



Forskningsstrategi 2018 – 2022



Fakultetet for ingeniørvitenskap

Adresse: Høgskoleringen 6, NTNU
NO-7491 Trondheim
NORWAY

Telephone: +47 73 59 45 01

Enterprise No.: NO 974 767880 MVA

NTNU/IV RAPPORT

TITTEL:

Fakultetet for ingeniørvitenskap
Forskningsstrategi 2018-2022 – Del A
22.08.2017

FORFATTER(E):

Asbjørn Rolstadås, Olav Bolland, Karl Vincent Høiseith, Asgeir Sørensen, Rolf Arne Kleiv, Jørn Vatn, Astrid Vigtil, Sven Erik Nørholm

ABSTRAKT:

Denne rapporten er Forskningsstrategien for Fakultet for Ingeniørvitenskap (IV) ved NTNU. Planperioden er 2018 - 2022.

Arbeidet med strategien er utført av 5 arbeidsgrupper med representanter fra alle faggrupper på IV, andre NTNU-fakulteter, SINTEF og norsk næringsliv og forvaltning. Arbeidet er utført i perioden august 2016 til august 2017. Arbeidsgruppene rapporterer i delrapportene B2 – B6.

Valg av strategiske forskningsområder er gjort på bakgrunn av rammer og føringer for NTNU, IVs samfunnsoppdrag og strategi, behovene i norsk næringsliv og forvaltning og forventet tilgang på finansiering. De strategiske forskningsområdene beskriver de prioriterte satsningene i IVs forskning. Forskningen ved IV skal danne grunnlag for utdanning i bachelor og masterprogrammene. Et fakultet på IVs størrelse vil derfor også ha noe forskning på andre områder enn de som forskningsstrategien prioriterer. Disse er ikke beskrevet i denne rapporten.

Visjon for arbeidet: *Forskningen ved Fakultetet for ingeniørvitenskap skal være internasjonalt fremragende og et av norsk næringslivs store konkurransefortrinn*

Når IV har nådd visjonen i 2022 skal følgende være oppfylt: *Næringslivsledere, politikere og media bruker samspillet mellom NTNU/IV og norsk næringsliv og forvaltning som eksempel på hvordan et høykostland kan opprettholde sin konkurranseevne og livskvalitet og bidra til å løse globale utfordringer ved å satse på kompetanse, teknologi, innovasjon og avanserte næringslivsklynger.*

Med dette skal forskningen ved IV være i henhold til NTNUs visjon Kunnskap for en bedre verden.

Innhold

1	Innledning.....	7
2	Bakgrunn og rammebetingelser.....	9
3	Trender	11
3.1	Det grønne skifte	11
3.2	Digitalisering og automatisering	11
3.3	Energi-området.....	12
3.4	Havrommet.....	13
3.5	Globalisering	13
3.6	Samfunnsmessige utfordringer.....	13
3.7	Endringer i norsk leverandørindustri.....	14
4	Overordnede mål for forskning ved IV	15
5	Overordnede strategier for forskning ved IV.....	17
5.1	Grunnleggende og anvendt forskning	17
5.2	Muliggjørende teknologier	17
5.3	Tverrfaglig forskning	18
5.4	Forskningsinfrastruktur	18
5.5	Innovasjon	19
5.6	Den forskende professor.....	20
5.7	Likestilling	20
5.8	Forskningsbasert undervisning.....	20
5.9	Internasjonalisering	21
6	IVs forskningskart	23
7	IVs strategiske forskningsområder	27
7.1	Bærekraftig og sikrere energi (Energi).....	27
7.1.1	Energiens rolle i samfunnet.....	28
7.1.2	Energikilder og energiomdanning.....	28
7.1.3	Infrastruktur for energi	29
7.1.4	Energieffektivitet.....	29
7.2	Grønt skifte i bygget miljø (Bygg).....	29
7.2.1	Bærekraftig og klimatilpasset infrastruktur.....	29
7.2.2	Optimale transportløsninger	30
7.2.3	Digital og effektiv byggeprosess.....	30
7.2.4	Energieffektive og funksjonelle bygg	30
7.2.5	Trygge vannressurser	31
7.2.6	Fremtidens byggematerialer	31
7.3	Bærekraftig utvinning av mineralressurser (Mineraler).....	32
7.3.1	Geologiske råstoffer for neste generasjon.....	32
7.3.2	Fremtidens mineralproduksjon.....	33

7.3.3	Mineraler i sirkulær økonomi	33
7.3.4	Marine mineralressurser	33
7.4	Konkurransedyktig og bærekraftig produksjon (Produksjon)	34
7.4.1	Produkter og tilvirkningsprosesser	35
7.4.2	Materialers egenskaper	35
7.4.3	Digitalisering og automatisering av produksjon	35
7.4.4	Verdikjeder og industrialisering	36
7.4.5	Lavvolumproduksjon	37
7.5	Verdensledende i havet og nordområdene (Havrommet)	37
7.5.1	Digitalt havrom	38
7.5.2	Sikrere, smartere og grønnere sjøtransport og operasjoner	38
7.5.3	Levende og produktive kystsamfunn	39
7.5.4	Innovative havkonstruksjoner, systemer og operasjoner	39
7.6	Felles kompetanseområder, muliggjørende teknologi og grunnlagsfag	39
7.6.1	Industriell økologi	40
7.6.2	Prosjektledelse	40
7.6.3	Sikkerhet, pålitelighet og vedlikehold	41
7.6.4	Mekanikk	41
8	Strategiske samarbeidspartnere	43
9	Finansiering av IVs forskning	45
10	Prioriteringskriterier	47
11	Iverksettelse av forskningsstrategi	49
	Forkortelser	51

1 Innledning

Fakultet for ingeniørvitenskap (IV) ved NTNU omfatter 8 institutter fordelt på tre campuser (Trondheim, Ålesund, Gjøvik). Fakultetets fagområde dekker klassiske ingeniørfag som bygg, maskin, marin, energi, berg og petroleum. Fakultetet utdanner bachelor-, master- og doktorgradskandidater til næringsliv og forvaltning. Fakultetet har en omfattende forskningsportefølje for næringsliv og forvaltning.

Forskningsstrategien beskriver fakultetets prioriterte forskningsområder i perioden 2018 til 2022. Strategirapporten består av to deler:

- Delrapport A Forskningsstrategi (denne rapporten) definerer strategiske forskningsområder og forskningsutfordringer, mål og strategier
- Delrapport B1 beskriver prosjektgjennomføringen
- Delrapporter B2 – B6 dokumenterer grunnlaget for arbeidsgruppene bidrag og deres prioriterte forskningsområder og forskningsutfordringer, samt referanser til overordnede politiske føringer, trender, strategidokumenter, visjoner og mål som IV har forholdt seg til ved valg av forskningsområder.

Strategiplanen skal fungere som beslutningsunderlag for fakultetets ledelse for å oppnå følgende:

IV skal i planperioden konsentrere sine ressurser om færre og større forskningsoppgaver rettet mot Norges og Europas konkrete behov, samt globale utfordringer. Forskningen skal skje i samarbeid med forvaltning og ledende universiteter og bedrifter, både nasjonalt og internasjonalt. Fakultetet har som ambisjon å være vert for store nasjonale og internasjonale programmer innenfor disse områdene. Forskningen skal ha større grad av grunnleggende forskning, publisering og siteringer skal økes.

Forskningen skal være på internasjonalt fremragende nivå og generere ny kunnskap og teknologi.

Bærekraft, innovasjon og grønn omstilling skal være førende prinsipper. Digitalisering er en spesielt viktig muliggjørende teknologi.

Etter at NTNU har fusjonert med tre høyskoler, har IV-fakultetet foretatt en større omorganisering, med færre og større institutter. Det er et mål å utvikle en fremragende forskerkultur i hele den nye organisasjonen innenfor de rammebetingelser som er gitt ved at det er to karriereløp for vitenskapelig ansatte.

Viktige tiltak vil være å:

- Lage ny strategisk personalplan for akademiske toppstillinger
- Etablere formalisert samarbeid med andre fremragende nasjonale og internasjonale forskningsmiljøer, næringsliv og forvaltning
- Konkretisere samarbeid med næringsliv og forvaltning gjennom næringslivsringer, professorater og strategiske samarbeidsavtaler.
- Sikre finansiering av grunnleggende forskning gjennom store programmer hos EU og Norges Forskningsråd.
- Prioritering av interne forskningsressurser
- Investere i laboratorier og infrastruktur
- Utarbeide årlige handlingsplaner for forskningen ved IV-fakultetet

Strategien tar utgangspunkt i en visjon om at Norge i 2025 skal være bærekraftig, konkurransedyktig, godt å leve i og at Norge bidrar med kunnskap for en bedre verden. For å oppfylle denne visjonen er det formulert fem samfunns mål innenfor fakultetets ansvarsområde. Samfunnsmålene skal nås gjennom forskning innenfor 27 strategiske forskningsområder. For hvert område er det definert et sett av prioriterte forskningsutfordringer som skal danne grunnlaget for fakultetets handlingsplaner i perioden.

Med utgangspunkt i forskning skal IV fremskaffe resultater som gir grunnlag å oppfylle visjonen for 2025. En rekke problemstillinger er gjenstand for politisk behandling og omfattende diskusjon i media. IV skal bidra til at den offentlige debatten blir basert på fakta fra internasjonalt anerkjent forskning.

2 Bakgrunn og rammebetingelser

I 2011 utarbeidet Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi ved NTNU sin forskningsstrategi for 2012 – 2020. Denne strategien fikk tittelen Fagplan 2012 - 2020 og har vært førende for fakultetets satsninger og prioriteringer siden den ble vedtatt. I forbindelse med omorganiseringen av NTNU i 2016/2017 som innebærer integrering av nye fagmiljøer ved NTNU i Gjøvik, Ålesund og nye kolleger fra tidligere høyskolen i Sør-Trøndelag (HiST) i et samlet nytt fakultet for ingeniørvitenskap, er revisjon av forskningsstrategien et viktig verktøy for å konsolidere styrkene og finne en felles vei videre. Vi må anerkjenne ulike forskningskulturer og tradisjoner i de ulike enhetene, samtidig er det et mål å harmonisere og tilstrebe fremragende forskning i alle deler av organisasjonen. Forskningsplanen er en felles plan og skal dekke behovene for forskning både for Bachelor og Masterutdanningen

Mange av forutsetningene i forrige strategiprosess er fortsatt gjeldende. Vi ser fortsatt de samme globale utfordringene knyttet til klima og energi, rent vann og bærekraftig matproduksjon, og universitetets samfunnsansvar har i liten grad endret seg. Vi ser likevel at utviklingen generelt og enkelthendelser de siste fem årene har gitt behov for å justere kursen i en revidert strategi. Noen eksempler på slike utviklingstrekk og føringer kan hentes fra siste års stortingsmeldinger, men andre globale hendelser har også lagt noen føringer:

- I 2013 kom en ny stortingsmelding om forskning, Meld. St. 18 (2012-2013) Lange linjer – kunnskap gir muligheter. Hovedbudskapene i denne langtidsplanen for forskning er knyttet til behovet for kvalitetsheving gjennom samarbeid, konsentrasjon og arbeidsdeling, økt internasjonalisering, økt anerkjennelse av grunnleggende forskning men samtidig styrking av næringslivets konkurranseevne gjennom innovasjon og forskningsbasert utdanning. Langtidsplanen skal revideres i løpet av 2017 men indikasjonene så langt er at meldingens hovedbudskap har holdt seg over den første 4-årsperioden og vil fortsatt være gjeldende framover.
- Norges forskningsråd gjennomførte i 2015 en evaluering av de fagmiljøene i Norge som utfører forskning innen teknologi og ingeniørvitenskap, Teknologievalueringen 2015. Resultatene fra evalueringen viser at industrirelevansen i forskningen er god, og den må opprettholdes. Samtidig har Norge for lite grunnleggende forskning. Fagmiljøene rådes til å konsentrere sin forskning og etablere gode relasjoner til kompatible fagmiljøer internasjonalt.
- Den betydelige reduksjonen i oljepris som verden opplevde i 2015 fikk store konsekvenser for norsk industri og har ført til økt fokus på effektivisering i oljebransjen, og samtidig økte fokuset på andre energikilder. Prosjektet BRU21¹ ble igangsatt som et arbeid for å identifisere potensialer for effektivisering, og ambisjonen har vært å redusere kostnader ned til et nivå hvor break-even er på 30\$ pr fat. Forskning på områder som står sentralt i fakultetets fagområder er nødvendig for å nå denne ambisjonen.
- I mars 2017 kom industrimeldingen, Meld. St. 27 (2016–2017) Industrien – grønnere, smartere og mer nyskapende. Den peker på behovet for omstilling innenfor bærekraftige rammer, betydninger av tilgang på kapital og tilgang på kompetanse og viktigheten av forskning, innovasjon og teknologiutvikling for at norsk industri skal overleve framover. Her legges det tydelige føringer for samspill mellom norsk næringsliv og FoU-sektoren.
- På klimatoppmøtet i Paris i 2016 ble verdens land enige om en historisk klimaavtale. Denne fastlegger blant annet at det skal ikke bli mer enn 2 grader varmere, og at alle land har en forpliktelse til å bidra.

Sentrale nøkkelord man kan hente fram fra disse meldingene er Det Grønne Skifte, Digitalisering og Industri 4.0. IV-fakultetet må fortsatt ha fokus på bærekraft i sin forskning, og samtidig ha fokus på fornyelse gjennom industriens utviklingsbehov og være en ambassadør for å utvikle nye anvendelser av de mulighetene som ligger i digitaliseringsteknologi.

¹ www.ntnu.edu/igp/bru21

Høsten 2015 vedtok FNs generalforsamling 17 nye bærekraftsmål. Ambisjonen er at målene skal nås senest innen 2030. Bærekraftsmålene utgjør et helhetlig målsett og forskningen ved NTNU IV er sentral for svært mange av målene. Nedenfor er stikkord hvor IV har sentrale bidrag uthevet:

- 1 Avskaffe fattigdom
- 2 Fjerne sult **og sikre matforsyning**
- 3 Sikre sunnhet/**helse** og trivsel
- 4 Sikre lik adgang til utdanning
- 5 Sikre likestilling mellom kjønnene
- 6 Sikre tilgang **til rent vann**
- 7 Sikre tilgang til **bærekraftig energi**
- 8 Sikre **bærekraftig økonomisk vekst** og arbeid til alle
- 9 Robust **infrastruktur og bærekraftig industrialisering**
- 10 Redusere ulikheter i og mellom land
- 11 **Bærekraftig byer og lokalsamfunn**
- 12 **Bærekraftig forbruk og produksjon**
- 13 **Bekjempe klimaendringer**
- 14 **Bærekraftig bruk av verdens havressurser**
- 15 **Bærekraftig bruk av økosystemer på land**
- 16 Støtte fredelige og inkluderende samfunn
- 17 Revitalisere globalt partnerskap for handling

3 Trender

Regjeringen la i februar 2017 fram sin havstrategi (Ny vekst, Stolt historie), og i mars 2017 sin industrimelding til Stortinget. Regjeringens energimelding, Meld.St. 25 (2015-2016) Kraft til endring – Energipolitikken mot 2030, ble lagt fram for Stortinget i april 2016. Disse dokumentene peker både på nasjonale og internasjonale trender og hva som blir viktig i årene som kommer. Trender og utviklingstrekk listet nedenfor er i stor grad hentet herfra og de vil utgjøre et bakteppe for forskningen ved NTNU-IV i årene framover.

3.1 Det grønne skifte

Global oppvarming, havstigning og mer ekstremvær er forhold som har stor betydning for matforsyning, kritisk infrastruktur, ulykker osv. både her hjemme og internasjonalt. Det er stor vitenskapelig enighet om at en stor del av endringene vi ser kan tilskrives menneskelig aktivitet. Å begrense temperaturøkningen er kanskje det viktigste vi kan gjøre for å motvirke de negative konsekvensene vi ser. Parisavtalen² fra klimatoppmøtet COP21 (desember 2015) legger grunnlaget for et globalt samarbeid om å begrense temperaturstigningen til 1,5-2 grader. Dette betyr at det er viktig å forstå det miljømessige fotavtrykket av aktiviteten i et samfunn. Utvikling av en *sirkulær økonomi* blir viktig i så måte. Sirkulær økonomi handler om å gjenbruke ressurser, men også om å redusere mengden avfall, utnytte ressursene bedre og mer effektivt, øke levetiden til produkter og benytte flere resirkulerte materialer i nye produkter. For å tiltrekke seg norske og utenlandske aktører til å investere i Norge vil det framover bli helt nødvendig å kunne demonstrere at aktiviteten er bærekraftig, samt å bruke kunnskapen vi har fra den sirkulære økonomien til å velge de beste løsningene. Her trenger vi både å forske på og å videreutvikle det metodiske grunnlaget men også anvende metodene når næringsvirksomhet og offentlig forvaltning skal utvikles.

Det grønne skiftet og tenkningen rundt sirkulær økonomi er viktig for å sikre bærekraft slik Brundtlands-kommisjonen definerer begrepet bærekraft. Men bærekraft er et videre begrep som også omfatter samfunnsmessige utfordringer, f. eks. økonomisk trygghet for den enkelte. Forskning som bidrar til det grønne skiftet berører mange av IVs fagområder, og vil måtte prioriteres høyt i de kommende år. Effektiv logistikk er en nøkkelfaktor i arbeidet med det grønne skifte. IVs forskning omfatter mange av aspektene ved logistikkbegrepet og jobber med kostnads- og energieffektivisering innen både land- og sjøtransport, inkludert både kjøretøy, farkoster og infrastruktur. Produksjonslogistikk med moderne tilvirkningsmetoder og styringssystemer, materialvalg og design er også en del av IVs virksomhet. Disse elementene utdypes videre i denne strategien.

Transportsektoren har spesielle utfordringer i forhold til Klimaavtalen siden den står for nesten 1/3 av ikke kvotepliktige utslipp i Norge. Fra 2025 skal det bare selges null-utslipps personbiler i Norge, og fra 2030 skal også resten av vegtrafikken være nullutslipp eller lavutslipp. Det er behov for nye klimavennlige byggematerialer, og det må gjennomføres livsløpsanalyser for å sikre riktig forståelse av klimavirkningene.

3.2 Digitalisering og automatisering

Informasjons- og kommunikasjonsteknologi (IKT) har lenge blitt betraktet som en muliggjørende teknologi. I de senere år har vi sett et skifte fra å bare se på IKT som en muliggjørende teknologi til de endringsprosessene i måten å arbeide på som teknologien gir, dvs. digitalisering. På produksjonsområdet ser vi nå en utvikling hvor digitaliseringen gir bedre mulighet til sanntidsstyring av produksjon og verdikjeder ved bruk av sensorteknologi, tingenes internett (IoT), kyberfysiske systemer og beregningsalgoritmer for stordata. I Tyskland lanseres slike muligheter under begrepet «Industrie 4.0». I Norge trenger vi også tilsvarende satsninger for å ta ut potensialet digitaliseringen gir.

Automatisering hvor manuelle arbeidsoppgaver erstattes av arbeidsoppgaver utført av industriroboter er ikke nytt, men ser nå ut til å øke eksponentielt. Automatiseringsgraden i Sverige er dobbelt så høy som i Norge. Dette kan til dels tilskrives ulik type industriproduksjon, men det er åpenbart at økt automatisering i Norge

² http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php

blir viktig framover. Erfaring viser at virksomheter som lykkes med å ta tilbake produksjon til Norge fra lavkostland lykkes med dette fordi de lykkes med digitalisering og automatisering. Å øke aktiviteten i fastlandsindustrien blir viktig i en tid hvor aktiviteten i olje- og gassnæringen har blitt redusert. Det er derfor avgjørende viktig at å lykkes med digitalisering og automatisering.

Norge har i dag en godt utbygget digital infrastruktur og en befolkning med relativt høy IKT-kompetanse som gir oss gode muligheter på dette området. På den andre siden ser vi at utdanningssystemet ikke har gitt oss ingeniører med tilstrekkelig programmeringskompetanse som vil være avgjørende for å utvikle de digitale løsningene. Vi ser derfor at mange virksomheter setter bort IKT-oppgaver til land som India hvor det finnes billig og god kompetanse. Flere hendelser den siste tiden viser at en slik strategi er svært sårbar og det blir viktig å styrke IKT-kompetansen i Norge og bruke norske ressurser i digitaliseringsprosessene.

Erfaring fra mange land viser at svært mange IKT-studenter spesialisere seg innenfor tema som kunstig intelligens og maskinlæring fordi firma slik som Google og Facebook tilbyr svært gode betingelser til studenter med denne bakgrunnen. Dette er en utfordring fordi andre områder innenfor digitaliseringen opplever knapphet på kompetanse. På den andre siden er det viktig at kompetansen på kunstig intelligens og maskinlæring økes da slik kompetanse er viktig på mange områder slik som produksjonsledelse, vedlikehold, autonome fartøy osv.

Digitalisering og automatisering er viktig for så å si alle fysiske prosesser, autonome fartøy, transportløsninger osv. hvor NTNU-IV involverer seg i forskning. Men i tillegg til det mer fysiske er digitaliseringen avgjørende for effektive arbeidsprosesser. For eksempel ser vi en rivende utvikling av byggeprosessen³ hvor digital bygningsinformasjon lettere koordineres og utnyttes i alle faser av bygg og anlegg – datamodellene følger prosjektet fra vugge til grav. Tilsvarende blir digitalisering av samhandlingsprosesser med myndigheter viktig.

3.3 Energi-området

Behovet for energi øker globalt på grunn av økende befolkning og økende levestandard. Vi vet også at nåværende global energimiks med 80% fossil energi fører til store utslipp av CO₂ og andre klimagasser som ikke er forenlig med målet om å begrense global oppvarming. Derfor er det nødvendig å endre både hvilke energikilder vi benytter, hvordan vi distribuerer energi, og hvordan vi bruker energitjenester. Viktige spørsmål blir derfor hvordan og hvor raskt vi kan endre vårt energisystem, dvs. realisere det grønne skiftet til en akseptabel kostnad og på en måte som gir tilstrekkelig forsyningssikkerhet av energi. Det er nødvendig med en helhetlig og stegvis utvikling av energisystemet, hvor vi fortrinnsvis må velge løsninger med lave eller ingen klimagassutslipp. Reduksjon av energiforbruk gjennom effektivisering blir svært viktig. Utviklingen krever langsiktig og tverrfaglig forskning med kompetanseutvikling og teknologiutvikling. Dagens forbruk og spådd økning fremover av olje og naturgass, er ikke forenlig med Paris-avtalen, og en begrensning av klimaendringer til 1.5-2 °C. Før vi får på plass «nullutslippsteknologi» vil olje og gass være viktige energibærere i en energimiks hvor det globalt er førsteprioritet å redusere bruken av kull. Forskningsbasert teknologiutvikling for reduksjon av klimagassutslipp blir viktigere enn noen gang.

Norsk energiproduksjon er spesiell sammenlignet med de fleste andre land. Elektrisitetsproduksjonen i fastlands-Norge var i 2015 144⁴ TWh (95.8% vannkraft, 2.5% gaskraft og 1.7% vindkraft) som innebærer 97.5% fra fornybare energikilder. Fornybarandelen i det norske energiforbruket er i særklasse høyest i Europa. Dette har gitt og gir også fastlands-Norge rik tilgang på «miljøriktig» kraft som utnyttes i kraftkrevende industri hvor miljøregnskapet for produksjon i Norge gir oss svært gode muligheter. Økt produksjon av fornybar energi er viktig, med minimalisering av miljøproblemer knyttet til nødvendige naturinngrep.

Reduksjon i oljeprisen har ført til store utfordringer i leverandørindustrien til maritim sektor. Dette har medført at leverandørindustrien må omstille seg både konkurransemessig men også med hensyn på å benytte kompetansen sin til å nå andre markeder, f. eks. fornybar energi. Forskingen ved NTNU-IV må bidra til denne omstillingen.

³ BIM = Bygningsinformasjonsmodellering

⁴ <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elektrisitet/aar>

3.4 Havrommet

OECD anslår at de havbaserte næringene kan doble sitt bidrag til den globale økonomien i 2030. Samtidig er havet under press som følge av klimaendringer, overfiske og forsøpling. Fremtidig vekst i havøkonomien fordrer at vi klarer å høste ressursene og utnytte havrommet på en bærekraftig måte. Norge er i dag verdensledende i havrommet og det gir oss gode muligheter. Vi har gode fiskeressurser og en sterk oppdrettsnæring, en lang kyst som representerer en effektiv transportveg, en leverandørindustri med basis i maritime, olje- og gassvirksomheten som vi ser er tilpasningsdyktig til å gå inn på andre havromsområder, og vi har en sterk verftsindustri som leverer løsninger til havrommet.

På energiområdet vil olje og gass fortsatt være viktige energibærere i en bærekraftig energimiks, men havrommet vil også være en kilde til fornybar energi i møte med klimautfordringene. Spesielt offshore vindkraft (bunnfaste og flytende installasjoner) er lovende.

Bærekraftig utvinning av mineraler representerer en stor utfordring. Både med hensyn på knapphet på ressurser og måten vi kan utvinne disse på. Det er store forventninger om å utvinne mineraler på havbunnen og såkalt «Blue mining» sees på som en stor mulighet.

3.5 Globalisering

Som sjøfartsnasjon har Norge dratt nytte av internasjonal samhandling og handel. Globalisering betyr at flere og flere aktører samhandler på tvers av landegrensene. Dette gir gode muligheter for økt eksport av varer og tjenester samt muligheter for import av varer og tjenester vi selv trenger. Dette gir en sammenveving av verdikjedene på tvers av landegrensene som også gir oss i Norge mulighet til å spille på mange aktører for å optimalisere verdikjedene for de produkter vi ønsker å selge. Effektiv organisering av verdikjedene blir et viktig forretningsområde og kunnskapsfelt i seg selv.

Å delta i et globalt nettverk krever også en bevist holdning til fundamentale verdier som ikke «prises» i de økonomiske modellene. Det kan være knyttet til barnearbeid, HMS-utfordringer i andre land, miljøstandarder, unødig transport osv. Internasjonale omforente regelverk, miljøkrav osv. er avgjørende for en bærekraftig global virksomhet.

Globalisering betyr også ofte større enheter og multinasjonale selskaper. Vi ser at norske selskaper kjøpes opp av utenlandske selskaper eller fusjonerer. Dette kan både være positivt og negativt for forskning. På den ene siden kan det være vanskelig å få de store multinasjonale selskapene til å finansiere forskning i Norge. På den andre siden får vi større enheter som har flere muskler til å bidra med forskningsmidler her hjemme.

3.6 Samfunnsmessige utfordringer

Økonomisk, økologisk og sosial bærekraft er globale utfordringer som NTNU må forholde seg til. «Societal challenges» har en fremtredende rolle i EU H2020 og i diskusjonene for neste rammeprogram. Sosial bærekraft er også en viktig del av FNs 17 bærekraftsmål. Ingeniører fra NTNU vil være en viktig ressurs for å bygge fremtidens samfunn. På områder som infrastruktur og industri bør IV være en ledende partner i forskning for å bidra til å løse de samfunnsmessige utfordringene i Norge og Europa.

I Norge vil endringer i demografi med eldrebølgen og sysselsetting gi utfordringer for den norske velferdsstaten. Det er et klart ønske om bedre integrering av personer med nedsatt funksjonsevne i arbeidslivet, samt at eldre skal stå lenger i jobb og klarer seg lenger i egen bolig. Nye teknologiske løsninger og universell utforming av fremtidens bygg, infrastruktur og arbeidsplasser vil være muliggjørende for økt deltagelse av alle i arbeidslivet og samfunnet for øvrig.

Digitalisering og automatisering vil føre til at manuelle arbeidsoppgaver i økende grad forsvinner og at arbeidsinnhold endres innenfor sektorer som helse, transport, bygg og anlegg og industribedrifter. Samtidig gir nye IKT-løsninger og moderne utstyr utvidede muligheter for læring og menneskeorienterte industriprosesser. Dette krever forskning på hvordan industrien utvikler sin kunnskapsbase og der konsepter som «læringsfabrikker» bør utvikles videre sammen med IKT-baserte løsninger for livslang læring.”

3.7 Endringer i norsk leverandørindustri

Norge har en sterk industristruktur med global konkurransekraft på flere områder. Vi er verdensledende på produksjon knyttet til maritim virksomhet som skip, skipsutstyr, oljeplattformer, subsea utstyr, utstyr til oppdrettsnæring, mm. Denne industrien er preget av småvolum produksjon. Større prispress og lavere marginer i denne sektoren på grunn av lavere oljepriser, har i den senere tid ført til at deler av bransjen har måttet endre seg og tenke nytt. Videre har deler av norsk industri som for eksempel trebasert bygningsindustri, i hovedsak vært rettet mot det norske markedet uten internasjonal konkurranse. Også disse bedriftene må i fremtiden tenke nytt.

Norge har verdensledende industrimiljøer som leverer produkter til globalt krevende markeder med nær 100% eksportandel, som for eksempel forsvarsindustri, bilindustri, fly og romfart. Her er produksjonen i større grad preget av masseproduksjon med svært høye krav til produktivitet. Også denne sektoren gjennomgår en omstilling. Nye krav til mer kundetilpassede produkter, krever endringer i produksjonsmetoder og prosesser i retningen av masseprodusert skreddersøm. Muliggjørende teknologi og avanserte produksjonsmetoder som for eksempel additiv tilvirking, fleksibel automatisering med bruk av sensortechnologi, maskinsyn og kunstig intelligens for adaptiv styring medvirker til dette. IV skal være en ledende partner for å sikre bærekraft og fortsatt konkurransekraft for norsk industri.

4 Overordnede mål for forskning ved IV

NTNUs visjon er

«Kunnskap for en bedre verden. NTNU internasjonalt fremragende».

IV-fakultetet skal bidra til at NTNU oppfyller sine visjoner og planer gjennom implementering av en målrettet strategi for forskning innenfor fakultetets fagområder.

IV-fakultetets oppgave er gjennom utdanning, forskning og formidling å bringe fram kandidater og teknologiske løsninger til beste for samfunnet. IV-fakultetet skal gi bidrag til å løse globale utfordringer, eksempelvis tilstrekkelig og ren energi, klima/miljø, mat, vann og mineralressurser, ut fra nasjonale forutsetninger og forskningsinfrastruktur og gjennom dette etablere grunnlag for konkurransedyktig virksomhet i Norge. Vår rolle er å utvikle teknologi for bærekraft og nyskaping. Ved å fokusere på løsninger som svarer på de globale utfordringer bidrar vi til en positiv samfunnsutvikling samtidig som vi skaper nye kommersielle muligheter for våre samarbeidspartnere nasjonalt og internasjonalt.

IV-fakultetet skal være et fremragende fakultet i internasjonal målestokk. For å oppnå dette, er det fastlagt noen overordnede mål og tilhørende veivalg.

- Skape et attraktivt og konkurransedyktig studietilbud for et nasjonalt og internasjonalt marked. Dette oppnås gjennom fokus på høy kvalitet og relevans i våre studier, ved å etablere allianser med internasjonalt høyt rangerte universiteter og brukere i næringsliv og forvaltning. Vi vil prioritere forskningsbasert utdanning med bruk av laboratorier som sentralt element og vil samtidig satse på nye innovative utdanningsformer.
- Rekruttere de beste studenter og medarbeidere. Studenter og doktorgradsstudenter rekrutteres gjennom høykvalitets studietilbud og forskning samt gjennom et arbeidsliv som etterspør sivilingeniører og kandidater med ph.d.-kompetanse. Det er behov for å gjøre ph.d.-kompetansen bedre kjent i næringsliv og forvaltning. Ansatte rekrutteres gjennom attraktive forskningsmiljø og infrastruktur samt konkurransedyktige arbeidsbetingelser – i økende grad fra internasjonalt ledende fagmiljøer. Et godt studentmiljø anses som avgjørende for rekruttering av de beste studentene.
- Utvikle faggrupper på høyt internasjonalt nivå hvor flere oppnår topp internasjonal rangering. Dette oppnås gjennom forskningsstrategi, strategisk personalplan, fremtidsrettet studietilbud, prioritering av ressurser, fortsatt satsing på publisering samt internasjonalt samarbeid med universiteter og næringsliv. Det er avgjørende at NTNUs teknisk-naturvitenskapelige hovedprofil utnyttes i et utvidet og forsterket samarbeid med næringsliv og forvaltning. NTNUs tverrfaglige egenart skal videreutvikles som et konkurransefortrinn. Forskning innenfor ingeniørfag forutsetter førsteklasses forskningsinfrastruktur og tilgang på fremragende doktorgradsstudenter.
- Etablere en endringsdyktig og produktiv organisasjon preget av medvirkning og godt arbeidsmiljø. Dette oppnås gjennom god personalpolitikk, motivasjon og ledelse samt kommunikasjon av vårt verdigrunnlag.
- Bygge og vedlikeholde en hensiktsmessig og god infrastruktur for utdanning og forskning i NTNUs nye campus. IVs faglige virksomhet inklusive laboratoriebruk er godt ivaretatt i NTNUs campusprosjekt. IV vil arbeide for at laboratorieutvalget innstilling realiseres gjennom campusprosjektet.
- Innenfor det marine og maritime området vil vi bidra til å realiser utbygging av Ocean Space Centre. Som en del av dette skal NTNU fortsatt satse på utvikling av havet som laboratorium der NTNU AMOS har vært drivende. Dette omfatter AUR-Lab, Gunnerus, UAV Lab, undervannssenter ved TBS, småskala satellitter, Trondheimsfjorden som laboratorium for ubemannede systemer og autonome skip. Samarbeid med NTNU Ålesund i utvikling av Søndre Sunnmøre som laboratorium for det digitale havrom skal igangsettes.
- Ha en god innovasjonskultur. Dette oppnås ved fortsatt satsning på utvikling av nye ider til kommersialisering og tett samarbeid med norsk næringsliv og forvaltning. Omfanget av

innovasjonsaktivitet må synliggjøres bedre. Innovasjonstenkning må også fokuseres overfor studentene og i større grad integreres i utvalgte teknologiemner i sivilingeniørstudiet.

- Styrke og bidra til å realisere NTNUs tematiske satsningsområder. IV vil bidra til å realisere NTNUs fire tematiske satsningsområder (TSO Havrom, TSO Energi, TSO Bærekraft og TSO Helse) og sikre at de bidrar til ny nasjonal og internasjonal tverrfaglig aktivitet ved IV.
- Proaktive motkonjunkturtiltak. Norge står overfor en betydelig omstilling i næringsliv og forvaltning ved at aktivitetsnivået innenfor olje- og gassektoren er redusert. Dette vil få ringvirkninger for en rekke bransjer og vil trolig påvirke rekruttering av studenter og tilgang på forskningsmidler. IV må møte dette med mottiltak som stimulerer til omstilling slik at vi fortsatt kan rekruttere gode studenter og opprettholde et tett samarbeid med næringsliv og forvaltning. Fusjonen med høyskolene åpner nye muligheter for dette, men IV må i tillegg utnytte sin sterke økonomi til å finansiere motkonjunkturtiltak. Satsing på ph.d. og etter- og videreutdanning (EVU) er eksempler på virkemidler for dette. I tillegg er kommunikasjon rettet mot ungdom og arbeidsliv viktig for å synliggjøre de positive sidene av teknologisk forskning og utdanning.

5 Overordnede strategier for forskning ved IV

IVs forskning bygger på grunnleggende disiplinkunnskap (mekanikk, termodynamikk, materialkunnskap osv.) som benyttes i flerfaglige konstallasjoner. Disiplinkunnskapen gir robusthet overfor endringer av forskningsområder, gitt av rammebetingelser og utvikling av muliggjørende teknologier. De tverrfaglige konstallasjonene vil variere etter endringer i forskningsområdene. En viktig del av strategien er at forskning, utdanning og innovasjon skal være tett koblet.

IV skal innen sine fagområder utføre forskning på høyt internasjonalt nivå. Forskningen skal delvis være av grunnleggende karakter og delvis anvendt og næringsrettet.

5.1 Grunnleggende og anvendt forskning

IV karakteriseres av stort forskningsvolum med klar hovedtyngde på anvendt forskning. Fakultetet har en tradisjon og en kultur for å jobbe tett sammen med næringsliv, med problemstillinger av typisk anvendt natur. Det er et rådende syn at IV oppfyller sitt samfunnsoppdrag på en god måte ved å samarbeide tett med næringsliv og offentlig forvaltning.

Finansieringssystemet for forskning i Norge er i stor grad basert på anvendte og/eller tematiske programmer. I de fleste av programmene til Norges forskningsråd er det også krav til medfinansiering fra næringsliv. Dette gir en preferanse for anvendt forskning. For IV er det viktig å delta i slike prosjekter for å sikre at forskningen har tilstrekkelig industriell relevans.

Samtidig har IV et stort behov for frie forskningsmidler til å bygge langsiktig og generell kompetanse. Den viktigste ressursen for dette er forskningstiden til det vitenskapelige personalet, men det er også muligheter gjennom Forskningsrådets ordning for frie prosjekter. Også EU har forskningsprogrammer av tilsvarende karakter. Eksempler er FET (Future and Emerging Technologies) og ERC (European Research Council). Alle disse programmene har høye krav til kvalitet og dristighet i forskningen (grensesprengende forskning). Tilslagsprosenten er lav, og IV har per i dag bare ett ERC-prosjekt og kun et fåtall FRIPRO-prosjekter, og er således langt bak for eksempel det naturvitenskapelige miljøet ved Universitetet i Oslo.

En viktig kilde til finansiering av mer grunnleggende forskning er Forskningsrådets ordning med sentra som Senter for fremragende forskning (SFF), senter for forskningsbasert innovasjon (SFI) og Senter for forskning på miljøvennlig energi (FME). IV har hatt god suksess med SFI og FME, men mindre uttelling på SFF. Fakultetet vil fortsatt prioritere slike sentra og vil legge forholdene til rette for at gode forskertalenter skal få utvikle seg til å kunne posisjonere seg mot fremtidige utlysninger.

Teknologifagevaluering som Forskningsrådet gjennomførte i 2015 konkluderte med et behov for økt fokus på publisering, strategisk planlegging av forskning, mobilitet, innovasjon og grunnleggende forskning. For IV må det satses mer på grunnleggende forskning av høy kvalitet. Fakultetets strategi er å oppnå en større andel grunnleggende forskning med finansiering primært fra Forskningsrådet (Frie prosjekter og sentra) og EU (ERC) samt med støtte fra fakultetets egne strategi- og omstillingsmidler. Dette innebærer en fremdyrking av potensielle søkerkandidater, og utvikling av kompetanse på søknadsskriving til dette nivået. Søkerkandidater bør gis økt forskningstid og annen støtte for å kunne utvikle seg.

5.2 Muliggjørende teknologier

Det foregår stadig en utvikling av teknologier som kan muliggjøre større sprang og skifter innenfor ulike områder – «muliggjørende teknologier». IV jobber ikke primært med forskning og utvikling av muliggjørende teknologier, men skal være fremragende på anvendelser.

Behovet for omstilling i norsk næringsliv og forvaltning, krever at teknologifagene i sterkere grad baserer innovasjoner på anvendelser av de muliggjørende teknologiene. Dette er også i samsvar med Regjeringens syn uttrykt i Stortingsmelding 27 for 2016 – 2017 (Industrimeldingen) hvor den fremhever:

- Avanserte materialer
- Mikro- og nanoelektronikk
- Nanoteknologi

- Fotonikk
- Industriell bioteknologi
- Informasjons- og kommunikasjonsteknologi

Særlig viktig for IV er å følge opp teknologitrender som digitalisering, automatisering og avansert material-teknologi.

IV-fakultetet skal søke samarbeid med andre fakultet innenfor fagdisipliner der det er naturlig. IV vil typisk fokusere på anvendelse og ingeniørfaglige problemstillinger og utfordringer der det er overlapp med andre fakulteter

5.3 Tverrfaglig forskning

Tverrfaglig organisering av forskning blir stadig viktigere. Mange av de store utfordringene krever tverrfaglige forskningsteam. Organiseringen av norsk og europeisk forskning går i økende grad i retning av større satsinger (som FME, SFI) og/eller tverrfaglige programmer. Det er en forventning til at professorer og forskere tar del i og bidrar til flerfaglige satsinger utover sin egen faggruppe, og at det utvikles en kultur med arenaer og arbeidsformer hvor flerfaglig samarbeid kan utvikles.

Når det kommer til implementering og anvendelse av ny teknologi er alltid mennesket den viktigste faktoren. Her ligger det et uforløst potensiale i forhold til sterkere involvering av atferds- og samfunnsvitenskapene.

En forutsetning for tverrfaglig forskning er spisskompetanse innenfor de ulike fagområdene som inngår. IV-fakultetet har et sterkt fokus på fremragende forskning (spisskompetanse). Dette må forenes med evne til å se problemstillinger i et bredere perspektiv og til å innlede samarbeide med kompletterende miljøer både innenfor og utenfor IV-fakultetet. Fakultetet vil benytte egnede incentivordninger for å fremme tverrfaglighet.

NTNUs tematiske satsinger (TSO) er et viktig virkemiddel for å stimulere til tverrfaglig forskning. Målet er at TSOene skal bidra til koordinering mellom ulike NTNU-miljøer og å ta initiativer for å øke omfanget av forskningsaktiviteter og for å få til mer tverrfaglig forskning. IV vil utvikle et godt samarbeid med de fire TSOene og vil avsette ressurser til tverrfaglige initiativ.

5.4 Forskningsinfrastruktur

Mye av IVs forskning er eksperimentelt basert og krever derfor tilgang på laboratorier og annen avansert forskningsinfrastruktur. Det har vært og vil fortsatt være en viktig målsetting i forskningsstrategien å ha førsteklasses laboratorier som muliggjør laboratoriebasert forskning og undervisning. Laboratoriene er av avgjørende betydning for å forstå fysikken i ulike prosesser og å kvalitetssikre resultatene fra stadig mer avanserte modeller og simuleringsprogrammer. Laboratoriene er et sterkt konkurransefortrinn for IV, både for rekruttering av studenter og vitenskapelig personell, og for etablering ny forskningsaktivitet.

Laboratoriene skal ha:

- Kompetente lab-teknikere
- Moderne instrumenter og måleutstyr
- God infrastruktur (gassforsyning, trykkluft, kjølesystemer, avskog, ren luft, etc.)
- En effektiv drift
- Tilpasset kapasitet og god ressursutnyttelse
- Høy HMS-standard

IV vil organisere sine laboratorier i fem større enheter i Trondheim samt én enhet i både Ålesund og Gjøvik:

1. Laboratorium innen energi- og prosessteknikk
2. Laboratorium innen geologi, ingeniørgeologi og petroleum
3. Laboratorium innen marin teknikk

4. Laboratorium innen infrastruktur, bygg, vann og miljø
5. Laboratorium innen konstruksjoner, materialer og produksjon
6. Laboratorium innen vareproduksjon og byggteknikk på Gjøvik
7. Laboratorium innen maritim teknologi og byggteknikk og infrastruktur i Ålesund

Det er viktig å samordne og få en effektiv utnyttelse av laboratorie- og verkstedsressurser ved NTNU. Organisering i store enheter vil bedre ressursutnyttelse og gjøre det lettere å få til en strategisk basert utvikling.

Det er et mål å ta del i nasjonalt og internasjonalt samarbeid om utvikling og bruk av forskningsinfrastrukturer, i henhold til intensjonen med ESFRI.

Regneressurser er en annen form for viktig infrastruktur for forskning. Flere og flere fagområder ser numeriske metoder som både kosteffektivt og innovativt verktøy for sin forskning. Ofte kombineres resultater fra eksperimentell aktivitet i laboratorier med numeriske analyser. Strategien til IV er å bidra til tilgang til bruk av tungregnesenteret ved NTNU og andre nasjonale ressurser. I tillegg skal IV samordne interesserte institutter for innkjøp og involvere NTNU-IT i drift av lokal regneressurs i den grad fagmiljøene og instituttene har behov.

IV ønsker å være en aktiv partner i industriell forskning og innovasjon, og ønsker deltagelse i fremtidige katapultsentre⁵ og andre industrielle teknologisentre for pilotproduksjon og uttesting av nye innovasjoner.

5.5 Innovasjon

Det er et mål for forskningen ved IV at den skal føre til nye innovasjoner, i form av nye produkter, prosesser eller nye tjenester. Forskningsbaserte innovasjoner skal patenteres for å beskytte innovasjonene før de publiseres. Dette er svært viktig for å håndtere immaterielle rettigheter ved NTNU profesjonelt. Senere kan forskningsresultater publiseres på ordinær måte. Innovasjonene skal meldes til NTNU Technology Transfer Office (TTO) hvor man får profesjonell hjelp å beskytte ideene og innovasjonene. Disse kan igjen utvikles til lisenser og teknologisalg til eksisterende bedrifter eller føre til en ny oppstartsbedrift; dette er beslutninger som NTNU TTO tar i samarbeid med fagmiljøene (Instituttledelse og fagpersoner).

Vi er verdens lykkeligste, lever i det mest utviklede landet og har den høyeste nasjonalinntekten per innbygger. Dette er internasjonale statistikkens positive skildringer av Norge. Noe av årsaken til dette er at vi har betydelige naturressurser og har forvaltet dem vel. I 1970 var vår nasjonalinntekt per innbygger nesten 40 % lavere enn for USA. Nå er den 10 % høyere, og vi har gått forbi Sveits, mye takket være olje- og gassvirksomheten. Grovt anslått utgjør olje og gass 15 % av realinntekten, men gradvis vil denne virksomheten måtte utgjøre en lavere del av vår økonomi. Markedet og miljøet er begge drivere for en slik utvikling.

Perspektivmeldingen (Meld. St. 29 (2016–2017)) peker på disse forholdene. Om vi som utgangspunkt tenker at olje- og gassdelen av realinntekten i første omgang vil gå ned med 5-10 %, må vi fylle dette gapet med annen virksomhet. Dette er ikke et gap som skal fylles med penger, men et rom som skal fylles med virksomhet; enten i form av nye bedrifter eller omstillinger av eksisterende. Det meste av dette må skje innen næringer der det ikke er en grunnrente basert på naturressurser. Vi må derfor som en åpen økonomi konkurrere i et internasjonalt marked på samme vilkår som andre.

Skal norsk næringsliv omstilles i tråd med dette, må vi satse tungt på fornyet produktivitetsvekst. Den viktigste driveren for slik vekst er ny kunnskap og teknologi. Her må NTNU, og da spesielt IV-fakultetet, spille en sentral rolle både gjennom forskning og utdanning. Et bidrag i så måte er å la deler av undervisningen ha en integrert innovasjonstankegang. Med utgangspunkt i forskningsbasert undervisning og mer spesielle emner, er dette enda enklere da det kan koples direkte til utviklingen innen emnet/fagområdet.

Innovasjon og entreprenørtenkning bør utvikles og integreres i all kandidatutdanninger (bachelor, master og ph.d.)

⁵ <https://siva.no/wp-content/uploads/2015/03/norsk-katapult-forslag-til-program.pdf>

5.6 Den forskende professor

NTNU har vedtatt at det skal være to karriereløp for vitenskapelige stillinger – «dosentløpet» og «professorløpet».

For professorløpet er gjeldende politikk at fast vitenskapelig ansatte (professor, førsteamanuensis) som en norm skal bruke 40% av sin tid på utdanning, 40% på forskning og 20% på aktiviteter knyttet til endring, utvikling og administrasjon. For dosentløpet er andelen til forskning lavere.

For nye stillinger må fakultetet gjøre en strategisk vurdering av om stillingen skal følge professorløpet eller dosentløpet. Dette må nedfelles i fakultetets strategiske personalplan.

Forventningene med hensyn til forskningsomfang og kvalitet for en professor/førsteamanuensis bør beskrives. Samtidig er det viktig for et universitetsmiljø å se på institusjonelle forventninger til resultater som retningsgivende, og at det mellom ulike professorer er akseptabelt med betydelige forskjeller – av en rekke gode grunner, for eksempel muligheter for finansiering. Det er ikke nødvendigvis samsvar mellom omfang på forskning, vitenskapelig kvalitet, vitenskapelig løft, og bidrag til samfunnet generelt. Likevel må det være en målsetting at alle i en vitenskapelig stilling skal søke å bli internasjonalt fremragende. Ledende forskere må fremstå som samfunnsaktører på sitt fagområde.

Det er forskjeller i talent og motivasjon for å nå et internasjonalt toppnivå, og det er ikke slik at alle kan forventes å nå dette toppnivået. Det vil derfor naturlig være slik at vi har et fåtall professorer som når dette nivået, og at det er en kulturell aksept for at noen få får bedre muligheter til å satse på forskning enn de fleste andre.

En professor/førsteamanuensis bør ha som mål å ha en gruppe med bachelor-, master- og ph.d.-kandidater, postdoktorer og forskere. En slik gruppe kan også omfatte samarbeid med personer fra andre enheter ved NTNU og SINTEF.

En god professor forventes å legge vekt på samspill med andre for flerfaglige initiativer som kan løse viktige problemer og tiltrekke økte bevilgninger og økt aktivitet (forskerstillinger og infrastruktur) som leder til at det skjer noe aktivt i forhold til de utfordringene vi står overfor.

5.7 Likestilling

IV har som mål å få til en generell kjønnsbalanse i sin forskningsvirksomhet. En generell utfordring er at kvinneandelen synker jo høyere en kommer i hierarkiet. Kvinneandelen i studieprogrammene ved IV har utviklet seg i positiv retning, og er nå i underkant av 30%. Kvinneandelen blant ph.d.-kandidater er ca. 26%, mens den er 24% for førsteamanuensis og 7% for professorer. Dette fordrer spesielle tiltak og tilrettelegging for å få flere kvinner til å søke stipendiat-stillinger, og for å få flere kvinner til å søke professorater.

5.8 Forskningsbasert undervisning

Forskningsbasert undervisning foregår når vitenskapelig ansatte underviser innen sitt forskningsområde eller tilgrensende fagfelt, og når deres forskerkompetanse, forskererfaring og forskerinnsett betyr noe for undervisningen. Forskningsbasert undervisning kan være formidling av etablert kunnskap, av ny anerkjent kunnskap eller av forskningsresultater som nettopp er blitt kjent. Begrepene omfatter også veiledning innen den ansattes fag. Studentene får utviklet holdninger og evner relatert til vitenskapelig dialog, kritisk tenkning, evne til å problematisere og til å løse problemer.

IVs strategi er at utdanningen skal være forskningsbasert, og at studentenes læringsutbytte inkluderer både forståelse for forskning og erfaring fra forskningsaktiviteter. Forskningsstrategien skal danne et fremtidig grunnlag for at de emner IV underviser skal være basert på state-of-the-art forskning, og at undervisningen i utstrakt grad formidles av aktive forskere. Studenter skal som en del av sitt studium trekkes mer aktivt med i forskningen.

5.9 Internasjonalisering

NTNU har om lag 350 avtaler med internasjonale universiteter. De fleste av disse er inngått for å lette studentutveksling. NTNU har samarbeid med fire nordiske tekniske universiteter gjennom en rekke masterprogrammer, et av dem er på energi som NTNU leder.

Samarbeid internasjonalt skjer på mange ulike måter som ren studentutveksling gjerne med kontakt mellom professorer på like fagfelt, det kan være felles veiledning av master-/ph.d.-kandidater for en eller flere studenter og mange andre måter som reguleres av hver enkelt ansatt. Når det er mulighet for å inngå mer forpliktende samarbeid som også innbefatter økonomi, vil det ofte være hensiktsmessig med såkalte sandwich-avtaler hvor hvert Universitet finansierer egne studenter hvor man har felles veiledning og publiserer sammen i tidsskrifter og på konferanser.

IV skal delta aktivt på den internasjonale forskningsarenaen gjennom følgende:

- Aktiv deltagelse i internasjonalt forskningssamarbeid, som for eksempel i EUs rammeprogrammer
- Forskningsresultater skal publiseres i internasjonale tidsskrift med fagfelleevaluering («peer review»)
- Forskningsresultater skal presenteres på konferanser og andre faglige møter
- Utveksling av forskere (forskertermin, ph.d.-utveksling)
- God utnyttelse og samordning av forskningsinfrastruktur
- Deltagelse i nettverksorganer, som f.eks. EERA

Forskningsresultatene skal publiseres åpent og til en viss grad formidles allment, gjennom deltagelse i debatter, kronikker og andre innlegg, blogger, aktiv dialog med journalister og bruk av sosiale media.

IV har fokus på å kunne være internasjonalt fremragende. Dette krever at den vitenskapelige stab engasjerer seg på den internasjonale arena gjennom publisering, forskningssamarbeid, studentutveksling etc. Mobilitet for den enkelte forsker er viktig og IV vil aktivt benytte ordningen med forskertermin for å oppnå dette.

IVs forskningskart

Arbeidet med å utvikle fakultetets forskningsstrategi er basert på fakultetets visjon for sin forskning:

Forskningen ved Fakultetet for ingeniørvitenskap skal være internasjonalt fremragende og et av norsk næringslivs store konkurransefortrinn

Denne visjonen stiller krav både til forskningens innhold og hvordan forskningen organiseres og finansieres. Innholdet er sterkt preget av de føringer som er gitt av sentrale nasjonale og internasjonale policydokumenter og prioriteringer, og målbildet for strategien er dermed utarbeidet i tråd med de samfunnsutfordringer vi står overfor hvor IV-fakultetets fagmiljøer kan bidra til å utgjøre en forskjell.

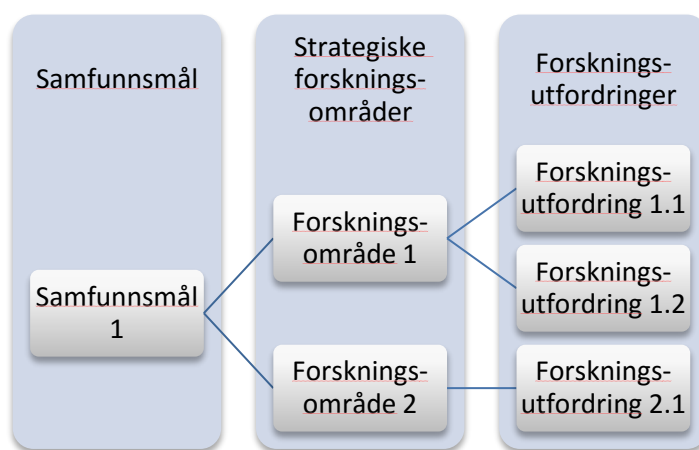
I planperioden 2018 – 2022 er det overordnede forskningsmålet for IV:

Sikre Norges bærekraft som et velutviklet, konkurransedyktig samfunn hvor det er godt å leve. Gjennom dette vil IV bidra med kunnskap for en bedre verden.

Dette hovedmålet skal nås gjennom forskning knyttet til fem konkrete samfunns mål tilpasset Norges og IV-fakultetets muligheter og behov,

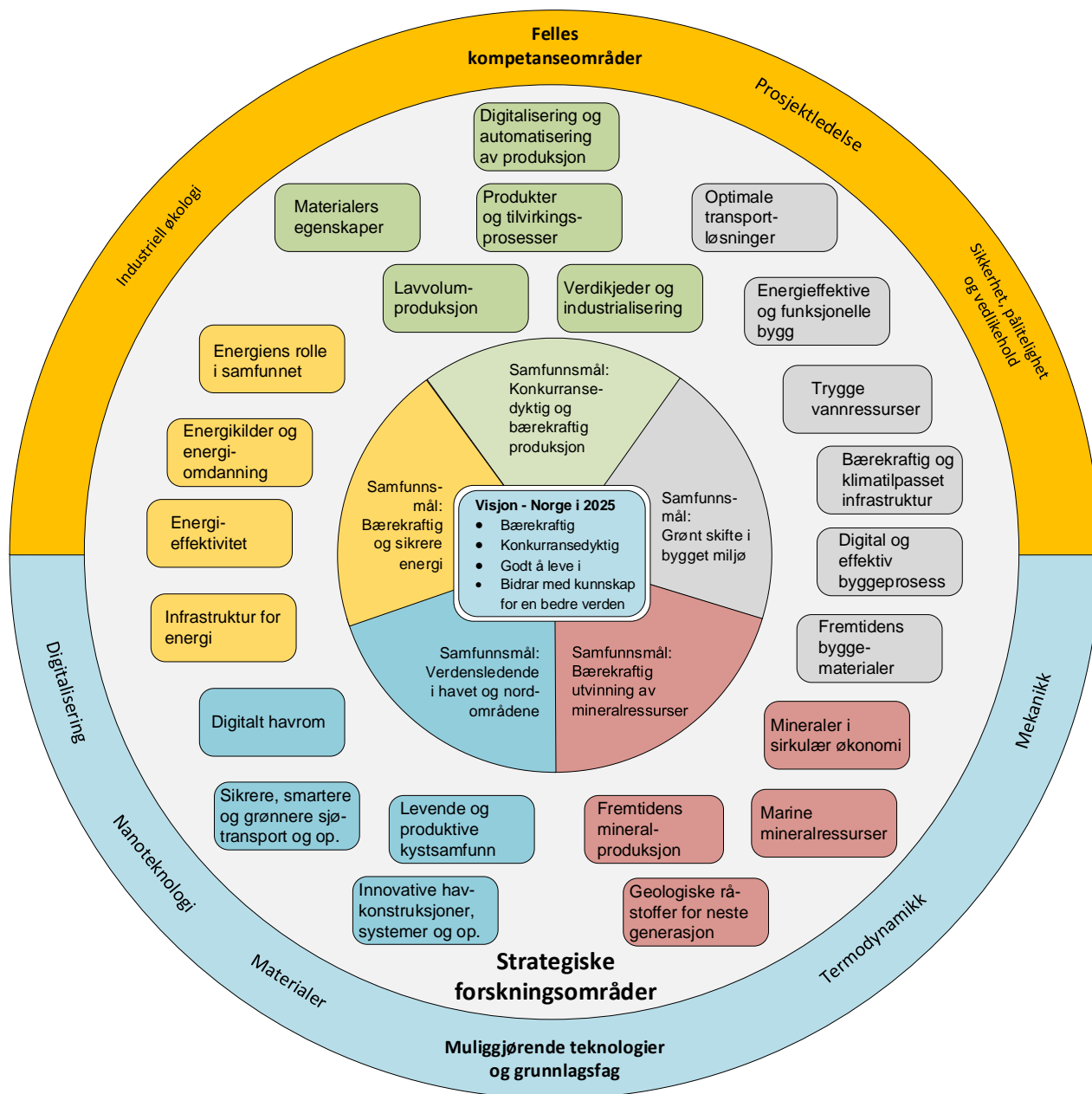
- Bærekraftig og sikrere energi
- Grønt skifte i bygget miljø
- Konkurransedyktig og bærekraftig produksjon
- Bærekraftig utvinning av mineralressurser
- Verdensledende i havet og nordområdene.

Innenfor hvert av de fem samfunnsmålene er det beskrevet strategiske forskningsområder og forskningsutfordringer hvor fakultetets forskere skal prioritere sin innsats. Faggruppene utarbeider sine strategier og bygger sin prosjektportefølje med problemstillinger knyttet til forskningsutfordringene. Figur 1 illustrerer hierarkiet av samfunns mål med utpekte forskningsområder og forskningsutfordringer



Figur 1 Sammenhengen mellom samfunns mål, strategiske forskningsområder og forskningsutfordringer.

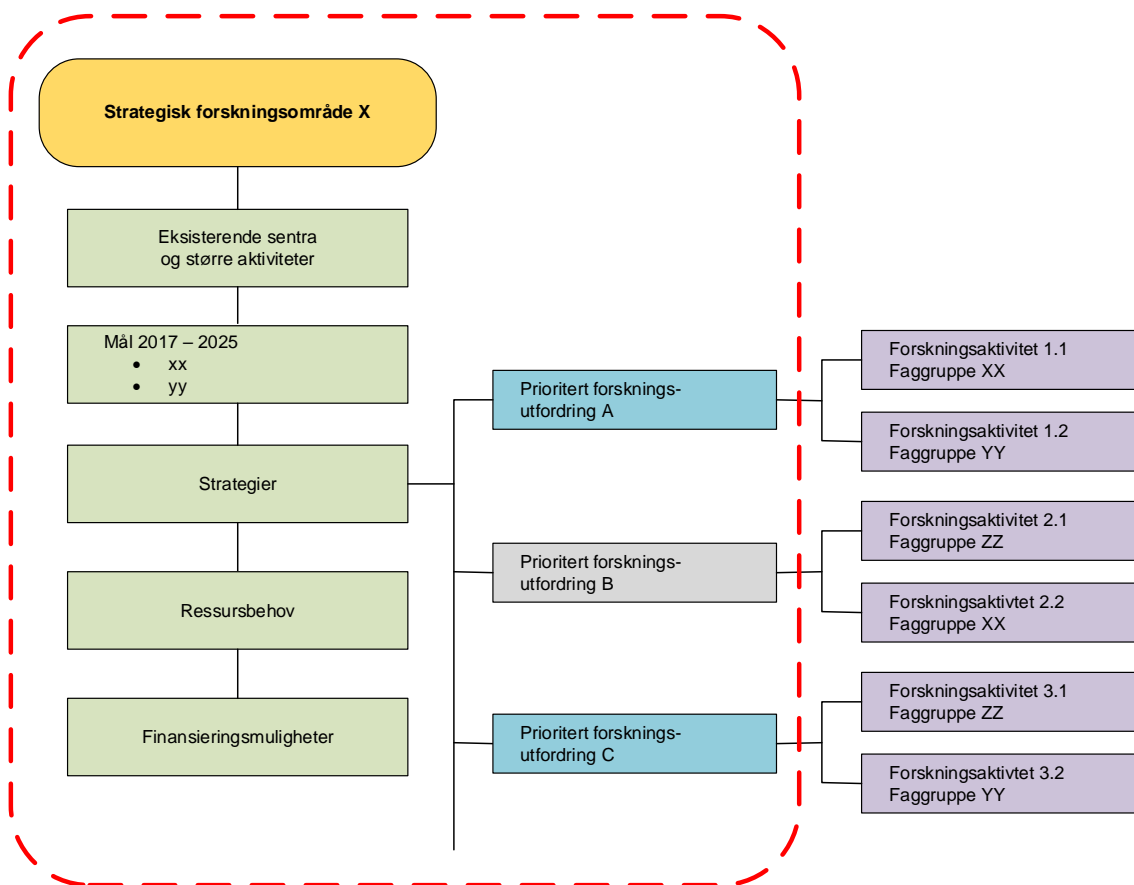
Figur 2 viser forskningskartet. Det illustrerer IV-fakultetets forskningsstrategi på en overordnet måte. Kartet tar utgangspunkt i Visjon for Norge om at Norge skal være bærekraftig, konkurransedyktig, god å leve i og skal bidra med kunnskap for en bedre verden.



Figur 2 Forskningskartet for IV-fakultetet.

Ut fra denne visjonen er det definert 5 samfunns mål med tilhørende strategiske forskningsområder som forskningsaktivitetene skal rettes imot for å nå målene. Hvert strategiske forskningsområde er nærmere beskrevet i grunnlagsrapportene B2 – B6 for det aktuelle samfunns mål.

Forskningskartet viser også aktuelle muliggjørende teknologier, grunnlagsfag og felles kompetanseområder som er aktuelle å benytte for å løse de prioriterte forskningsutfordringene innen de enkelte strategiske forskningsområdene. Dette er fagområder som er av betydning for IV-fakultetet, men hvor den grunnleggende forskningen ligger innenfor ansvarsområdet til et annet fakultet. Figur 3 viser hvordan forskningen skjer i faggruppene og rettes mot de forskningsutfordringene som er identifisert og prioritert.



Figur 3 Strategiske forskningsområder og grensesnittet mot faggruppene.

6 IVs strategiske forskningsområder

De fem samfunnsmålene og strategiske forskningsområder er kort beskrevet nedenfor med fokus på hvilke samfunns- og miljømessige utfordringer de er rettet mot og hvilke typiske problemstillinger man ser i arbeidet med å møte disse utfordringene. De samme samfunnsmålene er beskrevet i mer detalj i grunnlagsrapportene del B2-B6, her redegjøres det blant annet for status, mål, strategier, forskningsutfordringer og faglige ambisjoner knyttet til hvert mål. Tabell 1 gir en oversikt over forskningsområdene pr samfunns mål.

Tabell 1 Samfunns mål og tilhørende utvalgte forskningsområder.

Samfunns mål	Strategiske forskningsområder
Bærekraftig og sikrere energi	Energiens rolle i samfunnet Energikilder og energiomdanning Infrastruktur for energi Energieffektivitet
Grønt skifte i bygget miljø	Bærekraftig og klimatilpasset infrastruktur Optimale transportløsninger Digital og effektiv byggeprosess Energieffektive og funksjonelle bygg Trygge vannressurser Fremtidens byggematerialer
Bærekraftig utvinning av mineralressurser	Geologiske råstoffer for neste generasjon Fremtidens mineralproduksjon Mineraler i sirkulær økonomi Marine mineralressurser
Konkurransedyktig og bærekraftig produksjon	Produkter og tilvirkningsprosesser Materialers egenskaper Digitalisering og automatisering av produksjon Verdikjeder og industrialisering Lavvolumproduksjon
Verdensledende i havet og nordområdene	Digitalt havrom Sikrere, smartere og grønnere sjøtransport og operasjoner Levende og produktive kystsamfunn Innovative havkonstruksjoner, systemer og operasjoner

6.1 Bærekraftig og sikrere energi (Energi)

Bærekraftig innebærer at miljø- og klimapåvirkningene forstås og håndteres langs hele energikjeden.

Bærekraftig innebærer også at energibruk bidrar til en bærekraftig samfunnsutvikling, dvs. bidrar til menneskenes grunnleggende behov som mat, helse, hus, klær, trygghet, arbeid, rekreasjon og kommunikasjon. Dette må sees i et perspektiv med en verdensbefolkning på 7.5 milliarder i dag, som sannsynligvis vil øke til 9 milliarder i 2040 og 10 milliarder i 2060.

Sikrere energi innebærer leveringssikkerhet; energien skal nå sluttbrukeren til rett tid og i rett kvantum. Sikrere innebærer også balanse mellom forbruk, produksjon og kapasitet på lagring av energi. Samtidig må risikoen for ulykker reduseres og omfanget av eventuelle ulykker begrenses.

NTNU har et nasjonalt ansvar for forskning og utdanning innen energiområdet, i kraft av størrelse, gode laboratorier, gode studenter, tett samarbeid med og tillit i næringsliv og forvaltning, et godt samarbeid med Sintef, og en stab av fremragende fageksperter.

NTNU-IVs bidrag til samfunns målet, med utgangspunkt i Universitetslovens §1-3, er forskning som gir ny kunnskap som igjen gir grunnlag for:

- Relevant og topp internasjonal utdanning av bachelor-, master- og ph.d.-kandidater
- Nye teknologiske løsninger og en omlegging av hvordan energi brukes, for å møte de store utfordringene knyttet til menneskeskapte klimaendringer
- Økt verdiskaping i næringslivet på grunnlag av nasjonale energiressurser
- Utvikling av internasjonalt konkurransedyktig næringsliv
- Formidling i ulike fora, både nasjonalt og internasjonalt
- Tverrfaglig samarbeid med partnere, både nasjonalt og internasjonalt

6.1.1 Energiens rolle i samfunnet

Energi brukes til mange ting som oppvarming og avkjøling, produksjon av varer og tjenester, transport av varer og mennesker, elektronikk, og lys. Utfordringene er blant annet å forstå konsekvensene av forskjellige måter å bruke energi på og å minimalisere miljøfotavtrykket. Dette krever en god forståelse av større og komplekse systemer, og hvor forskningen skal bidra med metoder og verktøy. Gjennom en slik god forståelse får vi et kunnskapsgrunnlag til å påvirke og styre atferd relatert til energibruk; i bomiljøer, transport, vare- og tjenesteforbruk. Vi får også et kunnskapsgrunnlag for en best mulig håndtering av et økende folketall, økt urbanisering, utvikling av transportsystemer og mobilitet generelt, organisering av varekjeder og tjenesteyting, og videreutvikling av industri. Teknologisk utvikling, blant annet ved å utvikle og anvende muliggjørende teknologier og digitalisering innen energiområdet, vil være svært viktig i utviklingen av bærekraftige samfunn – *lavutslippssamfunnet*. Vi må også forstå vår rolle og betydning i en internasjonal sammenheng - hvor vår kunnskap, teknologi og våre naturressurser skal være bidrag.

6.1.2 Energikilder og energiomdanning

Norge har som nasjon en helt unik situasjon med hensyn til energikilder, og disse har vært helt avgjørende for samfunnsutviklingen. Vannkraft muliggjorde en industrialisering av landet med fornybar energi, og det er per i dag betydelig industriell aktivitet som er avhengig av den norske vannkraften. Vannkraften representerer en stor og vedvarende evne til å produsere elektrisitet med en helt unik fleksibilitet. Petroleumsressursene ble oppdaget og tatt i bruk fra 1970, og har hatt en formidabel betydning for utviklingen av det norske samfunnet. Det økonomiske bidraget fra petroleumsvirksomheten har hatt og har fortsatt en stor nasjonaløkonomisk betydning. Det gjenværende ressursgrunnlaget for petroleum er fortsatt stort, anslagsvis like stort som produksjonen frem til nå. Det er et dilemma at dagens forbruk og spådd økning fremover av olje og naturgass, ikke er forenlig med Paris-avtalen med en begrensning av klimaendringer til 1.5-2 °C. *Biomasse*, hovedsakelig trevirke, er en annen betydelig nasjonal energiressurs. Potensialet for bioenergi er stort i Norge, men vi har utnyttet dette potensialet i liten grad. Vind som energiressurs til vindkraftproduksjon er stor i Norge – på land og i enda større grad i våre havområder. *Vind* som ressurs er i liten grad tatt i bruk. Havbølger og tidevannsstrømmer er også en potensielt stor ressurs for elektrisitetsproduksjon, men er nesten ikke utnyttet.

En videre utnyttelse av våre energiressurser vil være en veldig viktig del av NTNUs strategi. Utviklingen av teknologier og kostnader vil være styrende i stor grad. I tillegg vil miljøhensyn komme til å få en stadig større betydning for utnyttelsen av energiressursene. Utslipp av klimagasser fra petroleumsvirksomheten og fra den senere bruk av petroleumsproduktene, er en av de større globale utfordringer vi står overfor. Det er også andre og ulike miljøutfordringer knyttet til alle typer energikilder, som det vil være helt avgjørende å adressere i forskningen. NTNU kan bidra gjennom kunnskap og teknologiutvikling knyttet til avkarbonisering, både ved produksjon av hydrogen og CO₂-fangst og -lagring.

NTNU vil forske på mange ulike teknologier og komponenter for omdanning mellom energiformer eller teknologier for lagring av energi. Dette kan være komponenter som turbiner, pumper, varmevekslere, varmpumper, kjeler, etc. Forskningen på utvikling og videreutvikling av komponenter vil være fokusert på

energieffektivitet, tilgjengelighet og kostnad. Forskningen vil baseres på grunnleggende kunnskap primært innen fluidmekanikk, faststoffmekanikk, termodynamikk, materialer og reguleringsteknikk.

6.1.3 Infrastruktur for energi

Den nasjonale infrastrukturen for energisystemer er veldig omfattende og utgjør meget store økonomiske verdier. Infrastrukturen er: elektrisitetsnett, 'smarte nett' som muliggjør mange små produksjonsenheter, styrer forbruksmønster og med lagringskapasitet, dammer og vannreservoarer, vannveier og –tunneler, produksjonsanlegg for olje og naturgass, olje- og gassterminaler, rørledninger for transport av naturgass og olje, flerfase brønnstrøm, systemer for transport av naturgass som LNG, distribusjon av brenslere som LPG, LNG, bensin, diesel, biodrivstoff og hydrogen, og bioenergikjeder. Forskningen på infrastruktur vil omfatte sikkerhet og tilgjengelighet, kostnadseffektivitet, miljøhensyn, og roller og forretningsmodeller i en stadig mer integrert infrastruktur.

6.1.4 Energieffektivitet

Energieffektivitet er delvis knyttet til energiteknologiene i seg selv, men avhenger også mye av de systemene hvor ulike energibærere og energiteknologier anvendes. Forskningen vil her dreie seg om hvordan energiteknologier anvendes, og hvordan energiteknologier integreres for å oppnå et lavt forbruk av energi og et minst mulig miljøfotavtrykk. Eksempler på slike systemer er bygninger og bebygde områder, produksjonsanlegg inkludert prosessindustri, matproduksjon og –distribusjon, vannforsyning, kjøretøy og fartøyer. Slike systemer benytter energi i en eller flere former som innsatsfaktor. Forskningen vil av natur være tverrfaglig for slike systemer, hvor energieffektivt er et av flere mål med systemene. Integrasjon og optimalisering på ulike nivåer vil være viktig.

6.2 Grønt skifte i bygget miljø (Bygg)

Betydningen av det bygde miljøet for levestandard og livskvalitet er udiskutabel. Ut fra samfunnsmessige behov, politiske føringer, muligheter for finansiering og IV-fakultetet sin kompetanse på sektoren vil IV møte utfordringene til det bygde miljøet nasjonalt og globalt som effektivitet, energi og ressursbruk, miljø, klima og bestandighet med forskning som sikter mot et bærekraftig bygd miljø. Dette inkluderer drift, vedlikehold, rehabilitering og utvikling av eksisterende bygningsmasse. Det er anslått at 80% av byggene som vil bli brukt i 2050 allerede er bygd. Forskningen er rettet mot et *Grønt skifte* og en *Digital fremtid*.

Forskningsstrategien forutsetter utvikling og grunnleggende forskning innen konstruksjonsteknikk, vannfag, transportfag, bygningsmaterialer og bygningsfysikk (inkludert akustikk og brann), anleggsteknikk, geoteknikk og geologi, med målrettet bruk av informasjonsteknologi og laboratorier som forskningsredskap. Strategien må betraktes som en samlet, koordinert satsing, der bidrag fra alle relevante fagmiljøer ved NTNU og samarbeidende institusjoner innen det byggfaglige området er nødvendige.

6.2.1 Bærekraftig og klimatilpasset infrastruktur

I forskningsstrategien har vi valgt å definere infrastruktur slik: Fysisk infrastruktur som bygninger, konstruksjoner og anlegg for samferdsel, bergrom, vannforsyning og avløp, behandling av restprodukter og produksjon og forsyning av energi. Den fysiske, landbaserte infrastrukturen i Norge representerer en stor andel av landets realkapital og gjenanskaffelsesverdien kan anslås til mer enn NOK 4000 mrd., sett bort fra verdien av areal (Norges tilstand 2015, RIF). Verdien av norske vann og avløpsanlegg er beregnet til 1200 mrd. (Norsk Vann 2013). I Norge har BA-næringen en omsetning på omlag NOK 350 milliarder, og sysselsetter ca. 350 000 personer (BNL/SSB/Reve).

Nasjonal Transportplan (NTP) 2018-2029 har en kostnadsramme på over 900 mrd. og peker på nødvendigheten av omfattende forskningsoppgaver for et teknologisk skifte på områdene veg, jernbane, luftfart og kyst. Med stort etterslep på vedlikehold og nybygging står norske kommuner foran store utfordringer innen vann og avløp for å tilfredsstille rammedirektivet for vann. Dette er EUs mest omfattende miljødirektiv for et grønt skifte innen vann og avløp, med tilhørende forskningsinnsats. Forskningen retter seg mot bærekraftig planlegging, bygging og vedlikehold for å sikre optimal infrastruktur for trygg og

effektiv transport av mennesker, gods, vann og energi med reduksjon av støy/støv og utslipp av klimagasser samt langsiktighet i arealutnyttelse.

Transportplanen fastlegger at alle reisekjeder skal ha tilkomst uten hindringer for at Norges transportsystem skal være mest mulig tilgjengelig for flest mulig reisende. IV skal forske på metoder og løsninger for universell utforming av infrastruktur som støtter opp om denne målsettingen.

Snø, frossen jord, is, lave temperaturer og mørke er faktorer som på en eller annen måte påvirker de aller fleste av våre aktiviteter. Infrastruktur slik som hus, veier, jernbane, bruer, havneanlegg, båter, rørledninger, plattformer, demninger, osv. må designes og bygges slik at den tåler frost og snø. Alt maskineri som jobber utendørs (biler, pumper, kraner osv.) må være bygget av materialer som tåler vinterforhold.

6.2.2 Optimale transportløsninger

Antall drepte og skadde i vegtrafikken i Norge har i mange år gått nedover, mentallet er fortsatt et alt for høyt. En spesiell utfordring innenfor trafiksikkerhet i tiden fremover er ulykker med fotgjengere og syklistene siden NTP forutsetter at det meste av transportveksten i bymiljø skal skje med miljøvennlige transportmidler. Mye av transportsektoren kan således deles opp i byområder og lavtrafikkerte områder.

En stor del av overgangen til lavutslippssamfunnet vil være å utvikle systemer for smart, sømløs og lavenergi/nullutslipp transport. Autonome kjøretøy kommer til å stille nye krav til veier og posisjonering, men også påvirke trafikken og måten vi reiser på. Dermed blir det behov for ny kunnskap når det gjelder trafikk- og transportmodeller. Innenfor trafikk- og transportmodeller endrer tilgangen til detaljerte sanntidsdata seg raskt og i takt med antall kjøretøy som er tilknyttet. Effektiv og sikker håndtering og analyse av store datamengder (Big Data) er et av de raskest voksende felt i informasjonssamfunnet. Forskning på transportløsninger bygger på digital representasjon av det bygde miljø for effektiv informasjonshåndtering, planlegging, prosjektering, numeriske simuleringer, visualisering, prosjektledelse, effektiv bygging, drift, vedlikehold og forvaltning. I denne sammenheng skal mulighetene innen Geomatikk, Intelligente Transport Systemer (ITS) og BIM utvikles videre, se forøvrig strategisk forskningsområde *Digital og effektiv byggeprosess*. Det strategiske forskningsområdet skal bidra til utvikling av miljøvennlige, sikre og optimale transportløsninger basert på effektiv utnyttelse av eksisterende infrastruktur.

6.2.3 Digital og effektiv byggeprosess

Bygninger og den fysiske infrastrukturen realiseres ved prosjekter som stiller store krav til kompetanse på prosjektering, dimensjonering, analyse, planlegging, gjennomføring og drift av bygg og anlegg. Digitaliseringen berører alle sider ved byggeprosessen, innen informasjonshåndtering, planlegging, prosjektering, visualisering, prosjektledelse, design, beregningsorientert mekanisk analyse og numeriske simuleringer, effektiv bygging, drift, vedlikehold og forvaltning. Forskningen skal bidra til mer effektive byggeprosesser fra vugge til grav ved å utnytte digitalisering i kombinasjon med effektivisering av alle faser og aspekter av prosjektene. BIM og geografiske informasjonssystemer (GIS), har åpnet for en ny virtuell virkelighet av det eksisterende bygde miljø og mulighetsrommet i byggeprosessen, både når det gjelder infrastruktur og bygninger.

3D registrering og digital representasjon er allerede praksis, men den virtuelle virkeligheten har store utviklingsmuligheter i kombinasjon med sensorteknologi. Eksempelvis når det gjelder overvåking og tilstandskontroll i alle former, i forbindelse med drift og vedlikehold, konstruksjonsoppførsel og som grunnlag for driftoperasjoner. Nettverk og bedre interoperabilitet mellom ulike typer data og modeller gir store muligheter for utvikling av skreddersydde systemer (IoS) i alle deler av BAE bransjen. Forskningen skal bidra til mer effektive byggeprosesser fra vugge til grav ved å utnytte digitalisering i kombinasjon med effektivisering av alle faser og aspekter av prosjektene. Særlig tverrfaglig utfordrende er utviklingen av industrialisert, fleretasjes bærekraftig trebygging.

6.2.4 Energieffektive og funksjonelle bygg

BA-sektoren står for 40% av Norges totale landbaserte energibruk. Nullutslippsbygg, passivhus og plusshus innebærer muligheten for en betydelig reduksjon av energibruken. Forskning på redusert bruk av

primærenergi og energieffektivisering bør prioriteres for å nå mål for reduserte karbonutslipp. Ved nybygging og rehabilitering må materialvalg, tiltak og løsninger gi høy pålitelighet og sikkerhet relatert til inneklimate, helse og energiforsyning fra fornybar energi. Økte krav til bygningskroppen stiller større krav til pålitelige klimaanlegg som kombinerer utnyttelse av spillvarme, fornybar energi, lagring og smart styring.

Det er et mål at bygninger og nabolag også skal inngå i energiproduksjonene (ref. pågående ZEB og ZEN). I tettbebygde områder med boliger, kontorer, skole, handlesenter, helseinstitusjoner og svømmehall kan overskuddsenergi utveksles mellom bygninger eventuelt eksporteres til nett eller fjernvarmenett. Samspill mellom bygg og nett blir viktig. For at energieffektive bygninger skal få aksept er det viktig at nye løsninger bidrar til god lønnsomhet både privatøkonomisk og samfunnsmessig. Løsninger må også håndtere fremtidige nye økonomiske modeller, «Energy Performance Contracts» (EPC) og klimaendringer, NOU 2010:10 «Tilpassing til eit klima i endring». utfordringene retter seg mot:

- Levetidsberegninger for bærekraftige bygløsninger
- Teknologi for nær-nullenergi bygg
- Effektiv energibruk i nye og eksisterende bygg ved bruk av sensorteknologi
- Medvirkningsprosesser og integrerte vurderingssystemer

Forskningen skal bidra til sterk reduksjon av energibehovet ved bygging og drift av nye og eksisterende bygninger med fokus på funksjonelle og lønnsomme løsninger.

På grunnlag av demografiske utfordringer, skal IV forske på metoder og løsninger for universell utforming av bygg.

6.2.5 Trygge vannressurser

World Economic Forums «Global Risk Report 2017» illustrerer tydelig hvilken rolle vann har i de største utfordringene verden står ovenfor i tiden fremover. Vann som livsviktig næringsmiddel vil bli mangelvare, vann i ekstreme mengder vil medføre katastrofer og store økonomiske utfordringer. Samtidig er vann som ren energikilde og som ressurs for gjenvinning en viktig del av løsningene. Befolkningsvekst, urbanisering, klimaendringer, nye forurensingstyper og generelt økte krav til miljøstandard skaper store utfordringer for vann og avløpssystemer i byene som delvis er gamle og utslitte; internasjonalt men også i høy grad i Norge (jfr. «State for the Nation», 2010, 2012, 2015). Hyppigheten av driftsavbrudd for vannforsyning og avløp på grunn av skader eller manglende kapasitet øker. En våtere og villere framtid vil bli spesielt merkbart i form av mer intense og lokale nedbørstilfeller med påfølgende lokale flommer som eksisterende infrastruktur ikke er dimensjonert for.

Nye nasjonale og internasjonale vanndirektiv stiller strengere miljøkrav til forvaltning og tiltak i vassdragene og økte dimensjonerende flommer, som følge av klimaendringene, medfører store og svært kostnadskrevede tiltak på dammer og konstruksjoner i vannkraftsektoren. Ekstreme værhendelser skaper utfordringer med hensyn til vann-, mat- og energiproduksjon. Nye forurensingstyper skaper utfordringer for drikkevannssikkerhet og miljøstandard som må løses ved avansert renseteknikk. Omlegging til sirkulær økonomi innebærer behov for utnyttelse av ressurser i avløpsvann til energi- og gjødselproduksjon og til gjenbruk av vann i akvakulturanlegg. Det er behov for og det er planlagt meget store investeringer i vannrelatert infrastruktur de nærmeste tiårene og ledende økonomer mener at vann og avløpsindustrien på verdensbasis vil oppleve en formidabel økonomisk vekst i det 21. århundre. Dette skaper store utfordringer og muligheter som må møtes med økt forskningsinnsats.

6.2.6 Fremtidens byggematerialer

Produksjon og forbruk av byggematerialer står for en stor del av skadelige klimagasser. Redusert tilgang på naturlige ressurser og stadig strengere krav om reduksjon av utslipp under produksjon og i materialenes levetid gir store utfordringer for byggebransjen, men også muligheter. Armert betong er verdens mest brukte byggemateriale, men produksjon av sement er energiintensivt. Betongens egenskaper er imidlertid nødvendige i mange bærende konstruksjoner, infrastruktur og bygg. Derfor skal det forskes på sammenstillinger og dimensjoneringsgrunnlag for mer rasjonell bruk. Det samme gjelder for andre tradisjonelle

materialer som stål og lettmetaller. Trevirke er en fornybar og CO₂-bindende materialressurs som produseres med lav energiinnsats og kan energigjenvinnes. Treverk er et miljøvennlig alternativ i flere konstruktive sammenhenger enn det som har vært vanlig å vurdere og har et stort uutnyttet potensiale. Dagens konstruksjoner i massivtre er et eksempel, likeledes kombinasjonen av treverk og eksempelvis glass, såkalte hybride løsninger.

Fremtidens byggematerialer og tilhørende løsninger vil ha nye og miljøvennlige egenskaper på en rekke områder, når det gjelder eksempelvis isolasjon, bestandighet og gjenbruk. Flere intelligente byggematerialer, materialer som tilpasser seg ved å endre egenskapene etter forholdene, vil bli introdusert. Selvrensende glass-fasader er allerede i bruk, mens glass som endrer gjennomsiktighet etter utetemperatur er under utvikling. Transparente og vitenskapelige miljøvurderinger av innovative materialer og produkter kreves også ny kunnskap som støtter slike vurderinger. Dette gjelder i særdeleshet nye avanserte materialer som nanomaterialer, biobaserte materialer, hybride strukturer og kompositter. Forskningen skal bidra til å utvikle fremtidens byggematerialer til bærekraftige og miljøvennlige konstruksjoner.

6.3 Bærekraftig utvinning av mineralressurser (Mineraler)

Samfunnet vårt er avhengige av store mengder mineralske ressurser – langt mer enn de fleste er klar over. Global befolkningsvekst, levestandardøkning og økende grad av industrialisering fører til en kraftig vekst i behovet for mineralressurser. Omstilling til et samfunn hvor vekst og utvikling skjer innen naturens tålegrenser og hvor produkter og tjenester gir mindre negative konsekvenser for klima og miljø enn i dag (*det grønne skiftet*) øker dette behovet ytterligere. Norge har ressurser og kompetanse til å kunne bli en betydelig leverandør av viktige mineralske råvarer til en grønn global økonomi. Fakultetets strategi har derfor følgende mål:

NTNUs forskning innen mineralressurser skal være internasjonalt anerkjent, representere norsk bergindustriens store fortrinn og bidra til bærekraftig verdiskapning og samfunnsutvikling både nasjonalt og globalt.

Satsingen på mineralressurser kan organiseres i fire strategiske forskningsområder:

1. Geologiske råstoffer for neste generasjon (mineralforekomstgeologi, geofysikk, ressursmodellering, avansert mineral karakterisering)
2. Fremtidens mineralproduksjon (gruvedrift, oppredning, videreforedling, geometallurgi)
3. Mineraler i sirkulær økonomi (systemkunnskap, urban mining, bruk av overskuddsmasser, mineralbaserte renseløsninger)
4. Marine mineralressurser (mineralforekomstgeologi, ressurstimering, prospektering, utvinnings-teknologi).

Fokus på miljø og bærekraft er en integrert del av alle områdene.

6.3.1 Geologiske råstoffer for neste generasjon

Fremtidens teknologier står og faller med tilgangen på økonomiske malm- og mineralforekomster med essensielle metaller og mineraler. Forskningsområdet fokuserer på dannelsen og de fysiokjemiske karakteristika av faste geologiske ressurser. Det er basert på denne viten at man nedstrøms i produksjonskjeden utvikler metoder for å finne nye forekomster og designe strategier for bryting, oppredning og miljømessig tilbakestilling etter endt gruvedrift.

Den Skandinaviske halvøy inklusive kontinentalsokkelen representerer Europas største og rikeste område for dannelsen av økonomiske malm- og mineralforekomster. Geologien i Norge har større geologisk diversitet enn noe annet område i denne regionen, men er paradoksalt nok også det området som er dårligst undersøkt. Man kan derfor forvente å finne flere metall- og mineralforekomster i verdensklasse i det norske kontinentalområdet, på land så vel som innen havrommet. Fremtidige forekomster vil i mange tiår fremover lokaliseres på land, men parallelt med den teknologiske utviklingen vil vi også se økt prospektering på sokkelen i takt med at nye metoder så vel som teknologier som tidligere ble brukt i olje-gassektoren adapteres til malmprospektering. Sentrale forskningsutfordringer inkluderer utvikling av bedre modeller for dannelsen

av tradisjonelle malmforekomster, samt modeller for dannelsen av klassiske malmforekomster i ukonvensjonelle setting. Videre er det nødvendig å utvikle nye metoder til kjemisk og fysisk bestemmelse av mineralers egenskaper og spissede geofysiske/geokjemiske prospekteringsmetoder.

6.3.2 Fremtidens mineralproduksjon

Økt mineralproduksjon er en forutsetning for det grønne skiftet og et bærekraftig samfunn. Samtidig er produksjon av mineralråstoffer energi- og arealkrevende og kan medføre en betydelig miljøbelastning. Utvinning av ikke-fornybare ressurser medfører dessuten et særskilt ansvar. En rekke forskningsutfordringer må løses for å bidra til at fremtidens mineralproduksjon blir så trygg, miljøvennlig og samfunnsøkonomisk som mulig.

Forskningsområdet omfatter samtlige produksjonsprosesser langs verdikjeden fra driftsplanlegging og uttak til oppredning og videreforedling gjennom mineralteknisk prosessering av mineralkonsentrater. Det bør utvikles nye konsepter for malmuttak med sikte på høy produktivitet, sikkert arbeidsmiljø og minimal miljøforstyrrelse. Dette inkluderer blant annet verktøy for stabilitetsanalyse, avansert teknologi for feltkartlegging og intelligent overvåkning. Fremtidens tilslagsproduksjon må ha økt fokus på alternative kilder, kortreist stein og knuseteknologi som gir lavere energiforbruk og mindre finstoff. Innen oppredning er det behov for mer energieffektiv fragmenteringsteknologi, bedre løsninger for prosessering av finkornede og komplekse malmer, mer effektive og miljøvennlige flotasjonskjemikalier, samt alternative konsepter for videreforedling av mineralkonsentrater.

I tillegg til det grunnleggende fokuset på teknologi og enhetsprosesser inkluderer dette også kompetanse og systemer for optimalisering på tvers av verdikjeden (geometallurgi), samt for vedlikehold, risikostyring, automasjon og digitalisering. Samtidig står miljøaspektene sentralt. Valg av spesifikke tekniske løsninger innen gruvedrift og oppredning har direkte og avgjørende betydning for belastningen på ytre miljø. Kompetansen innen mineralproduksjon, spesielt oppredning, er også en forutsetning for å kunne løse flere av forskningsutfordringene innen de strategiske forskningsområdene «Mineraler i sirkulær økonomi» og «Marine mineralressurser»

6.3.3 Mineraler i sirkulær økonomi

Global befolkningsvekst og økt grad av industrialisering gir et stadig voksende behov for mineralressurser. Økt utvinning av metaller med unike egenskaper er også en forutsetning for å kunne gjennomføre det grønne skiftet. Produksjon og bruk av mineralråstoffer er ofte energi- og arealkrevende og kan medføre en betydelig miljøbelastning. Industriland i vesten har ofte mindre vekst i befolkning og infrastruktur, men har til gjengjeld gamle strukturer og produkter som krever fornying eller erstatning. Dette gir et økt potensial for å gjenvinne avfall for å redusere behovet for primære råstoffer og de negative miljøkonsekvenser relatert til primæruttak. Bærekraftig samfunnsutvikling forutsetter derfor at industriland bidrar til å redusere det globale ressursbehovet gjennom resirkulering og miljøvennlig produksjon.

For å utvikle strategier for bærekraftig bruk av mineralressurser er det nødvendig å forstå kretsløpene for hver enkelt ressurs. Disse inkluderer uttak (gruvedrift), prosessering (oppredning), videreforedling (konsentratbehandling), produksjon og fabrikasjon av produkter, bruk av produkter, avfallshåndtering og gjenvinning («urban mining»). Dette krever kvantitativ systemanalyse for å forstå strømmer og lager av materialer og energi, samt modell- og scenarioutvikling for å analysere viktige utviklingsdrivere, forutse endringer i ressursbruk og ressurstilgang fra sekundære kilder og for evaluering av ulike strategier. Teknologiaspektet utgjør den andre hoveddelen av det strategiske forskningsområdet. Her står materialkarakterisering og partikkelteknologi sentralt. Forskningsområdet omfatter utvikling av tekniske løsninger for resirkulering og avgangsforbedring, utfordringer knyttet til bruk, håndtering og deponering av overskuddsmasser, samt utvikling av mineralbaserte renseløsninger. Forskning på disse områdene hviler tungt på kompetansen innen oppredning og prosessmineralogi, og på de unike fasilitetene ved Oppredningslaboratoriet.

6.3.4 Marine mineralressurser

Marine mineralressurser har de siste årene fått mye fokus internasjonalt og nasjonalt med store aktører, spesielt innenfor EU som satser på mineralutvinning til havs. Marine mineralressurser har et stort

verdiskapingspotensial og representerer en betydelig kilde til strategisk viktige metaller. Mye av fokuset internasjonalt er rettet mot de store ressursene av polymetalliske mangannoduler som finnes i de store verdenshavene på havdyp mellom 4000 og 6000 meter, men det blir også stadig større fokus på «seafloor massive sulphide» (SMS) -forekomster knyttet til undersjøiske hydrotermale skorsteiner. Sistnevnte kategori er spesielt interessant sett med norske øyne.

Forskningsområdet omfatter verdikjeden knyttet til utvinning av marine mineralforekomster. Dette inkluderer leting etter karakterisering av marine mineralforekomster og samtlige produksjonsprosesser langs verdikjeden fra driftsplanlegging og uttak til oppredning og videreforedling gjennom mineralteknisk prosessering av mineralkonsentrater. Her vil mange av problemstillingene være nært knyttet opp mot forskningsområdene «geologiske råstoffer for neste generasjon» og «fremtidens mineralproduksjon», men det vil være spesielle utordringer knyttet til det faktum at aktivitetene skal være knyttet til aktiviteter i utfordrende eller ekstremt miljø (forekomster langt til havs, i et arktisk klima eller på store havdyp). Dette vil kreve utvikling av ny teknologi, blant annet med hensyn på forseparering på havbunnen og transport av malm til overflaten. Kompetanse innenfor vedlikehold, risikostyring, automasjon og digitalisering vil også stå sentralt. I tillegg må det fokuseres på miljøaspektene ved utvinning av marine mineralressurser. Det foreligger kun svært begrenset kunnskap om den forventede effekten på økosystem og fysisk miljø.

6.4 Konkurransedyktig og bærekraftig produksjon (Produksjon)

Det norske samfunnet er avhengig av en bærekraftig verdiskaping og industrien er ryggraden i denne verdiskapingen. Utvikling og utnyttning av teknologi for å utvikle, produsere og levere produkter og tjenester basert på våre naturgitte og kompetansemessige forutsetninger må prioriteres.

Selv om forskningen legges stor vekt på forutsetninger her hjemme skal forskningen også ta inn over seg globaliseringsaspektene med de muligheter og utfordringer det gir for produksjon i Norge.

Regjeringens industrimelding som ble lagt fram i mars 2017 peker på behovet for at nye materialer tas i bruk og at prosesser endres, automatiseres og digitaliseres. Det er behov for en reindustrialisering hvor norsk industri settes i stand til å ta tilbake produksjon som tidligere har blitt satt ut til lavkostland. Virksomheter som har lyktes med å ta hjem produksjon peker på strategisk arbeid med kompetanseutvikling, digitalisering og automatisering. Disse punktene er tilsvarende viktig for å beholde eksisterende produksjon i Norge.

Industrimeldingen peker på behovet for omstilling innenfor bærekraftige rammer, betydninger av tilgang på kapital og tilgang på kompetanse og viktigheten av forskning, innovasjon og teknologitvilling.

På bærekraftsområdet bidrar NTNU med metodeutvikling spesielt innenfor sirkulær økonomi. Sirkulær økonomi handler om å gjenbruke ressurser, redusere mengden avfall og energi i alle tilvirkningsprosesser, utnytte ressursene bedre og mer effektivt, øke levetiden til produkter og benytte flere resirkulerte materialer i nye produkter. For å tiltrekke seg norske og utenlandske aktører til å investere i Norge vil det framover bli helt nødvendig å kunne demonstrere at aktiviteten er bærekraftig, samt å bruke kunnskapen vi har fra den sirkulære økonomien til å velge de beste løsningene.

NTNUs forskning innen produksjon skal være internasjonalt anerkjent, representere norsk industris store fortrinn og bidra til bærekraftig verdiskaping og samfunnsutvikling nasjonalt og globalt. De fem strategiske forskningsområder for produksjon favner det meste av fakultetets eksisterende forskning for å støtte opp under konkurransedyktig og bærekraftig produksjon.

For å lykkes med forskningen er fakultetet avhengig av et godt samarbeid med faggrupper på andre fakultet ved NTNU. Dette gjelder spesielt innenfor økonomifagene, naturvitenskap og informasjonsteknologi. Likeledes er det viktig å videreutvikle samarbeidet med SINTEF.

NTNU-IV skal forske på produkt- og prosessutvikling i hele TRL/MRL-skalaen⁶. Vi skal bidra til grunnforskning innenfor TRL/MRL 1-4 og anvendt forskning i TRL/MRL 4-7, samt forske på hvordan industribedrifter best mulig innfører ny teknologi og realiserer innovasjoner i TRL/MRL 8-9/10.

⁶ Technology Readiness Level/ Manufacturing Readiness Level

6.4.1 Produkter og tilvirkningsprosesser

Produkter og systemer som skal utvikles og produseres i Norge vil være kjennetegnet ved at de har relativt høy pris som forsvarer produksjon i et høykostland. Det forventes at produktene og systemene i større og større grad vil ha innebygget sensorteknologi og datakraft for selvdig diagnose, integrasjon med andre produkter osv. I lys av det grønne skiftet vil også bærekraft og sirkulær økonomi bli avgjørende på alle plan for fremtidens produkter og systemer. Sentrale forskningsutfordringer knyttet til produktutvikling er (i) nye paradigmer og verktøy for intelligent produktdesign og produktutvikling, (ii) videreutvikling av lean⁷ produktutvikling, (iii) utvikle intelligente IoT produkter med innebygget sensorteknologi⁸ og datakraft som gjennom oppdatering under produktets levetid kan øke funksjonalitet og vedlikeholdsvennlighet, og (iv) videreutvikling av metoder som sikrer gode geometri- og materialegenskaper, lang levetid og høy pålitelighet.

Teknologiutviklingen på forskjellige tilvirkningsprosesser gir nye muligheter for å produsere slike smarte produkter i Norge. Videre er det også viktig å utvikle produktutviklingen og produktegenskapene i relasjon til produksjonen. Sentrale forskningsutfordringer knyttet til tilvirkningsprosessen er (v) å forstå hvordan man kan optimalisere prosessparametere i tilvirkningsprosessen for å oppnå optimale produktegenskaper, (vi) additiv tilvirkning, (vii) sammenføyningsteknologi og termisk sprøyting, (ix) metallforming, (x) varmforming (smiing) og kaldforming, (xi) sprøytetøping av termoplast, samt (xii) maskinering og målemetoder.

6.4.2 Materialers egenskaper

For å utvikle produkter med tilstrekkelig funksjonsevne over tid er det avgjørende å velge geometrier og materialer i produktene som i størst mulig grad eliminerer feilmekanismer og sikrer lang levetid. Forskningen på materialer spenner fra materialbruk i de minste skurer til materialbruk i store skrog i et skip eller bærestrukturer i en oljeplattform. Sentrale forskningsutfordringer belyses nedenfor.

Etablere forståelse for *materialegenskaper på multiskala* nivå (nano til makro) gjennom: (i) fundamental teoretisk forståelse, (ii) eksperimentelt arbeid, og (iii) modellering/simulering.

Ved anvendt *nanoteknologi*: (i) utvikle nye materialer og innovativ løsninger, (ii) designe nanostrukturerte overflater, og (iii) etablere metodikk og utføre «Multi-physical» karakterisering av materialegenskaper.

Design og fremstilling av konstruksjoner, komponenter og utstyr: (i) modellering/simulering/virtuell presentasjon av design, egenskaper og oppførsel, (ii) verifikasjon av design gjennom kombinasjon av multi-fysiske og multi-skala modeller og testing, (iii) innovative, bærekraftige og robuste løsninger som omfatter samspill mellom material og konstruksjon/komponent/utstyr, og (iv) optimalisering av produksjonsmetoder og –prosesser.

6.4.3 Digitalisering og automatisering av produksjon

Det foreslås en strategisk satsing på digitalisert produksjon basert på Industri 4.0. Dette vil ha fokus på kyberfysiske systemer med stor grad av funksjonell integrasjon basert på lokal intelligens og sammenkobling med åpne protokoller som IoT. Funksjonell integrasjon innebærer at de kyberfysiske systemene har kapabilitet for automatisk konfigurering, kalibrering og sammenkobling i avanserte kyberfysiske produksjonssystemer. Kyberfysiske systemer inkluderer intelligente IoT produkter, industriroboter, mobile roboter, kamerasystemer, sensorer og verktøymaskiner, og funksjonell integrasjon innebærer at arbeidsoppgaver kunne beskrives på et høyere abstraksjonsnivå enn hva som er mulig i dag. Dette vil være avgjørende for å muliggjøre effektiv utvikling av kyberfysiske produksjonssystemer samt programmering og omstilling av automatiserte produksjonsprosesser. Videre er det planlagt kapabilitet for automatisk generering av simulatorer og digitale tvillinger basert på matematiske modeller. Industri 4.0 innebærer også nye roller for

⁷ Lean produksjon fokuserer på å eliminere sløsing og ser i større grad på kundens opplevelse av produktets verdi fremfor kostnadselementer. Et viktig element er å skape merverdi med mindre innsats av ressurser.

⁸ Innebygget sensorteknologi blir viktig også i et utvidet produksjonsbilde, f. eks. produksjon av infrastruktur hvor innebyggede sensorer er viktig for fremtidens drifts- og vedlikeholdsmetoder.

prosessoperatører, og det åpnes nye muligheter for kommunikasjon, læring, kunnskapsutvikling og innovasjon v.h.a. simulering, visualisering og analyse av data. Ny teknologi gjør at produksjonssystemene kan tilpasses menneskelige behov, og ikke motsatt, med bedre mann-maskin grensesnitt og nye tekniske hjelpemidler som for eksempel utvidet- og virtuell virkelighet («augmented reality»). Selv om Industri 4.0 har sitt utspring i produksjonsindustrien er konseptene også anvendbare for et *utvidet* produksjonsbegrep, f. eks. produksjon, drift og vedlikehold av kritisk infrastruktur hvor automatisering og digitalisering blir sentralt.

Et sentralt punkt vil være robotisert produksjon under industri 4.0 tilpasset norsk industri med små serier og spesialiserte produkter med stor merverdi. Spesielt vil det være fokus på hurtig omstilling for avanserte produkter i små serier som gjerne må spesialiseres for hver leveranse. Slike produktkategorier kan typisk beskrives med en felles CAD-modell med et antall parametere, og det vil være mulig å inkludere produksjonsdata som sveisebaner og sveiseparametere i CAD-modellen. Dette kan brukes for automatisk oppsett og omstilling av produksjonsprosessen. Dette er et første steg i en utvikling av en full digital integrasjon av de ulike faser i produktets livsløp som design, simulering, produksjon, validering, dokumentasjon, akkumulering av kunnskap, og vedlikehold. Bruk av åpne kommunikasjonsprotokoller som IoT gir potensielle sikkerhetsproblemer, og det er viktig å utvikle løsninger som gir tilfredsstillende sikkerhet. Dette vil inkludere spesialiserte protokoller for tilkobling av kyber-fysiske systemer til nettverk basert på IoT. I denne sammenheng er det også viktig med analyseverktøy for datasikkerhet og risikostyring.

Sentrale forskningsutfordringer for å nå målet om digitalisering og automatisering av produksjon oppsummeres ved: (i) robotisert produksjon i et digitalisert rammeverk basert på industri 4.0 tilpasset norsk industri med små serier og spesialiserte produkter med stor merverdi, (ii) Industri 4.0 med fokus på kyber-fysiske systemer med stor grad av funksjonell integrasjon basert på lokal intelligens og sammenkobling med åpne protokoller som IoT. Dette inkluderer automatisk konfigurasjon og sammenkobling av kyber-fysiske enheter i avanserte kyber-fysiske produksjonssystemer og automatisk generering av simulatorer og digitale tvillinger basert på matematiske modeller, (iii) digital integrasjon av de ulike faser i produktets livsløp som design, simulering, produksjon, validering, dokumentasjon, akkumulering av kunnskap, og vedlikehold, (iv) analyseverktøy for datasikkerhet og risikostyring, (v) menneske-orientert automasjon, effektiv og intuitiv programmering, visualisering, styring og kontroll, (vi) trådløse sensornettverk, signalbehandling og maskinlæring for tilstandsbasert vedlikehold, og prosessmonitorering og styring.

Det er avgjørende å utvikle digitalisering og automatisering av produksjon i samarbeid med norsk industri. Her trekkes spesielt fram samarbeidet med industriklynger for vareproduksjon på Raufoss og Kongsberg og verftsindustri på Nord-Vestlandet. Men vi ser også et stort potensiale for digitalisering og automatisering på «nye» områder, f. eks. innenfor fleretasjes trebyggeri og fiskeindustrien langs hele kysten.

6.4.4 Verdikjeder og industrialisering

Framveksten av Supply Chain Management (verdikjedestyring) bygger videre på at det ikke lenger er tilstrekkelig bare å forbedre og styre logistikken i egen bedrift, idet potensialet for forbedringer kan være vesentlig større i verdikjeden enn i egen bedrift. Like nødvendig er det å involvere alle aktører som bidrar til verdiskapingen av produktet/tjenesten, direkte eller indirekte, helt fra råvarekilde til sluttbruker, inklusive resirkulering og gjenbruk. For å oppnå størst mulig fordeler og konkurransemessige fortrinn fra logistikken er det behov for å utvide det interne logistikkperspektivet oppstrøms til å omfatte leverandører, leverandørers leverandører etc. og nedstrøms til å omfatte kunder, kunders kunder etc. Dette er på mange måter kjernen i tankegangen som ligger til grunn for Supply Chain Management. Teknologiske fremskrittene muliggjort av den fjerde industrielle revolusjonen, Industri 4.0, kan bidra til økt konkurransekraft i det stadig tøffere globale markedet. Disse teknologiske fremskrittene kombinert med raffinering av eksisterende teorier, samt utvikling av nye teorier, kan føre til innovative løsninger innen logistikk, nye produkter og forretningsmodeller med fokus på å tilby nye tjenester. Dette skal sikre norske produksjonsbedrifter økt konkurranseevne i et globalt marked med stadig større kundekrav.

Supply Chain Management gir også et perspektiv hvor man kan se ut over de konkrete tilvirkningsprosessene, hvilke prosesser er det mest hensiktsmessig å automatisere, og hvordan kan virksomhetene utvikle kompetanse for å lykkes med digitalisering og automatisering.

Alt dette må ses i lys av behovet for bærekraft i fremtidens verdikjeder. Med en stadig økende befolkning og økonomisk vekst er presset på miljøet stort. Markedet har et ønske om bærekraftige produkter og tjenester,

og tilgang til ressurser reduseres stadig. Derfor er det viktig å planlegge og styre ressursene i hele verdikjeden for å sikre bærekraftig virksomhet for fremtidige generasjoner. Dette oppnås både med nye teknologier og nye teorier med fokus på å utnytte ressursene på best mulig måte med minst innvirkning på miljøet.

Konkurranseskraften for norsk industri er avhengig av evnen til å utvikle produkter og produksjonssystem med riktige egenskaper, kvalitet, pris og mengde for et betalingsvillig marked. Styring av verdikjeden med håndtering av kunder og leverandører, kvalitetsledelse, kontinuerlige forbedringer og sprangvise innovasjoner på produkt og prosess og automatisering av produksjonen står sentralt. Den økende digitaliseringen med bruk av stordataanalyse, visualisering-, optimering- simulering- og beslutningsstøtteverktøy vil gjøre det enklere å ta riktige beslutninger.

Sentrale forskningsutfordringer er: (i) innovative forretningsmodeller med basis i Industri 4.0 konsepter, (ii) horisontal integrering av verdikjeder – konfigurering av leverandørnettverket for å fullt ut dra nytte av nye teknologier og løsninger, (iii) smarte fabrikker med et integrert produksjonssystem hvor smarte maskiner og produkter kommuniserer med hverandre, samler data og tilrettelegger for fleksibel, optimalisert og synkronisert drift, vedlikehold og produksjon. (iv) konfigurering av produksjonsnettverk definert i form av hvordan hele nettverket av aktører, prosesser og aktiviteter, materiell og informasjonsflyt er sammensatt og organisert (utformingen av produksjonsnettverk inkluderer også relasjonene med leverandører), (v) bruk av stordata, maskinlæring og analytiske metoder for sanntidsstyring av logistikk og verdikjeder.

6.4.5 Lavvolumproduksjon

Skandinavisk og spesielt norsk produksjon kjennetegnes ved å tilby varer og tjenester med differensiert design og innovasjon. Norske selskaper innen maritim, olje og gass, offshore, subsea, bygg og anlegg, tung utstyrsindustri, fiskeindustri, møbler og elektronikk designer og produserer kapitalintensive, avanserte og tilpassede produkter. Videre tilpasser produsenten seg kundens spesifikke behov. Produksjonen preges av lave produksjonsvolumer (ofte volumer av en), arbeidsintensitet, lange ledetider, høye nivåer av etterspørselsusikkerhet og hyppige endringer i produktspesifikasjoner. Produksjonsbedriftene er også preget av midlertidige og unike forsyningskjedestrukturer, siden det ofte er behov for å ha leverandører som kan tilby svært spesifikke produkter eller tjenester. Varierende rammebetingelser og økende global konkurranse krever fleksible, dynamiske og tilpasningsdyktige produksjons- og verdikjedestrukturer

Hovedmålet for forskningsområdet er å utvikle løsninger for bærekraftig og smart kundetilpasset One-Of-a-Kind og lavvolum produksjon i norske produksjonsbedrifter gjennom utvikling og bruk av smarte produkter, prosedyrer og prosesser i produksjon og forsyningskjeder for å øke konkurranseskraften til disse virksomhetene i globale markeder. Et viktig mål for å realisere dette er å få etablert et senter for forskningsbasert innovasjon (SFI).

Det er viktig å søke forskningsprosjekter som involverer ulike norske selskaper som spesialiserte seg på lavvolumproduksjon: skipsbygging og marinutstyr, olje- og gassindustri, flyindustri, fiskeoppdrett og fiskeforedling, samt undervannsutstyr og annet tungt utstyr. Det er også viktig å involvere norske selskaper som jobber for et høyere nivå på produkttilpasning, for eksempel møbler og elektronikk.

Sentrale forskningsutfordringer er: (i) digitaliserte sanntidskonsepter for prosjektering, planlegging og kontroll av lavvolumproduksjon, (ii) digitaliserte sanntidskonsepter for optimalisering av smarte fabrikker når det gjelder logistikk og integrasjon med databaserte styringsverktøy, (iii) bruk av sanntidsinformasjon for forbedret logistikkvirksomhet, planlegging og kontroll og styring av forsyningskjeden i lavvolumproduksjon, (iv) utvikle metoder for datainnsamling og analyse for å styrke bærekraften i lavvolumproduksjon, (v) metoder for å redusere ledetidene i produksjonen (effektive kontraktsforhandlinger og verifikasjon, concurrent engineering, håndtering av endringsordrer osv.), og (vi) konkurransedyktige byggestrategier for lavvolumproduksjon (bruk av automatisering, offshoring, modularisering osv.).

6.5 Verdensledende i havet og nordområdene (Havrommet)

Havrom er en av fire tematiske satsningsområder ved NTNU med bred tilslutning der IV bidrar i en fremtredende rolle. Forskningsstrategien skal bidra til at Norge opprettholder sin posisjon som verdensledende i havet og nordområdene.

Regjeringens havstrategi (02/2017) oppsummerer betydningen av dette samfunnsmålet:

Norge er i dag en av verdens ledende havnasjoner. Vår kystlinje er en av verdens lengste, og vi råder over havareal som er mer enn seks ganger større enn vårt landareal. Hver eneste dag går hundretusenvis av nordmenn til en arbeidsplass i de havbaserte næringene, som til sammen står for om lag 70 prosent av våre eksportinntekter.

Havrommet med de tre store blå næringene *maritime transport, offshore olje og gass virksomhet, fiskerier og havbruk* bidrar til en vesentlig del av verdiskapning i Norge og vil gjøre det fremtiden også. I tillegg er nye blå næringer i rask utvikling og vekst: *offshore fornybar energi, marin forvaltning og forskning inkludert marin prospektering, marine mineraler, og turisme*. Som et ledd i klimatilpasning med antatt økende havvann, mer ekstremvær (nedbør, vind) og innovative løsninger for fjordkryssing, vil *kystinfrastruktur* få en stadig viktigere betydning.

6.5.1 Digitalt havrom

Norge har havområder som er 6-7 ganger større enn landarealene. Havområdene omfatter kystsonen rundt Norge og Svalbard og havområdene fra Nordsjøen i syd, Norskehavet, Barentshavet, Nord-Atlanteren og polhavet som følger nye sokkelgrenser, Yermakplataet inn i polbassenget. Kartlegging og overvåking av havområdene inkludert nordområdene er viktig for kunnskapsbasert forvaltning av marine økosystemer, miljø, klima, ferdsel, fiskerier, havbruk, olje og gass, og annen verdiskapning i havet. I tillegg er inspeksjon og vedlikehold av havkonstruksjoner og utstyr for olje og gass, havbruk, offshore vind og marine mineraler ved bruk av robotiserte systemer med avanserte sensorer viktig for sikker og kostnadseffektiv drift.

For olje- og gassvirksomhet er integrert marin kartlegging og overvåking ved bruk av avanserte sensorer på ulike teknologiplattformer helt avgjørende for sikker og miljørobust kartlegging, utvinning og produksjon av hydrokarboner. En holistisk tilnærming der bærekraft står i sentrum er helt avgjørende for nasjonale og internasjonale interesser. Norge som havnasjon har et spesielt ansvar for å lede an i dette arbeidet. Forskningsområdet digitalt havrom på IV omfatter utvikling av metoder og teknologi for integrert marin kartlegging, overvåking og drift av havkonstruksjoner og systemer ved bruk av autonome og robotiserte systemer med avansert sensorteknologi for:

- Integrert marin kartlegging og overvåking i kystnærestrøk, store havdyp og i arktiske områder
- Innhenting av data og materiale for marin prospektering som kan gi ny kunnskap til f.eks. fremskaffe nye medisiner, mat og energi fra havet, eller informasjon for å forstå det marine miljøet bedre
- Økt operasjonell effektivitet og sikkerhet i kartlegging, inspeksjon, forvaltning og vedlikehold for olje- og gassvirksomhet, marine mineraler og havbruk
- Inspeksjon og rengjøring av skip, havner og marine konstruksjoner
- Klassifisering og modellering av marine geohazards.

6.5.2 Sikrere, smartere og grønnere sjøtransport og operasjoner

Internasjonal skipsfart er ryggraden i internasjonal handel, men også en betydelig forurensningskilde. Energieffektivisering og innføring av energikilder med lavere utslipp er viktig for å redusere skipsfartens utslipp og gjøre internasjonal skipsfart mindre miljøskadelig. Norge har også en sentral internasjonal rolle i utvikling av spesialiserte fartøyer til ulike operasjoner for utvikling og utvinning av havrommets resurser. Dette er operasjoner som setter store krav til effektivitet, sikkerhet og miljø.

Gevinster og forskningsmuligheter innen sjøtransport og maritime operasjoner ligger i stor grad i tverrfaglighet og utnyttelse av muliggjørende teknologier. Sentrale stikkord er digitalisering, autonomitet, stordata-analyser, virtuell prototyping, alternative brennstoffer, hybride maskinerisystemer, sjøgangs-egenskaper, multimodal logistikk, risikostyring og levetidsanalyser.

Norge har et sterkt maritimt cluster med lang historie og stor bredde. NTNU må utnytte dette clusteret, og har et potensiale i økt samarbeid med deep sea rederiene, samtidig som eksisterende tett samarbeid med utstyersindustri og offshore skipsclusteret må videreutvikles. Ytterligere automatisering av skipsfarten med bruk av avansert sensor-, kommunikasjons- og reguleringsystemer vil bane vei for ubemannede/reduert bemannede skip som er delvis fjernstyrte og autonome. Dette vil antas å endre logistikkmønstre og forretningsmodeller. Trondheimsfjorden er utpekt som nasjonal arena for uttesting av autonome systemer,

inkludert autonome skip. Det må satses på utvikling av numeriske simuleringer på flere ulike nivåer for ulike anvendelser, samtidig som eksperimentelle undersøkelser både i modellskala i laboratorier og ved å måle på skip i operasjon er viktig. Forbedret risikoforståelse og IT sikkerhetssystemer (cyber security) med adekvat testing og verifikasjon av autonome skipssystemer blir viktig. Det samme gjelder samspill mellom menneske og teknologi for overvåking og håndtering av det enkelte skip, flåte av skip og marine operasjoner. Miljø må være mer enn et honnørord, levetidsanalyser og livssyklusanalyse er gode verktøyer i denne forbindelse.

6.5.3 Levende og produktive kystsamfunn

Norge er en lang og unik kyst og det er viktig at vi har mange produktive og levende samfunn langs kysten. En vesentlig ingrediens er en sikker og pålitelig kystinfrastruktur for næringsvirksomhet, transport og bebyggelse. Tradisjonelt har det vært skipstransport langs kysten og fiske som har vært den vesentlige utfordringen. Men nye utfordringer har kommet til med fornybar energi i kystsonene, havbruk, utbygging av veier og jernbane langs kysten, større etterspørsel etter boliger på kysten samt Arktisk kystteknikk. Som all annen infrastruktur må den ha tilstrekkelig pålitelighet og ha god nok regularitet. Klimaendringer og kostnader gjør at vedlikeholdsplanlegging og styring og adaptiv design blir stikkord i design og drift av ulike typer infrastruktur. Antatt økt havnivå og mer ekstremvær vil utfordre kystinfrastruktur i Norge og verden for øvrig. En stor del av verdens befolkning er bosatt ved havet. Kartlegging av risiko og prioritering av tiltak blir en nasjonal oppgave. All infrastruktur bygges for å bedre menneskenes liv og miljø slik at bærekraft og direkte påvirkning på menneskenes liv og helse må med. Det nye Copernicus programmet gir nye muligheter for overvåking og instrumentering. Vi finner det naturlig å dele inn i følgende anvendelser:

1. Havner og farleder. Dette omfatter også elektrifisering av havner som legger til rette for elektrisk ferger og skip med hybride el. anlegg (kombinasjon av batteri, gass, diesel, etc.)
2. Havbruk
3. Fornybar energi
4. Veier, jernbane og fjordkryssinger langs kysten
5. Boliger og annen bebyggelse
6. Arktisk Kystteknikk

6.5.4 Innovative havkonstruksjoner, systemer og operasjoner

Økt bruk av havet til høsting av mat og fornybar energi er en forutsetning for å kunne nå et bærekraftig samfunn. I fremtiden må havet kunne høstes som en åker og bidra mer i den globale matforsyningen. Vind og solenergi må bidra signifikant til en fremtidig karbonnøytral energikjede. I tillegg er videre utvinning av olje og gass på en mest mulig sikker og miljøvennlig måte meget viktig for Norge som nasjon, og for stabil energileveranse internasjonalt i årene fremover. Dette krever kompetanse og kunnskap om innovative havkonstruksjoner, systemer og operasjoner. Samtidig krever det kunnskap om miljøpåvirkninger for å sikre at utvinning og utnyttning av havet skjer på en bærekraftig måte. Vi må utvikle ny grunnleggende og anvendt kunnskap som kan komme til nytte i alle hav-relaterte næringer i Norge. Samtidig må vi utnytte og overføre kunnskap og erfaringer som er bygget opp gjennom mange tiår i olje- og gassindustrien til nye anvendelsesområder.

Sentralt i dette er havkonstruksjoner, systemer og operasjoner tilknyttet disse.

IV skal levere kunnskap for teknologi i forskningsfronten innen disse temaene. Vi må fokusere på å utnytte tangeringspunktene mellom anvendt forskning og grunnforskning, og mellom ulike fagområder, som hydrodynamikk, konstruksjoner, optimalisering, prosjektering, pålitelighet, bærekraft, biologi, materialteknologi, autonomi, driftssikkerhet og vedlikehold, til å åpne nye, ukjente muligheter. Det er viktig å tenke «utenfor boksen».

6.6 Felles kompetanseområder, muliggjørende teknologi og grunnlagsfag

Alle de fem samfunnsmålene krever oppmerksomhet fra en stor bredde av kompetanseområder. IV-fakultetet innehar spisskompetanse innen både grunnleggende og spissede ingeniørfag som er nødvendig for å imøtekomme disse utfordringene men erkjenner at relasjoner til andre kompetanseområder er avgjørende for

gode resultater. Disse kompetanseområdene sitter både innenfor og utenfor fakultetets virksomhetsområde. Noen av fakultetets forskningsområder er felles i den forstand at de i tillegg til å være egne fagområder representerer kompetanse som benyttes av eller har sentral betydning for andre forskningsområder. Dette gjelder områder som industriell økologi, prosjektledelse og sikkerhet, pålitelighet og vedlikehold. Fakultetets forskning bygger også i stor grad på sentrale ingeniørvitenskapelige grunnlagsfag som for eksempel mekanikk og termodynamikk. I tillegg er utviklingen innen de fem samfunnsutfordringene avhengig av framtidsrettet og hensiktsmessig utnyttelse av muliggjørende teknologier som IKT/digitalisering, Materialteknologi og Nanoteknologi. IV-fakultetets fagmiljøer har kompetanse på å utvikle slike teknologier og en fundamental rolle i å skape kontekst for anvendelse.

6.6.1 Industriell økologi

Industriell økologi jobber med klima, miljø og ulike bærekrafts evalueringer på tvers av mange sektorer og dermed også de fleste av fakultetets fagområder. Forskningsaktivitetene er sentrert rundt anvendelse og utvikling av modeller og metoder for å analysere miljøkarakteristikken til ulike systemer. Disse modellene benyttes til sammenligning av enkeltteknologier via analyser og scenarier for hele segmenter og sektorer fra by-, regionale-, nasjonale- og opp til globale nivå. Metodikken som benyttes er varianter av LCA (livsløpsanalyse) og multi-regionale kryssløpsanalyse modeller. Industriell Økologi er også den vitenskapelige disiplinen som støtter opp om sirkulærøkonomien. Sentralt her er arbeidet med materialstrømsanalyser. Studier og kartlegging av de store antropogene materialsyklusene og deres dynamikk er helt sentralt innen bærekrafts forskningen.

Samlet sett kombinerer Industriell økologi evaluering av konsekvensene menneskelige aktiviteter har på miljøet, med modelleringen av nettverk av industrielle prosesser som utvinner og omdanner ulike ressurser for å tilby tjenester og varer i samfunnet; samt hvordan disse må endres over tid for å komme over i bærekraftige utviklingsbaner.

Det viktigste overordnede målet med forskningen er å framskaffe kunnskap for å støtte beslutninger om bærekraftige veivalg. Det være seg fra beslutninger knyttet til både operative og strategiske prioriteringer innen forskning og utvikling hele veien opp til overordnede grep innenfor klima- og miljøpolitikken nasjonalt og internasjonalt.

Industriell økologi sin rolle i IVs forskningsstrategi er å bidra med miljø- og bærekraftsevalueringer innenfor og på tvers av fakultetets forskningsområder for å sikre at teknologiforskningen tar en miljømessig bærekraftig retning. Dette betyr å analysere enkeltsystemer og teknologier samt se på summen av flere system og teknologivalg innenfor de ulike segmenter av IV-fakultetets ansvarsområde. Industriell økologi vil gjennom dette bidra til å koble sammen mange ulike teknologi- og miljøutfordringer på tvers av disipliner. Dette er viktig fordi mange av våre omstillingsutfordringer må løses i samtidighet på tvers av ulike sektorer.

6.6.2 Prosjektledelse

Prosjekter utgjør en betydelig andel av BNP i de fleste nasjonale økonomier. I følge kilder som Hadjikhani (1996) og Miller og Lessard (2000) er industriell prosjektproduksjon en av de største bransjene på verdensbasis og ifølge Wikström et al. (2010) og Liinamaa (2012) fortsetter den å vokse. Hvor stor andel av et lands økonomi prosjekter utgjør er vanskelig å tallfeste og varierer fra land til land og over tid, men et intervall mellom 25-35% har vært estimert av ulike kilder, f.eks. McKeeman (2002) og EURAM SIG (2012). Dette betyr uansett at enorme pengevolum hvert eneste år kanaliseres gjennom prosjekter, det være seg bygg, infrastruktur, skip, offshoreinstallasjoner, IKT-systemer, organisasjonsutvikling, offentlige reformer, osv. I mange bransjer snakkes det nå om en «prosjektifisering» av måten å jobbe på.

Ti år etter «Rethinking project management» har teknologisk utvikling og endringer i prosjekter kommet til et punkt der vi nå også ser konturene av «prosjektledelse 3.0». Denne fasen av fagområdets utvikling drives av digital/teknologisk utvikling på en rekke områder som utgjør områder/prosesser i prosjekter. De to mest markante utviklingstrekkene som driver denne endringen er: Digitalisering/IKT-utvikling (på områder som digital 3D/4D/5D modellering av tekniske systemer ved bruk av BIM (Building Information Modeling), sensorteknologi/IoT-kapabilitet i materialer og utstyr, visualisering av BIM-modeller og planer ved hjelp av nettbrett/smarttelefoner tilgjengelig for alt fra prosjektleder til fagarbeidere Bruk av stordata, GPS-styring av anleggsmaskiner, transportutstyr, montasjeutstyr, osv.) og teknologisk utvikling i retning av industrialisert

produksjon i prosjekter, i form av modularisering av prosjektleveranser som bygg, skip, broer, plattformer, osv., industriell prefabrikasjon av slike moduler for sammenstilling på byggeplass fremfor plassbygging. Roboter som håndterer stadig mer avanserte operasjoner i prosjektproduksjon, f.eks. sveiseroboter, roboter som borer hull i takkonstruksjoner, osv. og automatiserte transportløsninger for byggeplass, verft eller andre produksjonssteder.

Sentrale forskningsutfordringer er: (i) menneskelig og digitalisert samhandling i prosjektene, (ii) nye og innovative gjennomføringsmodeller for prosjekter, (iii) lean og verdikjedestyring i prosjektsammenheng, og (iv) prestasjonsmåling og faktabasert forbedringsarbeid.

6.6.3 Sikkerhet, pålitelighet og vedlikehold

Sikkerhet, pålitelighet og vedlikehold er viktige egenskaper ved tekniske og sosio-tekniske⁹ systemer. Disse egenskapene uttrykker i korte trekk i hvilken grad en kan stole på at funksjoner virker når de skal, og hva som skal til for å bevare funksjonaliteten over tid og på en måte som ikke påfører skade på mennesker, miljø og andre verdier av stor betydning for samfunnet. For vedlikehold er også kostnader sentralt, for å sikre mest mulig optimale utnyttelse av ressurser. Aktiviteter som har til hensikt å bestemme, avdekke og bevare RAMS¹⁰ egenskaper omtales ofte som RAMS-aktiviteter.

For alle de fem overordnede samfunnsmålene i forskningsstrategien skal komponenter, systemer og tjenester utvikles, produseres og driftes. Å sikre gode RAMS egenskaper vil være sentralt for alle de fem områdene. Utviklingen vil i større og større grad preges av økt digitalisering og mer autonomi. Dette betyr at IKT, inkludert avanserte sensorer, beregningsoperasjoner og algoritmer, blir stadig mer sentrale bestanddeler. Til tross for at flere og flere manuelle operasjoner automatiseres, er mennesker involvert i både design og drift gjennom å ta beslutninger som ikke ennå lar seg automatisere. Nye måter å operere på kan gi nye muligheter, men også nye risikomoment som må håndteres. Man må forholde seg til systemer med stadig høyere kompleksitet, avhengigheter mellom delsystemer og systemer og samhandling system-mennesker som kan foregå over store geografiske områder. Koblingen mot tingenes internett introduserer nye sårbarheter som også må ivaretas. Svikt og utilsiktede og villedende handlinger kan lede til store ulykker og langtidsskader på miljø.

Dagens RAMS metoder er i stor grad utviklet for å forstå elektronisk og mekanisk utstyr. Digitalisering og automatisering introduserer kompleksitet som gjør at tradisjonelle metoder må videreutvikles både med hensyn til å forstå datastyrte systemer, komplekse systemer, og dynamiske sosio-tekniske systemer.

Sentrale forskningsutfordringer er: (i) metoder for å analysere sikkerhet og pålitelighet til komplekse, cyberfysiske systemer: (ii) utvikling av metoder for å analysere systemer med dynamisk oppførsel, (iii) analyse, modellering og overvåking for å forebygge storulykker, (iv) integrasjon og planlegging av drift og vedlikehold hvor sanntids koordinering av drifts- og vedlikeholdsoppgaver i et Industri 4.0 perspektiv blir viktig.

6.6.4 Mekanikk

Mekanikk er et sentralt grunnlagsfag for svært mye av fakultetets forskning, som vi finner igjen som forutsetning for mange av de foreslåtte forskningsutfordringene. Skal denne forskningen være relevant er det imidlertid nødvendig å prioritere forskning også innen de ulike retningene av mekanikken. I materialmekanikken er målet å øke vår forståelse av materialenes mekaniske oppførsel under ytre belastning og å etablere validerte matematiske og numeriske modeller som kan beskrive den observerte oppførselen. Til dette benyttes veletablerte teorier som elastisitets- og plastisitetsteori, dislokasjons- og mikromekanikk, og skade- og bruddmekanikk. Nanomekanikken retter seg mot de minste materialelementer og kan bidra til å forstå fundamentale prosesser. Beregningsmekanikk retter seg mot måten og metodene vi løser de mekaniske grunnligningene på. Den rivende utviklingen i digital regnekraft og visualisering legger til rette for store forskningsutfordringer på områder som Elementmetoden (FEM) og tilsvarende formuleringer, eksempelvis for diskontinuerlige problemer (DEM). Innen Fluidmekanikk kreves det tilsvarende forskning innen

⁹ Tekniske systemer der menneskelige og organisatoriske faktorer inngår som en viktig del av funksjonaliteten.

¹⁰ RAMS = Reliability, Availability, Maintainability and Safety, hvor norsk kortversjon er sikkerhet, pålitelighet og vedlikehold.

beregningsorientert orientert analyse (CFD), særlig i forbindelse med hydrodynamiske turbulente strømningsfelt. Forskning innen Biomekanikk kombinerer materialmekanikk, for representasjon av vev- og benstrukturer og fluidmekanikk for beregning av blodets oppførsel. Biomekanikk er et eksempel på at de ulike områdene av mekanikken kombineres i flere og flere problemstillinger, et annet eksempel er vind-induserte svingninger, kanskje særlig på bruer. Fasemekanikk dreier seg om å kunne beregne innflytelsen av endringer i geometri og egenskaper, som f. eks. ved utbygging av fritt-frembygg bruer. Det aller meste av forskning innen mekanikk krever validering av teoretiske beregninger. Fakultetets laboratoriefasiliteter må derfor holdes kontinuerlig oppdatert i tråd med utviklingen på eksperimentelt utstyr, det være seg innen mikroskopi, tomografi og digital bildekorrelasjon, viktige metoder ved siden av mer tradisjonelle tester.

7 Strategiske samarbeidspartnere

Det er viktig for IV å delta i fora hvor nasjonale og internasjonale strategier utvikles både ut fra NTNUs samfunnsansvar samt for å bidra til utforming av og få innsyn i den fremtidige forskningsagendaen. Ikke minst er dette viktig i forhold til EU hvor det forventes av både næringsliv og forskningsmiljøer engasjerer seg i utvikling av veikart for forskning.

Gjennomføring av store nasjonale og internasjonale forskningsprosjekter forutsetter samarbeid med andre gjennom etablering av konsortia. Dette er for eksempel et krav for å kunne søke støtte gjennom Horisont 2020.

IV må derfor bygge allianser både nasjonalt og internasjonalt. Alliansene må omfatte både forskningsmiljø og næringsliv/forvaltning.

Allianser med utenlandske forskningsmiljø (universiteter, forskningsinstitusjoner og industri) er en viktig faktor for å kunne utvikle fremragende forskning. Fakultet må derfor ha en proaktiv strategi for å etablere og vedlikeholde allianser med de beste internasjonale miljøene innenfor sitt område.

På det nasjonale plan er SINTEF den viktigste samarbeidspartneren for forskning. Eksisterende samarbeidsformer som Gemini-sentrene må videreføres, og de prinsipper for samarbeid som er utviklet under «Bedre sammen»-prosessen må implementeres. IV må utarbeide felles strategier med SINTEF på aktuelle områder. Samarbeidet må være basert på tillit og likeverd. Den foretrukne samarbeidsmodellen er at begge institusjonene er partnere i prosjekter de ønsker å samarbeide om, men NTNU kan også inngå samarbeid på SINTEFs prosjekter gjennom institusjonelle avtaler.

Mye av IVs forskning er basert på anvendelse av muliggjørende teknologier. Dette krever nært samarbeid med fagmiljøer ved andre fakulteter ved NTNU. Mange av løsningene berører menneskers arbeidssituasjon og enkelte skaper etiske dilemma. Derfor er tverrfaglig forskning hvor humaniora og samfunnsfagene bidrar viktig for IV.

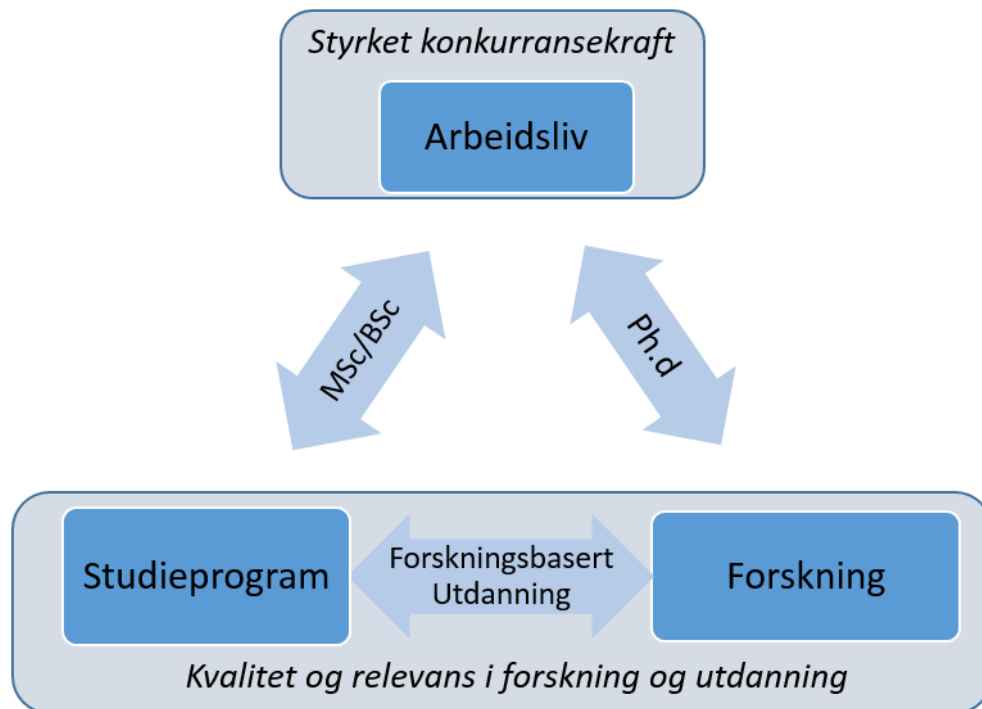
Eksperimentell virksomhet er avhengig av god forskningsinfrastruktur. Forskningsrådet gir midler til oppbygging av nasjonal forskningsinfrastruktur. Dette og andre forhold krever ofte utstrakt samarbeid med andre nasjonale forskningsmiljø. IV skal være åpen for slikt samarbeid der det fører til økt kvalitet.

IV har en lang tradisjon for nært samarbeid med næringsliv, både innen utdanning og forskning. Innenfor flere områder eksisterer det «næringslivsringer» som kontaktorgan mellom NTNU og næringslivet. Erfaringen med disse er positiv og anses som et viktig virkemiddel. Strategien er å videreføre og videreutvikle samarbeidet med næringslivet. Forskning og utdanning ved IV sikres relevans, og i tillegg innovasjon, gjennom systematisk kontakt med aktuelt arbeidsliv – ved forsknings- og studentprosjekter samt etter- og videreutdanning.

Etter fusjonen har IV-fakultetet gjennom campuser i Gjøvik og Ålesund fått tettere kontakt til næringsklynger i disse regionene. Fagmiljøene på campusene i Gjøvik og Ålesund har et særlig ansvar for å bidra til forskningssamarbeid med disse.

Overføringen av kunnskap fra IV til omverden skjer gjennom forskningsbasert utdanning, publisering og samarbeid med forvaltning og næringsvirksomhet, men først og fremst ved at IVs studenter tar med seg den nye kunnskapen ut i samfunnet når de er ferdige med studiene på bachelor, master og doktorgradsnivå. Dette krever at det er tette bånd mellom utdanning og forskning, og at det utføres forskning som er relevant for næringsliv og forvaltning. Figur 4 illustrerer hvordan IV samarbeider med industri og næringsliv i arbeidet med utdanning av master- og doktorgradskandidater. IV øker sin kvalitet og relevans i utdanning og forskning, og gjennom tilgang til kandidater og forskningsresultater vil næringslivet styrke sin konkurransekraft.

Behovet for omstilling i norsk industri og forvaltning krever tilgang på kompetanse som blant annet må komme gjennom de kandidater NTNU utdanner. Utfordringene i forhold til det grønne skiftet og til nye løsninger for produkter og produksjon basert på digitalisering setter en tydelig agenda for forskningsaktiviteten. Resultatene av denne vil forme de fremtidige utdanningsprogrammene.



Figur 4 NTNU samarbeider med industri og næring for økt kvalitet og relevans i forskning og utdanning. Næringen styrker sin konkurransekraft

Samarbeid med næringsliv og andre forskningsmiljø kan oppnås gjennom egne sentra hvor eksempelvis næringsbedrifter kan ha medlemskap. Prosjekt Norge og Norsk Vannkraftsenter er eksempler på slike sentra.

8 Finansiering av IVs forskning

En stor del av forskningen ved IV utføres gjennom finansiering fra eksterne samarbeidspartnere, som Norges Forskningsråd, EUs rammeprogrammer, nasjonal og internasjonal industri, og andre finansieringsformer. Det er et mål å skaffe finansiering av forskning tilsvarende 2/3 av fakultetets finansiering gjennom rammefordelingsmodellen fra statsbudsjettet. En stor del av de eksterne ressursene benyttes til å finansiere doktorgradsstudier.

De eksterne ressursene er enten bidrag eller oppdrag fra næringsliv eller forvaltning, både private og offentlige. De viktigste offentlige finansieringskildene er Norges forskningsråd og EUs rammeprogrammer for forskning.

IV har en rekke samarbeidsavtaler med private eller offentlige bedrifter om forskningssamarbeid. Ekstern finansiering av avgjørende betydning for å opprettholde doktorgradsutdanning på ønsket nivå.

I tillegg til de eksterne ressursene har NTNU betydelige interne ressurser i form av forskningstiden til de vitenskapelig ansatte, tilgang på forskningsinfrastruktur samt egne strategimidler fra Rektor eller fakultetet.

Aktuelle finansieringskilder er forskjellige for de enkelte forskningsområdene og er beskrevet nærmere i grunnlagsrapportene B2 – B6.

9 Prioriteringskriterier

Prioritering av ressurser til forskning skal bidra til at fakultetets overordnede mål nås. Disse målene er omtalt i kapittel 4 og gjelder hele virksomheten ved fakultetet. For forskning peker målene på:

- Kvalitet i forskningen
- Tverrfaglighet
- Internasjonalt samarbeid
- Publisering
- God forskningsinfrastruktur
- Næringsrettet

Kvalitet i forskning oppnås gjennom å satse tungt på fremragende forskning. Slik forskning er gjerne grunnleggende og langsiktig. Også Forskningsrådets teknologifagevaluering fra 2014 peker på dette behovet. I tillegg er det viktig for IV å satse på næringsrettet forskning for å bidra til at forskningen innrettes med sikte på fremtidige innovasjoner i industri og forvaltning.

For prioritering av strategiske forskningsområder/forskningsaktiviteter er det viktig at det blir brukt kjente kriterier. Følgende kriterier bør gjennomgås i slike tilfeller. Kriteriene er ikke prioriterte innbyrdes.

- Relevans til visjon, samfunns mål, strategiske forskningsområder
- Bidrag til fremragende forskning (langsiktig grunnleggende forskning)
- Kvalitet på forskermiljøet.
- Tverrfaglighet
- Internasjonal relevans eller næringslivsrelevans
- Svar på trender og utfordringer
- Muligheter for ekstern finansiering

10 Iverksettelse av forskningsstrategi

En god implementering av forskningsstrategien er en forutsetning for å lykkes. Implementeringen vil primært skje fra høsten 2017. Eierskapet til forskningsstrategien er IVs linjeorganisasjon. Det er de enkelte lederne som har ansvaret for involvering og planlegging i egen organisasjon. Viktige aktiviteter vil være:

- Mål og handlingsplaner for implementering av revidert forskningsstrategi, sommer/høst 2017
- Høring internt
- Høring eksternt
- Mål og handlingsplaner for forskningsaktiviteter i faggruppene. (Gjennomføres hvert år.)
- Etablering av nye faste årlig arenaer for eksempel
 - Forskningsdag(er)
 - Tematiske arenaer
- Fast rapportering i ledergruppen

Forkortelser

AMOS	Autonomous Marine Operation Systems
AUR-lab	Advanced Underwater Robotics lab
BA-næringen	Bygg og anleggsnæringen
BIM	Bygningsinformasjonsmodellering
BNP	Brutto nasjonalprodukt
BRU21	Bedre ressursutnyttelse
BSc	Bachelor of Science, tre-årig ingeniørgrad
CAD	Computer assisted design
CFD	Computational Fluid Dynamics
COP21	Paris klimakonferanse 2015
DEM	Distinct Element Method
EERA	European Energy Research Area
EPC	Energy Performance Contract
ERC	European Research Council
ESFRI	European Strategy Forum on Research Infrastructures
ETO	Engineer to order
EU	Europeiske Union
EURAM SIG	European Academy of Management Special Interest Group
EVU	Etter- og videreutdanning
FEM	Finite Element Method
FET	Fundamental Emerging Technologies, program i H2020
FME	Senter for forskning på miljøvennlig energi, program i Norges forskningsråd
FN	Forente nasjoner
FORNY 2020	Innovasjonsprogram i Norges forskningsråd
FoU	Forskning og utvikling
FRIPRO	Fri prosjektstøtte, program i Norges forskningsråd
GIS	Geografisk informasjonssystem
H2020	Horizon2020, EUs 8. rammeprogram for forskning
HiST	Høgskolen i sør-trøndelag
HMS	Helse, miljø og sikkerhet
IKT	Informasjon- og kommunikasjonsteknologi
IoS	Internet of Systems
IoT	Internet of Things
ITS	Intelligente Transport Systemer
IV	Fakultet for ingeniørvitenskap
IVT	Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
LCA	Life Cycle Analysis

LNG	Liquid Natural Gas
LPG	Liquid petroleum gas
MRL	Manufacturing readiness level
MSc	Master of Science, fem-årig ingeniørgrad
NTNU	Norges teknisk naturvitenskapelige universitet
NTNU-IT	Sentral avdeling for informasjonsteknologi ved NTNU
NTNU-TTO	NTNUs Technology Transfer Office
NTP	Nasjonal Transportplan
OECD	Organisasjon for økonomisk samarbeid og utvikling
Ph.d.	Philosophae Doctorae, doktorgradsutdanning
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability and Safety
RIF	Rådgivende ingeniørers forening
SFF	Senter for fremragende forskning, program i Norges forskningsråd
SFI	Senter for forskningsbasert innovasjon, program i Norges forskningsråd
SMS	Seafloor Massive Sulphide
TBS	Trondheim Biologiske Stasjon
TRL	Technology Readiness Level
TSO	Tematisk Satsningsområde
UAV-lab	Unmanned Aerial Vehicle - laboratoriet
ZEB	Zero Emmission Building
ZEN	Zero Emmission Neighbourhoods
