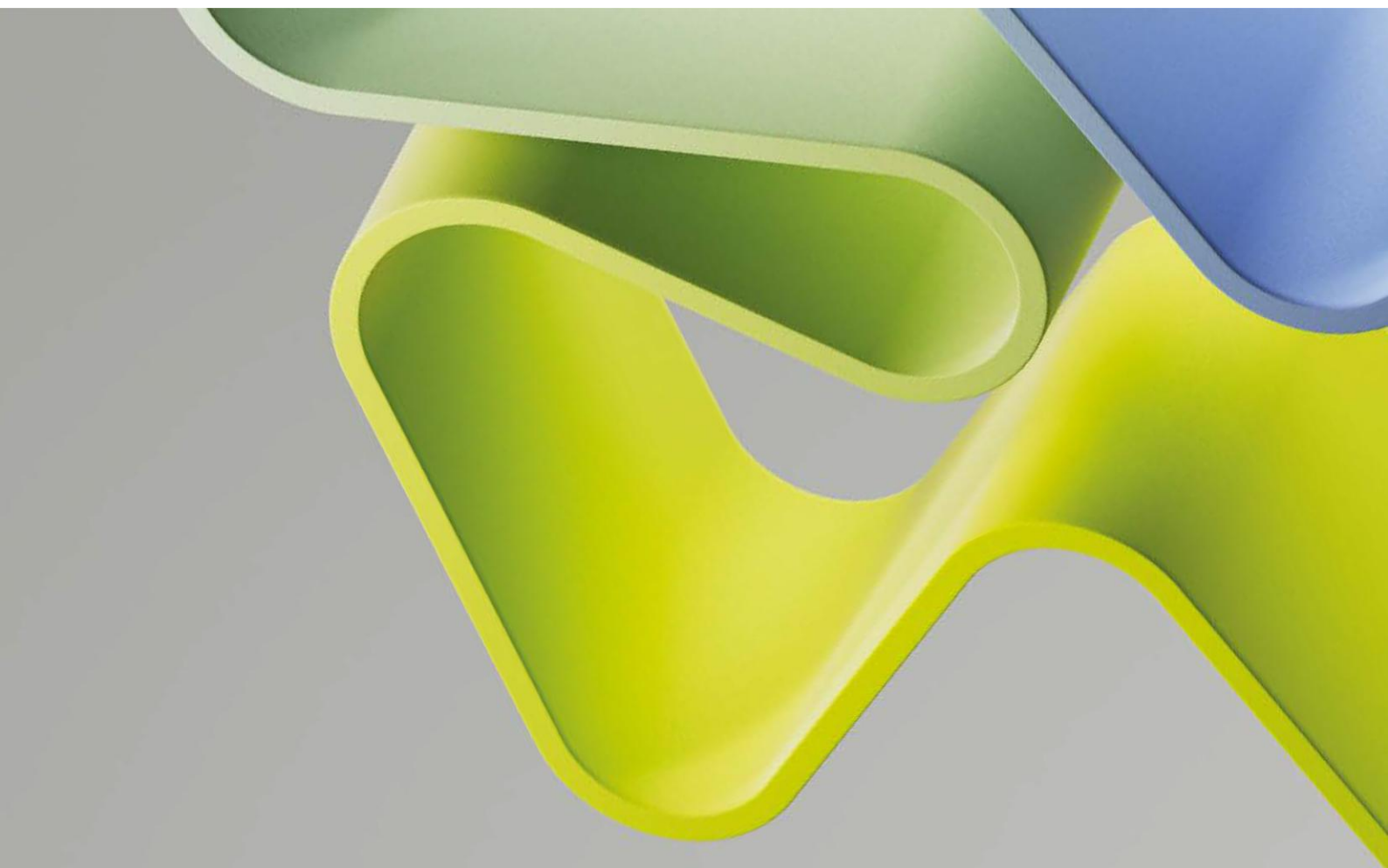


Resultater og høydepunkter fra åtte FME-er 2016-2014

Forskningscentre for miljø- vennlig energi (FME)



Innholdsfortegnelse

Forord	3
Resultater og høydepunkter fra åtte FME-er 2016-2014	4
1. Sammendrag	5
2. Forskningsentre for miljøvennlig energi – mål og beskrivelse av ordningen	6
3. Sentrene: Tematisk område, sammensetning og ressurser	7
3.1 Konsortiene	7
3.2 Ressursinnsatsen	9
4. Resultater og måloppnåelse	10
4.1 Vitenskapelige resultater	12
4.2 Innovasjon, verdiskaping og effekter for energi og klima	12
4.3 Forskerutdanning og rekruttering	14
4.4 Internasjonalt samarbeid	15
4.5 Samarbeid og struktur i energiforskningen	15
4.6 Resultatindikatorer	16
4.7 Veien videre	17
5. Vedlegg Presentasjoner av sentrene	19
5.1 The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (ZEN)	19
5.2 Mobility Zero Emission Energy Systems (MoZEES)	23
5.3 Research Centre for Sustainable Solar Cell Technology (SUSOLTECH)	28
5.4 Centre for an Energy Efficient and Competitive Industry for the Future (HighEFF)	32
5.5 Centre for Intelligent Electricity Distribution (CINELDI)	37
5.6 Norwegian Centre for Sustainable Bio-based Fuels and Energy (Bio4Fuels)	42
5.7 Norwegian Research Centre for Hydropower Technology (Hydrocen)	47
5.1 Norwegian CCS Research Centre - Industry-driven innovation for fast-track CCS deployment (NCCS)	52

Forord

Denne rapporten omhandler andre gruppe med 8 teknologiske FME-er i perioden 2016-2024. Den gir et innblikk i rapporterte resultater og erfaringer sett opp mot suksesskriteriene for FME-ordningen.

FME-ordningen er Forskningsrådets flaggskip for forskning på miljøvennlig energi. FME-ordningen ble opprettet som en direkte oppfølging av Klimaforliket i Stortinget i januar 2008 og Energi21-strategien i februar 2008. FME-ordningen ble lansert i 2009 med den første gruppen som fokuserte på teknologi.

FME-ene har som formål å drive forskningsaktivitet på høyt internasjonalt nivå i samarbeid med brukere fra næringsliv, forvaltning og samfunnet ellers. Forskningen i sentrene skal bidra til å løse sentrale utfordringer på energi- og klimaområdet og styrke innovasjonsevnen i norsk næringsliv. FME-ordningen har siden den ble opprettet i 2009 støttet til sammen 32 FME-er hvorav 19 av disse er avsluttet. Til sammen 27 av de 32 FME-ene er teknologiske, mens 5 er samfunnsrettet. Oversikt over finansierte FME-er:

1. 2009 – 2017: Åtte sentre - teknologi
2. 2011 – 2019: Tre samfunnsrettede sentre
3. 2016 – 2024: Åtte sentre - teknologi
4. 2019 – 2027: To samfunnsrettede sentre
5. 2021 – 2029: Senter på vindenergi
6. 2022 – 2030: To sentre på hydrogen
7. 2025 – 2032: Åtte sentre - teknologi

De teknologiske FME-ene har også innslag av samfunnsrettet forskning som f.eks. miljømessige konsekvenser, økonomi og forretningsmodeller, sosiale aspekter og offentlig engasjement.

Sentrene har utarbeidet egne fylldige sluttrapporter som gir et godt bilde av aktiviteter og resultater i hvert senter. Rapportene illustrerer hvilken betydning sentrene har hatt for både brukerpartnerne og energiomstillingen for øvrig. En kort oppsummering av hvert senter er også i vedlegget i denne rapporten.



Rune Volla
Avdelingsdirektør

Resultater og høydepunkter fra åtte FME- er 2016-2014



1. Sammendrag

FME-ordningen er et synlig og viktig virkemiddel i norsk energiforskning. Samspillet med prosjektfinansiering innen miljøvennlig energi og andre støtteordninger i Forskningsrådet er en medvirkende årsak til at sentrene har lyktes så godt. Sterke miljøer rundt sentrene har også bidratt til at de har lyktes i finansiering av EU-prosjekter og ytterligere utviklet miljøene.

Basert på FME-enes sluttrapporter, midtveisvurdering av sentrene og studien bestående av del 1: «[Effekter av energiforskningen](#)» og del2 «[Vurdering av FME-ordningen](#)» kan det konkluderes at FME-ene har:

- Vært aktive og synlige spydspisser innenfor sine tematiske områder, etablert sterke merkenavn og bidratt i den offentlige debatten
- Ivaretatt både et helhetsperspektiv, langsiktig forskningsperspektiv og tverrfaglighet med bredt definerte forskningsområder som har høy grad av tverrfaglighet
- Etablert som viktige samarbeidsarenaer mellom forskningsinstitusjoner, næringsliv og offentlige aktører
- Viktig arena for utdanning av PhD -kandidater og masterstudenter innenfor de tematiske områdene og står bak et høyt antall publiserte artikler hvorav 25% er på høyeste kvalitetsnivå
- Styrket energiforskningen, bidratt til bedre struktur og samspill i forskningen og er et viktig bidrag til framtidig robuste energisystemer
- Utviklet seg til å bli viktige knutepunkter for internasjonalt samarbeid

Både tidligere studier og studien Effekter av energiforskningen i 2025 viste at energiforskningen er samfunnsøkonomisk lønnsom og FME-ene er et viktig bidrag i dette bildet.

2. Forskningsentre for miljøvennlig energi – mål og beskrivelse av ordningen

FME-ordningen er en konsentrert og langsiktig satsing rettet inn mot å løse energi- og klimautfordringer og bidra til næringsutvikling. Målene for FME-ordningen for teknologiske FME-er at de skal:

- Øke innovasjon og verdiskaping både hos næringsliv og forvaltning som deltar i sentrene og i det norske samfunnet for øvrig.
- Bidra til å redusere klimagassutslipp nasjonalt og internasjonalt, mer effektiv bruk av energi og større produksjon av fornybar energi.
- Fremme utvikling av forskningsmiljøer som ligger i den internasjonale forskningsfronten og som inngår i sterke nasjonale og internasjonale nettverk.
- Synliggjøre resultatene fra forskningen og bidra til en kunnskapsbasert debatt om miljøvennlig energi. FME-ordningen skal primært bidra til å styrke innovasjonsevnen i næringslivet, men skal også fremme kvalitet og effektivitet i offentlig sektor.

FME-ordningen skal gi brukerpartnerne mulighet for langsiktighet, kontinuitet og risikoavlastning i satsingen på forskning. For forskningsmiljøene skal FME gi mulighet for langsiktig kompetanseoppbygging gjennom forskning på et høyt internasjonalt nivå i nært samarbeid med brukere av forskningsresultatene.

Senterordningene har generelt et høyere ambisjonsnivå, større langsiktighet og større konsentrasjon av innsatsen enn andre virkemidler i Forskningsrådet. Et av målene er blant annet å stimulere til forskerutdanning.

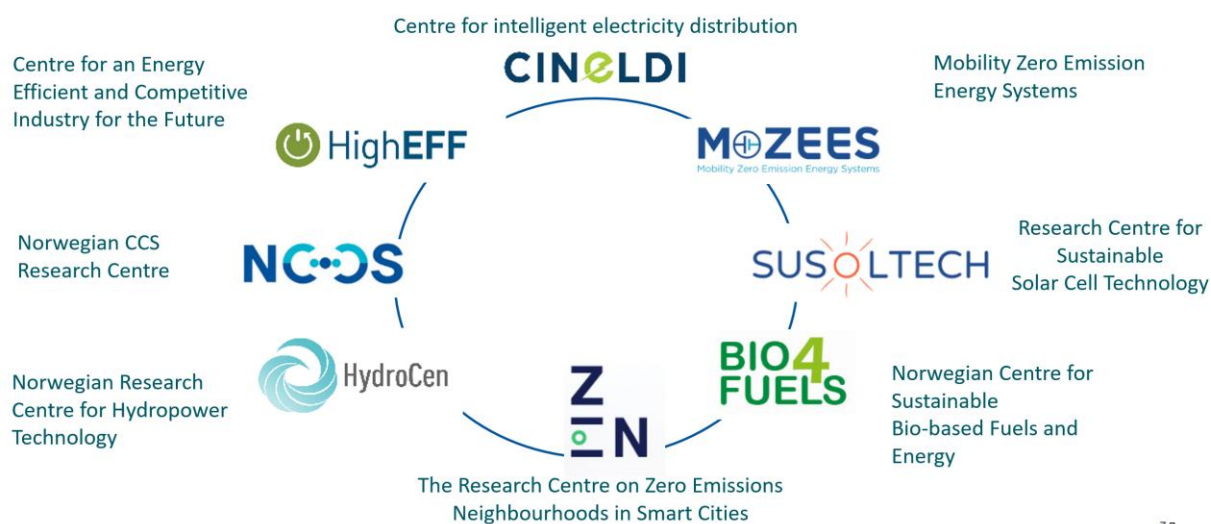
FME-ordningen forutsetter samfinansiering mellom vertsinstitusjon, partnere og Forskningsrådet. For sentrene beskrevet i denne rapporten skal næringslivet bidra med tilsvarende minst 50% av Forskningsrådets bidrag. Forskningspartnerne skal i tillegg bidra med egenfinansiering slik at Forskningsrådets bidrag utgjør maksimalt 50 % av senterets samlede finansiering. Bedrifter må delta aktivt i senterets styring, finansiering og forskning. Sentrene etableres for en periode på inntil åtte år. Basert på utfallet av en evaluering midtveis i senterperioden, vil sentrene få finansiering for de siste tre årene av senterperioden.

3. Sentrene: Tematisk område, sammensetning og ressurser

3.1 Konsortiene

De åtte FME-ene i perioden 2016-2024 bestod av følgende sentere (lenke til sluttrapportene for sentrene):

- The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities - [ZEN](#)
- Mobility Zero Emission Energy Systems - [MoZEES](#)
- Research Centre for Sustainable Solar Cell Technology - [SuSolTech](#)
- Centre for an Energy Efficient and Competitive Industry for the Future - [HighEFF](#)
- Centre for intelligent electricity distribution - to empower the future smart grid - [CINELDI](#)
- Norwegian Centre for Sustainable Bio-based Fuels and Energy – [Bio4Fuels](#)
- Norwegian Research Centre for Hydropower Technology - [Hydrocen](#)
- Norwegian CCS Research Centre - Industry-driven innovation for fast-track CCS deployment - [NCCS](#)



Figur 1. Oversikt over FME-ene i perioden 2016-2024

Figur 1 viser logo og navn for de åtte sentrene. Sentrene har vært sammensatt av forskningspartnere og brukerpartnere fra forskjellige steder i landet og også internasjonale forskningspartnere og brukerpartnere. I tabell 1 er det gitt en oversikt over antall formelle partnere for alle de åtte sentrene. Ved avslutning av de åtte sentrene hadde de over 200 brukerpartnere. Noen av partnerne har ikke vært med i hele senterperioden. Det er likevel en stor økning av brukerpartnere i forhold til det som ble registrert for FME-sentrene for perioden 2009-2016. I tillegg ser vi en stor økning av offentlige partnere, noe som antyder behovet for kunnskap om teknologi og energiomstilling i samfunnet. Spesielt ZEN har hatt stor andel av offentlige partnere med innslag av flere kommuner. ZEN har gjennomført flere pilotprosjekter i tett samarbeid med kommuner som brukerpartnere. De har blant annet tilrettelagt for pilotprosjekter som har gitt verdifull data og innsikt. Eksempler er blant annet kunnskap for nullutslippsløsninger i Bodø kommune. I Bærum kommune har ZEN forskere bidratt energiutveksling mellom bygninger på Oksenøya. Også MoZEES og Bio4Fuels har en

høy andel av offentlige partnere. Totalt sett viser dette at FME-sentrene er blitt viktige kompetanse-sentre for både næringsliv og offentlige aktører.

For alle sentrene har det vært en tilvekst av nye brukerpartnere underveis i senterperioden. Dette ser vi for NCCS som blant annet har tiltrukket seg brukerpartnere fra prosessindustrier der det er økende fokus på CO₂-fangst. Samtidig har det også vært brukerpartnere som har trukket seg fra sentrene i løpet av senterperioden, men dette har generelt ikke medført store endringer i sentrenes aktivitet. Et unntak er SuSolTech der bransjen har vært i endring fra produksjon til anvendelse. Senteret har hatt noe endring i brukerpartnere og de har måttet justere aktiviteten basert på bransjens endring. Se øvrig detaljer om partnersammensetning under beskrivelse av hvert senter bakerst i rapporten.

Når det gjelder forskningspartnere er det en liten økning i antall i forhold til forrige runde med FME-er og i tillegg er omtrent 25% av forskningspartnerne internasjonale registrerte partnere. Registrert samarbeid med internasjonale partnere er en positiv utvikling.

Senter	Tema	Verts-institusjon	Nærings-liv *	Offentlig sektor	Forsknings-partnere *	Annet
ZEN	Nabolag og smarte byer	NTNU	22	12	2	
MoZEES	Batteri og hydrogen	IFE	28 (3)	8	6 (**)	2
SuSolTech	Solcelleteknologi	IFE	11(1)	1	6	2
HighEFF	Energieffektivisering	SINTEF Energi	33(2)		5 (7)	
CINELDI	Elektrisitets-distribusjon	SINTEF Energi	21	3	2	3
Bio4Fuels	Bio-drivstoff og -energi	NMBU	18 (6)	8	7 (1)	4
Hydrocen	Vannkraft	NTNU	35 (1)	2	4 (1)	1
NCCS	CO ₂ -håndtering	SINTEF Energi	21 (4)	1	5 (6)	1
Totalt			189(17)	35	37 (15)	13

Tabell 1. Oversikt over antall partnere for alle de åtte sentrene. *Antall norske og antall internasjonale i parentes. ** Samarbeidsavtaler med 4 internasjonale forskningsinstitusjoner.

3.2 Ressursinnsatsen

De åtte sentrene har hatt en samlet ressursinnsats på nesten 2,9 mrd. kroner gjennom de åtte årene sentrene har vært i drift. Størrelsen på sentrene varierer fra 548 mill. kroner for det største senteret (NCCS) til 252 mill. kroner for det minste senteret (MoZEES).

Finansiering fra brukerpartnerne utgjør totalt 898 mill. kroner, noe som utgjør ca 30% av den totale aktiviteten. Dette er over kravet fra kravet på 25%. Bidraget fra brukerpartnerne har vært både i form av kontantfinansiering og prosjektdeltagelse (inkind). Forholdet mellom kontantbidrag og inkind fra brukerpartnerne er i snitt 60/40. Dette er omtrent samme forhold som ved forrige runde av FME-er. For de fleste sentrene er mer enn 30% av finansieringen fra brukerpartnerne bidrag som inkind. Dette viser god involvering fra brukerpartnerne i sentrenes aktivitet. Unntaket er for NCCS hvor inkind utgjør kun 7% av finansieringen. På den andre siden har SuSolTech hele 83% av finansieringen gjennom prosjektaktivitet fra brukerpartnerne.

Egeninnsatsen (inkind) fra vertsinstitusjonene og forskningspartnerne er på 801 mill. kroner. Universitetenes bidrag er i hovedsak i form av finansiering av stipendiater og er et viktig bidrag. For noen av forskningsinstitusjonene utgjør en del av egeninnsatsen annen forskningsrådsfinansiering (ENERGIX, CLIMIT). Dette gjelder blant annet NCCS som har flere CLIMIT-finansierte prosjekter i senteret.

Generelt har de fleste av sentrene både forskningsrådsfinansierte prosjekter og EU-finansierte prosjekter knyttet til senteret selv om dette ikke er lagt inn i budsjettene.

I tabell 2 er oversikten over ressursinnsatsen gitt med både kontanter og inkind i mill. kroner for alle partnerne i sentrene.

	Verts-institusjon	Forsknings-partnere	Bruker-partnere		Forsknings-rådet	Totalt
	inkind	inkind	Kontant	inkind	Bevilgning	
ZEN	67	48	43	50	176	384
MoZEES	13	56	26	37	120	252
SuSolTech	48	71	10	48	114	289
HighEFF	48	53	72	35	200	408
CINELDI	27	24	67	114	160	393
Bio4Fuels	33	73	25	43	125	298
Hydrocen	50	54	76	39	192	410
NCCS	53	93	202	16	184	548*
Totalt	339	471	521	382	1271	2982

*Sum fra sluttrapport med høyere egenandel fra forskningspartnerne enn registrert hos Forskningsrådet.

Tabell 2. Samlet ressursinnsats for alle sentrene i hele senterperioden (alle tall i mill. kroner). Inkind er prosjektdeltagelse fra brukerpartnerne. Fra vertsinstitusjon og forskningspartnerne er inkind egenfinansiering eller forskningsrådsfinansierte prosjekter som inngår i senteraktivitetene.

4. Resultater og måloppnåelse

Alle sentrene har utarbeidet egne sluttrapporter. Rapportene gir en god og nyttig oversikt over aktiviteter og resultatene fra sentrene. Rapportene illustrerer hvilken betydning sentrene har hatt for både brukerpartnerne og energiomstillingen for øvrig. Rapportene er linket opp i listen over sentrene under kapittel 3.1 og det er gitt en kort oppsummering av hvert senter i vedlegget i denne rapporten.

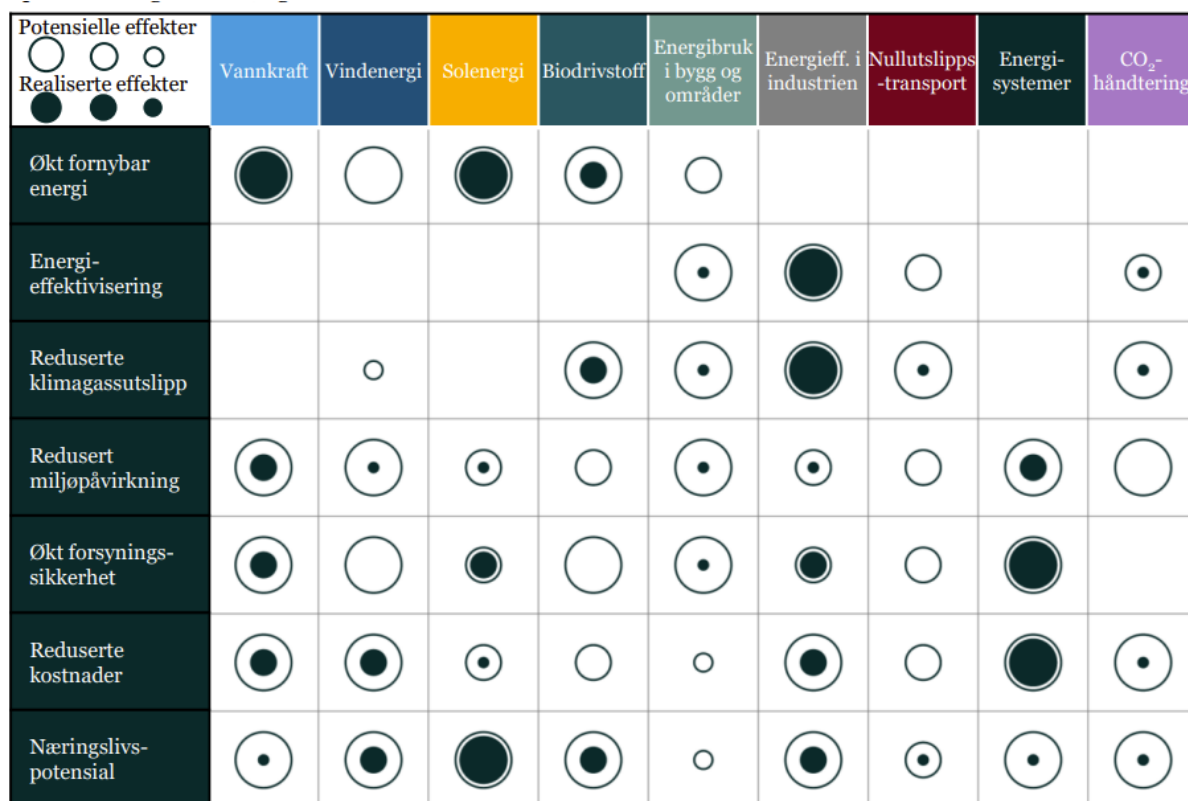
FME-ordningen er et viktig bidrag inn i energiforskningen sammen med prosjektfinansieringen. [Midtveisvurderingen](#) av sentrene etter 5 års aktivitet konkluderte med at sentrenes bidro til å løse utfordringer innen energi-området, utvikle løsninger for lavutslippssamfunnet og øke innovasjonskapasiteten i næringslivet.

På slutten av denne FME-perioden ble det gjennomført studie for å belyse effekter av energiforskningen. Studien ble gjennomført av Menon og Multiconsult. Arbeidet med er oppsummert i to rapporter:

- [Delrapport 1: Effekter av energiforskningen](#). Vurdering av økonomiske og miljømessige effekter av 60 utvalgte case som har fått støtte fra FME-ordningen samt fra prosjektfinansiering innen miljøvennlig energi og lavutslipp.
- [Delrapport 2: Vurdering av FME-ordningen i lys av sentrenes egenskaper](#). Dette inkluderer strukturer for samarbeid, forskerutdanning, publikasjoner, flerfaglighet, internasjonalisering og øvrige resultater utover det som presenteres i delrapport 1.

FME-ene var en viktig brikke i utarbeidelsen av arbeidet med blant annet innspill av forskningscase. Studien viser at investering i energiforskning er lønnsom for samfunnet. Det lønner seg å investere i forskning innen miljøvennlig energi og FME-ordningen egner seg spesielt godt for bidrag til robuste energisystemer. Med utgangspunkt i de antatt seks mest vellykkede forskningscasene der det ble gjort detaljerte effektanalyser, er det er anslått en samfunnsøkonomisk gevinst for Norge mellom 9 og 36 mrd. kroner milliarder kroner. Av dette er om lag 5 mrd. kroner allerede realisert, mens resten må anses som potensielle forventede effekter som det er knyttet stor usikkerhet til. De globale effektene er derimot langt større.

I tillegg til den samfunnsøkonomiske vurderingen ble det gjort en relativ vurdering av effekter på økt fornybar kraft, energieffektivisering, reduserte klimagassutslipp, redusert miljøpåvirkning, økt forsyningssikkerhet, reduserte kostnader og næringslivspotensial for seksti forskningscase. Effektkartet viser både realiserte effekter og potensielle effekter av de seksti forskningscasene.



Figur 2. Relative effektstørrelser på tvers av effekttyper og forskningsområder. Effektene er skjønnsmessig aggregert per forskningsområde, og viser kun til direkte effekter, dvs f.eks at økt forsynings-sikkerhet ved bedre kapasitet i nettet også kan bidra mot økt produksjon av vindkraft, mindre klimautslipp og redusert miljøpåvirkning, men effekten er kun registrert som en effekt på forsynings-sikkerhet.

Utvikling av at et robust energisystem er avgjørende for å håndtere fremtidige utfordringer knyttet til grønn omstilling. Det handler om å etablere en helhetlig tilnærming til både energiproduksjon og miljøpåvirkning. Vurderingen av [FME-ordningen](#) understøttet FME-ene som et viktig virkemiddel innen norsk energiforskning. Sentrene er synlige i samfunnet og bidrar med en faktabasert diskusjon om energiomstillingen. Det ble konkludert at FME-ene er spesielt godt egnet for å bidra til robuste energisystemer. FME-ene fungerer godt fordi de i stor grad lykkes å fungere som viktige plattformer for samarbeid mellom forskningsinstitusjoner, næringsliv og offentlige aktører noe som sikrer at forskningen adresserer relevante problemstillinger mot et felles mål. Samtidig tillater sentrene langsiktige forskningsprioriteringer og bidrar til et helhetsperspektiv og tverrfaglighet.

Antall publikasjoner og kvaliteten av disse ble også vurdert. Man fant at antall publikasjoner er som forventet i forhold til andre sentertyper i Forskningsrådet. Kvaliteten på publikasjonene registrert i Cristin ligger på et gjennomsnittlig nivå noe som vurderes som meget bra for denne typen sentere. Sentrene har også lyktes i å jobbe tverrfaglig. Man har funnet at publikasjonene har et høyt innslag av tverrfaglighet og sentrene oppgir selv at det å koble ulike fagfelt er et viktig element for å oppnå høy resultatoppnåelse.

Sentrene er svært viktige i sin rolle i å utdanne neste generasjons forskere. Antall PhD-kandidater i forhold til Forskningsrådets bevilgning er noe lavere enn forrige runde med FME-er. Årsaken til dette er usikker, men et positivt trekk er at antall registrert masterstudenter knyttet til sentrene har økt. Dette er elementer som er viktig for rekruttering til næringslivet og samfunnet for øvrig.

Internasjonalisering ser man gjennom at norske forsknings- og utviklingsmiljøer samarbeider aktivt med europeiske partnere og andre internasjonale partnere for å fremme kunnskapsutvikling og teknologiske løsninger som både kan implementeres nasjonalt og bidra energiomstillingen. Dette ser man tydelig for denne gruppen FME-er gjennom internasjonale konsortiepartnere, internasjonale PhD-kandidater og utveksling, samt internasjonale medforfattere på publikasjoner.

I de neste kapitlene oppsummeres resultatene fra sentrene som er rapportert til Forskningsrådet og i sentrenes endelige sluttrapport mot suksesskriteriene for FME-ordningen.

4.1 Vitenskapelige resultater

Vitenskapelig kvalitet er et sentralt kriterium for FME-ene. Midtveisvurderingen konkluderte med at sentrene hadde høy forskningskapasitet for å håndtere reelle problemstillinger. En av de antagelig viktigste langsiktige effektene av sentrene er produksjon av både PhD, postdoktorer og master kandidater som kan bidra til energiomstillingen i samfunnet framover. I studien «Vurdering av FME-ordningen» som er omtalt tidligere, påpekes det god produksjon av publikasjoner og med meget bra kvalitet. Det ble også trukket fram at det var høy grad av tverrfaglighet.

Totalt sett har de 8 FME-ene utgitt over 1700 vitenskapelige publikasjoner i periodika eller bøker med refereeordning. Dette er litt lavere enn forrige runde FME-er. Sentrene kan også vise til en rekke priser til forskere, PhD-studenter, invitasjoner til internasjonale konferanser. Noen av sentrene har også selv arrangert internasjonale konferanser. Dette gjelder blant annet NCCS, HighEFF, Bio4Fuels og CINELDI.

4.2 Innovasjon, verdiskaping og effekter for energi og klima

Innovasjon er et viktig område for FME-ene. Det langsiktige samarbeidet i sentrene bidrar til at forskningsresultatene er til nytte for brukerpartnerne i senteret. Erfaring viser at det er en fordel at brukerpartnerne ikke bare bidrar med kontantfinansiering i senteret, men også deltar med aktivt arbeid inn i senteret. De fleste sentere har i denne perioden arbeidet med piloter og brukercase noe som har bidratt til et tett samarbeide mellom forskningspartnere og brukerpartnere. Blant annet har CINELDI, ZEN, MoZEES og Bio4Fuels hatt fokus på pilotprosjekter. HighEFF har jobbet tett med industrien og bidratt i demonstrasjonsprosjekter, men NCCS har satt søkelys på forskning rundt anvendelsesområder.

Konkrete eksempler på godt samarbeid er blant annet ZEN som utviklet metode for planlegging og evaluering av nullutslippsområder. Metoden har blant annet bidratt til at områder kan planlegges med reduserte utslipp av klimagasser og arbeidet er reflektert i standarder og norske bransjekriterier.

CINELDI har bidratt med modeller som gir verdifull innsikt for systemoperatører slik at man kan oppnå økt utnyttelse av kraftnettet og en raskere elektrifisering av samfunnet.

Hydrocen har hatt stort fokus på bærekraftig drift av vannkraften. Senteret har blant annet reddet mange fiskeliv ved utviklingen av et innovativt ledegjerde, noe som har redusert antall smolt som går inn i kraftverktuneller med 85%.

Sammen med omliggende prosjekter har NCCS vært viktig for å støtte opp under Norges første fullskala CCS-verdikjede (Langskip) fra industriell fangst av CO₂ (Heidelberg Materials og Hafslund Celsio), transport av CO₂ og permanent lagring av CO₂ på norsk sokkel. Forskningen har bidratt både til teknologiutvikling som er i kommersiell bruk og for modning av lagre på norsk sokkel.

De fleste av sentrene har gjennom hele perioden hatt et spesielt fokus på innovasjon og har hatt egne prosesser for registrering av innovasjoner og framlegge dette for industrien for å bidra til å få resultatene raskere ut i bruk. I tabell 3 er antall innovasjoner som er rapportert inn listet samt linker til publiserte oversikter over innovasjoner. Oversikten viser innovasjoner på teknologinivå helt fra TRL 1 opp til TRL 9.

For noen av sentrene var det i hovedsak casene fra studien «Effekter av energiforskningen» som ble trukket fram som de viktigste innovasjonene. Studien pekte imidlertid på at det var få nyetableringer av bedrifter eller patentsøknader. Dette kan kanskje forklares med hvor i innovasjonskjeden forskningssentre opererer. Men FME-ene kan likevel vise til bedre resultater enn for andre senterordninger.

Prosjekt-nummer	Senter	Tittel	Antall innovasjoner	Teknologinivå på innovasjonen	Referanse	Effektstudie
257579	NCCS	Norwegian CCS Research Centre - Industry-driven innovation for fast-track CCS deployment	33	TRL 1-8	https://nccs.no/innovations/	10 caser til Effektstudien TRL 4-7
257632	HighEff	Centre for an Energy Efficient and Competitive Industry for the Future	41	TRL 1-9	https://www.sintef.no/projectweb/higheff/results/innovations/	6 caser til Effektstudien TRL 6-7
257626	CINELDI	Centre for intelligent electricity distribution (CINELDI) - to empower the future smart grid	50	TRL 2-9	Innovations	8 caser til Effektstudien TRL 6-9
257588	Hydrocen	Norwegian Research Centre for Hydropower Technology	37	Ikke spesifisert	Ikke publisert oversikt	8 caser til Effektstudien TRL 5-8
257660	ZEN	The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities - ZEN Centre	31	TRL 4-7	https://fmezen.com/innovationreport-2020/	5 caser til Effektstudien TRL 6-8
257639	Susoltech	Research Centre for Sustainable Solar Cell Technology	27	ikke spesifisert	Ikke publisert oversikt	4 caser til Effektstudien TRL 7-9
257653	MoZEES	Mobility Zero Emission Energy Systems	14	Ikke spesifisert	Ikke publisert oversikt 10 Mozees innovasjoner	6 caser til Effektstudien TRL 6-7
257622	Bio4Fuels	Norwegian Centre for Sustainable Bio-based Fuels and Energy	25	TRL 2-8	Ikke publisert oversikt	5 caser til Effektstudien TRL 5-9

Tabell 3. Oversikt over innovasjoner fra sentrene som er registrert over senterperioden. Innovasjonene inkluderer forskningsinnovasjoner, nye/forbedrede metoder og modeller, nye/forbedrede prosesser, konsept, anbefalinger eller standarder, datasett, innovasjoner fra pilotprosjekter, prototyper mm.

4.3 Forskerutdanning og rekruttering

Utdanning av forskere er et viktig mål med FME-ordningen. PhD-kandidater og postdoktorer er finansiert både over FME-bevilgningen fra Forskningsrådet og fra partnernes egeninnsats. I tillegg kan flere av sentrene vise til tilknyttede prosjekter hvor det også utdannes kandidater. Flere av sentrene arrangerer fellesaktiviteter for studentene for å bidra til samarbeid på tvers av fagfelt og arbeidspakker og bygge felleskap. Dette var vanskelig å ivareta under covid-pandemien, noe som ble påpekt under midtveisvurderingen.

I tillegg til utdanning av stipendiater er et stort antall masterstudenter knyttet til sentrene. Spesielt Hydrocen og også CINELDI kan her vise til svært mange kandidater.

Når det gjelder kjønnsbalansen for kandidatene, så ligger dette på hhv 33 og 35% kvinnelige PhD-kandidater og postdoktorer. Dette er noen få prosentpoeng bedre enn i forrige runde med FME-er selvom flere av sentrene har hatt høyere målsettinger. For PhD-kandidatene skiller Hydrocen og SuSolTech seg ut med en lav kvinneandel på hhv 23 og 10% mens de øvrige sentrene har fra 30-41% kvinneandel. Blant postdoktorene er det større variasjon mellom sentrene. Kvinneandelen blant masterne ligger på omtrent 35%.

	Doktorgrader			Postdoktorer			Masterstudenter		
	Menn	Kvinner	Sum	Menn	Kvinner	Sum	Menn	Kvinner	Sum
NCCS	11	7	18	3	4	7	34	24	58
HighEFF	15	8	23	5	1	6	57	16	73
CINELDI	8	5	13	3	3	6	115	73	188
Hydrocen	20	6	26	5	1	6	300	145	445
ZEN	16	10	26	7	3	10	26	30	56
SuSolTECH	12	3	15	5	5	10	51	42	93
MoZEES	9	4	13	9	2	11	20	9	29
Bio4Fuels	10	7	17	4	4	7	24	19	43
Totalt	104	52	156	41	23	63	627	358	985

Tabell 4. Oversikt over stipendiater som er finansiert fra de ulike sentrene. Antallet samsvarer ikke med antall uteksaminerte kandidater siden noen blir ferdig etter senterets slutt og noen har avsluttet uten å bli ferdige av ulike grunner.

4.4 Internasjonalt samarbeid

Internasjonalt samarbeid er generelt en viktig del av alle sentrene. I studien «Vurdering av FME-ordningen» ble det blant annet trukket fram deltagelse i EU's forskningsprogrammer, noe som sentrene også rapporterer på i sluttrapportene. Det blir videre henvist til at FME-ene i stor grad jobber internasjonalt både gjennom internasjonale konsortiedeltagere, internasjonale PhD-kandidater og FME-enes internasjonale forfattere i publikasjoner.

I sluttrapportene til FME-ene er det internasjonale samarbeidet godt belyst med både internasjonale prosjekter, beskrivelse av samarbeidet med internasjonale partnere, internasjonale mobilitetstiltak, bruk av internasjonal forskningsinfrastruktur, deltagelse i viktige internasjonale fora, spesielt EU og IEA, men også andre internasjonale fora innenfor de tematiske områdene og både deltagelse og arrangement av internasjonale konferanser. Blant annet har omtrent alle FME-ene rapportert aktiv deltagelse i European Energy Research Alliance (EERA) innen sitt tematiske område og de har rapportert deltagelse i EU prosjekter. I tillegg har de fleste FME-ene hatt internasjonale vitenskapelige rådgivende komiteer.

4.5 Samarbeid og struktur i energiforskningen

Sentrene ble etablert i 2016 og var i full drift fra januar 2017 med avslutning i 2024 eller 2025. Disse sentrene har fortsatt å bidra til en bedre og rasjonell struktur på norsk energiforskning. Rundt sentrene er det etablert nye tilknyttede prosjekter. I den forbindelse er samspillet med CLIMIT og ENERGIX programmet svært viktig. I tillegg er EU prosjektene av stor betydning. De tilknyttede prosjektene gir mulighet for i større grad å bedre fleksibilitet og fokus på tema som blir viktige i løpet av prosjektperioden. Sentrene har vært viktige knutepunkt innenfor sine tematiske områder.

Brukerpartnerne har uttrykt nytte av sentrene både i form av resultater med også for å knytte nettverk med andre bedrifter og forskningspartnere. Blant annet kan NCCS vise til mange tilknyttede prosjekter. CINELDI kan henvise til bedrifter som NODE og Heimdall som har kommet inn i det internasjonale markedet bl.a. fasilitert gjennom CINELDI.

En meget positiv utvikling i denne gruppen av FME-er er et utvidet samarbeid mellom de ulike sentrene. Blant annet har det samfunnsvitenskapelige senteret NTRANS (som løper fram tom 2027) initiert FME-dag i forbindelse med NTNU's [Energy transition week](#). FME-dagen ble første gang arrangert i 2024 og alle aktive FME-er bidro til programmet. I 2025 bidro både denne gruppen FME-er og også nye FME-er. I 2019 organiserte Bio4Fuels sommerskole for PhD-studenter sammen med FME MoZEES, UiO Energi og NTNU.

Under denne gruppen FME-er måtte sentrene håndtere covid pandemien. Dette påvirket sentrene i noe ulik grad og spesielt PhD-kandidatene i sentrene samt internasjonalt samarbeid i sentrene. Internasjonale PhD-er eller de som hadde mye internasjonalt samarbeid ble spesielt påvirket. Som for andre prosjekter var det mulig å søke om tilleggsfinansiering til PhD-kandidater. Dette ble gjort fra de respektive institusjonene. I tillegg brukte noen av sentrene, f.eks FME MoZEES noen av de frie midlene til kandidater som var spesielt rammet.

Covid pandemien resulterte også i en mer kreativ og økt bruk av digitale plattformer. Blant annet så etablerte CINELDI en rekke med internasjonale webinarer som erstatning for planlagte internasjonale konferanser.

4.6 Resultatindikatorer

Sentrene har rapportert til Forskningsrådet på forskjellige tellekanter. Disse er oppsummert i tabell 5. I tillegg til de vitenskapelige publikasjonene som er omtalt tidligere har denne runden med FME-er hatt betydelige tiltak mot allmennheten med oppslag i massemedia, populærvitenskapelige publikasjoner. Sentrene har også vært aktive i forskjellige sosiale media og deltatt i den offentlige debatten. Flere av sentrene har blant annet deltatt på Arendalsuka med ulike arrangement innen sine temaområdet og bidratt til en kunnskapsbasert debatt. Mer informasjon om sentrenes kommunikasjonsaktiviteter finnes under hvert senter i denne rapporten og i sentrenes sluttrapporter. Det er også rapportert en betydelig andel resultater av betydning for bedriftene, selv om det er mindre antall ny virksomhet.

	NCCS	Hydro- cen	Bio4- Fuels	Cineldi	High- Eff	SuSol- Tech	Mo- ZEES	ZEN	Totalt
Vitenskapelige utgivelser	238	210	154	251	286	221	102	267	1729
Monografier		5				76		2	83
Antologier	55	77	2	138	100	15	3	50	440
Periodika og serier	183	128	152	113	186	130	99	215	1206
Almennrettede formidlingstiltak	418	659	44	216	173	138	46	240	1934
Oppslag i massemedia	345	554	28	195	164	134	24	197	1641
Populærvitenskapelige publikasjoner	73	105	16	21	9	4	22	43	293
Brukerrettede formidlingstiltak	841	438	170	380	362	431	374	348	3344
Rapporter, notater artikler foredrag	841	438	170	380	362	431	374	348	3344
Innføring av nye/forbedrede metoder/modeller/teknologi i bedrifter	15	34	2	87	26	14	11	14	203
Bedrifter i prosjektet som har innført nye/forbedrede arbeidsprosesser/forretningsmodeller, metoder/teknologi	8	19	2	69	15	4	11	12	140
Bedrifter utenfor prosjektet som har innført nye/forbedrede metoder/modeller/teknologi	7	15		18	11	10		2	63
Kommersielle resultater	2	12	6	14		14	4	10	62
Ferdigstilte ny/forbedrede prosesser/produkter/tjenester	2	8	6	11		12	3	10	52
Lisenser/søkte patenter		4		3		2	1		10
Ny virksomhet	1			2	3	1	2	2	11
Nye foretak	1				1			2	4
Nye forretningsområder i eksisterende bedrifter				2	2	1	2		7
Næringsrettede FoU resultater	50	14		63	43	18	14	9	211
Ferdigstilte nye/forbedrede metoder/modeller/prototyper	50	14		63	43	18	14	9	211

Tabell 5. Oversikt over tellekanter registrert i Forskningsrådets systemer. Registreringen kan være noe mangelfull for og kan ikke direkte sammenlignes med Cristin eller tall oppgitt i sluttrapporter.

4.7 Veien videre

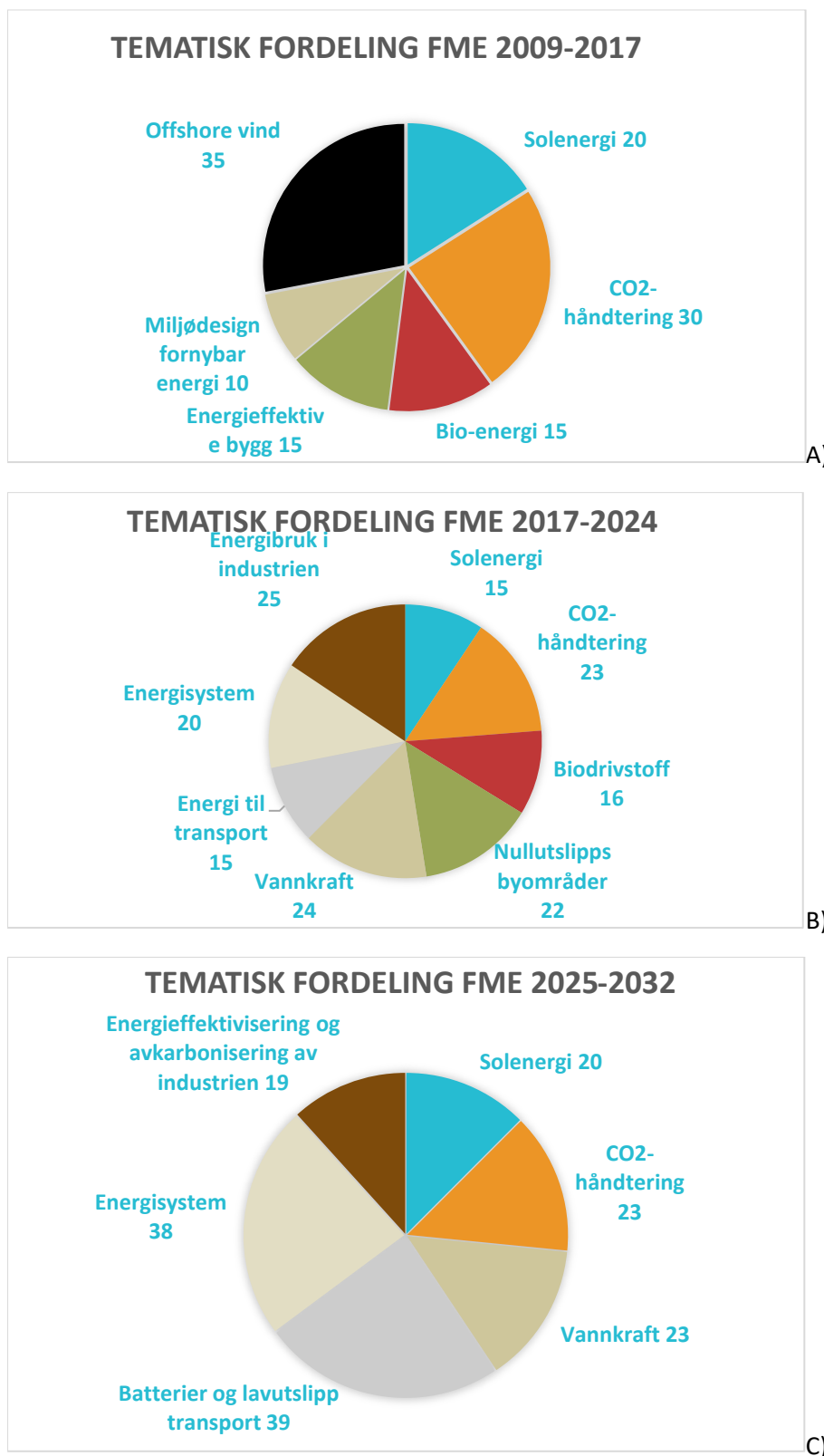
FME-sentrene har vært av stor betydning for å videreutvikle samarbeidet mellom ulike aktører innen for sine tematiske området, både innenfor sentrene og i andre prosjekter. Generelt er returandelen innen energiområdet fra Horisont Europa svært høy, noe som blant annet kan tilskrives den norsk finansierte energiforskningen.

Denne gruppen FME-er ble avsluttet i 2024/2025. Bio4Fuels har aktivitet ut 2025. Noen sentere avsluttes formelt enda senere på grunn av enkelte stipendiater som fremdeles finansieres fra Forskningsrådet.

I 2023 ble det lyst ut nye tekniske FME-er med et vedtak om oppstart av 8 nye sentere i 2024. Disse sentrene har hatt full aktivitet fra januar 2025. I tillegg til kvaliteten til søknadene var også Energi21 strategien og en porteføljevurdering av betydning for utvelgelse av de nye sentrene. Det var ikke mulighet å søke om en direkte videreføring av et eksisterende senter. I søknader med utgangspunkt i et eksisterende senter, var det viktig med en reel fornyelse av aktiviteten og sammensetningen av senteret. Flere av de nye sentrene bygger imidlertid videre på et FME eller andre sentertyper. I sluttrapporten til denne rundens FME-er henviser de alle til viktigheter av videreføring og videreutvikling av aktiviteten gjennom et nytt senter.

For de tematiske områdene som ikke er videreført i et nytt senter oppgis det at samarbeidet med aktørene fra sentrene vil fortsette for blant annet å etablere nye og andre typer samarbeidsprosjekter. I tillegg vil samarbeid om forskningsinfrastruktur som er etablert videreføres.

Figur 3 viser den tematiske fordelingen av 3 runder med store utlysning for tekniske FME. Tallene er mill. kroner pr år finansiert fra Forskningsrådet over prosjektperioden. I tillegg ble det i 2021 startet opp et FME på offshore vind (15 mill. kroner pr år) og i 2022 to sentere på hydrogen (40 mill. kroner pr år), noe som ikke kommer fram fra figurene. Disse avsluttes hhv i 2029 og 2030. Utviklingen av porteføljen viser økt fokus på lavutslipp transport, energilagring, lavutslipp industri og implementering av teknologiene i energisystemet.



Figur 3. Tematisk fordeling av de store utlysningene av FME-er. Tallene er i mill. kroner pr år over 8 år fra Forskningsrådet. A) første runde med tekniske FME, B) andre runde med tekniske FME, C) de nye FME-ene som startet med full aktivitet januar 2025. I tillegg ble det i 2021 startet opp et FME på offshore vind (15 mill. kroner pr år) og i 2022 to sentere på hydrogen (40 mill. kroner pr år) som ikke er med i figurene. Dette og de samfunnsrettede sentrene kommer ikke fram fra figurene.

5. Vedlegg Presentasjoner av sentrene

5.1 The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (ZEN)

Vertsinstitusjon	NTNU
Forskningspartnere	SINTEF Community, SINTEF Energi
Brukerpartnere	Statsbygg, AFRY, Bybo, Norsk Fjernvarme, Asplan Viak, Civitas, Fornybar Norge, Heidelberg Materials, Tobb, Smart Grid Service Cluster, NTE, Multiconsult, Statkraft Varmer, Skanska, GK, Snøhetta, Elverum Vekst, Sweco (2016-2020), Hunton (2016-2022), Moelven (2016-2022), Caverion (2016-2019), Numscale (2016), Elverum kommune, NVE, Trondheim kommune, Oslo kommune, Bodø kommune, Bergen kommune, Trøndelag fylkeskommune, Direktoratet for byggkvalitet, Future Built, Steinkjer kommune Bærum kommune
Senterleder	Arild Gustavsen; NTNU (2016-2023), Anne Kristin Kvellheim; SINTEF Community (2023-2025)
Samlet Budsjett	384,3 mill. kroner

1. Visjon og mål

Visjonen til FME ZEN har vært å muliggjøre overgangen til et lavkarbonsamfunn ved å utvikle bærekraftige nabolag med netto nullutslipp av klimagasser.

ZEN har hatt som mål å:

- Utvikle modeller for planlegging, gjennomføring og drift av nullutslippsområder
- Katalyserer utviklingen og bruk av innovasjoner gjennom nye forretningsmodeller, roller og tjenester
- Skape kostnads-, ressurs- og energieffektive bygninger ved å utvikle lavkarbonteknologier og byggesystemer basert på livssyklusdesignstrategier
- Utvikle teknologier og løsninger for design og drift av energifleksible nabolag.
- Utvikle et beslutningsstøtteverktøy for optimalisering av lokale energisystemer og deres samspill i det større systemet
- Opprette og administrere en serie levende laboratorier som innovasjons- og testområder for løsningene som utvikles i senteret

2. Effekt av senteret for målet til FME-programmet

Senterets bredde og tverrfaglige tilnærming har mottatt ros for å bidra til å løse komplekse problemer. De har adressert komplekse utfordringer, spesielt innen bygg- og energisektorene. Arbeidet har fokusert på å redusere utslipp av klimagasser, forbedre energieffektiviteten, muliggjøre energifleksibilitet i bygninger og fremme bruken av fornybar energi i bygninger og byområder. Bruk av fjernvarme og bærekraftig transport har også vært en del av arbeidet. Senteret har vist at bærekraftige bygninger og nabolag gir forbedret energisikkerhet.

ZEN har bidratt til en god kobling mellom forskningsmiljøer på tvers av fagområder som arkitektur, ingeniørfag samt samfunnsvitenskap og industriaktører fra ulike sektorer og offentlige aktører.

Partnere i senteret har gjennom senterets levetid etablert seg som ledende innen bærekraftig bygg- og nabolagforskning. Gjennom pilotprosjekter og «levende laboratorier» har senteret testet forskning og innovasjon i praksis, og sikret den langsiktige relevansen og anvendeligheten av forskningsfunnene.

3. Om senteret og oppnådde resultater

Forskningen i senteret

Forskningen og utviklingen i ZEN er gjennomført innenfor seks tematiske områder:

- Analytisk rammeverk for design og planlegging av ZEN
- Politiske tiltak, innovasjon og forretningsmodeller
- Fleksible- og energieffektive bygninger
- Energifleksible områder
- Lokal energioptimalisering innenfor et større system
- Pilotprosjekter og levende laboratorier.

Senteret har publisert mer enn 275 vitenskapelige publikasjoner som bidrar til den globale kunnskapsbasen om bærekraftig bygging og byutvikling.

ZEB-laboratoriet er en nasjonal forskningsinfrastruktur som har vært viktig for senteret i forbindelse med pilotprosjekter og levende laboratorier. Den vil også utnyttes i flere tiår fremover.



Et viktig arbeid fra senteret er utviklingen av et analytisk rammeverk for nullutslippsområder. Flere nøkkelindikatorer (KPIer) som er en del av ZEN-rammeverket er utviklet og testet gjennom prosjektperioden.

Figur V1. ZEB-laboratoriet i Trondheim. Bilde: ZEN sluttrapport Foto: Anne-Lise Aakervik/NTNU

Innovasjon og verdiskaping

ZEN har definert innovasjoner som anvendes både innenfor ikke kommersiell og kommersielle områder f.eks. vitenskapelig utvikling som forbedrer verktøy, kurs og seminarer som gir kunnskap til samfunnet, standarder og verktøy, utforming av ny politikk og kommersiell utnyttelse gjennom oppstartsbedrifter eller nye produkter.

ZEN har rapportert 31 forsknings-innovasjoner. I tillegg er det eksempler på at ZEN-forskningssenterets partnere videreutvikler innovasjonsideer og -resultater innenfor sine respektive organisasjoner. ZEN har publisert oversikter av sine [innovasjoner](#) underveis i senterperioden.

Bruk av levende laboratorier og pilotprosjekter har vært en viktig del av ZEN for å engasjere sluttbrukere av resultatene. Oppsummeringen av de 13 pilotprosjektene er gitt i en egen [rapport](#).

Internasjonalt samarbeid

ZEN har etablert et bredt internasjonalt nettverk selv om de ikke har noen formelle internasjonale partnere. De har blant annet lyktes i å etablere internasjonale prosjekter som de EU-finansierte prosjektene syn.ikia om bærekraftige plussenerginabolag og EU Green Deal ARV-prosjektet om klimapositive sirkulære samfunn samt +CityxChange om energipositive kvartaler. I tillegg har de



koordinert programmet for smarte byer innenfor EERA og også bidratt i prosjekter innenfor IEA TCP på området. ZEN har over flere år vært medarrangør av en internasjonal sommerskole.

De har hatt en egen vitenskapelig rådgivende komité bestående av internasjonale eksperter.

Figur V2. Bilde: ZEN sluttrapport Foto: Anne-Lise Aakervik/NTNU

Forskerutdanning og rekruttering

ZEN har vært viktig for utdanning og rekruttering. Forskningsresultater fra senteret er tatt inn i NTNUs utdanningsprogrammer, spesielt MSc-programmet i bærekraftig arkitektur. Totalt er 27 PhD-kandidater finansiert gjennom senteret hvorav 13 var ferdig uteksaminert i slutten av 2024. Av disse er 11 i jobb Norge og 2 utenfor Norge. I tillegg har senteret finansiert 9 postdoktorer. Det er også utdannet 56 masterstudenter.

Kommunikasjon

ZEN har hatt en egen kommunikasjonsstrategi gjennom hele senterperioden og vært svært aktive med partnerworkshops, nyhetsbrev, populærvitenskapelige innlegg og mediainnspill samt arrangert lunsjseminarer. Mot slutten av senterperioden er det også arbeidet aktivt med innlegg rettet mot politikere. De har også deltatt i flere internasjonale konferanser. Til sammen har de publisert mer enn 300 vitenskapelige artikler.

Organisering og videreføring

ZEN er organisert som et konsortium med deltakelse fra forskningsorganisasjoner, industri og offentlige aktører. Til sammen 33 brukerpartnerne som har dekket hele verdikjeden fra kommuner, fylkeskommuner, landeiere, utviklere og konsulenter, IKT-selskaper, energiselskaper, produsenter og statsforetak har vært en del av senteret. ZEN er det senteret med flest offentlige brukerpartnere, med 11 stykker hvorav 8 var kommuner og fylkeskommuner. Dette er meget positivt med bakgrunn i mulighetene for å implementere forskningsresultater i reguleringer og standarder.

FME-ordningen har vært viktig for NTNU, SINTEF Community, SINTEF Energi og brukerpartnerne i å bygge opp sin kapasitet innen området gjennom to runder med FME ZEB og FME ZEN. I tillegg er viktig infrastruktur bygget opp. De lykkes dessverre ikke i å etablere et nytt FME.

Forskningspartnerne jobber nå videre, sammen med brukerpartnerne fra senteret, med å videreutvikle området videre og etablere nye prosjekter både nasjonalt og internasjonalt.

4. Eksempler fra forskningen

ZEN kan vise til suksesshistorier fra flere av sine brukerpartnere hvor forskningen i senteret har vært viktig for dem, blant annet Norsk Fjernvarme, GK, NTE, NVE, Skanska, FutureBuilt, Heidelberg Materials og Snøhetta.

Energifleksibilitet og reduksjon/flytting av topplast

Energifleksibilitet er avgjørende for å håndtere variabel fornybar energiproduksjon og redusere toppbelastninger på strømmettet. Det er nødvendig å redusere toppbelastninger på strømmettet og forbedre energieffektiviteten i bygninger og nabolag. Gjennom ZEN og andre Forskningsrådsprosjekter er det blant annet arbeidet med hvordan avanserte styringssystemer kan optimalisere energibruken i bygninger. Arbeidet har involvert praktisk implementering av avanserte styringssystemer, spesielt modellprediktiv styring (MPC), i ulike bygninger. Implementeringen har blitt testet i ZEB Living Lab, ZEB-laboratoriet, skoler i Trondheim og byggefeltet Ydalir i Elverum, samt kontorbygninger i Evenstad og Oslo. Modenheten av teknologien er på TRL-nivå 7. Arbeidet har vist at opptil 80 prosent av energibruken kan flyttes bort fra høylastperioder, samtidig som brukernes tilfredshet opprettholdes.

Energieffektivisering gjennom energiomlegging i bygg og områder

For å møte det økende behovet for strøm og overføringskapasitet, er det undersøkt potensialet for energieffektivisering og økt bruk av varmepumper og fjernvarme for bygningsoppvarming. Forskning i ZEN har vist at energieffektivisering og økt bruk av fjernvarme og varmepumper i vannbårne varmesystemer i bygg kan bidra til å møte utfordringene det norske kraftsystemet står overfor. Effektene er reduksjon av energibruk i bygninger, redusert behov for elektrisitet, reduserte kostnader og redusert topplastbehov for strøm. Dette er resultater som er viktige for næringsaktører som Norsk Fjernvarme, Fornybar Norge, Hafslund Celsio og Statkraft varme.



Figur V3. Energieffektivisering og økt bruk av fjernvarme har stort potensial for å avlaste kraftnettet i tettbeboede områder. Bilde: ZEN sluttrapport Foto: Hanne Kauko, SINTEF Energi.

Metode for nullutslippsområder (ZEN)

For å kunne planlegge og realisere et områdeprosjekt med ambisjoner om å bli et nullutslippsområde (ZEN), er det nødvendig å kunne estimere og dokumentere prosjektets samlede direkte og indirekte utslipp av klimagasser både i planleggingsfasen og etter bygging. Forskningen er gjennomført i FME ZEN av NTNU og SINTEF i samarbeid med en rekke næringsaktører, offentlige partnere og kommuner. Det er utviklet en metode, inkludert kategorier som klimagassutslipp, energi, effekt, by-design og arealbruk, mobilitet og økonomi med mål om å estimere og dokumentere klimagassutslipp i både planleggings- og driftsfasen. Dette er viktig for å sikre at prosjekter oppnår netto nullutslipp over en 50-årsperiode.

5.2 Mobility Zero Emission Energy Systems (MoZEES)

Vertsinstitusjon	IFE
Forskningspartnere	NTNU, USN, TØI, SINTEF AS, FFI, UiO, samarbeidsavtaler: Uppsala Universitet, UC Davis, RWTHAachen, Universitetet i Genova
Brukerpartnere	Selfa Artic, Grenland Energy (2017-2019), Vysus, Coorstek Membrane Sciences (2017-2019), NEL, Statkraft, Morrow Technologies, Hexagon Raufoss, Equinor, Hydro Energy, ZEM, Corvus Energy, ABB, Dynatech Engineering, Zeg Power (2017-2020), Asko Midt-Norge, CerpoTech, Baldur Coating, Saft, Elkem, Linde Gas (2017-2019), Unibuss, DNV, PBES (2017-2018), Kunnskapsbyen Lillestrøm, Cenate, Johnsen Matthey Plc, BASF Corporation (2017-2018), Teer Coating Ltd, Kystverket, Statens Vegvesen, Trøndelag fylkeskommune, Jernbanedirektoratet, Oslo Havn KF, Enova, Akershus fylkeskommune, Viken fylkeskommune (2020-2025), Ocean Hyway Cluster, Bellona
Senterleder	Øystein Ulleberg
Samlet Budsjett	252 mill. kroner

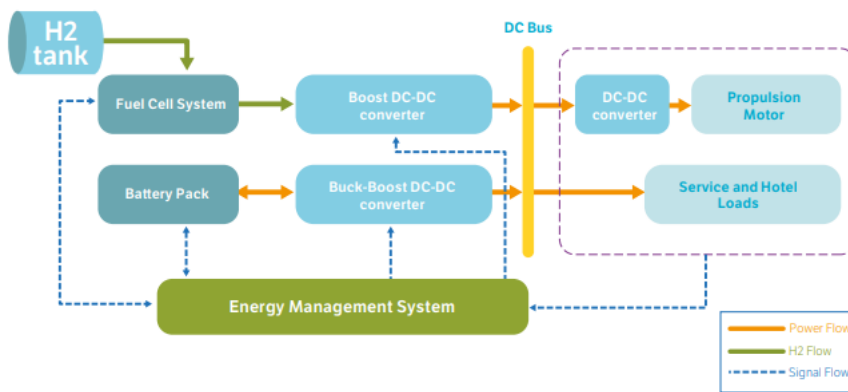
1. Visjon og mål

FME MoZEES's overordnede visjon har vært å bidra til utviklingen av miljøvennlige energisystemer for transportsektoren gjennom forskning på batteriteknologi og hydrogenbaserte løsninger. Senteret har satt seg som mål å styrke norsk kompetanse og konkurransekraft innen nullutslippsteknologier, med spesielt fokus på anvendelser innen transportsektoren (vei, jernbane og sjø). Det har også vært et sterkt fokus på forskning på batterimaterialer for å legge til rette for utviklingen av nye industrielle batteriverdikjeder i Norge og EU. Satsingen har vært forankret i et ønske om å støtte Norges overgang til et lavutslippssamfunn og å sikre verdiskaping i norsk industri.

2. Effekt av senteret for målet til FME-programmet

Senteret har fungert som en nasjonal kunnskapsplattform, stimulert til samarbeid mellom akademia, næringsliv og offentlige aktører, og bidratt til å akselerere utviklingen og implementeringen av ny teknologi.

MoZEES har blant annet utarbeidet veikart for nullutslipps tungtransport med forskningsmål om å utvikle kostnadseffektive systemer, slitesterk teknologi og sikre systemer, mens innovasjonsaktivitetene fokuserte på å akselerere introduksjonen av batteri- og hydrogenelektriske lastebiler og fartøy (ferger og hurtibåt) i markedet. MoZEES har også utarbeidet egne veikart for batterimaterialer og for hydrogenteknologi. Veikartene har dannet utgangspunkt for forskningsmålene i senteret. MoZEES har bidratt til utvikling av flere nye batteri- og hydrogenteknologier og systemer, og støttet flere av industripartnerne i senteret med relevant forskning for innovasjoner og pre-kommersielle utviklinger. Senteret har også gitt verdifulle og nyttige innspill til offentlige partnere for planleggingen av neste generasjon nullutslippstransportsystemer.



Figur V4. Enkeltlinje-diagram for Matlab Simulink-modellering av hydrogenbaserte batteri/ Brenselcellehybrid-kraftsystemer for fremdrift av mindre skip og fartøy Bilde: MoZEES sluttrapport (Illustrasjon: Jamma, IFE)

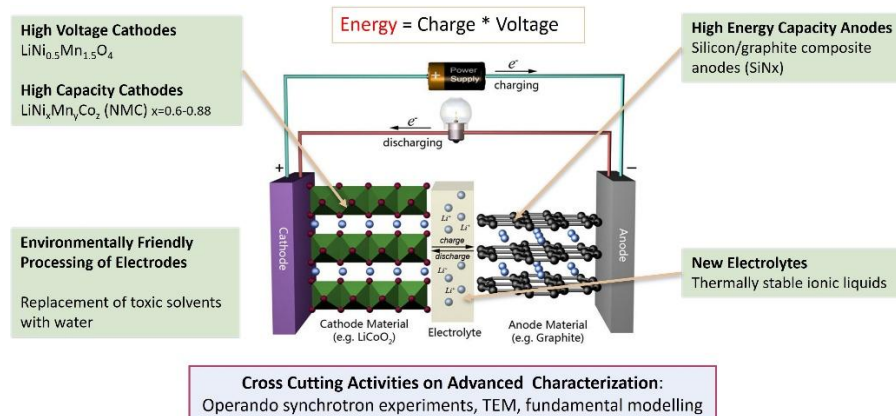
3. Om senteret og oppnådde resultater

Forskningen i senteret

MoZEES har levert forskning på batterimaterialer, hydrogenkomponenter og -lagring, samt systemintegrasjon og anvendelser for transport (vei, bane, sjø), med mål om sikre, pålitelige og kostnadseffektive nullutslippsløsninger.

Senteret har benyttet avanserte metoder innen eksperimentell forskning, modellering og simulering, samt livsløpsanalyser for å vurdere miljøpåvirkning. Viktige resultater inkluderer forbedrede materialer med økt energitetthet, innovative løsninger for hydrogenlagring, og optimaliserte systemer for bruk av batterier og hydrogen i kjøretøy og fartøy. Forskingen har også bidratt til å avdekke barrierer for storskala implementering og har identifisert muligheter for videre utvikling.

Senteret har bidratt med 100 fagfellevurderte vitenskapelige artikler og 423 presentasjoner for brukere eller befolkningen generelt.



Figur V5. Oversikt over forskningsområder innen batterimaterialer. Bilde: MoZEES sluttrapport Illustrasjon NTNU

Innovasjon og verdiskaping

Senteret har lagt til rette for kommersialisering av forskningsresultater, blant annet gjennom pilotprosjekter, industrisamarbeid og støtte til oppstartsbedrifter. MoZEES har blant annet hatt en egen innovasjonskomite med medlemmer fra industrien som har fasilitert samarbeid mellom forskere og brukerpartnere. MoZEES har ikke en egen liste over innovasjoner, men har rapportert inn 14 nye eller forbedrede metoder, modeller, prototyper og nye eller forbedrede produkter prosesser eller service. Senteret har et nytt patent.

I forbindelse med studien «Effekter av energiforskningen» presenterte MoZEES seks caser som til sammen har hatt effekt på både redusert utslipp, bedre effektivitet, forsyningssikkerhet, kostnadsreduksjoner og forretningspotensial. Blant annet er det utviklet planleggingsverktøy for energieffektive systemer for maritim transport og tungtransport.



Figur V6. Testing og evaluering av ytelsen til PEM-brenselceller var en sentral forskningsaktivitet i MoZEES (Foto: Norsk brenselcelle- og hydrogensenter, SINTEF, Trondheim) Bilde: MoZEES sluttrapport

Internasjonalt samarbeid

MoZEES har etablert omfattende internasjonale partnerskap med blant formelt samarbeid med fire utenlandske universitet og de har også samarbeidet med NEL i USA. Senteret har samarbeidet med og benyttet store internasjonale forskningsinfrastrukturer som ESRF. Videre har de sammen med Jernbanedirektoratet og sikret norsk deltagelse i Europas jernbaneprogram og vært med i Rail4Earth- prosjektet.

Senteret har også hatt flere internasjonale brukerpartnere som SAFT i Frankrike, Teer Coatings og Johnsen Matthey i Storbritannia.

Senteret har vært aktive på flere store internasjonale konferanser innen området.

Forskerutdanning og rekruttering

MoZEES har prioritert utdanning og rekruttering av nye forskertalenter gjennom PhD- og postdoktor-programmer, kurs, seminarer og praksisplasser. Senteret etablerte et eget forsknings og utdanningsnettverk (MoZEES RTN) hvor både forskere, industri og offentlige parter ble engasjert. MoZEES RTN har blant annet arrangert møter, jobbet for økt internasjonal utveksling for studentene og også vært aktive innen kommunikasjon med både egen website, blogger og YouTube video. I tillegg har MoZEES vært en aktiv deltager i den norske forskerskolen innen fornybar energi NorRen hvor studenter fra MoZEES også deltok. Sommerskolene har vært i samarbeid med bl.a. FME Bio4Fuel og FME NTRANS.

Det er fullført 11 doktorgradsavhandlinger, 12 postdoktor-arbeider og 28 masteroppgaver i løpet av prosjektperioden (2017-2024). Ytterligere to doktorgradsavhandlinger skal fullføres i 2025 og 2026.

Kommunikasjon

Kommunikasjon og formidling av forskning har vært prioritert i MoZEES gjennom hele senterperioden. I tillegg til å produsere vitenskapelige resultater av høy kvalitet, er det jobbet aktivt for å gjøre forskningsresultatene tilgjengelige og engasjerende for et bredere publikum, inkludert beslutningstakere, interessenter i næringslivet, studenter og allmennheten.

Rundt 100 presentasjoner er holdt på internasjonale konferanser og seminarer i 70 byer og 25 forskjellige land rundt om i verden på blant annet 20 store internasjonale konferanser.

I tillegg har det vært arrangert workshops, seminarer og holdt innlegg i flere typer medier for å øke oppmerksomheten blant befolkningen på nullutslippstransport.

Organisering og videreføring

MoZEES har vært et samarbeid mellom til sammen 37 partnere hvorav fire forskningsinstitusjoner (IFE, SINTEF, TØI og FFI), tre universiteter (UiO, NTNU og USN), seks offentlige partnere, to private interesseorganisasjoner og 21 nærings- og industripartnere. Det har også vært etablert formelle samarbeidsavtaler med fire utenlandske universiteter. Senteret har både hatt en egen innovasjonskomite og vitenskapelig komite. I tillegg har de lagt til rette for god kommunikasjon i senteret og brukerpartnerne har gitt gode tilbakemeldinger på nytten av senteret.

I 2021 ble den nasjonale satsingen på hydrogen styrket og i 2022 startet det opp to nye FME-er som dekker hele verdikjeden på hydrogen, FME Hydrogeni og FME HyValue. På batteriområdet ble det i 2024 bevilget finansiering til et nytt senter som fokuserer på neste generasjon batterier og en bærekraftig sirkulær batteriverdikjede.

4. Eksempler fra forskningen

Silisiumbaserte nanomaterialer for litium-ion-batterier

Silisium har mye større evne til å lagre litium-ioner enn grafitt, men anodematerialer i batterier med høy innblanding av silisium i grafitt er mye mindre stabile enn konvensjonelle materialer med lite eller ingen innblanding av silisium. Cenate har utviklet et nytt produkt med silisium-karbon-nanostrukturer som stabiliserer materialet, så det kan overleve godt nok for vanlig bruk i batterier for elbiler. FME MoZEES har gitt Cenate en arena for å diskutere celleproduksjon og testbetingelser på en måte som har gitt raskere læring enn hva som ellers ville ha vært mulig. Forbedret testing har ført til en rask utvikling av produktet. Cenate har nå et produkt som ligger an til å kunne bli kvalifisert for bruk i bilbatterier.



Figur V7. Cenate har i perioden 2017–2025 mottatt mellom 250-300 MNOK i støtte til forskning og utvikling, inkludert bygging av pilotfabrikken med produksjonsutstyr. Cenate flyttet i 2022 inn i egen pilotfabrikk på Holtskogen. Bilde: Effekstudien Foto: Cenate

Laboratorium for batteri- og hydrogengasseksplasjonstester

Fremveksten av Li-ion batterier og forventet vekst i hydrogenmarkedet har ført til økt fokus på sikkerhet, f.eks. DNVs utvikling av regelverk for maritime batterier. Til tross for ulykker med relativt store hydrogenutslipp og inhomogene gasskyer finnes det få eksperimentelle studier på dette feltet, pga. sikkerhetstiltak iverksatt for å unngå nettopp dette. I MoZEES har målet vært å studere spredning og eksplosjoner av inhomogene gasskyer i både liten og stor skala for bedre å kunne karakterisere og modellere slike hendelser. Dette har blant annet ført til eksperimentelle kapasiteter i Norge for å studere sikkerhet knyttet til batteri- og hydrogenteknologi og det har gitt økt nasjonalt

fokus og økt kompetanse gjennom åpne MoZEES sikkerhetsseminarer. Dessuten har arbeidet ført til etablering av nye både nasjonale og internasjonale prosjekter med fokus på sikkerhet.



Figur V8. Testoppsett ved FFI med en 6 meter lang kanal. Bildet er fra en høyhastighetsfilm som viser deflagrasjon av en etan-hydrogen-blanding med en barriere/obstruksjon til stede. Bilde Fra effektstudien Foto: USN/FFI

Levetid, holdbarhet og ytelse for PEM elektrolyse celler.

I MoZEES har man arbeidet med å forstå hvordan driftsforhold påvirker levetiden til PEM-brenselceller og vannelektrolysører. Det har vært fokus på brenselceller for tunge applikasjoner, inkludert maritime applikasjoner, med mål om å forlenge levetiden til PEM-brenselceller fra 20 000 til mer enn 40 000 timer. For å oppnå lang levetid i brenselceller var det nødvendig å overvåke ytelsen til brenselcellene under drift og koble dette til deres nedbrytningsmekanismer. Gjennom eksperimenter i MoZEES lyktes det å trekke ut de mest relevante parameterne som input for nedbrytningsmodellering og eksperimentelle stakktestingsaktiviteter. Videre er det testet ut forskjellige karakteriseringsteknikker for å evaluere brenselceller og å skille mellom forskjellige nedbrytningsmekanismer i brenselcellene. Disse metodene kan også brukes på elektrolysører. Dette er viktig arbeid for å kunne forbedre levetiden til teknologiene.

5.3 Research Centre for Sustainable Solar Cell Technology (SUSOLTECH)

Vertsinstitusjon	IFE
Forskningspartnere	NMBU, Stiftelsen SINTEF, UiO, UiA, NTNU, SINTEF AS
Brukerpartnere	Fornybar Norge, Steuer Solar Technology AS (2017-2020), Solenergi Fusen AS, Glass og Fasadeforeningen, Teh Quartz Corp AS, Norsun AS, Equinor Energy AS, Dynatec Engineering AS (2017-2020), Code Arkitektur AS, PVA Crystal Growing Systems GmbH, Oslobygg KF, Solenergiklyngen (2021-2025), Norges bondelag, REC Solar Norway (2017-2024), Norwegian Crystals (2017-2023)
Senterleder	Erik Stensrud Marstein
Samlet Budsjett	285 mill. kroner

1. Visjon og mål

Den overordnede visjonen til FME SUSOLTECH var bidra til vekst i en bred, innenlandsk PV-industri ved å sikre fremtidig konkurranseevne gjennom innovasjon. Senterets konkrete mål har blant annet vært å:

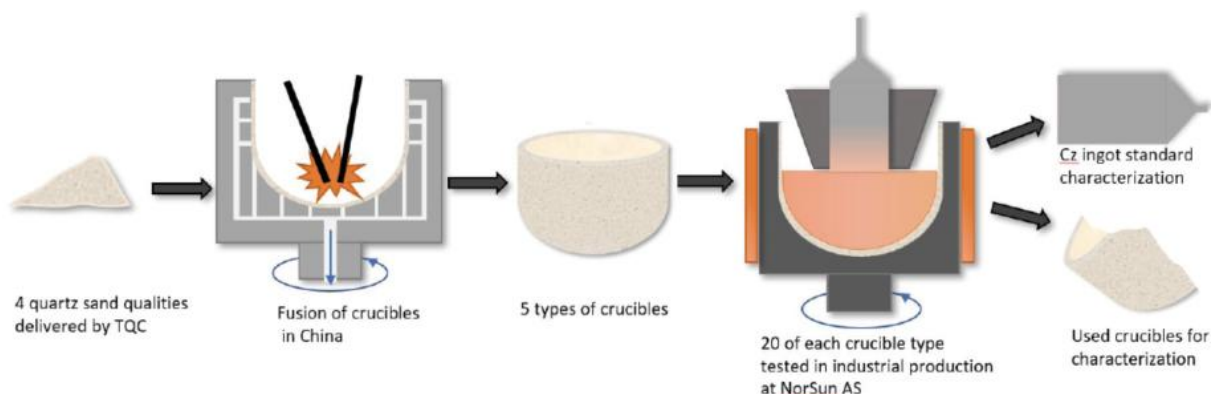
- utvikle de mest miljøvennlige produksjonsprosessene
- utvikle prosesser for å lage rimelige Si-barrer og -wafere med høy effektivitet
- demonstrere lave kostnader, ytelser og bærekraft

Senteret har ønsket å bidra til økt bruk av solcellesystemer spesielt innen byggesektoren og å samle sektoren for å bidra ny virksomhet.

2. Effekt av senteret for målet til FME-programmet

I løpet av sentrets levetid har bruken av solcelle parker vokst betraktelig og den globale kommersielle konkurransen for PV industrien har utviklet seg til å bli meget høy. Det nasjonale samarbeidet av forskningsgrupper og selskaper i Susoltech har vært viktig for norske aktører i den globale konkurransen. FME SUSOLTECH har spilt en viktig rolle for at de norske forskningspartnerne har vært i stand til å utvikle aktiviteter innenfor nye forsknings- og utviklingsfelt av økende betydning og har samtidig bidratt til generering av et stort volum av spin-off-prosjekter.

FME SUSOLTECH har vært i stand til å utvikle nye retninger for nasjonalt samarbeid for forsknings- og industripartnerne i løpet av senterperioden som følge av endringer i bransjen der blant noen aktører måtte trekke seg ut av senteret.



Figur V9. Illustrasjon av industriell skala forsøk gjennomført i SuSolTech. Bilde: SuSolTech sluttrapport

3. Om senteret og oppnådde resultater

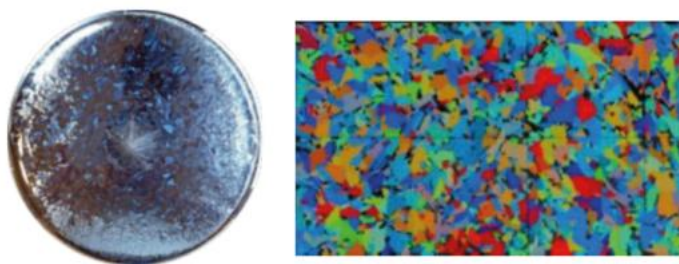
Forskningen i senteret

Forskningen i senteret er strukturert i fire arbeidspakker:

- Bærekraftig produksjon av silisiumråstoff
- Høykvalitets silisiumbarrer og -wafere
- Svært effektive silisiumsolceller og moduler
- Sluttbruk og påvirkning

Mye av forskningen i Susoltech har vært grunnleggende, men rettet mot utfordringer for hele PV verdikjeden. Forskningen har resultert i 130 vitenskapelige publikasjoner i tillegg til 326 rapporter, innlegg, artikler og presentasjoner for industrien og allmenheten for øvrig. Forskningsaktivitetene involverte både forsknings- og brukerpartnerne. Aktivitetene har vært rettet mot hele PV- industriens verdikjede. Innen produksjon av silisium har aktiviteten dreid seg om produksjon og raffinering av ren silisium, avansert materialkarakterisering og modellering, forståelse av egenskapene til

silisiumkrystallene i silisiumbarrer og wafere og å lage mer effektive celler. I tillegg har mekanisk produksjon og studier av levetiden til celle vært viktig.



Figur V10. Multikrystallin silisium barre og kornstruktur målt med Laue-instrument. Bilde SuSolTech

sluttrapport. (Foto: SINTEF).

Innovasjon og verdiskaping

SuSoltech har vært en viktig motor for innovasjon og verdiskaping i norsk solenergi-bransje. Dette har skjedd både gjennom forskningen i senteret som har vært relevante for innovasjon og for industripartnerne gjennom nye innovasjons- og industriprosjekter. Dette har vært spesielt adressert i den ene arbeidspakken med mål om å styrke solcelle industrien, bærekraft og drift av PV moduler. Resultater av arbeidet er oppsummert i bl.a. rapporten «The Norwegian Solar Energy Innovation System», «Veikart for den norske solkraftbransjen mot 2030», «Verdiskaping og ringvirkninger av solkraftutbygging i Norge mot 2040». Veikartet ble formidlet bredt og har vært nyttig for strategien for både energi og industri i Norge.

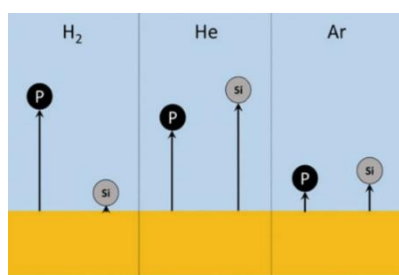
Et eksempel på suksess fra senteret er produksjon av høyrent silisium fra resirkulert materiale.

Susoltech har rapportert inn 27 innovasjoner som inkluderer metoder og produkter. I studien «effekter av energiforskningen rapporterte de 4 eksempler som var på TRL nivå 7-9. Senteret har også lyktes i å etablere flere Horizon Europe prosjekter

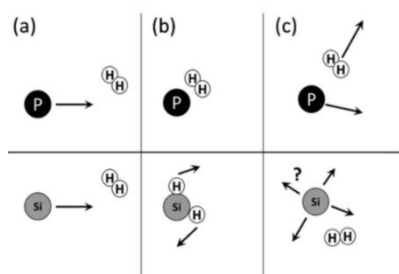
Internasjonalt samarbeid

Internasjonalt samarbeid har vært svært viktig for mange av forskningsaktivitetene og arbeidet i SuSoltech er internasjonalt anerkjent gjennom publikasjoner, internasjonale konferanser, workshops og prosjekter. En internasjonal brukerpartner har vært en del av senteret, men det er ingen registrerte internasjonale forskningspartnere. De har deltatt i internasjonalt samarbeid gjennom bl.a. IEAs teknologisamarbeid for solkraft (IEA-PVPS), Camper med fokus på klimasone og pålitelighet til PV-kraftverk, etablert nordisk møteplass for PhD studenter og hatt internasjonal utveksling av studenter. Gjennom deltagelse i European Solar Industry Alliance (ESIA), European Solar Manufacturing Council (ESMC), Solar Power Europe (SPE) og European Energy Research Alliance (EERA) har man støttet europeiske produksjonsverdikjeder. En rekke EU prosjekter er etablert i regi av senteret, blant annet RETRIEVE innen bygningsintegrert PV og resirkulering.

Forskerutdanning og rekruttering



Utdanning og opplæring av masterstudenter, PhD kandidater og postdoktorer har vært en viktig del av aktivitetene i Susoltech. For å møte behovet for kvalifisert personell har derfor 15 doktorgradskandidater, 10 postdoktorer og 89 masterstudenter blitt utdannet innenfor senteret. Senteret produserte et stort antall publikasjoner, inkludert 130 artikler i fagfelleverderte vitenskapelige tidsskrifter.



Figur V11. Illustrasjon av transport av P- og Si-atomer under forskjellige gasser (venstre). Typiske kollisjoner mellom P og Si og H₂: (a) starttilstand, (b) nærmeste møte og (c) slutttilstand (høyre). Bilde: SuSoltech sluttrapport (Kilde: Arman Hoseinpour Kermani/NTNU og Stefan Andersson/SINTEF).

Kommunikasjon

Et viktig mål for SuSoltech var knyttet til bredere formidling og publisering. FME SUSOLTECH arrangerte møteplasser for det norske solcellemiljøet, inkludert den norske solcellekonferansen (NSCC) og møter og webinarer med fokus på bransjerelevante temaer. Mange av disse ble arrangert i samarbeid med den norske solenergiklyngen (Solenergiklyngen). Det ble også lagt vekt på å kommunisere viktige globale trender, inkludert den enorme veksten i installert PV-kapasitet over hele verden, og de tilsvarende mulighetene for verdiskaping.

I tillegg har SuSolTech deltatt aktivt i strategiprosesser som Norsk Energi21 og bidrag og kommunikasjon rundt veikart for norsk PV industri mot 2030.

Organisering og videreføring

IFE har vært leder og vertskap for FME Susultech sammen med forskningsorganisasjonene NMBU, NTNU, SINTEF, UiA og UiO og en rekke brukerpartnere fra både Norge og utlandet som representerer hele PV industri verdikjeden.

Et høydepunkt i denne sammenhengen var lanseringen av “Veikart for den norske solbransjen mot 2030”, som fikk stor oppmerksomhet. FME SUSOLTECH har også spilt en viktig rolle i utviklingen av en betydelig mengde spin-off- prosjekter innen forskning, utvikling og innovasjon. FME SUSOLTECH arrangerte et stort antall fysiske og virtuelle møteplasser for PV-miljøet, hvor den viktigste var den årlige Norske Solcellekonferansen.

4. Eksempler fra forskningen

Skjærefri silisium

I dag er alle produserte silisiumsolceller og -moduler avhengige av bruk av silisiumskiver laget ved en sagingsprosess, noe som resulterer i betydelige utbyttestap på grunn av det resulterende silisiumskjæret. Metoder for produksjon av snittløse silisiumskiver kan øke utbyttet i skiveproduksjonen betydelig. I FME SUSOLTECH er elektronstrålefordampning brukt til direkte å produsere skiver. Aktiviteten har vist at elektronstrålefordampning kan brukes til å dyrke silisiumlag og potensielt også frittstående silisiumskiver.

Optimalisert solcellesilisium

Såkalte silisiumbaserte tandemsolceller som er optimalisert for flere områder av solcellespekteret, dvs kan brukes globalt ved forskjellig lysforhold. Når det gjelder effektivitet for solcellesilisium, er den mest vellykkede teknologien basert på hybride organisk-uorganiske halogenidperovskitter (HOIP-er). Imidlertid har den kommersielle introduksjonen av silisiumbaserte tandemceller blitt utsatt på grunn av utfordringer bl.a. tilstedeværelsen av bly (Pb), ustabilitet og nedbrytning av cellene under lys og fuktighet. Ved NMBU har forskere utviklet en metode for å undersøke og kartlegge båndgapet i perovskittmaterialer basert på hyperspektral fotoluminescensspektroskopi.

Avanserte metoder for drift og vedlikehold av solkraftverk

Utbygging av solkraftverk vokser i et raskt tempo, og små marginer i driften kan utgjøre store forskjeller i global energiproduksjon. Det utviklet flere nye metoder basert på analyse av produksjonsdata og dronebilder for å gjøre det mulig å utforme lønnsomme strategier for drift og vedlikehold i storskala solparker. Det er utviklet flere ulike forbedringer, inkludert bedre metoder og rutiner for vasking av solcellepaneler, reduserte skyggetap, bedre håndtering av snø, bedre metoder



for deteksjon og diagnostikk av avvik og feil og redusert nedetid for strømformere, strenger av solcellepaneler og solfølgende trackere. Dette er utviklet gjennom en rekke prosjekter i tillegg til FME Susoltech.

Figur V12. Avanserte driftssystemer bidratt til økt produksjon i store solparker. Bilde: Shutterstock Av: Gencho Petkov

Resultatet er økt produksjon som kommer fra implementering av en rekke verktøy og algoritmer som optimaliserer driften av solparker. Et eksempel på resultatet er det kontrollerbare tapet i Scatecs portefølje har blitt redusert fra i overkant fire prosent i 2020 til i overkant av to prosent i 2024. Teknologien er på TRL 9.

5.4 Centre for an Energy Efficient and Competitive Industry for the Future (HighEFF)

Vertsinstitusjon	SINTEF Energi AS
Forskningspartnere	NTNU, SINTEF Industry, Nord Universitet, Sintef Ocean, NTNU Samfunnsforskning, MIT, Doshisha Univ, AIT GmbH , KTH, Shanghai Jiao Tong Univ, Carnegie Mellon Univ, Univ. of Manchester
Brukerpartnere	Wacker Chemicals Norway, Otechos (2017-2019), Ferroglobe Mangan (2016-2019), Hybrid Energy, Alcoa, Gether, Finnfjord, Officine Mario Dorin, Mowi (2018), Rema 1000, Hydro Aluminium, Elkem, Equinor Energy, EPCON, Glencore, Cadiao, Vedde (2017-2021), PTG Kuldeteknikk (2017-2019), Tine, Mo Industripark, Parr at Halvorsen, Pelagia, Borregaard, Eramet, Aker BP (2017-2019), Gassco, GE Power (2017-2020), Danfoss (2017-2021), Bulk Infrastructure Holding (2017-2018), Reel, Orkl, Glencore Manganese (2017), Marine Harvest (2017), Alfa Laval AB, Mayekawa Ltd.
Senterleder	Petter Røkke
Samlet Budsjett	408,3 mill. kroner

1. Visjon og mål

HighEFF har aktivt arbeidet for å fremme innovasjon som har redusert industriell energibruk og senket utslipp av klimagasser i ulike næringer og næringsbygg. Målet har vært innovasjon innen industriell energieffektivitet for å bidra til verdiskaping og økt konkurranseevne for norsk industri og næringsliv, redusert miljøpåvirkning og økt produktivitet gjennom bedre utnyttelse av energiresurser.

HighEFF har sett på innovasjon og teknologi som to av nøklene til det grønne skiftet, der industrien er en sentral drivkraft. Senteret hadde klare mål for senterperioden som de har levert meget bra på:

- 20–30 % reduksjon i spesifikt energiforbruk
- 10 % reduksjon i klimagassutslipp
- 15–20 nye innovative løsninger
- 6 KPN-, 8 IPN-, 8 DEMO- og 5 EU-nye prosjekter knyttet til senteret
- 22 PhD-/Postdoktorer, 50 MSc-kandidater
- 30 nye eksperter
- 100 publikasjoner og konferanseartikler
- Internasjonalt ledende senter

2. Bidrag til FME-ordningens overordnede mål

HighEFF har vært sentral for å realisere FME-programmets overordnede mål om miljøvennlig energi og lavutslippssamfunn. Senteret har bidratt med forskningsbasert kunnskap, utvikling av nye prosesser og teknologier, og fremmet samarbeid mellom forskning og næringsliv. Resultatene har styrket Norges posisjon som en ledende aktør innen energieffektivisering, og har lagt grunnlaget for videre innovasjon og implementering av grønne løsninger.

HighEFF har vært meget gode på å fremme innovasjoner fra senteret og bidratt til at resultater fra senteret er tatt i bruk, kompetansebygging i form av utdanning av PhD, postdoktorer og mastere,

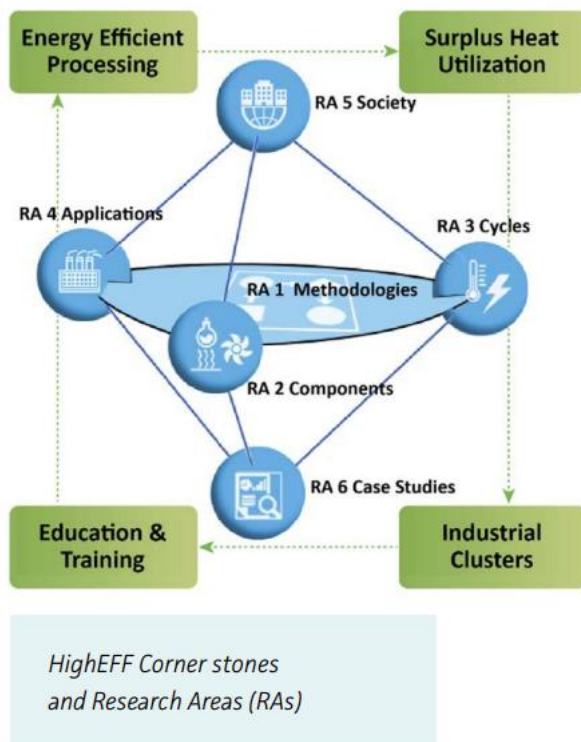
samt kommunikasjon om forskningen og resultatene. I snitt har teknologiene og løsningene som er utviklet vist mulighet for 10% reduksjon i CO₂ utslipp for industrisektorene de har vært involvert i og 11% reduksjon i energibruk. Innenfor sektoren næringsmidler og kjemikalier har deres arbeid vist opp til 42% CO₂ reduksjon og 31% energieffektivisering.

3. Om senteret og oppnådde resultater

Forskningen i senteret

Forskningsaktivitetene i HighEFF har vært omfattende og tverrfaglige, med fokus på termisk energi, prosessoptimalisering, systemintegrasjon og digitalisering rettet mot energieffektivisering og energilagring. Hovedområdene har inkludert utvikling av avanserte varmegjenvinningssystemer, modellering og simulering av industrielle prosesser, samt utprøving av nye materialer og komponenter. Metodikken har vært preget av både eksperimentelle studier og numeriske analyser, med tett kobling til industripartnere for å sikre relevans og overføringsverdi.

Senteret har hatt aktivitet og fokus på områder som:



- Termisk energilagring (delvis relatert til innføringen av fornybar energi og variable energipriser)
- Høytemperaturvarmepumper (relatert til ønsket utfasing av fossilt brensel)
- Alternative prosesser og konsepter for å redusere CO₂-utslipp (som gjenspeiler økt fokus på å redusere klimagassutslipp)
- Nye konsepter for innfangning og utnyttelse av overskuddsvarme
- Klyngetenkning og implementering i bransjen for å forbedre den generelle energieffektiviteten og utnyttelsen av overskuddsvarme og materialflyt.

Figur V13. Illustrasjon av HighEff struktur (fra HighEff sluttrapport)



Figur V14. Ny varmeveksler test rig ved SINTEFs og NTNUs termiske lab for utprøving av ny varmeveksler teknologi: Bilde: SINTEF: HighEFF Sluttrapport

Innovasjon og verdiskaping

HighEFF har prioritert innovasjoner høyt og utarbeidet et meget effektivt system for utvikling av innovasjoner. Resultatene, 41 registrerte innovasjoner, er publisert i en egen [innovasjonsrapport](#) som et vedlegg til sluttrapporten. Eksempler inkluderer forbedrede varmevekslere, digitale styringssystemer og energieffektive produksjonslinjer. HighEFF har finansiert 13 nye innovasjonskonsepter gjennom senteret. Blant annet har de finansiert et prosjekt med fokus på å forbedre og optimalisere varmevekslere ved hjelp av avanserte materialbehandlingsmetoder som additiv produksjon (AM). Denne tilnærmingen muliggjorde nye muligheter for optimal design og integrasjon av avanserte teknologier. De har også sett på potensialet til salthydrater for mulig storskala termisk energilagring. I et demonstrasjonsanlegg for kald termisk lagring på REMA 1000 ble det vist fleksibiliteten for supermarkeders kjølesystemer.

Internasjonalt samarbeid

HighEFF har hatt et bredt internasjonalt nettverk med hele syv internasjonale forskningspartnere knyttet til senteret fra Europa, Asia og Nord-Amerika. Mange av PhD og postdoktorer er rekruttert internasjonalt og utdanningsprogrammet har vært tett knyttet til de internasjonale forskningspartnerne. Senteret har lyktes med samarbeid og utveksling av internasjonale forskere.

Mange av brukerpartnerne arbeider globalt og det har også vært internasjonale brukerpartnere som en del av senteret. Resultatene fra senteret er av betydning langt utover landegrensene.

HighEFF har hatt et sterkt EU engasjement og vært en del av EERA (European Energy Research Alliance) og bidratt til å utarbeide EU SET Plan (Strategic Energy Technology Plan) innen høytemperatur varmepumper, termisk lagring og energieffektivitetens rolle i å dekarbonisere Europeisk industri.

I tillegg har de etablert internasjonalt samarbeid gjennom flere nye EU prosjekter relatert til senterets tematiske område.

Forskerutdanning og rekruttering

Senteret har vært en viktig arena for utdanning og rekruttering av nye forskere. Senteret har utdannet 19 PhD-er, 6 postdoktorer og 12 assosierte PhD-er med finansiering utenfor senteret. Kvinneandelen av kandidatene er 37 %. De fleste av kandidatene har vært knyttet til en av arbeidspakkene i senteret, noe som bidrar til god integrering i senteret. Senteret har også hatt mer enn 75 masterstudenter.

Kommunikasjon

HighEFF har lagt stor vekt på formidling og kommunikasjon, både til fagmiljøer, næringsliv og offentligheten. Senteret har arrangert seminarer, workshops og publisert artikler, rapporter og nyhetsbrev, bl.a med over 100 journalartikler og konferanse artikler. Resultatene har vært aktivt kommunisert i både nasjonale og internasjonale forum. Et høydepunkt var 15th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, som ble arrangert i Trondheim. De har også vært på TV-nyhetene bl.a. om spinn-off selskapet Cartesian og REMA 1000 sin bruk av termisk lagring.

Organisering og videreføring

HighEFF har vært et meget veldrevet senter med både nasjonale og internasjonale forskningsinstitusjoner og store globale industribedrifter som samarbeidspartnere. Både ENOVA og Innovasjon Norge har vært knyttet til senteret, men ikke som formelle partnere. Satsingen på energieffektivisering vil videreføres ved å styrke samarbeidet mellom aktører både innenfor og utenfor senteret, og utnytte mulighetene som er skapt for fremtidig verdiskaping og grønn vekst. Det har ikke lyktes å etablere et nytt senter, men merkenavnet og plattformen HighEFF vil videreføres. Ekspertisen som er utviklet innen HighEFF vil bidra til denne plattformen, og gjøre den til grobunn for å generere nye samarbeidsprosjekter som fortsetter å drive industriell energieffektivitet fremover. I løpet av de siste månedene av HighEFF ble det arrangert en dedikert workshop med mulige partnere, der 12 spesifikke prosjektideer ble presentert som er relevante for ulike utlysninger og finansieringsinstrumenter.

4. Eksempler fra senteret

Blant konkrete caser fra HighEFFs forskning kan nevnes utvikling av et nytt varmegjenvinningssystem for smelteverksindustrien, som vil føre til betydelige energibesparelser og reduserte utslipp. Dette videreføres nå i et IPN prosjektet HEXALE. Et annet eksempel er digitalisering av styringssystemer i prosessindustrien, med forbedret kontroll og optimalisering av energibruken. Senteret har også bidratt til implementering av sirkulære prinsipper, der avfall og overskuddsvarme inngår som ressurser i nye prosesser.

CO₂-baserte kjøle- og varmepumpesystem for dagligvarebutikker

Dagligvarebutikker er meget energikrevende bygg og har vært beheftet med store direkte utslipp av kjølemedier med høy drivhuseffekt, hydrofluorkarboner (HFK). Forskningsgruppen i HighEFF har utført banebrytende forskning om bruk av CO₂ som kjølemedium i kulde- og varmepumpesystemer. Disse erstatter tidligere systemer som brukte kjølemedier med høy drivhuseffekt, og dermed



reduseres utslippene betraktelig, og også strømforbruk. Om lag 115 000 CO₂-anlegg er foreløpig installert på global basis. Om lag 30 prosent lavere årlig elektrisitetsbehov og betydelige reduserte utslipp av klimagasser forventes av teknologien.

Figur V15. Kjøle- og varmesystemet til Rema 1000-butikken i Prinsensgate i Trondheim bruker CO₂ som kjølemiddel, her forklart ved seniorforsker Krzysztof Banasiak. Bilde: SINTEF, HighEFF sluttrapport

Økt utnyttelse av lavtemperatur overskuddsvarme med varmepumpe

Industrien avgir store mengder overskuddsvarme med lav temperatur. Lavtemperatur varme er imidlertid vanskelig å utnytte direkte til nyttige formål. Overskuddsvarmen kan oppgraderes med en varmepumpe til et temperaturnivå som kan utnyttes internt i bedriften. Forskningsgruppen har utviklet nye integrerte varmepumpesystemer som gir sterkt redusert energiforbruk og lavere utslipp.

Varmepumper og termisk energilagring. TINE-anlegget i Bergen, som har vært i drift siden 2019, er det første meieriet der varmebehovet dekkes 100 % av varmepumper. Varmepumper og kjølere i anlegget er integrert med buffertanker som muliggjør termisk energilagring ved forskjellige temperaturer. Dette resulterte i en strømbesparelse på 38 % og en reduksjon av CO₂-utslipp på 40 %.



Figur V16. Det nye meieriet til Tine Bergen ble satt i drift i 2018, og utnytter lavtemp. overskuddsvarme. Foto: Bjarne Horntvedt Hybrid Energy AS Bilde: HighEFF Sluttrapport.

Termisk energilagring og fleksibilitet

CARTESIAN er et godt eksempel på hvordan HighEFF-forskning blir tatt i bruk i praktiske anvendelser. CARTESIAN stammer fra et tiår med utviklingsarbeid fra SINTEF og NTNU – hvorav mye skjedde innenfor HighEFF. Cartesian er et spinnoffselskap fra SINTEF Energi som tilbyr modulære

energilagringssystemer for store varme- og kjølesystemer. Teknologien gjør det mulig for store industrielle og kommersielle anlegg å bruke energien sin mer effektivt.



Figur V17. HighEFF sitt arbeid på termisk energilagring førte til installasjon av denne termoboksen hos REMA1000 supermarkedet i Mjøndalen. Foto: Petter Røkke. Bilde: HighEFF Sluttrapport.

5.5 Centre for Intelligent Electricity Distribution (CINELDI)

Vertsinstitusjon	SINTEF Energi
Forskningspartnere	SINTEF Digital, NTNU
Brukerpartnere (ved senterets avslutning i 2024)	Nettselskaper (12): Arva AS (tidligere Nordlandsnett AS), BKK AS, Elinett AS, Elvia AS, Fagne AS (tidligere Haugaland Kraft AS), Glitre Nett AS, Lede AS, Linea AS (tidligere Helgeland Kraft Nett AS), Linja AS, Lnett AS, Norgesnett AS og Tensio TN AS. Teknologileverandører (7): ABB AS, Aidon Norge, Distructive Technologies AS (2019-2024), Embriq AS, Heimdall Power AS (2021-2024), Prediktor AS (2020-2024), Smartgrid Services Cluster Markedsoperatør: Nodes AS Systemansvarlig (TSO): Statnett SF Interesseorganisasjon/kompetansesenter (3): Fornybar Norge (tidligere Energi Norge), Kraftcert AS, Smartgridsenteret Myndighetsorganisasjoner: DSB, NVE, og NKOM To teknologileverandører og en markedsoperatør forlot konsortiet på grunn av endringer i forretningsstrategiene sine: Nordpool AS (2018-2021), Powel AS (2016-2020) og Eltek (2016-2019). Seks nye brukerpartnere ble rekruttert mellom 2017 og 2021.
Senterleder	Gerd Kjølle
Samlet Budsjett	392,6 mill. kroner

1. Visjon og mål

Visjonen til CINELDI har vært å bidra til utviklingen framtidens elektriske nett gjennom digitalisering og modernisering av distribusjonsnettet og sikre høyere effektivitet, fleksibilitet og robust forsyning av elektrisitet.

CINELDI mål har vært å legge til rette for en kostnadseffektiv realisering av det fremtidige fleksible og intelligente distribusjonsnettet. Gjennom forskning, pilotering og innovasjon bidra til ny kunnskap og nye løsninger som gjør strømmettet bedre rustet til å håndtere utfordringene knyttet til



integrasjon av distribuerte fornybare energikilder og elektrifisering av transport, og som legger til rette for mer effektiv og fleksibel energibruk.

Figur V18. Illustrasjon Energidilemmaet i CINELDIS fokus. Illustrasjon: CINELDIS Sluttrapport

2. Effekt av senteret for målet til FME-programmet

CINELDI har bidratt gjennom å utvikle løsninger som gjør det mulig å håndtere økende elektrifisering, integrere mer fornybar energi og sikre stabile strømleveranser. Gjennom både forskning og pilotprosjekter i CINELDI har strømnetselskaper blitt bedre rustet til å implementere nye løsninger i sine organisasjoner. Et sterkere datagrunnlag og innsikt, sammen med nye teknologiske løsninger, metoder og modeller, forandrer måten strømnetselskaper planlegger og drifter strømmettet på. For teknologiutviklere har CINELDI bidratt til utvikling av relevante teknologier og gode industrielle løsninger og vært en døråpner til større markeder, både nasjonalt og internasjonalt.

I tillegg har forskere mottatt priser for sitt arbeid, deriblant senterdirektør og sjefforsker Gerd Kjølle. Hun var tildelt Norges Tekniske Vitenskapsakademi (NTVA) Ærespris 2019 for hennes banebrytende bidrag innen forsyningssikkerhet og pålitelighet i strømmettet og i mai 2025 SINTEFs pris for fremragende forskning for hennes internasjonalt ledende forskning og bidrag til forsyningssikkerhet.

3. Om senteret og oppnådde resultater

Forskningen i senteret

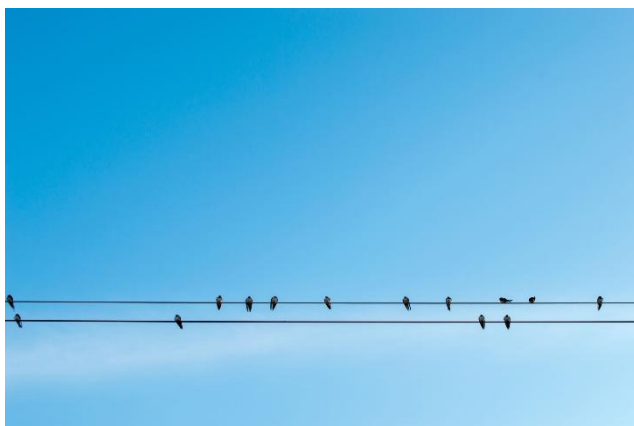
Digitalisering og fleksibel utnyttelse av strømmettet har vært to viktige overordnede tema for forskningen i CINELDI. Forskningsaktivitetene er organisert i fem arbeidspakker i tillegg til innovasjon og kommersialisering:

- Utvikling av smartnett og forvaltning av ressurser
- Drift av smartnett
- Fleksibilitet og samhandling mellom DSO/TSO
- Smartnett-scenarier og overgangsstrategier
- Pilotprosjektkoordinering

CINELDI har hatt en omfattende strategiprosess og laget et veikart for overgangen til et fleksibelt og intelligent strømmett. Veikartet viser hvilke tiltak som bør gjøres av ulike aktører for å få til denne overgangen. Rådene og anbefalingene som kom ut av dette er basert på forskningen, piloteringen og FoU samarbeidet i senteret.

Innovasjon og verdiskaping

CINELDI har hatt en egen innovasjonskomite og arbeidet i senteret har resultert i over 50 innovasjoner. 37 potensielle forskningsinnovasjoner er publisert i en oversikt over på CINELDI's [nettside](#). I tillegg er det 19 innovasjoner fra pilotprosjekter. I CINELDI har pilotprosjekter hatt viktig rolle og betydd mye for mange av brukerpartnerne i senteret. Brukerpartnerne har vært aktive i



senteret gjennom både pilotprosjekter og demonstrasjoner. Pilotprosjektene har kommet hele bransjen til gode, og gjennom senterperioden har bransjen økt sin evne til å ta i bruk forskningsresultater.

Figur V19. Stockbilde.

Nettselskapene er statlig regulerte monopoler, noe som gir færre barrierer for å dele resultater åpent, særlig innen forbedrede arbeidsprosesser. Kode for integrasjon i kontrollsentre, nye algoritmer, vedlikeholdssystemer og rammeverk for energistyring er eksempler på resultater som er delt og diskutert blant partnerne.

Internasjonalt samarbeid

CINELDI har siden oppstarten i 2016 hatt en unik posisjon internasjonalt som et av de største forskningssentrene innen smart grid, særlig distribusjonsnettet, med sentrale aktører i bransjen representert i konsortiet. Det er imidlertid ingen formelle internasjonale forskningspartnere eller brukerpartnere knyttet til senteret.

Et viktig element for CINELDI's internasjonale posisjon har vært tilgang til unike forskningsinfrastrukturer, blant andre det nasjonale Smart Grid laboratoriet og «living labs» (testing hos partnere) som en del av pilotprosjekter, og tilgang til internasjonale laboratorieressurser.

CINELDI-forskere har deltatt i og ledet arbeidsgrupper og studiekomiteer i organisasjoner som IEEE ISGT Europe, AMC e-Energy, CIGRE, CIRED, ISGAN og IEA. Disse organene er viktige for kunnskapsdeling, standardisering og innovasjon innen smarte grid. CINELDI-forskere har også vært aktive i teknologiplattformen ETIP SNET og European Energy Research Alliance (EERA). Innenfor EERA har CINELDI bidratt til JP Smartgrids, SP Transmission og SP Energy Storage.

Den internasjonale deltagelsen har bidratt til flere EU Horisont Europe prosjekter komplementære til aktiviteter i senteret.

Forskerutdanning og rekruttering

PhD-kandidatene og postdoktorene har gitt et viktig bidrag til kunnskapsutviklingen på feltet. Til sammen har 23 PhD-kandidater og 7 postdoktorer vært tilknyttet senteret. 150 studenter har skrevet masteroppgave i tilknytning til CINELDI. I tillegg har senterets forskere bidratt i undervisning på mastergradsnivå, samt i utviklingen av det nye studieprogrammet Elektrifisering og digitalisering.

Kommunikasjon

CINELDI har utviklet en bred portefølje av kommunikasjonsaktiviteter og dialog med interessenter, inkludert nettselskaper, myndigheter, næringsliv og allmennheten. De har vært aktive i arrangementer som Arendalsuka, innlegg i sosiale media, utgitt nyhetsbrev mm. Totalt har CINELDI har bidratt med 188 oppslag i media, 130 blogger og informasjonsmateriale samt 18 artikler i media i tillegg til 251 vitenskapelige artikler.

I 2019 arrangerte CINELDI en internasjonal konferanse om forskning og utvikling innen fremtidens distribusjonsnett for elektrisitet. I 2022 etablerte de en internasjonal webinarserie som erstatning for avlyste internasjonale konferanser på grunn av COVID-19 pandemien.

Organisering og videreføring

CINELDI er organisert som et konsortium ledet av SINTEF Energi, med NTNU og SINTEF Digital forskningspartnere og deltakelse fra 7 teknologileverandører, 12 nettselskaper, 1 systemansvarlig (TSO), 1 markedsoperatør, 3 offentlige partnere og 3 medlems-/interesseorganisasjoner. I tillegg til formell styringsstruktur har senteret hatt både en innovasjons- og kommersialiseringskomite samt en vitenskapelig komite.

Resultatene fra CINELDI vil være viktige bidrag inn i det nye etablerte FME-et SecureEL sammen med nye og tidligere forsknings og brukerpartnere.

4. Eksempler fra forskningen

Risikobasert planlegging og drift av kraftnettet

Kraftnettet utfordres av den økende integrasjonen av variabel fornybar produksjon og økende kraftutveksling. Dette håndteres tradisjonelt ved å bygge nytt nett, og sørge for at nettet skal tåle utfall av alle enkeltkomponenter. Ved å bruke risikobaserte metoder kan man oppnå raskere elektrifisering og betydelige investeringsbesparelser. Modellene som er utviklet kvantifiserer kostnadselementer og tilbyr verdifull innsikt for systemoperatører. Flere nettoperatører har tatt i bruk hele eller deler av metoden. Økt utnyttelse av kraftnettet muliggjør hurtigere elektrifisering av samfunnet.



Figur V20. Elektriker som jobber på en høyspentmast. Foto: Sverre Chr. Jarild

Feil- og avbruddshåndtering

Strømvavbrudd kan føre til betydelige samfunnsøkonomiske kostnader. Smartere feil- og avbruddshåndtering ved hjelp av strømfelindikatorer og selvreparerende nett resulterer i kortere strømvavbrudd og reduserte samfunnsøkonomiske kostnader. Strømfelindikatorer og selvreparerende nett bidrar til å lokalisere og isolere feil, og muliggjør raskere gjenoppretting av strømmen. Forskningsresultater har gitt et bedre beslutningsgrunnlag og økt ekspertise innen både feil- og avbruddsløsninger og pålitelighetsanalyse som involverer smartnett-teknologi. Dette har ført til lavere driftskostnader.

Dynamisk drift av kraftledninger

I dag opererer de fleste kraftnett basert på statiske sikkerhetsgrenser og erfaringsbaserte modeller og prognoser, med relativt få kilder til sanntidsdata. Overføringskapasiteten til det norske kraftnettet, basert på disse grensene, er som regel konservativ.

Forskning på luftledninger utstyrt med smarte sensorer har vist at linjene har mer kapasitet enn dagens grenser tilsier i mer enn halvparten av tiden i løpet av et år. Forskningen har vært viktig for utviklingen av et forbedret og kommersialisert produkt for det globale markedet gjennom Heimdal Power. Det er vist at slike sensorer kan bidra til for økt overføringskapasitet i strømmnettet på opptil om lag 20 prosent. Nettselskapene har fått verdifull innsikt og sanntidsdata fra nettene sine, noe som muliggjør mer dynamisk nettdrift.

Som et eksempel kunne et nettselskap håndtere økt kapasitet fra et vindkraftverk ved å instrumentere to kritiske linjer. Nettselskapet kunne unngå investeringer på omtrent 200 millioner kroner, og vindkraftprodusenten trengte ikke å vente for økt nettkapasitet f.eks. ved kostbar og tidkrevende nettutbygging.



Figur V21. Heimdall Power sin Neuron for dynamisk drift av kraftledninger. Bilde: Heimdallpower

Transformatorforvaltning

Transformatorer er kostbare investeringer, og nøkkelkomponenter i kraftsystemet. Forskningsmålet har vært å øke levetiden og bevare driftssikkerheten for disse kritiske komponentene. Materialer har vært studert, og transformatorer har blitt undersøkt i felt. Det er utviklet digitale og simuleringsmodeller som har blitt validert mot faktiske transformatorer. FoU resultatene har bidratt til enda bedre pålitelighet og ytelse til transformatorene og betydelige reduksjoner i gjennomførte og fremtidige investeringer knyttet til disse komponentene.

5.6 Norwegian Centre for Sustainable Bio-based Fuels and Energy (Bio4Fuels)

Vertsinstitusjon	NMBU
Forskningspartnere	IFE, USN, SINTEF AS, SINTEF Energi AS, NIBIO, NTNU, Rise PFI AS
Brukerpartnere	Steeper Energy Aps, Umoe, Topsøe, Hyperthermics, Alginor, Zeg Power, Norske Skog Saugbrugs, ST1, Cambi Solutions, Herøya Industripark, Ecopro, Eco-1 Bioenergi, Biozin, Equinor Energy, Borregaard, Biokraft, Statkraft/Silva Geen Fuel, Volvo AB, Novozymes AS, Lund Combustion Engineering AB, Pervatech BV, Adresso Bioproducts AB, BTG BV, Johnson Matthey Plc, Neste Oy, Innovasjon Norge, Trøndelag Fylkeskommune, Viken Fylkeskommune, Innlandet Fylkeskommune, Avinor AS, Statens vegvesen, Miljødirektoratet, Oslo kommune renovasjons- og gjenvinningsetaten, Zero, Nobio, Norges Bondelag, Norges Skogeierforbund, Follo regionen
Senterleder	Duncan Akporiaye; SINTEF Industri
Samlet Budsjett	277 mill. kroner (før endelig avslutning)

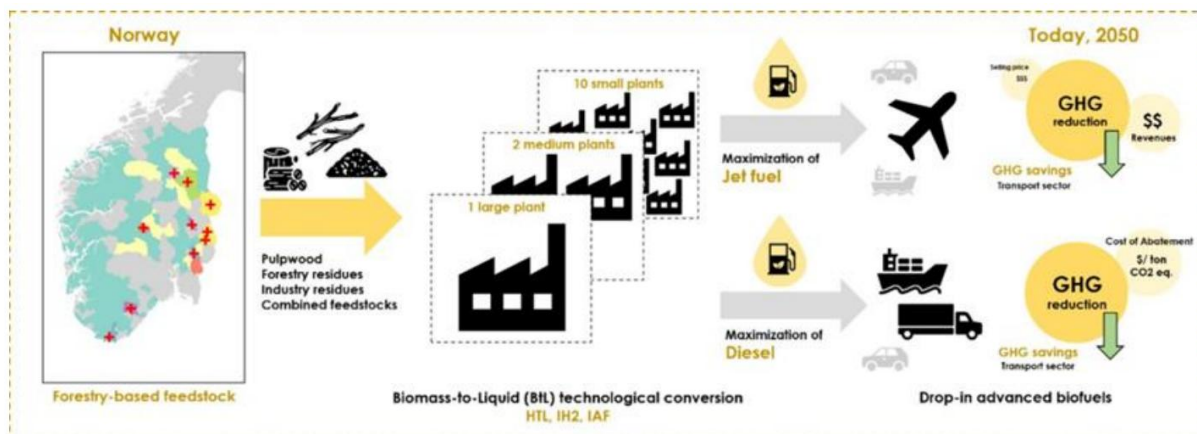
1. Visjon og mål

Bio4Fuels-senteret har som overordnet visjon å bidra til det grønne skiftet ved å utvikle bærekraftige løsninger for produksjon av avanserte flytende biodrivstoff og biobaserte produkter. Senteret har hatt som mål å være en ledende aktør innen forskning og innovasjon med fokus på å redusere klimagassutslipp og styrke norsk industri gjennom bioteknologiske løsninger. Det har vært et mål å støtte industrier i å realisere økonomisk og bærekraftig konvertering av lignocellulose- biomasse og organiske rester til transportdrivstoff, sammen med mer verdifulle kjemikalier, varme og kraft.

2. Effekt av senteret for målet til FME-programmet

Bio4Fuels har etablert en nasjonal arena som har styrke samspillet mellom forskning, industri og offentlig sektor, og har levert kunnskap og løsninger som har samfunnsmessig betydning og vært av betydning for flere både nasjonale og internasjonale spin-off prosjekter. Dette har bidratt til posisjonering i Europeiske og internasjonale nettverk.

Flere verdifulle verdikjeder er indentifisert fra biodrivstoff, biogass og kjemikalier. Senteret har realisert tre ruter til pilotskala, en til demonstrasjonsskala (Silvia Green Fuel) og en til kommersiell fase. Bio4Fuels (Borregaard) har vært viktig for oversikt over bioressurstilgang innen lignocellulose (fra tre) og studert mulighetene innen biobasert avfall.



Figur V22. Illustrasjon av Vedant Ballal, NTNU

3. Om senteret og oppnådde resultater

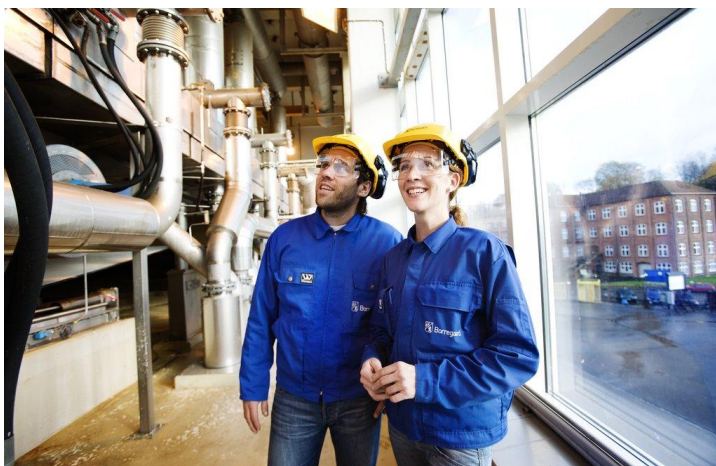
Forskningen i senteret

Forskningen i Bio4Fuels har hatt fokus på bioressurser fra lignocellulose og bioavfall. I tillegg har arbeidet dreiet seg om utvikling av nye termiske og anaerobe prosesser for konvertering av biomasse til biodrivstoff, nye biokjemiske prosesser for produksjon av mer verdifulle kjemikaler samt utvikling gassifiseringsprosesser som gir bedre omsetting og selektivitet.

Innen bærekraft har livsløpsanalyser av ulike produksjonskjeder vært viktig i tillegg til at senteret har utarbeidet en bedre forståelse av rollen til avansert biodrivstoff i sammenheng med høye elektrifiseringsrater for passasjertransportflåten og for produksjonen av biodrivstoff til bruk i sektorer hvor det er vanskelig å redusere (skipsfart og luftfart) CO₂ utslipp.

Senteret har jobbet mye med oppskalering av de ulike prosessene og testet disse i pilotskala, demonstrasjon og hatt betydning for i kommersialiseringsløp. Blant annet har Silva Green Fuel gitt tilbakemelding om at de har kunnet benyttet viktig kompetanse som er etablert i senteret til å etablere spin-off prosjekter som har vært nødvendig for kommersialiseringsløpet.

Senteret har publisert mer enn 185 publikasjoner i vitenskapelige journaler.



Figur V23. Borregaard bioraffineri. Foto: Sverre Chr. Jarild

Innovasjon og verdiskaping

Fokuset på høy TRL fra EU-kommisjonen har gitt Bio4Fuels-partnere muligheten til å sikre innovasjonsprosjekter som demonstrerer prosesser langs verdikjedene på pilotnivå. Dette har hatt en betydelig innvirkning ved å involvere senteret i en bedre forståelse av de spesifikke utfordringene og barrierene for oppskalering og implementering av teknologier, og har også gitt tilgang til mer hardføre data for evaluering av teknologiøkonomien for å muliggjøre scenarioanalyse av potensielle kostnader for implementering av bioraffinerier i Norge.



Senteret har imidlertid ikke publisert en egen oversikt over innovasjoner og hvordan de har jobbet med innovasjoner utover det som er nevnt. De har pr slutten av 2023 rapportert inn 6 nye nye/forbedrede metoder/modeller/prototyper og til studien «Effekter av energiforskningen» rapporterte de inn 5 forskningscaser alle på TRL 5-9.

Figur V24. BTGs EMPYRO fullskala pyrolyse anlegget i Nederland Bilde: Bio4Fuels

sluttrapport

Internasjonalt samarbeid

Internasjonalisering og internasjonalt samarbeid har vært en viktig del av Bio4Fuels fokus, ettersom ikke all relevant teknologi var tilgjengelig i Norge ved oppstarten av senterets drift. Det er knyttet sterke koblinger til viktige europeiske og internasjonale partnere, vært avgjørende for kunnskapsoverføring til senteret, og i spesifikke tilfeller, som Novozymes (enzymer), Loge (programvare) og Steeper Energy (bioråolje), har det gitt tilgang til teknologi for bruk av både forskning og interesser.

Partnerne i Bio4Fuel har hatt viktige roller på en rekke Europeiske og internasjonale arenaer slik som European Energy Research Alliance (EERA), European Technology and Innovation Platform (ETIP) Bioenergy og Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Bio4Fuels ustrakte internasjonale virksomhet har blant annet har ført til en rekke EU prosjekter

Forskerutdanning og rekruttering

Senteret har hatt et aktivt utdanningsprogram for master- og doktorgradsstudenter. Mange av PhD studentene er rekruttert internasjonalt, men de fleste som har disputert har blitt ansatt i norske foretak, offentlig sektor eller i akademien. Bio4Fuels organisert sommerskole i 2019 for PhD studenter sammen med FME MoZEES, UiO Energi og NTNU. Senteret har registret 17 PhD- kandidater hvorav 11 har gjennomført eller planlegger disputas i 2025. I tillegg forventes 2 -3 til å forvare oppgaven sin i 2026.

Kommunikasjon

Senteret har hatt et operativt kommunikasjonsarbeid, med formidling av resultater gjennom rapporter, nyhetsbrev, seminarer og sosiale medier som web stie, LinkedIn, nyhetsbrev, brosjyrer og årsrapporter. Webinarer som kommunikasjonsform ble viktig på grunn av pandemien. I 2019 organiserte de konsortiedager i Gøteborg sammen med to andre internasjonale sentre innen området. Bio4Fuels har hatt mer enn 250 presentasjoner av resultater til brukere og formidlet omtrent 30 ganger til allmennheten. Senteret var blant annet med på Arendalsuka i 2023.



Figur V25. Bilde: Fra Bio4Fuels dagene. Bio4Fuels sluttrapport

Organisering og videreføring

Bio4Fuels er et samarbeid mellom 8 norske forskningsinstitutter NMBU, SINTEF, SINTEF ENERGI, NTNU, NIBIO, IFE, USN, det svenske

RISE-PFI (den norske delen i Trondheim) og 35 brukerpartnere fra bioressurseiere, næringslivet og offentlige partnere deriblant flere fylkeskommuner. NMBU har vært vertskap for senteret og SINTEF har hatt prosjektledelsen. De har hatt en egen internasjonal rådgivingsgruppe.

Senteret lykkes ikke å få til en fornyelse av et senter, men det ble bevilget et større infrastrukturprosjekt Suprano som er viktig for videreutviklingen av området. Infrastrukturen vil være en viktig arena utarbeidelse av ytterligere nye EU prosjekter og nasjonale søknader.

4. Eksempler fra forskningen

Ressurstilgang til biodrivstoffproduksjon

Biodrivstoffproduksjon krever store mengder skogbiomasse, ofte fra store områder og det er kostbart å transportere. Derfor er plasseringen av anlegg for produksjon av skogbasert biodrivstoff viktig for kostnadene og for en investeringsbeslutning. Bio4Fuels har ved bruk av en modell, analysert best mulig plassering av biodrivstoffanlegg i Norge, og virkningene disse kan få på skogsektoren i de nordiske landene. Data over transportavstander og transportkostnader mellom kommuner gjør det mulig å beregne best mulig plassering av biodrivstoffproduksjon for ulike størrelser og ulikt antall fabrikker totalt i Norge. Resultatene antyder blant annet at hvis det etableres små og få fabrikker, er det mest lønnsomt å plassere disse i innland med uutnyttede skogressurser. Dersom antallet eller størrelsen øker vil det være gunstig å plassere anleggene ved jernbane og andre knutepunkter, evt ved havner. Modellen kan brukes til å gjøre vurderinger av konkrete mulige plasseringer av anlegg for biodrivstoffproduksjon i Norge. Resultatene er brukt til videre vurderinger av bærekraft gjennom LCA.



Figur V26. Overblikk av skogbruk i norsk skog. Foto: Shutterstock

HTL-basert produksjon av biodrivstoff

Nesten 99 prosent av biodrivstoff brukt i transportsektoren i Norge importeres, til tross for at vi har betydelige bioressurser som kan brukes til biodrivstoffproduksjon. Hydrotermisk flytendegjøring (HTL) er en lovende teknologi som muliggjør konvertering av biomasse til et flytende drivstoff. Det har vært viktig å ha tilgang til relevant forskningskompetanse for å støtte utvikling av prosessen som legger grunnlag for produksjon i Norge. Det er utført flere forskningsaktiviteter som har gitt kunnskapsgrunnlag for prosessutvikling, blant annet, kartlegging av ressursgrunnlaget, offentlig godkjenning, tilknytning til relevante EU-nettverk, samt tilgang til lab for å generere relevante testresultater.

HTL-prosessen er et viktig trinn i integrering av biodrivstoffproduksjon i eksisterende raffinerier. Biodrivstoff produsert fra HTL-prosessen kan brukes i eksisterende motorer installert i fly og skip. Bio4Fuels har bidratt med kompetanse til SGFs (Silva Green Fuel) demonanlegg som er det største HTL-anlegget i verden og legger grunnlag for bygging av kommersiell produksjon i Norge og Norden.

Forbedrede biokjemiske prosesser

Bio4Fuels har arbeidet med utgangspunkt i en type termisk reaktor «Høytrykks hurtigoppvarmingsreaktor» for selektiv fraksjonering av gran. Ved bruk av tilsetningsstoffer til termoformede produkter og i nært samarbeid med Bio4Fuels-partnerne Novozymes og Borregaard er det utviklet et nytt prosessoppsett der man også tilsetter enzymer og H₂O₂. Det ble vist at det var mulig å omdanne gran til fermenterbare sukkerarter på en mer effektiv måte. Det industrielle oppsettet ble i 2019 med godt resultat oppskalert ved Borregaards demonstrasjonsenhet i Sarpsborg. Det ble det oppnådd 15 % høyere glukoseutbytte innen 40 % kortere sakkarifiseringstid enn ved bruk av dagens toppmoderne prosessoppsett.

5.7 Norwegian Research Centre for Hydropower Technology (Hydrocen)

Vertsinstitusjon	NTNU
Forskningspartnere	NGI, USN, NINA, SINTEF Energi, Kathmandu University
Brukerpartnere	Hafslund Innlandet, Hafslund Kraft, Voith Hydro, Dr Tech Olav Olsen, SFE, Flow Design Bureau (2018-2022), Skagerak Kraft, Eviny, Rainpower, Multiconsult, Andritz Hydro, Helgeland Kraft, Dynavec AS (2018-2025), Sira Kvina, Sognekraft produksjon AS, Tafjord Kraftproduksjon, Sedicon, EDR&Medeso, Norconsult, SKS AS (2018-2021), Miljødirektoratet, NVE, Vattenfall, ABB, Fornybar Norge, Sognekraft, Lyse, Hydro, Cativa, Tussa Energi, GE Renewables, Statkraft, Enestor, Sweco, TRønder Energi, Å Energi, NTE Energi, Østfold Energi, Sira Kvina Kraftselskap
Senterleder	Liv Randi Hultgreen (2020-2025), Ole Gunnar Dahlhaug (2020), Hege Brende (2016-2020)
Samlet Budsjett	409,7 mill. kroner

1. Visjon og mål

Hydrocen sine mål har styrket vannkraftens rolle i det grønne skiftet gjennom tverrfaglig forskning, innovasjon og samarbeid mellom akademia, næringsliv og forvaltning. Satsingen har inkludert mål om økt verdiskaping, miljøtilpasning og teknologiutvikling for å møte fremtidens energibehov og klimautfordringer.

Etter midtveisvurderingen justerte Hydrocen sine ambisjoner og mål til:

- sikre og utvikle forskning og utdanning innen vannkraft
- bidra til økt verdiskaping og samfunnsnytte fra vannkraftsektoren gjennom forskning på teknologi, økonomi og miljø
- bidra til å styrke Norges posisjon som en ledende vannkraftnasjon
- bidra til å redusere miljøavtrykket til vannkraft
- demonstrere vannkraftens rolle i et fornybart og bærekraftig europeisk marked
- hjelpe beslutningstakere med å ta de riktige valgene i klimaspørsmål

2. Bidrag til FME-ordningens overordnede mål

Vannkraft er kritisk for å stabilisere energiforsyningen i et samfunn som er stadig mer avhengig av ukontrollerbare fornybare energikilder som sol- og vindkraft. FME HydroCen har vært sentral for vannkraftforskningen i Norge. Senteret har utforsket ulike aspekter ved vannkraft, inkludert konstruksjoner, turbiner, generatorer, markedsdynamikk og miljødesign. Gjennom sin forskning har senteret bidratt til å forbedre effektiviteten og miljømessig bærekraft til vannkraft. Senteret har hatt stort søkelys på å redusere miljøpåvirkningen fra vannkraftverk og å øke kunnskapen om påvirkning på naturen.

3. Om senteret og oppnådde resultater

Forskningen i senteret

Forskningen har vært organisert i fire arbeidspakker som inkluderer vannkraftkonstruksjoner, turbiner og generatorer marked og service, miljødesign samt ledelse av senteret.

Følgende strategiske forskningsområder ble fremhevet som de viktigste områdene for HydroCen noe som styrer valg av forskningsretning:

- Norsk vannkraft i Norge og Europa - fleksible systemer
- Digitalisering og drift
- Miljødesign og teknologi
- Klimaeffekter på vannkraft

Senteret har benyttet både teoretiske og anvendte metoder, inkludert modellering, laboratorieeksperimenter og feltstudier. Blant sentrale forskningsresultater er utvikling av nye reguleringsmetoder, forbedret miljødesign for vannkraftanlegg, og økt forståelse av vannkraftens samspill med andre energikilder. Forskningen i HydroCen har bidratt – og vil bidra - til å møte de fremtidige behovene for økt balansekraft, økt lagring i elektrisitetssystemet og mer fleksibel drift av vannkraftsystemet. Konseptet miljødesign ble utviklet i FME CEDREN, og i HydroCen har metoden blitt videreutviklet og implementert på nye arter og områder.

Innovasjon og verdiskaping

HydroCen har vært en drivkraft for innovasjon i vannkraftsektoren.

Totalt rapporterer HydroCen 39 innovasjoner og forbedringer. Innovasjonene inkluderer forskningsinnovasjoner, nye/forbedrede metoder og modeller samt nye/forbedrede prosesser. I forbindelse med effekstudien av energiforskningen, rapporterte HydroCen åtte case studier som representerte et utvalg av innovasjoner fra senteret på TRL 5-8. Innovasjonene bidrar samlet til økt fornybar energiproduksjon i Norge og i utlandet og økt forsyningssikkerhet i Norge.

Verdiskapingen i den norske vannkraftsektoren har økt i løpet av åtteårsperioden. Senteret har levert resultater og kommunisert disse til både partnere og den allmenne befolkningen.

Internasjonalt samarbeid

Senteret har hatt et omfattende internasjonalt samarbeid med forskningsinstitusjoner og industripartnere i Europa, Nord-Amerika og Asia. Samarbeidet har resultert i forskeropphold der forskerne har samarbeidet om prosjekter, medveiledning av PhD-er og masterstudenter, samarbeid om publikasjoner, felles EU-prosjekter og samarbeid i EU-relaterte organisasjoner.

I 2020 arrangerte HydroCen konferansen Hydropower Summit med representanter for US Department of Energy og norske myndigheter. Dette resulterte i en avtale om langsiktig forskningssamarbeid, som videreføres våren 2025. I regi av HydroCen er det også etablert et Joint Programme for Hydropower i Eus forskningsprogram EERA.

HydroCen har hatt stor nytte av å kunne benytte oppdaterte fasiliteter til å gjennomføre forskningen. Laboratoriefasiliteter er et svært viktig virkemiddel for å tiltrekke seg toppkompetanse i form av forskere og studenter fra utlandet.

Forskerutdanning og rekruttering

HydroCen har hatt et sterkt fokus på forskerutdanning og rekruttering. Gjennom veiledning, kurs og deltakelse i prosjekter har senteret bidratt til å styrke rekrutteringen til vannkraftfaget og sikre tilgang på kompetanse i årene fremover. 33 doktorgrads-stipendiater og postdoktor og mer enn 400 masterstudenter har fullført sine oppgaver i HydroCen.

Kommunikasjon

Kommunikasjonsarbeidet i HydroCen har vært preget av åpenhet og bred formidling. Senteret har utviklet strategier for å nå ut til både fagmiljøer, beslutningstakere og allmennheten gjennom seminarer, nettsider, publikasjoner og medieoppslag. Disse tiltakene har bidratt til økt kunnskap om vannkraftens betydning og senterets resultater, samt til å stimulere til videre debatt og engasjement. Produksjonen av publikasjoner har vært høy:

- 185 vitenskapelige publikasjoner og mer enn 1000 presentasjoner på konferanser, seminar og møter med industri, forvaltning og forskning
- Hydrocen har publisert 54 rapporter
- Over 800 mediasaker og en rekkevidde på mer enn 20 000 i sosiale medier

HydroCen utviklet Kunnskapsbanken, en åpent tilgjengelig nettside som samler alle forskningsresultatene i senteret, som har fått en bred positiv tilbakemelding. Funnene er presentert på en kortfattet og lett tilgjengelig måte med formål å nå målgrupper utenfor de vitenskapelige. Kunnskapsbanken videreføres i FME RenewHydro. Hydrocen har også tilbudt Forsker-on-Demand, et tilbud til HydroCens brukerpartnere om å kunne bestille skreddersydde seminarer der forskere har besøkt partnerne med foredrag og faglige diskusjoner.

Organisering og videreføring

HydroCen har vært organisert som et konsortium med til sammen fem forskningspartnere, hvorav en er fra Nepal. Til sammen har mer enn 40 brukerpartnere deltatt fra næringsliv, kraft- og konsulentbransjen samt offentlige aktører.

Senteret har hatt en struktur som har fremmet samarbeid, fleksibilitet og rask implementering av forskningsresultater. I HydroCen var det også lagt en plan om å starte flere prosjekter i løpet av senterets åtte år ved å bruke frie forskningsmidler og søke om nye eksterne prosjekter fra Forskningsrådet og EU. Disse nye prosjektene har tilført HydroCen komplementerende kunnskap som har gitt stor verdi.

Med utspring i Hydrocen lykkes det å få finansiering til et nytt forskningssenter, FME RenewHydro. RenewHydro skal utvikle kunnskap og løsninger slik at fleksibel vannkraft kan støtte realisering av energiomstillingen og nå nasjonale energi-, klima- og naturmål.

4. Eksempler fra senteret

Blant de konkrete casene som illustrerer HydroCens arbeid, kan nevnes utviklingen av avanserte styringssystemer for vannkraftverk, tiltak for å forbedre fiskevandring og biologisk mangfold i regulerte vassdrag, samt implementering av digitale tvillinger for optimalisering av drift og vedlikehold.

Sikker nedvandring av fisk forbi kraftverksinntak



Resultatene innenfor fiskevandringssløsninger har fått mye fokus. Ved å utvikle et innovativt ledegjerde til bruk foran inntakstunneler i elv, har Hydrocen lyktes i å redusere antall smolt som vandrer inn i kraftverktunneler med over 85%, noe som redder mange fiskeliv i norske elver. Løsningen har blitt bygd og testet i Mandalsvassdraget i nært samarbeid med brukerpartnere. Teknologien kan brukes der fisk i dag ikke er beskyttet og markedsføres nå i Norge og Europa.

Figur V27. Ledegjerde for fisk. Bilde fra Hydrocen sluttrapport.

HiFrancis-turbiner – redusert fare for havari

Høytrykks Francis (HF) vannkraftturbiner har ved flere tilfeller havarert som følge av resonans i løpehjulet i turbinen. Erfaringsdata viser at det er 10 prosent sannsynlighet for at en ny HF-turbin havarerer i løpet av det første driftsåret. Omfattende målinger og eksperimenter ble gjennomført for



å forstå fysikken i turbinenes løpehjul. Forskningen resulterte i utviklingen av nye simuleringsmetoder og validerte prosedyrer som turbinprodusenter kan bruke for å designe mer robuste turbiner. Dette reduserer risikoen for resonans og havari.

Figur V28. Francisturbin i lab. Foto: Juliet Landrø

Variabel hastighet for turbin og generator

Kjøring på driftspunkter som avviker sterkt fra beste driftspunkt er en viktig årsak til belastning og slitasje i vannkraftverk. Variabelt turtall kan gjøre det mulig å utnytte turbinene bedre, med mindre skadelig belastning. Det er gjennomført design av en Francis turbin som skal operere med variabelt turtall. Vannkraft-turbiner med variabel rotasjonshastighet (turtall) vil muliggjøre mer ikke-regulerbar fornybar energi i energisystemer.

Miljø-DNA for overvåking av økologisk tilstand

Vannkraft er en viktig energikilde for Norge, men produksjonen kan påvirke det biologiske mangfoldet i elvene. Dagens metoder for å overvåke er dyre og tidkrevende, samtidig som kravene til bærekraftig drift øker. Det er gjennomført en landsdekkende studie av biologisk mangfold i elver med ulik påvirkning av vannkraft. Resultatene er fortsatt under analyse, men miljø-DNA har allerede



vist seg å være lovende ved at metoden gir en mer kostnadseffektiv vurdering av økologisk tilstand, og som inkluderer informasjon om langt flere arter, enn dagens metoder.

Figur V29. Miljø-DNA kan samles inn ved å ta en enkel vannprøve og presse det gjennom et filter. Foto: Juliet Landrø.

5.1 Norwegian CCS Research Centre - Industry-driven innovation for fast-track CCS deployment (NCCS)

Vertsinstitusjon	SINTEF Energi AS
Forskningspartnere	NTNU, UiO, SINTEF, NGI, BGS, UNIS, Ruhr University Bochum (RUB), Technical University of Munich (TUM), TNO, University of Zurich, Massachusetts Institute of Technology
Brukerpartnere	TotalEnergies AS, Hafslund Celcio, Oslo Kommune renovasjons- og gjenvinningsetaten (2016-2025), Eramet, Heidelberg Materials, Gassco, Lundin (2016-2019), Larvik Shipping, Elkem, Harbour Energy (2024), Wintershall Dea Norge (2021-2024), Offshore Norge, Vår Energi, Allton, Aker Carbon Capture (2020-2024), SLB Capturi (2024-2025), Equinor, Aker Solutions (2016-2020), Stratum Reservoir, Aker BP, Electromagnetic Geoservices (2018-2020), Quad Geometrics Norway (2017-2024), Coorstek Membrane Sciences, GE Infrastructure Sensing (2020), Baker Houghes, Ansaldo Energia, KROHNE, Shell (2016-2019)
Senterleder	Mona Mølnevik
Samlet Budsjett	548,3 (490,1) mill. kroner

1. Visjon og mål

Norwegian CCS Research Centre (NCCS) har hatt ambisjon om å akselerere utvikling og implementering av karbonfangst, -transport og -lagring (CCS) gjennom å levere forskningsbasert innovasjon og kompetanse for å fjerne barrierer mot bred utrulling av CCS.

CCS er en prosess der karbondioksid (CO₂) fanges opp fra store punktkilder, som kraftproduksjon eller industrianlegg som bruker enten fossilt brensel eller biomasse som drivstoff. Deretter komprimeres CO₂ og transporteres via rørledning, skip, jernbane eller lastebil og lagres for permanent lagring i en underjordisk geologisk formasjon. CCS-teknologier gir også grunnlaget for karbonfjerning eller «klimapositive løsninger», der CO₂ fra biobaserte prosesser fanges opp og lagres, også kjent som «bioenergi med karbonfangst og -lagring» (BECCS).

De overordnede målene til NCCS har vært delt inn i fire pilarer: forskning og innovasjon, utdanning, kunnskapsdeling samt strategisk samarbeid, med ambisjon om å gjøre Norge ledende innen CCS-forskning og -industri.

2. Bidrag til FME-ordningens overordnede mål

NCCS har bidratt til FME-ordningens overordnede mål ved blant annet:

- Støtte opp under Norges første fullskala CCS-verdikjede (Langskip) fra industriell fangst av CO₂ (Heidelberg Materials og Hafslund Celcio), transport av CO₂ og permanent lagring av CO₂ på norsk sokkel.
- Utvikle teknologi og strategier for storskala CO₂-lagring, særlig på norsk sokkel samt stimulere til fangst og transport av CO₂ fra en rekke forskjellige industrielle kilder i Europa.
- Stimulere til bruk av nye teknologier og løsninger samt bygge broer mellom akademien, industri og myndigheter.

- Fremme internasjonalt samarbeid
- Utdanne og rekruttere neste generasjon CCS-eksperter.
- Fremme kunnskapsdeling av høykvalitets forskning og øke den generelle forståelsen og aksept for CCS i samfunnet for øvrig.



Figur V30. Northern Lights CO₂ terminal i Øygarden som startet å operere sommeren 2025. CO₂ transporteres ved bruk av skip og blir injisert i undergrunnen for permanent lagring. Foto: Ruben Soltvedt, Northern Lights

3. Om senteret og oppnådde resultater

Forskningen i senteret

Forskningen i NCCS har vært organisert i 12 hovedoppgaver som dekker hele CCS-verdikjeden. Dette inkluderer analyser av verdikjede og juridiske aspekter, utvikling og optimalisering av fangstteknologi, transportløsninger for CO₂ i rør og skip, samt avanserte metoder for måling og overvåkning. I tillegg har det vært fokus på systemintegrasjon, prosessoptimalisering, geologisk lagring, overvåkning, brønnintegritet, reservoarstyring, risikoreduksjon og tverrfaglige studier av kostnadsreduksjon og samfunnsøkonomi.

NCCS har bidratt at norske forskere holder et høyt faglig nivå innen CCS og har publisert hele 1360 publikasjoner, hvorav 230 er fagfellevurderte vitenskapelige artikler.

Innovasjon og verdiskaping

Etter midtveisevalueringen satte NCCS opp et system for å kartlegge og kvantifisere effekten av innovasjoner generert gjennom hele senterets levetid. Målet for dette var blant annet å etablere et målrettet program for innovasjonsprosesser og legge til rette for implementering av disse. Resultatet av arbeidet var blant annet kartlegging av 33 innovasjoner på varierende TRL nivåer (teknologisk modenhet). Disse innovasjonene er publisert i [NCCS innovation catalouge](#). I tillegg ble det dannet flere nye spin-off-prosjekter og hele [13 spin-in-kompetansebyggingsprosjekter](#) ble direkte etablert og finansiert av NCCS-konsortiet.

Internasjonalt samarbeid

NCCS har lyktes meget godt med sitt internasjonale arbeid. Gjennom deltakelse fra NCCS-medlemmer i European Energy Research Alliance (EERA) og European Technology Platform for Zero Emissions (ZEP), har senteret kunnet gi råd til EU-kommisjonen om forskning, demonstrasjon og distribusjon av CCS. NCCS har også samarbeidet aktivt med European Research Infrastructure for CCUS (ECCSEL). ECCSEL Viscosity and Density Facility (VISC-DENS) ble blant annet utviklet i direkte forbindelse med senterets aktiviteter.

NCCS har hatt et samarbeid med flere ledende internasjonale institusjoner innen CCS blant annet Ruhr-universitetet i Bochum (RUB) og University of Western Australia (UWA) innen transport og termofysiske egenskaper til CO₂. I tillegg har senteret hatt kunnskapsutveksling og delt forskningsfasiliteter med flere andre tilknyttede internasjonale partnere, som Lawrence Livermore National Laboratory, NIST, MIT og Sandia National Laboratories i USA. Samarbeid med partnere fra Storbritannia, Frankrike, Tyskland, Nederland, Italia, Sveits, Australia, USA, Korea og Finland har ført til 8 europeiske spin-off-prosjekter og 7 Accelerating CO₂ Technologies (ACT)-prosjekter, samt ett Green Platform-prosjekt.

NCCS har også hatt sitt eget mobilitetsprogram og har tildelt 16 mobilitetstilskudd, og tilrettelagt besøk mellom 17 forskningsinstitutter i 10 ulike land.

Forskerutdanning og rekruttering

NCCS har hatt et omfattende utdanningsprogram og til sammen har 31 doktorgradskandidater, 11 postdoktorer og 58 masterstudenter blitt utdannet gjennom senteret i løpet av de siste 8 årene. Noen av disse vil fortsette utover NCCS sin periode. Minst 85 % av fullførte kandidater jobber i en karriere relatert til CCS.

Kommunikasjon

NCCS har vært svært aktive innen kommunikasjon og formidling. Senteret har hatt en egen kommunikasjonsstrategi som er oppdatert hvert år. Viktige elementer har vært plan for en god nettside, blogger, nyhetsbrev og aktive i sosiale media som LinkedIn (4600 følgere). NCCS har avholdt en rekke faglige webinarer. I tillegg har NCCS deltatt i den offentlige debatt med kunnskapsbasert informasjon, blant annet på Arendalsuka og også på den årlige FNs klimakonferanse COP. Senteret har også organisert egne nasjonale og internasjonale møter for politikere, blant annet «[GreenShift CCUS Summit](#)» i Düsseldorf som resulterte i fem anbefalinger for å akselerere CCS implementering i Europa.

NCCS har hatt ansvaret for å organisere den internasjonale Trondheimkonferansen innen CO₂-håndtering (TCCS) i 2017, 2019, 2021 og 2023. TCCS er en viktig møtearena for det internasjonale CCS-miljøet, inkludert forskere, eksperter og ledere fra industri, samt myndighetspersoner. I 2023 hadde TCCS-12 et rekordantall deltakere, med 610 forskere og industrideltakere. Fagfolk og studenter fra over 38 land var samlet i Trondheim for å diskutere CCS-relaterte utfordringer fra hele verdikjeden.

NCCS har også gjennom en rekke arrangementer vært aktive for å utdanne framtidens forskere med et engasjement mot norske skolebarn.

Organisering og videreføring

NCCS har etablert et internasjonalt konsortium med 32 partnere og 18 tilknyttede partnere, bestående av sluttbrukere, leverandører, universiteter og forskningsinstitutter fra hele CCS-verdikjeden. NCCS har vært et tydelig midtpunkt for forskning og innovasjon innen CCS. Nettverket har vært svært viktig for utvidet samarbeid. Miljøet har lyktes i å bygge videre på NCCS sitt arbeide og med fornyet fokus og samarbeidspartnere etablere et nytt senter FME gigaCCS. Det nye senteret

vil ta med seg den økte interessen for CCS i Europa og bidra til utfordringene for industrien innen CCS.

4. Eksempler fra senteret

Økt lagringskapasitet og redusert risiko gjennom forkastningsanalyser

Prosjektet har bidratt til å redusere risiko knyttet til injeksjon og lagring av CO₂ på den norske kontinentalsokkelen. Fokus har vært kvantifisering av usikkerheter og implementering av sannsynlighetsberegninger som et nyttig hjelpemiddel for risikovurdering. Forskningen legger til rette for å øke tilgjengelige volumer for CO₂-lagring gjennom økt forståelse av geologien, med et spesielt fokus på forkastninger i undergrunnen. Dette har blant annet bidratt til økt modenhet av CO₂-lagringssteder. Geologiske modeller utviklet i NCCS har bidratt til større forståelse av blant annet Horda-plattformområdet, lagringsvolumer og dermed til modning av lagerområdet. Horda-plattformområdet er hjemsted for Northern Lights CO₂-lagringslisens.

Redusert degradering av solventbasert CO₂-fangst

CO₂-fangst ved hjelp av solventer er den mest modne teknologien for å fange CO₂ fra industrielle punktutslipp. NCCS og tilhørende prosjekter har utviklet analysemetoder, modeller og teknologier som bidrar til at solvent-prosessen blir billigere, mer energieffektiv og mer miljøvennlig, og dermed kan øke implementering av CCS. Et viktig eksempel her er utviklingen av membranteknologien DORA (Dissolved Oxygen Removal Apparatus) som fjerner oppløst oksygen fra solventene. Oppløst oksygen er en av de viktigste årsakene til degradering av solventene. TNO utarbeidet teknologien gjennom et felles EU-prosjekt (ALIGN-CCUS). I andre prosjekter er det arbeidet med oksidasjonsinhibitorer som eksemplifisert i bildet under. Begge disse to teknologiene er på TRL 7.



Figur V31. Etanolamin (MEA) som har vært gjennom en stabilitetsstudie med (nederst), og uten (øverst) tilsatt oksidasjonsinhibitor KI, testet i NCCS. Foto: SINTEF

Lavtrykks skipstransport av CO₂

Skipstransport av CO₂ er en attraktiv teknologi for tidlig implementering av CCS. NCCS har bidratt til ny forståelse av lavtrykks skipstransport som en kostnadseffektiv måte for å frakte CO₂ til offshore-

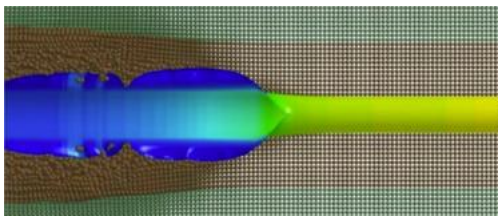


lagre. Dette kan bidra til redusert drivstofforbruk og utslipp og mindre materialbehov til skipsbygging. Teknologien har et potensiale for å redusere transportkostnadene med over 30 prosent og dermed gjøre transport av CO₂ fra Europa til lagring på norsk kontinentalsokkel mer økonomisk.

Figur V32. Labanlegg for separasjon og flytendegjøring av CO₂. Foto: SINTEF

Beregning av løpende brudd i rørledninger for transport av CO₂

SINTEFs modell for beregning av brudd som forplanter seg langs en rørledning for transport av CO₂ legger grunnlag for sikker og effektiv design av CO₂-transportsystemer. Modellen er utviklet over mange års forskning fra før NCCS og gjennom senterperioden. Modellen bidrar til å redusere risiko og kostnader knyttet til storskala rørtransport av CO₂. Det er stort potensial for framtidig kommersialisering av verktøyet.



Figur V33. Datasimulering av løpende brudd i rør. ved bruk av koblet FE-CFD modell. Resultatene inkluderer både trykk og bruddbredde. Bilde: SINTEF.

Norges forskningsråd

Besøksadresse: Drammensveien 288
Postboks 564
1327 Lysaker

Telefon: 22 03 70 00
Telefaks: 22 03 70 01

post@forskningsradet.no
www.forskningsradet.no

Publikasjonen kan lastes ned fra
www.forskningsradet.no/publikasjoner

Design: Forskningsrådet
Foto/ill. omslagsside: Forskningsrådet

ISBN 978-82-12-04235 (pdf)

