



Effekter av energiforskningen

Presentasjon av hovedfunn

Frode Iglebæk

Utarbeidet av Impello Management
i samarbeid med Menon Economics

13.12.2018



Agenda

- **Mandat og formål med effektstudien**
- **Metode og arbeidsprosess**
- **Hovedfunn**
- **Oppsummering**

Mandat og formål

«Dokumentere effekter fra investeringene i FoU på miljøvennlig energi siden 2008»

- RENERGI/ENERGIX, CLIMIT og FME

«Identifisere effekter og potensielle (fremtidige) effekter, f.eks:»

- Økonomi og markedspotensial
- Reduksjon av klimautslipp
- Energisikkerhet
- Økt produksjon av fornybar energi
- Energieffektivisering
- Bedriftsetableringer, arbeidsplasser
- Utvikling av norske forskningsmiljø, internasjonalt samarbeid, bidrag til å flytte kunnskapsfronten internasjonalt

Hovedrapport + 8 deltemaerapporter



Medio desember 2018



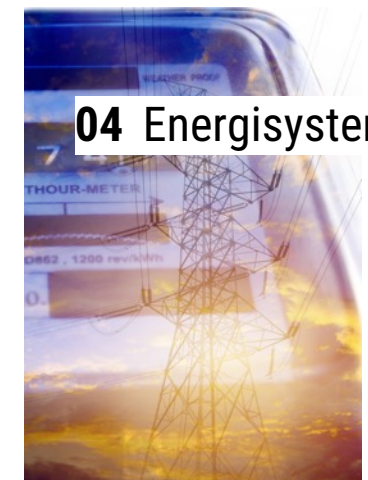
01 Energi-effektivisering i industrien



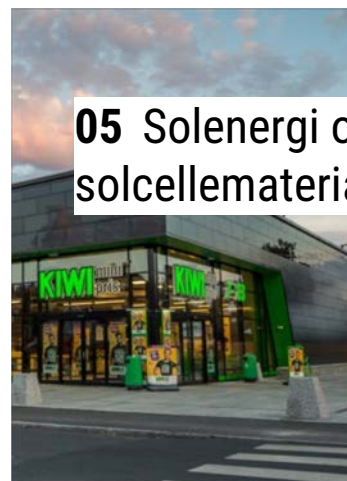
02 Energibruk i bygg og områder



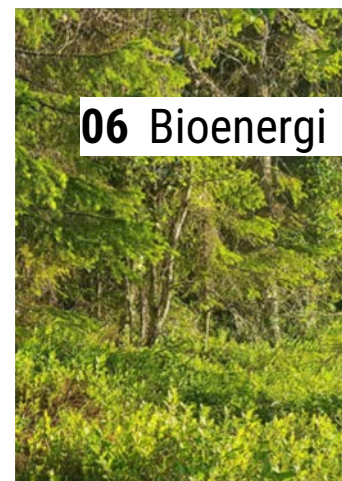
03 Vannkraft



04 Energisystemer



05 Solenergi og solcellematerialer



06 Bioenergi



07 CCS
Fangst, transport
og lagring av CO₂



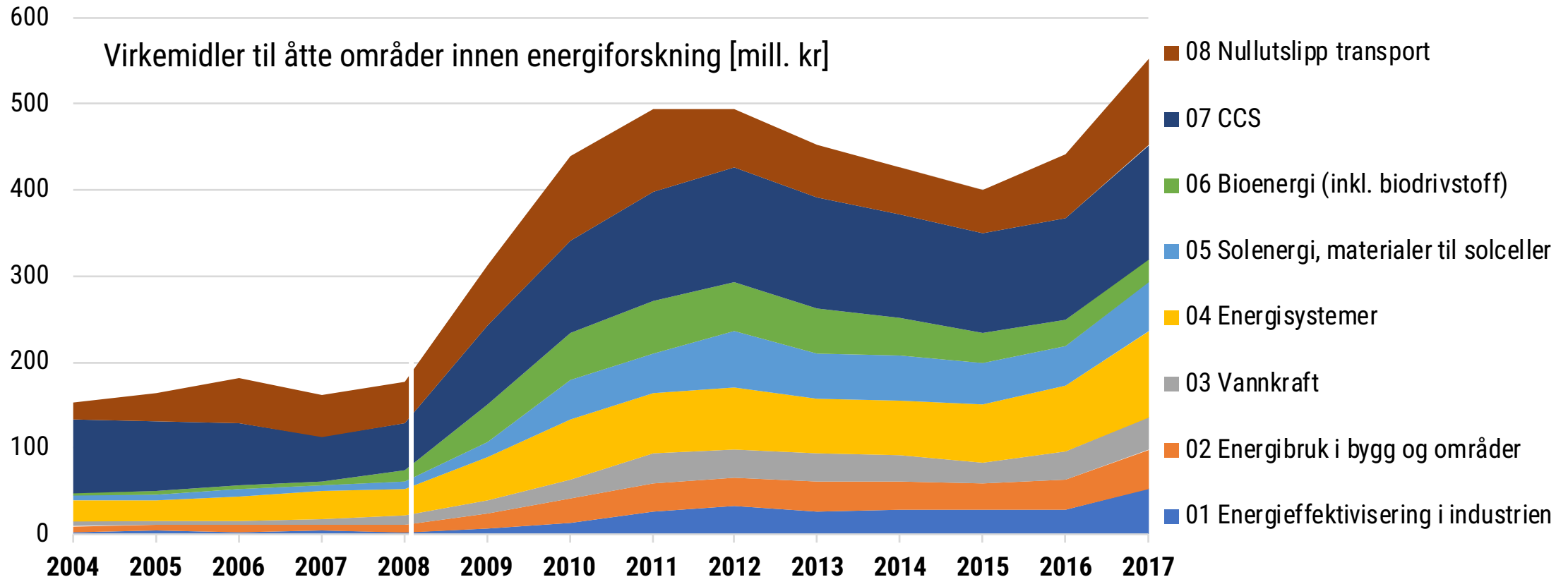
08 Nullutslipps-transport

4 mrd. kr bevilget til norsk energiforskning 2008-2017

4 mrd. kr fra Forskningsrådet – RENERGI, ENERGIX, CLIMIT og FME

4 mrd. kr i egeninnsats fra industri, næringsliv, offentlig og FoU-institusjoner

mill. kr



Det store spørsmålet:

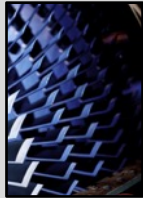
**Lønner forskning seg?
...og gir det påviste effekter?**

48 utvalgte prosjekter og case fra norsk energiforskning

Industri



CO₂ som kuldemedium



Offshore gassturbin



Lavtemperatur spillvarme



Aluminiumsproduksjon



Kobberproduksjon



Integrert energisystem

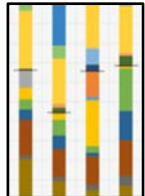
Bygg og områder



Ventilasjon i passivhus



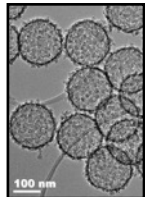
Varmegjenvinner



ZEB GHG Tool



ZEB Energy Tool



Nano-isolasjon

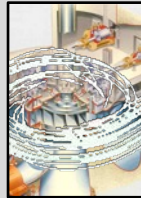


Bygnings-integrert ventilasjon



ZEB Definition

Vannkraft



Francis-turbiner



Miljødesign-håndboka



Plastring på fyllingsdam



Feildeteksjon og prediksjon



Oppgradert sandfang



SHOP

Energi-systemer



Transmisjons-nett



Økt levetids-utnyttelse



AMS



Smarte distri-busjonsnett



Spennings-kvalitet



Overspennings-beskyttelse



Distribuert produksjon i nettet

Solenergi og solcellematerialer



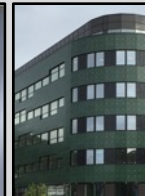
Metallurgisk solcellesilisium



Sentrifugal-reaktor



Høykvalitets Si-wafere



Bygnings-integrerte solceller



Drift og vedlikehold av solparker

Bioenergi



Enzymer for bioraffinerier



Avansert biodrivstoff



Biogass verdikjede



Bioenergi, klima og bærekraft



Laveffekts vedovn

CCS



SOLVit CO₂-fangst



Flytende-gjøring av CO₂



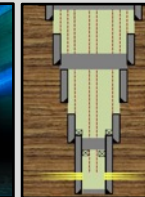
CO₂-fangst ved CLC



Løpende brudd i CO₂-rør



Overvåking av CO₂-lagring



Sementering av CO₂-brønner



Smart design av CCS-kjeder

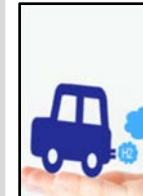
Nullutslipps-transport



Silisium til batterier



Silisium til batterier



H₂ fra vann-elektrolyse



Batterier til elektriske skip



Hydrogen og brenselceller til tungtransport

Metode og arbeidsprosess

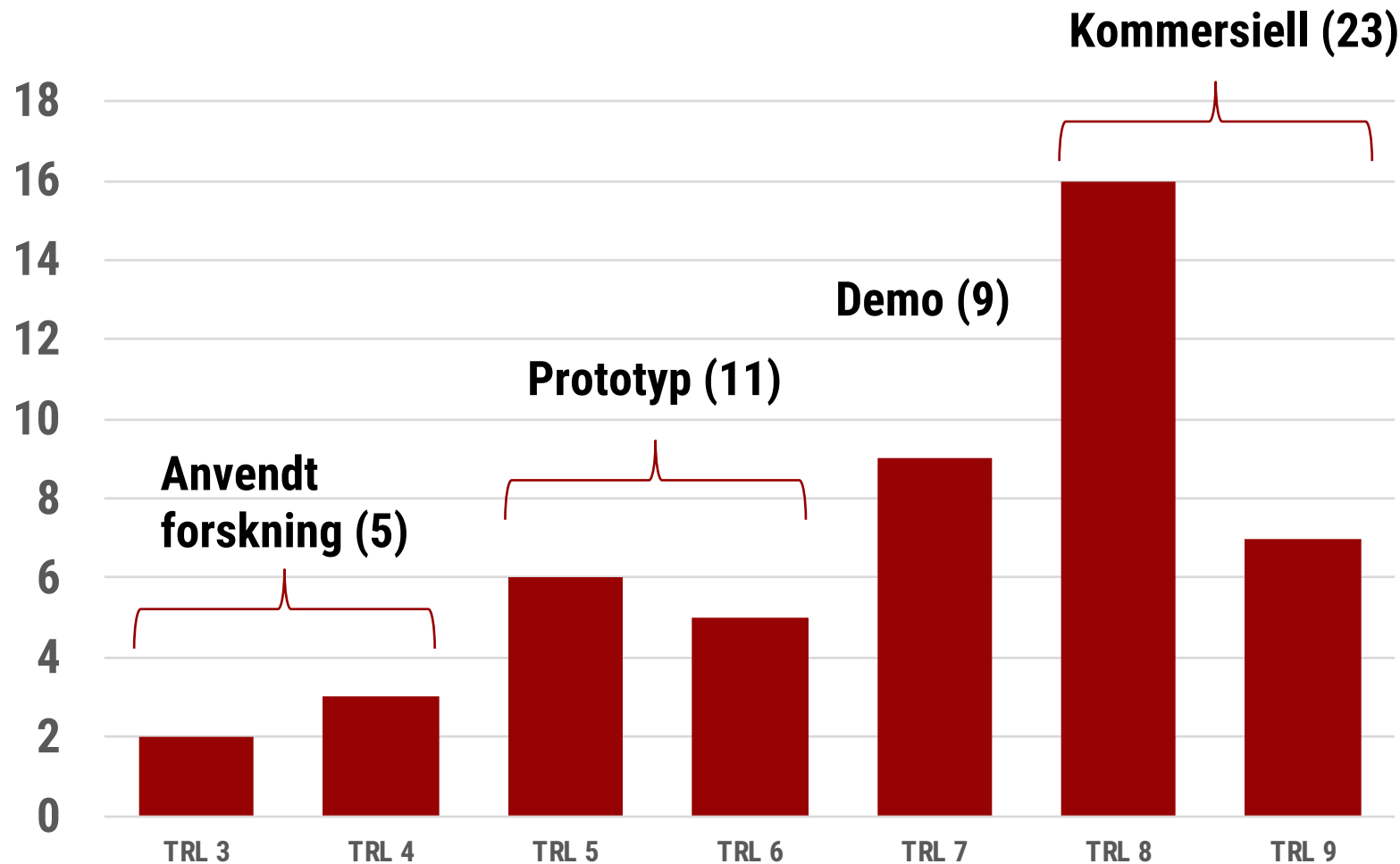
Deltema	Prosjekter
01 Industri	35
02 Bygg og områder	50
03 Vann	55
04 Energisystemer	100
05 Sol	40
06 Bioenergi	60
07 CCS	250
08 Nullutslippstransport	80
Sum	670

48 prosjekter av ca 670 valgt ut i samarbeid med fagmiljøene

Kriterier, bla.:

- Teknologisk / kommersiell modenhet
- Kunnskap om prosjektene i eget hus
- Mulig å formidle

32 av 48 case i demo eller kommersiell fase pr. 2018



EU Horizon 2020 TRL-definisjon: <https://publications.europa.eu/s/iDQK> (Technology Readiness Level)

Ulike (og ikke-sammenliknbare) effekter/potensial

Deltema	Forskningsfokus og måling av effekter
01 Industri	Energibruk (TWh, kr, %) og utslipp (CO₂)
02 Bygg og områder	Energibruk (TWh, kr, %) og utslipp (CO₂)
03 Vannkraft	Kostnader og investeringer (kr, %), forsyningssikkerhet
04 Energisystemer	Kostnader og investeringer (kr, %), forsyningssikkerhet
05 Sol	Omsetning, eksportandel (kr, %) og utslipp (CO₂)
06 Bioenergi	Bioenergiforbruk (TWh) og verdi (kr)
07 CCS	Kostnader og investeringer (kr, %), sikkerhet, muliggjøring
08 Nullutslippstransport	Utslipp (CO₂), kostnader og investeringer (kr, %)

Beregningsmetodikk – «det muliges kunst»

«Serviettregnestykker»

Scenario-basert

Nåverdi

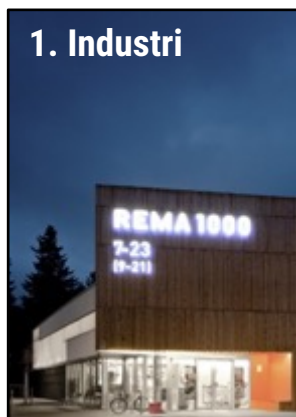
Vitenskapelige studier

Illustrerende regneeksempler

Regnskap (omsetning, eksport)

Hovedfunn

Noen få prosjekter utgjør størsteparten av effektene



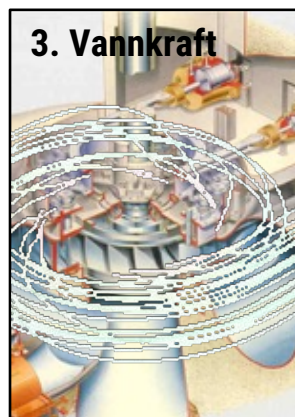
1. Industri

CO₂ som kuldemedium tatt i bruk av 18.000 supermarkeder i Europa **TRL 9**



1. Industri

Redusert energibruk og klimagassutslipp i aluminiumsindustrien (Hydro) **TRL 7**



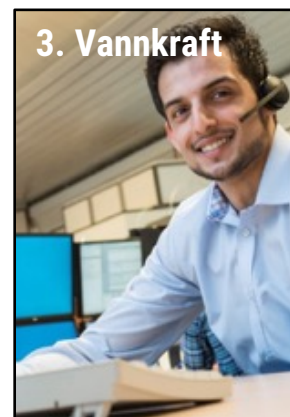
3. Vannkraft

Redusert sannsynlighet for havari i nye Francis vannkraftturbiner **TRL 5/8**



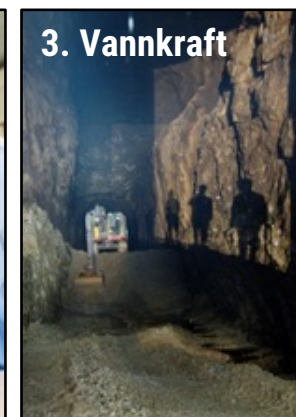
3. Vannkraft

SHOP: Modeller for korttidsplanlegging av vannkraftproduksjon **TRL 9**



3. Vannkraft

Feildeteksjon og prediksjon av levetid **TRL 4**



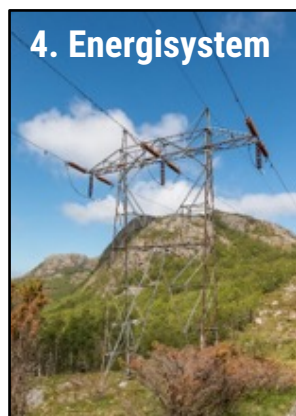
3. Vannkraft

Oppgradering av sandfang i vannkraft-tuneller **TRL 4**



4. Energisystem

AMS: Aktive kunder og intelligente distribusjonsnett **TRL 8**



4. Energisystem

Optimal utbygging, drift og vedlikehold av transmisjonsnett **TRL 6/8**



4. Energisystem

Levetidsutnyttelse for krafttransformatorer **TRL 8**



5. Solenergi

Metallurgisk solcelle-silisium (REC Solar Norway) **TRL 9**



5. Solenergi

Drift og vedlikehold av solparker (Scatec Solar) **TRL 7**



7. CCS

Energieffektiv CO₂-fangst (Aker Solutions) **TRL 8/9**

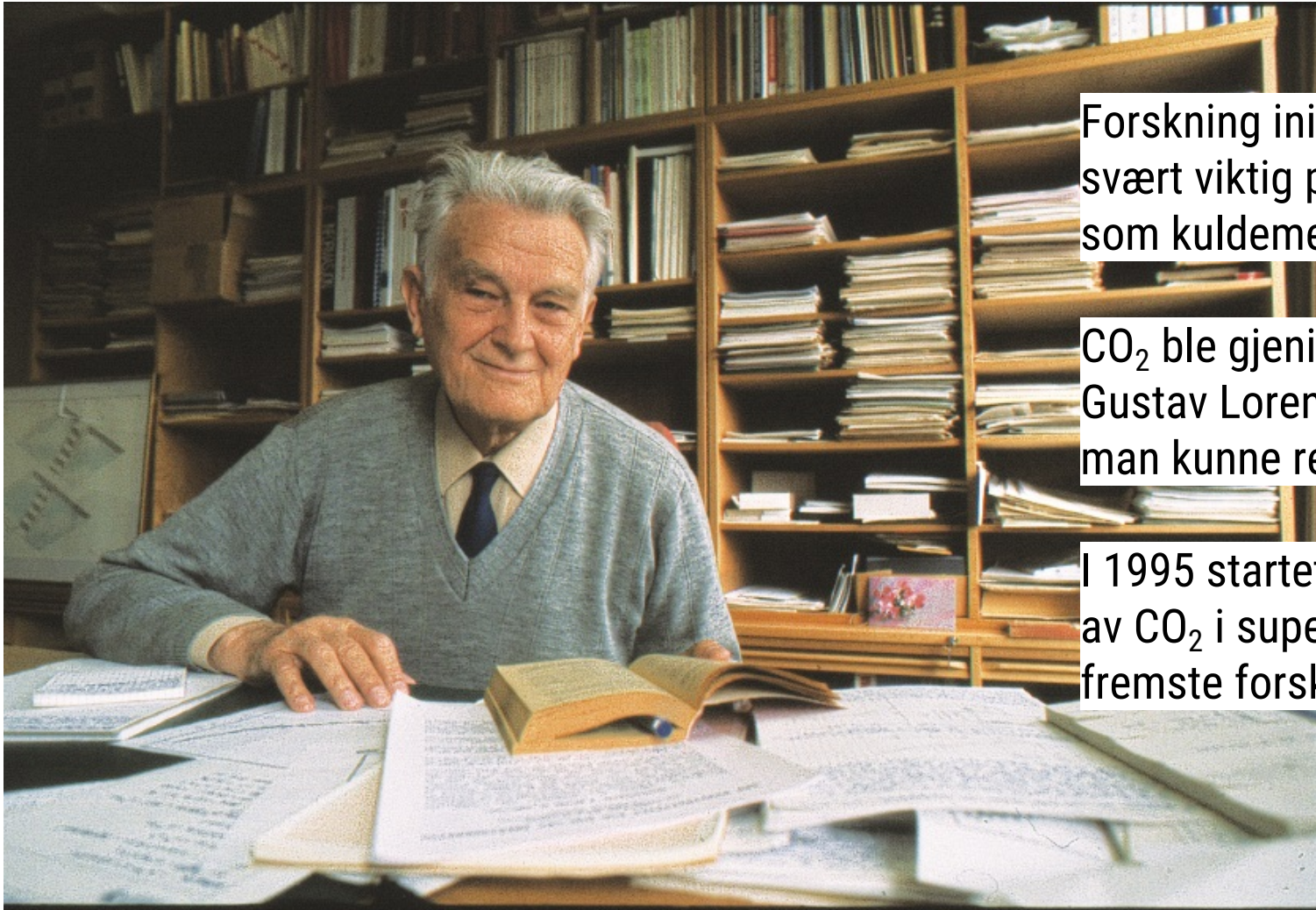
Viktig å skille:

Forskningsresultater

Effekter (realisert)

Potensielle effekter
(fremtidig potensial)

CO₂ som kuldemedium – flere tiår med forskning



Forskning initiert av SINTEF og NTNU har vært en svært viktig pådriver for å gjeninnføre CO₂ (R-744) som kuldemedium i kjøle- og varmepumpesystem.

CO₂ ble gjeninnført som kuldemedium da Prof. Gustav Lorentzen (NTNU) i 1988 viste hvordan man kunne regulere CO₂-anlegg optimalt.

I 1995 startet SINTEF/NTNU sitt arbeid med bruk av CO₂ i supermarkeder og er i dag blant verdens fremste forskningsmiljøer på dette området.

Prof. Gustav Lorentzen, NTNU

Aluminiumsproduksjon – flere tiår med forskning

Industriens og forskningsmiljøenes FoU-innsats og gradvise forbedringer har bidratt til en vesentlig reduksjon i energiforbruket

- Hydros aluminiumsverk på Karmøy hadde et forbruk på **17 kWh/kg Al** i 1967.
- I dag er gjennomsnittet for alle Hydros fabrikker redusert til **13,8 kWh/kg Al**.
- Hydro Karmøy Technology Pilot (HAL4e Ultra) vil ha et energiforbruk på under **12 kWh/kg Al**

Vannkraftplanlegging – flere tiår med forskning



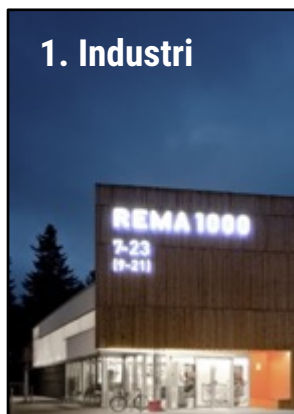
40 år med kontinuerlig forskning og utvikling av avanserte modeller for vannkraftplanlegging gjør at Norge i dag er verdensledende.

1. Energieffektivisering i industrien

CO₂ som kuldemedium er tatt i bruk av 18.000 supermarkeder i Europa

Norge utgjør ca. 15 % av Europa – høy penetrasjon

1 mrd. kr i sparte energikostnader i norsk dagligvaresektor siste 10 år



EFFEKTER	REALISERT		POTENSIAL	
	Norge	Hele Europa	Norge	Hele Europa
Reduksjon av:				
Energibruk/år	0,2 TWh	1,6 TWh	–	9 TWh
Klimagassutslipp/år	3 Mt CO _{2ekv}	19 Mt CO _{2ekv}	–	53 Mt CO _{2ekv}
Energikostnader (sum 10 år)	1 mrd. kr	6,5 mrd. kr	–	30-40 mrd. kr

2. Vannkraft

Modeller for korttidsplanlegging av vannkraftproduksjon

Modeller og simuleringsverktøyet «SHOP» – SINTEF Energi

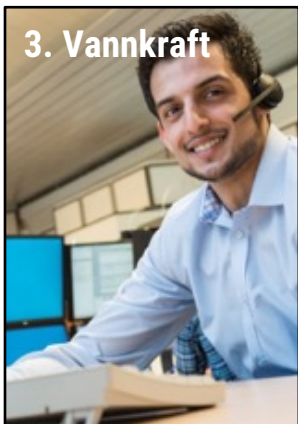
6,8 mrd. kr i økt verdi for kraftprodusentene siste 10 år, i all vesentlighet norske aktører



EFFEKTER	REALISERT	POTENSIAL
Økonomisk gevinst	Norge	Norge
2 % økt verdi av kraft-produksjon siste 10 år	6,8 mrd. kr	
Nåverdi dagens og nye brukere neste 15 år		12 mrd. kr

2. Vannkraft

...og stort potensial i å ta i bruk ny kunnskap og metoder

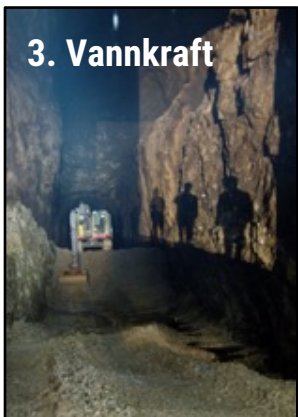


3. Vannkraft

Feildeteksjon og prediksjon av levetid i kraftverk

Mindre vedlikeholdsstans og utskifting av komponenter

EFFEKTER	POTENSIAL
Økonomisk gevinst (nåverdi)	Norge
Utsatte og reduserte reinvesteringskostnader	0,7 mrd. kr
Redusert produksjonstap pga. redusert nedetid	4,0 mrd. kr



3. Vannkraft

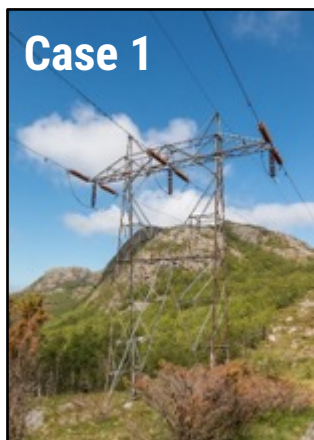
Oppgradering av sandfang i vannkrafttuneller

Sandfang sedimenterer ut sand og grus.

EFFEKTER	POTENSIAL
Økonomisk gevinst (nåverdi)	Norge
Verdi av økt produksjonskapasitet, økt høyere oppnådd kraftpris, virkningsgrad i turbinene og reduserte driftskostnader. Forutsetter at alle norske kraftverk oppgraderer sine sandfang.	1,5 mrd. kr

4. Energisystemer – effekter og potensial

- 6,6 mrd. kr realisert i reduserte kostnader og utsatte investeringer i kraftnettet
- Potensial for >40 mrd. kr i reduserte investeringer i Europa



Optimal utbygging, drift og vedlikehold av transmisjonsnettet

2,9 mrd kr i anslått nåverdi (Norge).
Metoden er tatt i bruk av flere TSO'er

40 mrd kr i redusert investeringsbehov (potensial Europa)



Levetidsutnyttelse for krafttransformatorer

2,5 mrd kr i nåverdi av utsatte reinvesteringer (Norge)



AMS – Aktive kunder og intelligente distribusjonsnett

1 mrd kr i redusert investeringskostnad og risiko ved innføring av AMS

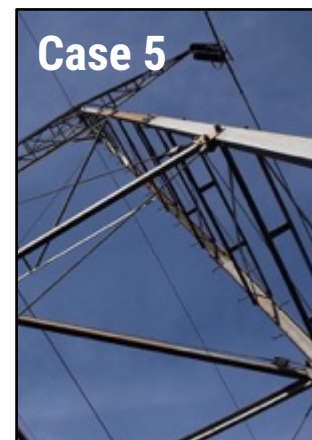
0,7 mrd kr – verdi av reduserte nettinvesteringer (Norge)



Feil- og avbruddshåndtering i smarte distribusjonsnett

◀ **EFFEKTER** ▶

1 mrd kr – nåverdi av 25-40 % årlig reduserte KILE-kostnader (Norge)



Spenningskvalitet i smarte nett

Bedre leveringskvalitet pga. kunnskap til nettselskap og forvaltning

0,5 mrd – nåverdi av reduserte driftskostnader (Norge)



Overspenningsbeskyttelse av fordelingstransformatorer

2 mrd – nåverdi av reduserte KILE-kostnader (Norge)



DGNett: Distribuert produksjon i nettet

0,2 mrd kr i nåverdi 10-30 % kostnadsreduksjon ved tilknytning av småkraft

◀ **POTENSIELLE EFFEKTER**

5. Solenergi og solcellematerialer – effekter og potensial

- **24 TWh/år spart/fortrengt fossil energi** (øker til 30 TWh/ år i 2019)
- **6 mill. tonn/år reduserte utslipp av CO₂** (øker til 8 mill. tonn per år i 2019)*
- **>3 mrd. kr i omsetning** (nær 100 % eksport)

* Ved erstatning av fossil kraft, utslippsfaktor 0,95 kg CO₂-e/kWh



Case 1
REC Solar Norway:
Metallurgisk
solcellesilisium

REALISERTE EFFEKTER ▼

Omsetning:
2013: 200 mill. kr
2018: 1100 mill. kr



Case 2
Dynatec: Sentrifugal-
reaktor for fremstilling
av solcellesilisium

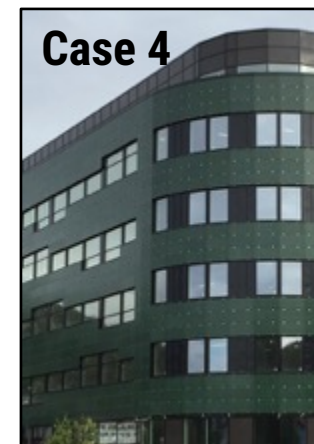
POTENSIAL ▼

Omsetningsmål:
1-4 mrd kr



Case 3
Norsun: Effektiv
produksjon av høy-
kvalitets Si-wafere

Omsetning:
2013: 200 mill. kr
2017: 500 mill. kr
Overlevde 80 % prisfall



Case 4
Solenergi Fusen: System-
løsninger for bygnings-
integreerte solceller

Omsetning:
2013: 2 mill. kr
2017: 100 mill. kr



Case 5
**Scatec Solar, IFE,
Equinor, Prediktor:**
Drift og vedlikehold
av solparker

Omsetning:
2013: 150 mill. kr
2017: 1500 mill. kr



CO₂ lab Tiller, pilotanlegg finansiert gjennom SOLVit. Foto: SINTEF

7. CCS – fangst, transport og lagring av CO₂

- **SOLVit-prosjektet (2008-2015)**
- **Aker Solutions – internasjonal ledende leverandør av kostnadseffektive fangstløsninger**
 - Investert >400 mill. kr i teknologiutvikling.
- **«Just Catch» – basert på SOLVit**
 - 35 % lavere energiforbruk
 - Redusert materialbruk
 - Miljøvennlige væskeblandinger
- **Installert ved Technology Center Mongstad (TCM).**
- **Fullskala fangst ved Norcem i Brevik (2022).**
- **Verdensledende norske forskningsmiljø og forskningsinfrastruktur ved SINTEF/NTNU.**

8. Nullutslipp (batteri og hydrogen)



Cenate: Silisium til batterier

POTENSIAL ▼

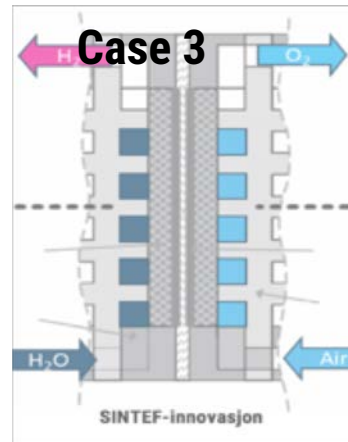
Omsetning:
«Not to be disclosed»



Elkem: Silisium til batterier

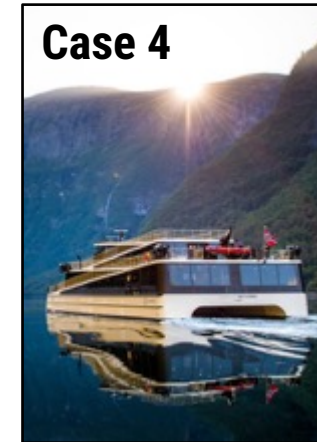
POTENSIAL ▼

Omsetning:
0,5--1 mrd. kr/år



SINTEF: Hydrogen fra PEM vannelektrolyse

Hydrogen fra fornybar kraft



ZEM Marine: Batterier til elektriske skip

Ny generasjon med norske båter og skip realiseres



ASKO: Hydrogen og brenselceller til tungtransport

Én næringsaktør satser stort

Oppsummering av effekter

Hva viser effektstudien av 48 prosjekter?

16 mrd. kr i realisert økonomisk effekt i Norge (2008-2017)

- Økt verdi/gevinst, reduserte kostnader. Reduserte eller utsatte investeringer.
- Realiserte investeringer i ny industriell virksomhet.
- Dokumentert for 9 av de 48 utvalgte casene.

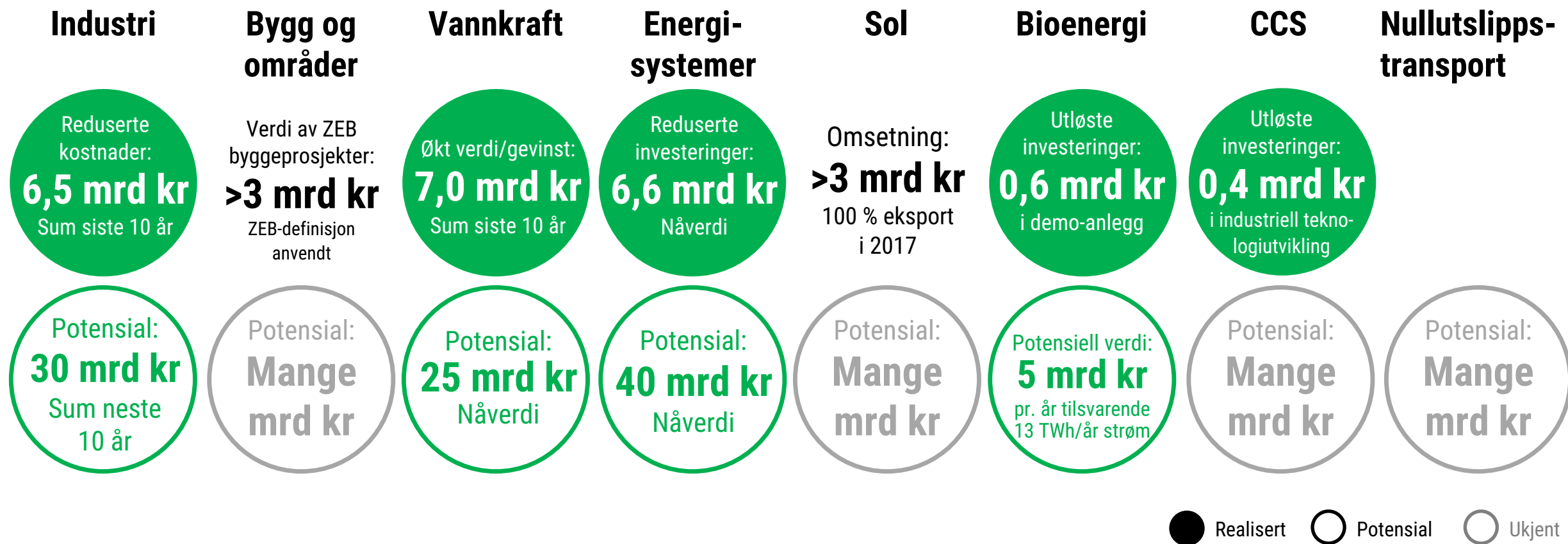
100 mrd. kr identifisert økonomisk fremtidig potensial

- Identifisert og beregnet for 12 av 48 case (Norge, Europa), nåverdi.

Ja, energiforskning lønner seg:

- 4 mrd. kr bevilget av Forskningsrådet til ca. 670 prosjekter (2008-2017).
- Ni case viser en realisert økonomisk effekt på 4 ganger bevilgningene.

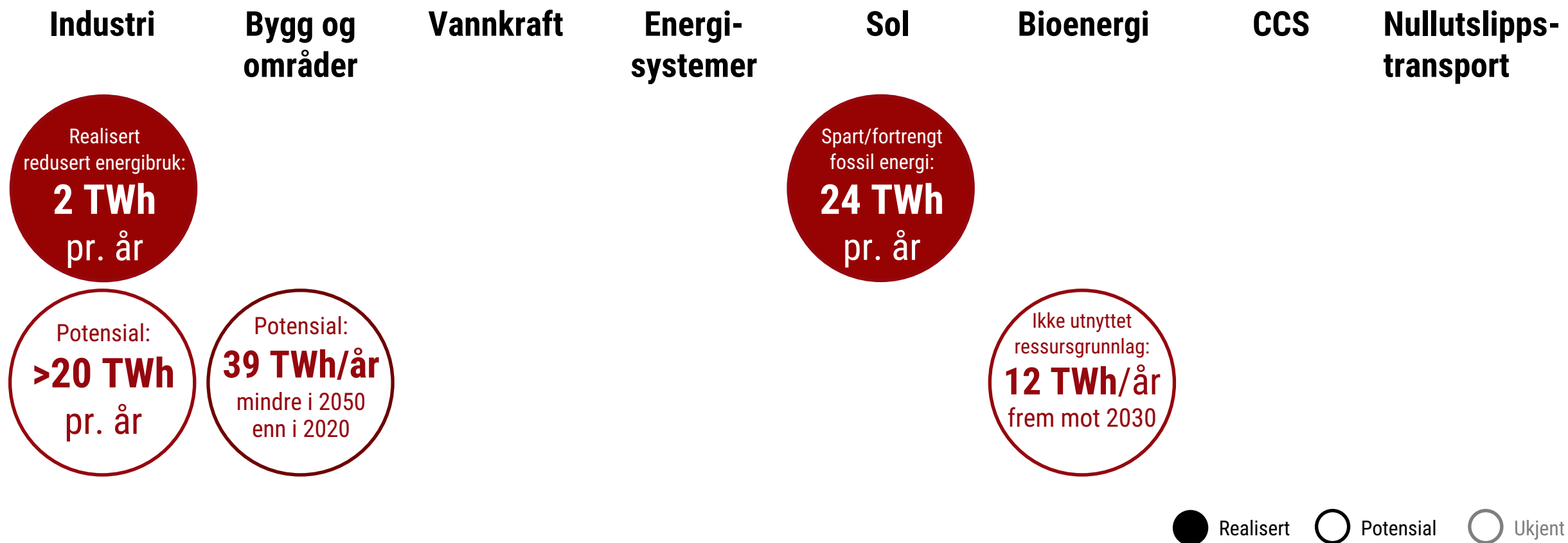
Realisert økonomisk effekt: 16 mrd. kr i Norge (21 mrd. inkl. Europa)



= 4 ganger Forskningsrådets bevilgninger
→ Identifisert potensial >100 mrd. kr

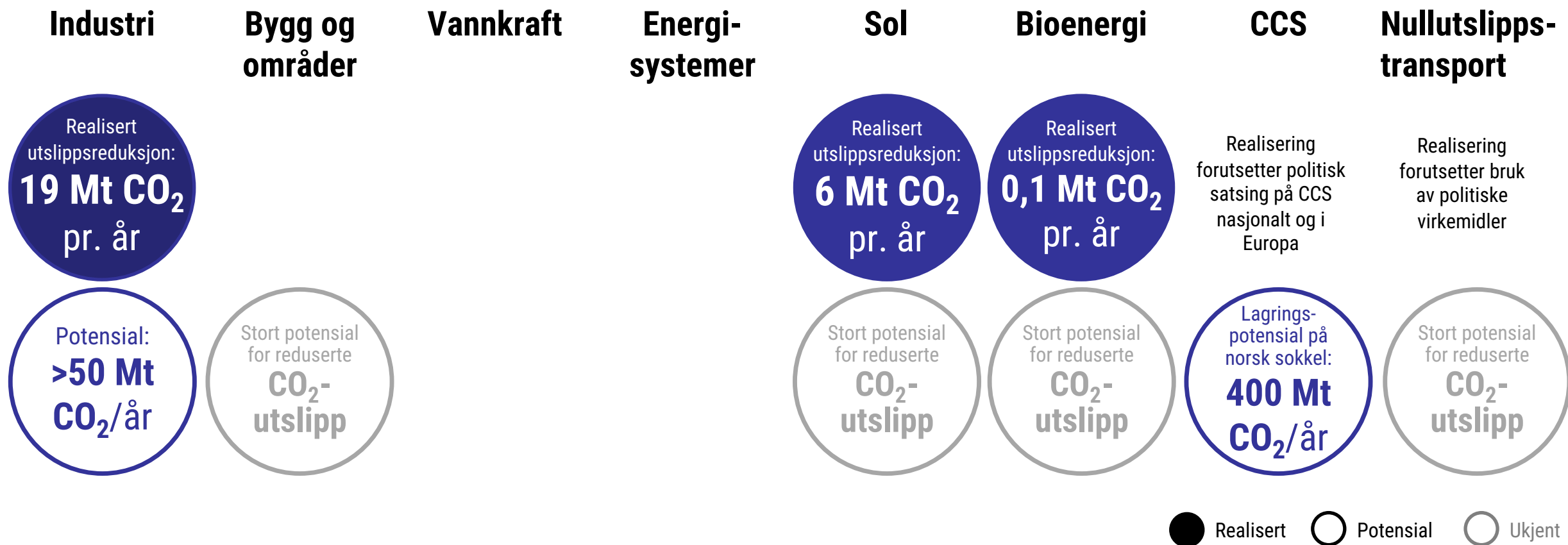
Case [alle tall i mrd. kr]	Realisert		Potensial	Kommentar
	Norge	Europa	Globalt	
D1-C1 CO2 som kuldemedium i kjøle- og varmepumpesystemer	1,0	5,5	30,0	Redusert energikostn. for supermarkeder (0,4 kr/kWh), sum 10 år
D1-C3 Økt utnyttelse av lavtemperatur spillvarme			0,5	Potensial redusert energibruk 1 TWh (0,5 kr/kWh)
D1-C4 Redusert energiforbruk i alu-industrien			0,9	2,3 TWh, energikostnad 0,4 kr/kWh
D2-C7 Redusert energibruk i nullutslippsbygg	3,0*			ZEB-definisjon tatt i bruk i reelle byggeprosjekter med samlet verdi mer enn 3 mrd. kr
D3-C1 Francis-turbiner - redusert fare for havari			7,0	Eksisterende og nye turbiner globalt (se case)
D3-C2 Miljødesignhåndboka	0,2			Økonomisk gevinst. Info fra Sira-Kvina kraftselskap
D3-C4 Feildeteksjon og prediksjon av levetid			4,7	Reduserte reinvestering og produksjonstap
D3-C5 Oppgradering sandfang i vannkrafttuneller			1,5	Økt kapasitet og økt oppnådd snitt kraftpris
D3-C6 SHOP - kortidsplanlegging av vannkraftprod.	6,8		12,0	Gevinst basert på 2 % økt verdi av produsert kraft (primært hos norske produsenter).
D4-C1 Optimal utbygging, drift og vedlikehold av transm.nettet	2,9		40,0	Gevinst basert på 10 % reduserte investeringer, beregnet av SINTEF og i GARPUR-prosjektet
D4-C2 Levetidsutnyttelse for krafttransformatorer	2,5			20 års utsettelse av reinvesteringer for 50 % av transformatorene over 35 år
D4-C3 AMD: Aktive kunder og intelligente distribusjonsnett	1,0		0,7	10 % redusert investeringskostnad i nettinfrastruktur
D4-C4 Feilhåndtering i smarte distribusjonsnett			1,0	Nåverdi av reduserte KILE-kostn. (125 mill kr/år, 10 år)
D4-C5 Spenningskvalitet i smarte nett			0,5	Nåverdi av reduserte driftskostnader (60 mill/år, 10 år)
D4-C6 Overspenningsbeskyttelse i fordelingstransformatorer			2,0	Nåverdi av reduserte KILE-kostn. (250 mill kr/år, 10 år)
D4-C7 DGNett: Distribuert produksjon i nettet	0,2			Nåverdi basert på regneeksempel
D5-C1 Metallurgisk fremstilling av silisium	1,1*			Omsetning 2017 i REC Solar Norway
D5-C2 Sentrifugalreaktoren			2,0*	Omsetningsmål (1-4 mrd kr) anslått av selskapet
D5-C3 Effektiv produksjon av høykvalitetswafer	0,5*			Omsetning 2017 i Norsun
D5-C4 Systemløsninger for BIPV	0,1*			Omsetning 2017 i Solenergi Fusen
D5-C5 Avanserte systemer for drift/vedlikehold	1,5*			Omsetning i Scatec Solar
D6-C1 Enzymer	0,1			Investert 120 mill. kr i demo-anlegg
D6-C2 Biodrivstoff	0,5			Investert 500 mill. kr i demo-anlegg for biodrivstoff
D6-C3 Biogass	0,1*			Omsetningsverdi av 300 GWh/år produsert kraft
D7-C1 SOLVit Energi/kostnadseff. CO2-fangst	0,4			Investert av Aker Solutions. Kilde selskapspresentasjon
D8-C1 Silisium til batterier (Cenate)			0,5*	Omsetningspotensial 500-1000 mill. kr/år
D8-C2 Silisium til batterier (Elkem)			0,5*	Omsetningspotensial 500-1000 mill. kr/år
Sum gevinst (verdiøkning, reduserte kostnader, reduserte investeringer), investert/utløst kapital	15,6	5,5	100,8	
Sum omsetning/annen effekt (markert *)	6,3*	–	3,0	

Realisert redusert energibruk: 2 TWh/år i Norge (26 TWh inkl. Europa)



→ 26 TWh tilsvarer 1/6 av norsk kraftproduksjon i 2017

Realiserte reduserte klimagassutslipp: 25 Mt CO₂-e i Europa



→ 25 Mt tilsvarer to ganger Norges årlige klimagassutslipp fra landbasert industri

Andre viktige dokumenterte effekter

- **Økt energiforsyningssikkerhet**, utbygging/drift/vedlikehold, smarte nett
 - **Økt sikkerhet/helse**, redusert risiko – f.eks. muliggjøring av sikker lagring av CO₂
 - **Reduserte naturinngrep** – miljømessig skånsom utbygging av infrastruktur
 - **Bedre beslutningsunderlag** – nye verktøy, metoder, kunnskap
 - **Nye byggestandarder** og verktøy for lav- og nullutslippsbygg
 - **Nye bedrifter** og sysselsetting – Cenate, Silva Green Fuel, Aker Clean Carbon
-
- **Styrking av FoU-miljøene**, og der flere er i front internasjonalt
 - **Utdanning og rekruttering** (Master, PhD)
 - **Publikasjoner**, siteringer, mv.

Alle case pr. deltema er vurdert ift. ulike effekter

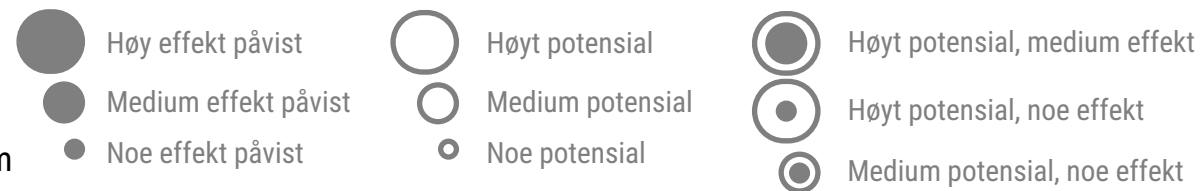
EKSEMPEL – Energisystemer

- Realiserte effekter
- Potensielle effekter

		Modenhet (TRL)	Redusert energibruk	Reduserte kostnader	Reduserte utslipp	Redusert materialbruk	Økt bruk av fornybar energi	Bedre sikkerhet, risiko, helse	Økt forsyningsikkerhet	Reduserte miljøpålegg	Bedre beslutninger	Industrielt potensial	Utdanning og rekruttering	Styrket nasjonale FoU-miljø	Internasjonalt samarbeid
Case 1	Optimal utbygging, drift og vedlikehold av transmisjonsnett	6-8	●	●		●		●	●	●	○		●	●	●
Case 2	Levetidsutnyttelse for krafttransformatorer	8	●		○			●		●	●		●	●	●
Case 3	AMS: Aktive kunder og intelligente distribusjonsnett	8	○	●			●			●	●		●	●	●
Case 4	Feilhåndtering i smarte distribusjonsnett	6		○				○		●	○		●	●	●
Case 5	Spenningskvalitet i smarte nett	5-8		○			●	●		●	○		●	●	●
Case 6	Overspenningsbeskyttelse i fordelingstransformatorer	8		○			○	○		●	○		●	●	●
Case 7	DGNett: Distribuert produksjon i nettet	8	●	●	●		●		●	●	○		●	●	●

Effektkart for 48 case

NB: Kartet gjelder kun for 48 utvalgte case fra en portefølje på 670 prosjekter som har mottatt bevilgninger fra Forskningsrådet i 2008-2017.



EFFEKTER:	Industri	Bygg og områder	Vannkraft	Energi-systemer	Solenergi	Bioenergi	CCS	Nullutslipps-transport
1 Redusert energibruk								
2 Reduserte kostnader								
3 Reduserte utslipp								
4 Redusert materialbruk								
5 Mer fornybar energi (prod/bruk)								
6 Bedre sikkerhet, risiko, helse								
7 Økt forsyningssikkerhet								
8 Reduserte miljøinngrep								
9 Bedre beslutninger								
10 Industrielt potensial								

The logo for Impello, featuring the word "IMPELLO" in white, bold, uppercase letters centered within a solid dark red rectangular background.

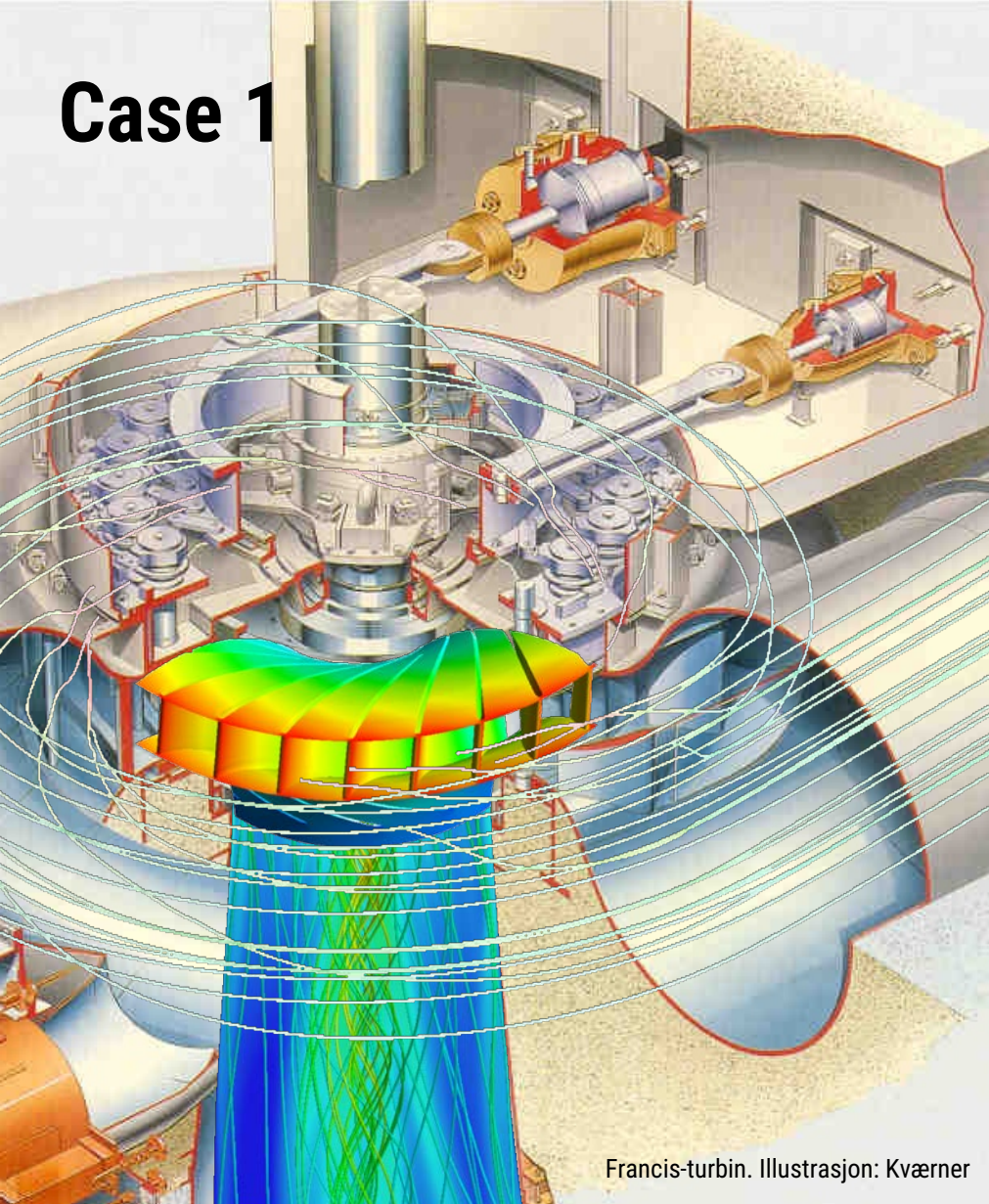
IMPELLO

Impello Management AS



Vedlegg – eksempler på beregninger

Case 1



Francis-turbin. Illustrasjon: Kværner

Redusert sannsynlighet for havari i nye Francis vannkraftturbiner

Utfordringen

Høytrykks Francis (HF) vannkraftturbiner har ved flere tilfeller havarert som følge av resonans i løpehjulet i turbinen. Erfaringsdata viser at det er 10 % sannsynlighet for at en ny HF-turbin havarerer i løpet av første driftsår.

Havari kan således ha enorme konsekvenser både for vannkraftprodusentene og samfunnet. Etter et havari kan det ta opp til ett år å få produksjonen i gang igjen. I 2010 havarerte en 250 MW vannkraftturbin ved Svartisen kraftverk, noe som medførte svært høye kostnader for Statkraft.

Innovasjonen

I HiFrancis-prosjektet gjennomføres omfattende målinger og eksperimenter for å forstå fysikken i turbinenes løpehjul. Resultatene brukes til å utvikle simuleringsmetoder og dokumenterte og validerte prosedyrer som turbinprodusentene kan anvende når nye turbiner skal designes.

Effekter

- Prosjektet har ført til økt forskningsaktivitet i vannkraftindustrien. EDR Medeso har f.eks. firedoblet sin aktivitet. Alle de store produsentene av HF-turbiner deltar i HiFrancis-prosjektet.

Potensielle effekter

- **Økt drifts- og forsyningssikkerhet:** Sannsynligheten for resonans og påfølgende havari i nye HF-turbiner antas å bli redusert fra 10 % til 5 %.
- **Økonomisk potensial:** Reduserte investerings- og havarikostnader for vannkraftprodusentene og turbinleverandørene. Estimert nåverdi (40 år) for utskifting av eksisterende HF-turbiner:
 - **500 mill. kr i Norge**
 - **1,5 mrd. kr i resten av verden**
- For nye HF-turbiner kan reduserte havarikostnader utgjøre mer enn **5 mrd. kr globalt.**

Effekter og potensial

Prosjektinfo: HiFrancis-prosjektet (2016-2019) er gjennomført av NTNU og SINTEF i samarbeid med norske og internasjonale turbinleverandører, kraftselskaper og konsulentmiljø. Prosjektet har vært finansiert av **ENERGIX**.

Effekter

- **Økt forskningsaktivitet innen simuleringer for vannkraftindustrien.**
- HiFrancis-prosjektet har bidratt til å vise hva datasimuleringer kan bidra med for å utvikle vannkraftsindustrien.
- EDR Medeso, som er partner i prosjektet og jobber med utvikling og anvendelse av slike simuleringer, har firedoblet FoU-aktiviteten innen vannkraft etter oppstarten av HiFrancis.

Potensielle effekter

- Resultatene fra HiFrancis-prosjektet vil kunne anvendes ved utskifting av alle eksisterende HF-turbiner og ved installasjon av slike i nye kraftverk. **Norge har ca. 200 HF-turbiner i drift, noe som utgjør en fjerdedel av antall HF-turbiner globalt.**
- Resultatene fra HiFrancis-prosjektet har potensial for anvendelse til beregninger rundt resonansproblemer i andre roterende maskiner, for eksempel kompressorer og sentrifugalpumper.

Potensielle økonomiske effekter

7-10 mrd. kr i økonomisk potensial: Estimert nåverdi for vannkraftbransjen av å redusere risikoen for havari i høytrykks Francis (HF) turbiner fra 10 til 5 %:

- **500 mill. kr** knyttet til utskifting av alle HF-turbiner i norske kraftverk fra før 2008 over en 40-års periode
- **1,5 mrd. kr** for utskifting av eksisterende HF-turbiner i resten av verden
- **>5 mrd. kr** for installasjon av HF-turbiner i nye kraftverk de neste 40 årene (hele verden), jfr. IEAs scenarioer for vannkraftutbygging¹.



Figur 5: Francis-turbin. Kilde: Statkraft

Andre effekter (ikke kvantifiserte)

- **Økt forsyningssikkerhet** og mindre kostnader påført samfunnet gjennom redusert sannsynlighet for produksjonsstans og strømutkoblinger.
- **Eksport av kunnskap** fra norske konsulenter til utenlandske produsenter.
- **Økt bruk av vannkraft som balansekraft gir endret driftsmodus:** Økt energiproduksjon fra uforutsigbare energi-kilder som vind og sol, gjør at fleksibiliteten til vannkraftverkene må utnyttes i større grad enn i dag. Bruk av vannkraft som balansekraft vil føre til at driftsmodusen for turbiner og sentrale komponenter endres – mange start/stopp og mye kjøring på lav og full last. Dette vil gi høyere slitasje og økt risiko for uønskede hendelser. Kunnskapen fra HiFrancis-prosjektet vil redusere risikoen for havari i Francis-turbiner når driftsmodusen endres.

¹ World Energy Outlook 2017, New Policies Scenario (IEA, 2017).

Vedlegg case 1: Francis-turbiner – redusert fare for havari (1)

Forutsetninger for utskifting av eksisterende høytrykks Francis-turbiner:

	Verdi:	Enhet:
Oppstartsår for utskifting	2020	
Utskiftingsperiode	40 år	
Antall turbiner som skal skiftes i perioden*	184 stk	
Gjennomsnittlig årsproduksjon	277 GWh/år/turbin	
Gjennomsnittlig nedetid ved turbinhavari	1 år	
Kraftpris for kraftselskapene	0,3 kr pr kWh	
Tapt kraftsalg pr havari	83 mill. kr pr havari	
Turbinkostnader ved havari**	4,3 mill. kr pr havari	
Øvrige havarikostnader (lik turbinkostnader)	4,3 mill. kr pr havari	
Totale kostnader pr havari	92 mill. kr pr havari	
Dagens sannsynlighet for havari	10 %	
Sannsynlighetsvektet havarikostnad i dag	9 mill. kr pr havari	

Redusert havarisannsynlighet pga. HiFrancis-prosjektet:

Best case	80 %
Base case	50 %
Low case	40 %

* Antas lik alle norske turbiner bygget før 2008 med fallhøyde > 200 m og installert effekt over 10 MW

** Antar at kostnad for deler som må skiftes pga. et havari tilsvarer ca 30% av en ny turbin. Kostnaden for en ny turbin er 300-600 tusen kr/MW (NVE).

Verdi for norske kraftprodusenter:

	2019	2020	2021	2022 ...	2059
Reduksjon i forventet havarikostnad - Best case (nominelt mill. kr)	0	35	36	36	76
Reduksjon i forventet havarikostnad - Base case (nominelt mill. kr)	0	22	22	23	47
Reduksjon i forventet havarikostnad - Low case (nominelt mill. kr)	0	18	18	18	38
Best case (NNV av årlige kontantstrømmer mill. kr)	0	32	31	30	10
Base case (NNV av årlige kontantstrømmer mill. kr)	0	20	19	19	6
Low case (NNV av årlige kontantstrømmer mill. kr)	0	16	15	15	5
Best case (NNV av redusert forventet havarikostnad)	764 mill. kr				
Base case (NNV av redusert forventet havarikostnad)	477 mill. kr Avrundet til 500 mill. kr i caset				
Low case (NNV av redusert forventet havarikostnad)	382 mill. kr				

Verdi for øvrige kraftprodusenter i verden (Norge har ca. 1/4 av verdens HF-turbiner):

Best case (NNV av redusert forventet havarikostnad)	2 291 mill. kr
Base case (NNV av redusert forventet havarikostnad)	1 432 mill. kr Avrundet til 1500 mill. kr i caset
Low case (NNV av redusert forventet havarikostnad)	1 146 mill. kr

Vedlegg case 1: Francis-turbiner – redusert fare for havari (2)

Forutsetninger for installasjon av høytrykks Francis-turbiner i nye produksjonsanlegg:

	Verdi:	Enhet:
Andel ny kraftproduksjon med HF-turbiner	25	%
Gjennomsnittlig havarikostnad pr GWh	0,33	mill. kr pr GWh/år
Beregningsperiode	40	år
Startår	2020	

Antatt utvikling i verdens vannkraftkapasitet (IEA New Policies Scenario: www.iea.org/weo):

2016	1 241	GW
2025	1 460	GW
2030	1 606	GW
2035	1 729	GW
2040	1 830	GW

Omregningsfaktor kapasitet-årlig produksjon¹ = 3,28

¹ Kapasitet * timer i året * vannkraftproduksjon 2016 / (kapasitet 2016 * timer i året)
[Vannkraftproduksjon 2016 = 4 070 TWh og vannkraftkapasitet 2016 = 1,241 TW]

Generelle forutsetninger for utregningene:

Prisstigning	2 %
Avkastningskrav (nominelt)	5 %

Verdi ved ny kraftutbygging:	2019	2020	2021	2022	...	2059
Ny vannkraftutbygging (TWh/år)	0	80	80	80		66
Relevant produksjon for Høytrykks Francis-turbiner	0	20	20	20		17
Reduksjon i forventet havarikostnad - Best case (nominelt mill. kr)	0	549	560	572		987
Reduksjon i forventet havarikostnad - Base case (nominelt mill. kr)	0	343	350	357		617
Reduksjon i forventet havarikostnad - Low case (nominelt mill. kr)	0	275	280	286		494
Best case (NNV av årlige kontantstrømmer mill. kr)	0	498	484	470		134
Base case (NNV av årlige kontantstrømmer mill. kr)	0	311	303	294		83
Low case (NNV av årlige kontantstrømmer mill. kr)	0	249	242	235		67
Best case (NNV av redusert forventet havarikostnad)	11 408	mill. kr				
Base case (NNV av redusert forventet havarikostnad)	7 130	mill. kr				
Low case (NNV av redusert forventet havarikostnad)	5 704	mill. kr				

Laveste verdi er
benyttet i caset
(>5 mrd. kr)

Case 2

Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag

Redaktører:

Torbjørn Forseth og Atle Harby

Miljødesign for vannkraftproduksjon

Utfordringen

Regulering av vassdrag for vannkraftproduksjon medfører betydelige inngrep i miljøet. Utfordringen er å finne ut hvilke tiltak som vil være mest effektive når hensynet til både miljø og kraftproduksjon skal ivaretas.

Selv om mange vassdrag har gjennomført miljøtiltak som har gitt positive effekter så har det manglet en enhetlig tilnærming for å utvikle tiltak basert på forskningsmessige metoder og kunnskap.

Innovasjonen

Håndboken for miljødesign i regulerte laksevassdrag er et verktøy for å implementere miljødesign med mest mulig positiv miljøeffekt samtidig som at man opprettholder en høy utnyttelse av vassdragets kraftproduksjonspotensial.

Effekter

- **Metodikken i håndboken har blitt en faglig referanse («standard»)** i utforming av miljøundersøkelse og tiltak i norske laksevassdrag.
- Håndboken vil ha stor bruksverdi i andre typer vassdrag (ikke bare laks) og i andre land med vannkraftproduksjon. Håndboken er også oversatt til engelsk og kinesisk.

Potensielle effekter

Håndboken og konseptet har potensial til å forbedre miljøforhold i de fleste regulerte vassdragene i verden.

- Valg av de mest effektive investeringene og samtidig forbedre miljøtilstanden.
- Sikre høyest mulig kraftproduksjon i vassdragene uten at det går på bekostning av miljøet.
- Åpne for ny vannkraftproduksjon som følge av nye tiltak for miljødesign.

Miljødesign i Sira-Kvina kraftselskap

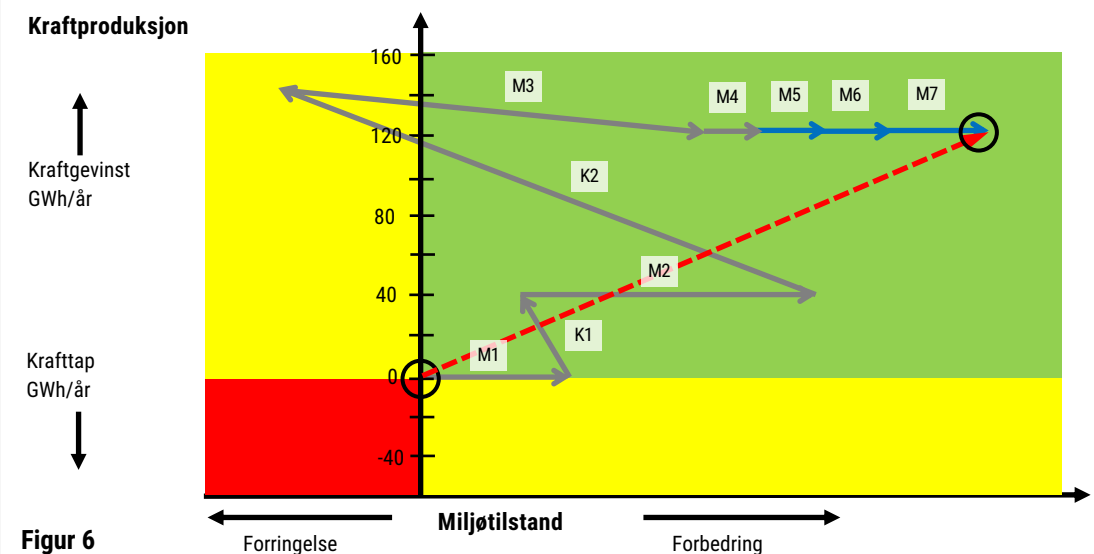
I 2013 utarbeidet Sira-Kvina kraftselskap (SKK) et samledokument for ny vannkraftproduksjon og miljøtiltak i Sira-Kvina vassdraget. Nåverdi for SKK fra ny kraftproduksjon og optimaliserte miljøtiltak er anslått til 600 mill. kr dersom alle tiltakene godkjennes og gjennomføres.

Positive økonomiske effekter for SKK:

- **Kraftproduksjon muliggjort av miljøtiltak:** Fire nye miljødesign-investeringer antas å bidra til at to nye produksjonsøkende investeringer godkjennes. Vil gi ca. 140 GWh i økt årlig kraftproduksjon.
- **Kostnads- og miljømessig optimalisering av miljøtiltak:** I 2013 var SKKs vannkraftkonsesjon 50 år. NVE kan dermed fremme krav om å revidere vilkårene for konsesjonen. Det er sannsynlig at det vil komme krav om bedring av miljøforholdene i vassdraget. SKK har identifisert tre tiltak for miljødesign i vassdragene som vil gi en effektiv forbedring av miljøforholdene i vassdraget sett opp mot antatte pålegg fra NVE.
- **Optimalisering av produksjonstap for miljøhensyn:** Investeringer i vannpool muliggjør regulering av vannføringen i perioder med laksevandring. I motsetning til pålegg om konstant høy vannføring i vassdraget, så vil fleksibelt slipp av vann opprettholde en høyere kraftproduksjon samtidig som laksens levevilkår bedres.

Vinn-vinn fra nye kraft- og miljøprosjekter i SKK

Figuren viser estimerte og antatte kraft- og miljøgevinster fra planlagte utbyggingsprosjekter i SKK. Rød pil viser samlet effekt for alle prosjektene. Grå piler er knyttet til de nye kraftutbyggingstiltakene, mens blå piler er uavhengige miljøtiltak knyttet til vassdraget og eksisterende kraftutbygging.



Figur 6

K1: Ny kraftproduksjon Rafoss

K2: Overføring av Knabeåna og Solliåna (øke vanntilfang)

M1: Biotopforbedrende tiltak på lakseførende strekninger

M2: Laksetrapp Rafoss

M3: Etablering av vannpool Kvina

M4: Sedimentopprensning Kvina

M5: Biotop- og friluftslivsforbedrende tiltak Sira

M6: Sedimentopprensning Sira

M7: Etablering av vannpool Sira

Kilde: Planer for ny vannkraftproduksjon og miljøtiltak i Sira-Kvina vassdraget (Multiconsult, 2013)

Potensielle effekter

Miljødesignhåndboka ble utviklet gjennom NFR prosjektet EnviDORR, som etter hvert ble innlemmet i **FME CEDREN**. Senteret var finansiert av **ENERGIX** og 19 brukerpartnere (bla. Statkraft, AEV, SKK, BKK, ECO, NVE Miljødirektoratet)

Effekter for Sira Kvina-vassdraget

220 mill. kr i estimert nåverdi fra foreslåtte investeringer tilknyttet miljødesign for SKK.

- **15 mill. kr** fra kraftproduksjon muliggjort av miljøtiltak.
- **110 mill. kr** fra kostnads- og miljømessig optimalisering av miljøtiltak
- **95 mill. kr** fra optimalisering av produksjonstap for miljøhensyn

Andre effekter for Sira Kvina-vassdraget

- Forventet årlig økt produksjon av 15.000 laksesmolt i Kvina som følge av laksetrapp i Rafoss (M2). Dette tilsvarer en økt årlig verdiskaping fra elvefiske med ca. 2 mill. kr.
- Bedre vilkår for andre biotoper tilhørende vassdragene.
- Økt tilgjengelighet rundt vassdragene for friluftslivsaktivitet.

Effekter for andre vassdrag

- **Anvendelsesområder:** Relevant som verktøy for utforming av miljødesign i alle regulerte vassdrag (også ikke-lakseførende vassdrag).
- **Vilkårsrevisjoner:** Det vil åpnes for revisjon av driftsvilkårene til de fleste regulerte norske vassdrag de nærmeste årene og håndboken vil da være et viktig verktøy for en effektiv revisjon som tar hensyn til både kraftproduksjon og miljø.
- **Økonomisk verdi:** Det lar seg ikke gjøre å generalisere beregningene for SKK til andre relevante regulerte vassdrag. Caset til SKK viser likevel at kraftselskapene kan hente stor økonomisk gevinst ved å benytte håndboken som verktøy for implementering av miljødesign i form av:
 - Økte inntekter
 - Redusert inntektsbortfall
 - Sparte investeringskostnader

Andre ikke kvantifiserbare effekter av miljødesignhåndboken

- Økt produksjon av villaks og andre fiskearter i regulerte vassdrag.
- Mer skånsomme miljøinngrep
- Bransjestandard og felles faglig referanse ifm. implementering av miljødesign i regulerte vassdrag.
- Utgangspunkt for videre forskning og utvikling av kunnskap om miljødesign for alle typer regulerte vassdrag
- Internasjonal anvendelse – oversatt til engelsk og kinesisk

Vedlegg case 2: Miljødesignhåndboka – miljødesign i Sira-Kvina kraftselskap

Investeringsutgifter:	Mill. kr	Invest.-periode	Første inv.år
K1: Ny kraftproduksjon Rafoss	110	2	2019
K2: Overføring av K&S	315	3	2020
M1: Biotopforbedrende tiltak	2,5	5	2019
M2: Laksetrapp Rafoss	50	2	2019
M3: Etablering av vannpool Kvina	6	2	2020
M4: Sedimentopprensning Kvina	0,5	Årlig	2019

Økonomisk effekt av ny kraftutbygging for SKK:	Verdi:	Enhet:
Kraftpris for SKK	0,30	kr/kWh
K1: Kostnader knyttet til økt produksjon ¹	0,12	kr/kWh
K1: Økt årlig produksjon	34	GWh/år
K1: Årlig kontantstrømeffekt	6,12	mill. kr
K2: kostnader knyttet til økt produksjon ¹	0,21	kr/kWh
K2: Økt årlig produksjon	105	GWh/år
K2: Årlig kontantstrømeffekt	9,45	mill. kr

¹ Kostnadene er i hovedsak skattekostnader. Siden dette caset beregner potensiell verdi for et enkeltsekskap skiller vi ut merinntektene som går videre til staten. Kostnadsforskjellene mellom K1 og K2 kommer i hovedsak av at K2 får grunnrentesats og ikke K1.

Kostnads og miljømessig optimalisering av miljøtiltak:	Mill. kr	Invest.-periode	Første inv.år
Laksetrapp vs lakseklekkeri (spart investering)	35	2	2019
Laksetrapp vs lakseklekkeri (spart driftskostnad)	2	Årlig	
Habitatforbedrende tiltak (spart investering)	10	3	2020

Optimalisering av produksjonstap for miljøhensyn:	Produksjon (GWh)	Kontantstrømeffekt²	Ferdigstilt
Unngått produksjonsred. fleksibelt vs økt fast vannslipp	60	3 mill. kr/år	2022

² Kraftpris = 0,30 kr/kWh og snittkostnad 0,25 kr/kWh

Generell informasjon:

Avkastningskrav (nominell rente)	5,0 %
Inflasjonsrate	2 %
Beregningsperiode etter siste gjennomførte investering	40 år

Nåverdiberegning for SKK:	2019	2020	2021	2022	2023	...	2062
K1: Ny kraftproduksjon Rafoss	-56	-57	0	0	0		0
K2: Overføring av K&S	0	-109	-111	-114	0		0
M1: Biotopforbedrende tiltak	-1	-1	-1	-1	-1		0
M2: Laksetrapp Rafoss	-26	-26	0	0	0		0
M3: Etablering av vannpool Kvina	0	-3	-3	0	0		0
M4: Sedimentopprensning Kvina	-1	-1	-1	-1	-1		0
Sum investeringer	-83	-197	-116	-115	-1		0
K1: Årlig kontantstrømeffekt	0	0	6	7	7		0
K2: Årlig kontantstrømeffekt	0	0	0	0	10		11
Sum årlig kontantstrømeffekt fra ny kraftproduksjon	0	0	6	7	17		11
Laksetrapp vs lakseklekkeri (spart investering)	18	18	0	0	0		0
Laksetrapp vs lakseklekkeri (spart driftskostnad)	0	0	2	2	2		0
Habitatforbedrende tiltak (spart investering)	0	3	4	4	0		0
Sum kostnads- og miljømessig optimalisering av miljøtiltak	18	22	6	6	2		0
Optimalisering av produksjonstap for miljøhensyn	0	0	0	0	3		3
Sum nominelle kontantstrømmer	-65	-175	-104	-102	22		14
Nåverdi av kontantstrømmer	-63	-165	-95	-91	19		6
NNV for SKK	219 mill. kr						

Avrundet til 220 mill. kr i caset

Case 6

SHOP – programvare for korttidsplanlegging av vannkraftproduksjon

Utfordringen

Vannkraft er en av Norges viktigste naturressurser. For å maksimere økonomisk verdi fra må vannkraft produseres når prisen er høy og reduseres til et minimum når prisen er lav. Det er likevel ingen enkel oppgave å oppnå kostnadseffektiv drift av komplekse vassdrag samtidig som det skal tas hensyn til miljø og livet i vassdragene.

Innovasjonen

SHOP er et programvareverktøy med avanserte algoritmer som utarbeider detaljerte produksjonsplaner basert på informasjon om tilsig, markeds-pris og last. SHOP er tilpasset et bredt spekter med vassdragstopologier og inkluderer detaljerte beskrivelser av teknisk utstyr som aggregater, pumper, luker og tuneller. I tillegg kan en rekke miljø- og konsesjons-avhengige restriksjoner modelleres.

SHOP hjelper kraftprodusentene til optimalisere driften og maksimere verdien av produksjonen.

Viktigste funksjoner i dag:

- Beregning av optimale produksjonsplaner.
- Støtte for handel i energi- og reservemarked
- Optimal fordeling av reserveforpliktelser.
- Simulering av flyt i vassdragene.

Effekter

- **Kommersialisert:** SHOP har 25 kunder som benytter systemet i daglig drift. Brukerne er de fleste vannkraftprodusentene i Norden, og produsenter i Sveits, Italia, Østerrike og Chile.
- **2 % verdiøkning** av vannkraftproduksjon gjennom optimal produksjon og flyt i vassdragene. SHOP gjør at man til enhver tid får mest mulig verdi av vannressursene som er tilgjengelige i magasinene.
- **6,8 mrd. kr** i akkumulert realisert verdi for nordiske SHOP-brukere (2008-2017).

Potensial

- **>12 mrd. kr** i potensiell nåverdi dersom alle nordiske kraftprodusenter tar i bruk SHOP

Partnere

SHOP er utviklet gjennom et mangeårig samarbeid mellom SINTEF Energi og 25 kraftselskap i Norge, Norden og Europa.

Vedlegg case 6: SHOP – korttidsplanlegging av vannkraftproduksjon

Forutsetninger SHOP:

Verdi: Enhet:

Fremtidig verdi for dagens brukere:

Produksjon i magasinkraftverk	145 TWh/år
Gjennomsnittlig kraftpris for kraftselskapene uten SHOP	294 kr/MWh
Kraftsalg som optimaliseres med SHOP	80 %
Verdiøkning av produksjon med SHOP	2 %
Startår	2019

Verdi for nye brukere i Norden:

Produksjon i magasinkraftverk i Norden	250 TWh/år
Produksjon i magasinkraftverk som ikke bruker SHOP i dag	105 TWh/år
Relevansfaktor for SHOP	50 %
Antatt implementert	2019
Antall år med implementering	3 år

Verdi ved økt funksjonalitet

Gj.sn. strømpris for kraftselskapene ved bruk av shop	300 kr/MWh
Verdiøkning ved ny funksjonalitet i SHOP	1 %
Implementert	2021
Implementeringsperiode	3 år

Generelt

Beregningsperiode	10 år
Avkastningskrav (nominelt)	5 %
prisstigning	2 %

Akkumulert verdi SHOP 2008-2017: 6,8 mrd. kr

Bruk av SHOP til korttidsplanlegging hos kraftselskapene har i gjennomsnitt økt verdien av kraftproduksjonen med 2 % (optimal produksjon og flyt i vassdragene). SHOP-brukerne har oppgitt 2-4 % forbedring til SINTEF, men laveste nivå er anvendt i estimatet. Det er forutsatt at SHOP påvirker 80 % av kraftsalget (noe kraft må produseres uavhengig av pris). Samlet produksjon hos nordiske brukerne har vært stabil de siste årene (ca 145 TWh/år).

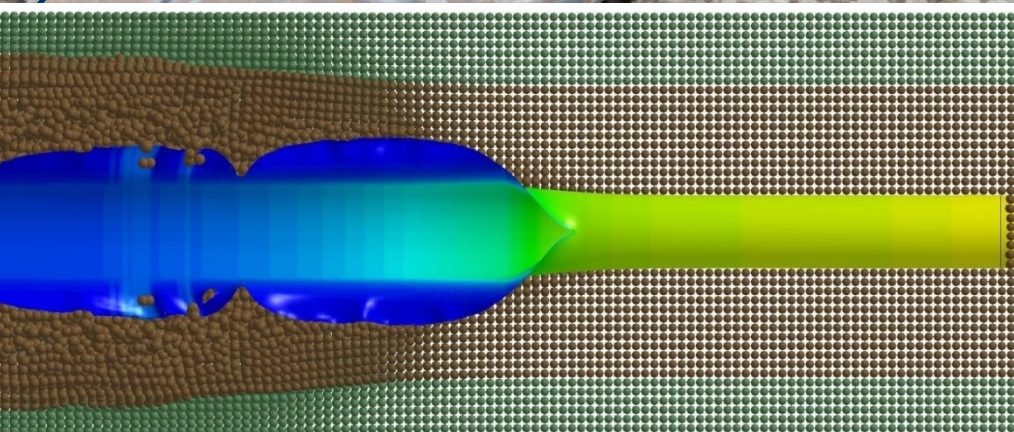
Estimatet er basert på 2 % verdiøkning av dagens produksjon (145 TWh/år) multiplisert med kraftpris (0,294 kr/kWh) i perioden 2008-2017 (10 år) multiplisert med relevansfaktor 0,8. Det er ikke justert for inflasjon.

$$2 \% * 145 \text{ TWh} * 0,294 \text{ kr/kWh} * 10 \text{ år} * 0,8 = \boxed{6,8 \text{ mrd kr}}$$

Potensiell verdi av SHOP i Norden (mill. kr)	2019	2020	2021	2022 ...	2033
Verdi for dagens brukere	695	709	723	738	0
Verdi for nye brukere	105	214	327	334	0
Verdi ved økt funksjonalitet	0	0	133	270	504
Sum nominelle kontantstrømmer	800	923	1 183	1 342	504
Nåverdi av kontantstrømmer	762	837	1 022	1 104	243
Netto nåverdi for Norden	12 263 mill. kr				

Avrundet til 12 mrd. kr i caset

Case 4



Figur 16: Løpende brudd fra fullskala forsøk (øverst)
Datasimulering av løpende brønn (nederst)

Reduksjon av fare for løpende brudd i rør for CO₂-transport

Utfordringen

Transport av store mengder CO₂ i rørsystemer frem til brønn krever at CO₂ komprimeres under høyt trykk (ca. 100 atm).

Et mulig problem ved transport i høytrykksrør er løpende brudd. En liten sprekk eller skade på røret kan utvide seg og løpe langs røret i begge retninger. I verste fall sprekker røret over flere hundre meter, noe som kan gi store skader i tillegg til farlige lekkasjer. Risikoen for brudd kan reduseres ved å øke veggtykkelsen eller bruke stål med høyere kvalitet, men dette er kostbart.

For å forutse om en sprekk kan bli til et løp-ende brudd, benyttes semi-empiriske metoder basert på fullskala eksperimenter på naturgassrør. For CO₂ legges sikkerhetsfaktorer inn.

Innovasjonen

Innovasjonen er en avansert simuleringsmodell som kan forutsi om en sprekk eller skade på et CO₂-transportrør vil utvikles til et løpende brudd.

Modellen kan brukes til å avgjøre om eksisterende naturgassrør kan gjenbrukes til

CO₂-transport, samt vurdere situasjoner med endrede driftsforhold. Behovet for fullskala-forsøk reduseres. Modellen kan også brukes i design av nye rør og til å finne pålitelige sikkerhetsfaktorer til de semi-empiriske metodene.

Effekter

- Anvendes i kommersielle forskningsoppdrag

Potensielle effekter

- Redusert usikkerhet:
 - Eksisterende naturgassrør kan rekvalifiseres til CO₂-transport.
 - Høyere trygghet i design gjør at rør kan legges nærmere bebodde områder.
- Reduserte kostnader:
 - Lavere materialkostnader (stål) pga. mindre veggtykkelse.
 - Optimalisering av materialkostnad, materialkvalitet og veggtykkelse.
 - Færre fullskala-forsøk.
- Forutsetning for å realisere CO₂-transport.

Potensielle effekter

Redusert usikkerhet

Verktøyet vil redusere usikkerhet ved design av nye rør og rekvalifisering av eksisterende rør og dermed bidra til billigere og sikrere CCS.

- Eksisterende naturgassrør (offshore og onshore) kan rekvalifiseres til CO₂-transport.
- Høyere trygghet i design øker sjansen for å gjennomføre CCS-prosjekter.
- Høyere trygghet i design gjør at rør kan legges nærmere bebodde områder.

Reduserte kostnader

- Pålitelige simuleringer muliggjør bedre optimalisering av materialkvalitet, veggtykkelse og materialkostnader.
- Gode datamodeller vil redusere behovet for fullskala forsøk. Erfaringer viser at forsøk kan koste i størrelsesorden 10 mill. kr, samtidig som den har et begrenset gyldighetsområde.

Industrialisering

- Beregningskoden har et kommersielt potensial. Lisensiering eller bedrifts-etablering vil bli vurdert.
- Avledede forenklede matematiske modeller kan implementeres i kommersielle beregningssystemer (f.eks. OLGA og Ledaflow) og vil redusere regnetiden betydelig (fra typisk timer til minutter).



Figur 19: Løpende brudd i rørledning (fullskala forsøk).

Prosjektinfo: Verktøyet har blitt utviklet gjennom FME BIGCCS og FME NCCS (delfinansiert av **CLIMIT FoU**), samt norsk og internasjonal industri, blant annet Equinor, Gassco, Total, Shell og Engie.

EKSEMPEL: 500 km rørledning for CO₂ transport

Dersom bruk av et simuleringsverktøy kan bidra til at veggtykkelsen til et CO₂-transportrør kan reduseres med 10-15 %, så vil det utgjøre anslagsvis 68 kg stål pr. meter rørledning. Dette tilsvarer ca. 500 kr/m i sparte stålkostnader.

For en 500 km lang rørledning så vil kostnadsbesparelsen utgjøre mer enn 250 mill. kr. Mindre stål (ca. 34.000 tonn) vil dessuten redusere utslippene med 60.000 tonn CO₂.

Eksempelet er teoretisk, men illustrerer størrelsesorden.

Redusert stålkostnad for en 500 km rørledning

Rørdiameter 36"	914 mm
Typisk veggtykkelse for 36" rør	20-30 mm
Redusert veggtykkelse (eksempel)	3 mm
Pris stål	7,50 kr/kg
Vekt stål	7 850 kg/m3
Redusert stål pr. meter rør	68 kg/m
Redusert stålkostnad pr. meter rør	508 kr/m

Redusert stålkostnad for 500 km rørledning **254 mill. kr**

Redusert utslipp (500 km * 68 kg/m * 1,87 kg CO₂/kg) **63 600 t CO₂**

Case 5

Kostnadseffektive geofysiske metoder for overvåking av undergrunnslagring av CO₂

Utfordringen

Fullskala CO₂-fangst i Norge og Europa, og undergrunnslagring av CO₂ på norsk sokkel vil stille svært strenge krav til operasjonell sikkerhet. Kontinuerlig overvåking av CO₂ i reservoaret og av mulige uønskede migrasjonsveier er derfor nødvendig.

Geofysiske metoder, hovedsakelig seismikk, anvendes for å kartlegge og overvåke undergrunnen, men dagens metoder er svært kostbare. Utfordringen er å utvikle kostnadseffektive metoder med tilstrekkelig nøyaktighet for å sikre at de riktige operasjonelle beslutningene blir tatt og injeksjonen går som ønsket.

Innovasjonen

Innovasjonen består av metoder som både forbedrer nøyaktigheten og reduserer behovet for geofysiske måledata gjennom optimal utnyttelse av innsamlet informasjon.

Metoder basert på nye geofysiske algoritmer, integrasjon av flere typer av (rå)data og ny

innsamlingsteknologi, gir operatører mer kvantitativ og detaljert informasjon om CO₂ i undergrunnen og kunnskap om usikkerhet i informasjonen.

En strategi for å beregne kostnad og verdi av informasjon vil bli utviklet som et hjelpemiddel for planlegging av målinger.

Potensielle effekter

- Økonomisk potensial (anslag):
 - 50 % reduserte kostnader for innsamling av geofysiske data.
 - 30 % reduserte kostnader for håndtering av uforutsette hendelser.
- Miljø og sikkerhet:
 - Oppfyller regulatoriske krav som muliggjør lagring på norsk sokkel.
 - Redusert risiko for CO₂-lekkasje.
- Nytt marked for leverandørindustrien.

Potensielle effekter

Nye geofysiske metoder for overvåking av CO₂ er utviklet innenfor FME BIGCCS, NCCS, SUCCESS og flere CLIMIT-prosjekter med industrideltakelse. Det er fortsatt et stort potensial for videre forskning og nye spin-off prosjekter.

Miljø og sikkerhet

- Redusert risiko for uønskede hendelser, f.eks. CO₂-lekkasje.
- Behov for færre geofysiske målinger og færre brønner. Reduserte utslipp fra maritim aktivitet. Mindre materialbruk.

Samfunn

- Oppfyller regulatoriske krav og muliggjør sikker, permanent lagring på norsk sokkel. Økt samfunnsmessig aksept for at CO₂-lagring er trygt.

Industrialisering

- Potensial for kommersialisering av resultatene sammen med industrien, f.eks. CSEM-basert overvåking (EMGS), overvåking av brønnintegritet (Aker Solutions) og geofysisk overvåking (Octio, Quad Geometrics).

Økonomisk potensial (se boks)

- **Reduserte survey-kostnader:** Behov for færre geofysiske målinger pga. mer målrettede målinger, bedre informasjonsutnyttelse og kontinuerlig verifisering av forventet CO₂-oppførsel.
- **Reduserte (forventede) kostnader relatert til håndtering av uforutsette hendelser:**
 - Mindre risiko for uforutsett brønnintervensjon eller behov for ekstra injeksjonsbrønn.
 - Mindre risiko for midlertidig stans eller kansellering av hele prosjektet (CO₂-injeksjonen).
 - Mindre risiko for at behov for ekstra geofysiske målinger oppstår.
- **Mer optimal utnyttelse av lagringskapasitet** (potensiell effekt ikke vurdert).

Prosjektinfo: Metodene er utviklet i **FME BIGCCS** og **NCCS** (industripartnere Equinor, Gassco, Shell, TOTAL, Engie, m.fl.), **uniCQue (CLIMIT FoU** og **BIGCCS-partnere)** og prosjektet **Pre-ACT (Forskningsrådet, CLIMIT Demo, EU Horizon 2020, BEIS, RVO, BMWi, Equinor, Shell, TOTAL og TAQA).**

EKSEMPEL: 50 % reduserte survey-kostnader

Innovasjonen reduserer behovet for datainnsamling:

- 50 % lenger intervall mellom målinger.
- Annenhver survey er målrettet, dvs. halvparten så dyr.
- Et lagringsprosjekt med 20 surveys (100 mill. kr pr. survey) vil ha potensial for 50 % kostnadsreduksjon, dvs. i størrelsesorden 1000 mill. kr.

EKSEMPEL: 30 % reduserte kostnader pga. redusert sannsynlighet for uforutsette hendelser

Forventet kostnad for en uønsket hendelse (kostnad * risiko) kan være i størrelsesorden 200 mill. kr med dagens metoder. Dersom risikoen kan reduseres med ny teknologi (se tabell) så kan teoretisk forventningsverdi reduseres fra 200 til 137 mill. kr.

Intervensjon (illustrasjon)	Est. kostnad [MNOK]	Antatt risiko (i dag)	Antatt risiko (ny)
Midlertidig stans i operasjon	50	20 %	4 %
Ekstra survey	100	20 %	5 %
Uplanlagt brønnintervensjon	200	10 %	5 %
Ekstra injeksjonsbrønn	1 000	5 %	4 %
Tidlig terminering av prosjekt	10 000	1 %	0.8 %
Total forventningsverdi ($\sum \text{cost}_i \cdot \text{risk}_i$)		200 MNOK	137 MNOK