

Grønt skifte i bygget miljø



GRUNNLAGS- og STRATEGIRAPPORT

4. september 2017

Karl V. Høiseth



 NTNU Fakultetet for ingeniørvitenskap Adresse: Høgskoleringen 6, NTNU NO-7491 Trondheim NORWAY Telephone: +47 73 59 45 01	NTNU/IV RAPPORT
	TITTEL: Forskningsstrategi IV-fakultetet 2018-2022 Del B, Bygg-området
	FORFATTER(E): Arbeidsgruppen for bygg-området v/ Karl V. Høiset
	KUNDE: Styringsgruppen v/ Dekanus Ingvald Strømmen
ABSTRAKT: Rapporten dokumenterer grunnlaget for utarbeidelsen av revidert forskningsstrategi for perioden 2018 til 2022 for Fakultet for Ingeniørvitenskap (IV), innen Bygg-området. Betydningen av det bygde miljøet for levestandard og livskvalitet er udiskutabel. Ut fra samfunnsmessige behov, politiske føringer, muligheter for finansiering og IV sin kompetanse på sektoren foreslår arbeidsgruppen å møte utfordringer til det bygde miljøet nasjonalt og globalt om effektivitet, energi og ressursbruk, miljø, klima og bestandighet med forskning som sikter mot et bærekraftig bygd miljø, rettet mot et «Grønt skifte» og en «Digital fremtid», med fokus på: • Infrastruktur • Bygg • Byggematerialer • Vannressurser • Transportløsninger • Digital byggeprosess Forskningsstrategien forutsetter utvikling og grunnleggende forskning innen konstruksjonsteknikk, vannfag, transportfag, bygningsmaterialer og bygningsfysikk, anleggsteknikk, geoteknikk og geologi. I tillegg må kunnskapen i de sentrale ingeniørvitenskapelige grunnlagsfagene utvikles ved relevant forskning. Fakultetet baserer sin virksomhet på flere slike grunnlagsfag. I forskningsstrategien har vi valgt å ha et særlig blikk på Mekanikk. Ikke fordi andre grunnlagsfag ikke er viktige men fordi en stor del av våre forskningsaktiviteter krever oppdatert kunnskap innen de ulike områdene av mekanikken. Det skal satses målrettet på bruk av informasjonsteknologi og laboratorier som forskningsredskap. Det understrekes at dette må betraktes som en samlet, koordinert satsing på forskning rettet mot bærekraftige løsninger for bygg og infrastruktur, der bidrag fra alle etablerte fagmiljøer ved NTNU og samarbeidende institusjoner som er relevante for det byggfaglige området er nødvendige. Disse arbeidene er grunnlag for de endelige prioriteringene som er presentert i delrapport A, hovedleveransen til dette prosjektet.	

Innholdsfortegnelse

1. Innledning.....	1
2. Bakgrunn for forslag til strategiske satsinger.....	1
3. Strategiske forskningsområder	6
3.1. Bærekraftig og klimatilpasset infrastruktur	7
3.2. Energieffektive og funksjonelle bygg.....	12
3.3. Fremtidens byggematerialer.....	14
3.4. Trygge vannressurser	18
3.5. Optimale transportløsninger	21
3.6. Digital, effektiv byggeprosess	22
3.7. Mekanikk, ingeniørvitenskapelig grunnlagsfag.....	26
4. Grunnleggende byggfaglig kompetanse.....	29
5. Tverrfaglig samarbeid på NTNU innen bygg, anlegg og infrastruktur.....	31
6. Faggruppenes strategiske samarbeidspartnere.....	32
7. Arbeidsgruppen for Bygg-området	35

1. Innledning

Fakultet for ingeniørvitenskap ved NTNU har i løpet av høsten 2016 og våren 2017 utarbeidet en revidert forskningsstrategi. Denne skal være et veikart for forskning innenfor fakultetets ansvarsområde og angi hvordan den svarer på globale og nasjonale utfordringer og teknologiske utviklingstrender. Forskningsstrategien skal danne grunnlag for fakultetets prioritering og allokering av ressurser frem mot 2022, samt for hva slags utdanning fakultetet skal tilby for å svare på etterspørsel og krav næringsliv og forvaltning.

Fakultetets forskningsstrategi er inndelt i 6 målområder, nemlig:

- Sikrere, renere og effektiv energi (Energi)
- Funksjonell og bærekraftig infrastruktur og bygget miljø (Bygg)
- Verdensledende i havet og nordområdene (Havrommet)
- Bærekraftig og innovativ produksjon i Norge (Produksjon)
- Bærekraftig utvinning av mineralressurser (Mineraler)

Denne rapporten beskriver *Funksjonell og bærekraftig infrastruktur og bygget miljø*, og sammenfatter arbeidet til arbeidsgruppen for Bygg-området. Forskningsstrategien bygger på, eller rettere sagt, er en revisjon av tidligere *Fagplan 2012-2020, Bygg anlegg og infrastruktur* (v/Steinar Nordal).

2. Bakgrunn for forslag til strategiske satsinger

• Samfunnsnytte og bærekraft som overordnet mål

Denne planen har som intensjon å øke forskningen innen bygg, anlegg og infrastruktur gjennom å identifisere områder der forskningen vil gi betydelig samfunnsnytte, spesielt rettet mot *det grønne skiftet (innovasjons-skiftet)* og *digitalisering*. Samtidig vil vi vektlegge IV sitt ansvar for grunnleggende forskning. Innen bygg, anlegg og infrastruktur må vi derfor kombinere grunnleggende forskning og mer anvendt forskning i henhold til forskningspolitiske signaler fra EU og Norges forskningsråd, som legger økt vekt på *Innovasjon* og *Virkning (Impact)*. I Stortingsmelding nr 7 (2008-2009) defineres *Innovasjon* som en ny vare, en ny tjeneste, en ny produksjonsprosess, anvendelse eller organisasjonsform som er lansert i markedet eller tatt i bruk i produksjonen for å skape økonomiske verdier. *Virkning* refererer til at et foreslått prosjekt eller tiltak vil gi kortsiktige og langsiktige, positive (og negative) konsekvenser. OECD stiller opp *Relevans (Relevance)* og *Bærekraft (Sustainability)* som viktige kvalitetskriterier for prosjekter generelt i tillegg til *Virkning*. *Relevans* refererer til at prosjektet retter seg mot politisk prioriterte samfunnsbehov. *Bærekraft* dreier seg om at nytten bør vedvare. På norsk brukes også uttrykket *Levedyktighet* for dette. En analyse av *Bærekraft* kan ifølge OECD baseres på Sustainability Impact Assessment (SIA), eller liknende analyser, hvor *økonomisk, sosial og miljømessig nytte* vurderes.

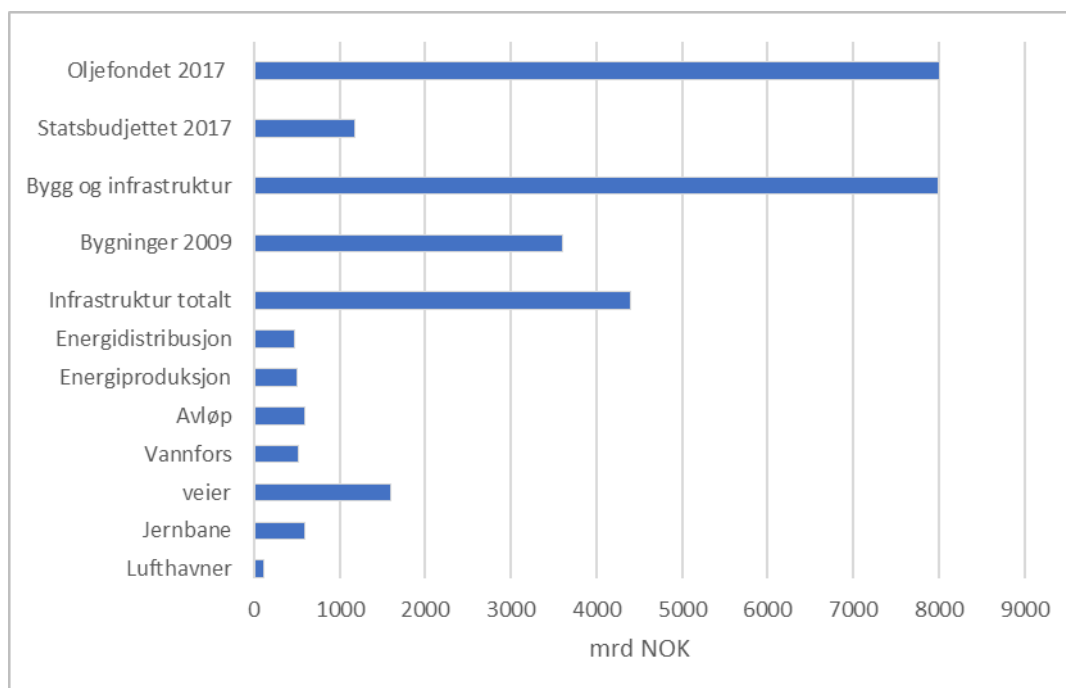
I løpet av det siste tiåret har en globalt fått en sterkt økende oppmerksomhet om behovet for en bærekraftig utvikling. I rapporten, Agenda 21 for bærekraftig bygging, som er utarbeidet av den internasjonale organisasjonen for BA-forskning CIB (International Council for Research and Innovation in Building and Construction), heter det at: *"Denne samfunns-sektoren er av en så vital og grunnleggende betydning at de fleste andre industriområder i verdenssamfunnet ganske enkelt blekner i sammenligning. Hensiktsmessig boligstandard og*

nødvendig infrastruktur for transport, kommunikasjon, vannforsyning, avløp, energiforsyning, kommersielle og industrielle aktiviteter for å møte behovene for en voksende verdensbefolkning utgjør den viktigste utfordringen. HABITAT II Agenda understreker det faktum at bygg- og anleggsnæringen er en av de viktigste bidragsyterne til den sosiale og økonomiske utviklingen i hvert land. Bygg- og anleggsnæringen og det bygde miljøet må sees på som to av nøkkelområdene dersom vi skal oppnå en bærekraftig utvikling i våre samfunn.”

- **Verdier og forskning innen bygg, anlegg og infrastruktur**

Vi har i forskningsstrategien valgt å benytte følgende definisjon på infrastruktur:
Fysisk infrastruktur (eksklusiv bygninger) som, konstruksjoner og anlegg for samferdsel, bergrom, vannforsyning og avløp, behandling av restprodukter og produksjon og forsyning av energi.

Den fysiske, landbaserte infrastrukturen i Norge, i tillegg til landets totale bygningsmasse regnes å representere ca. 70 % av landets realkapital, og gjenanskaffelsesverdien kan anslås til i størrelsesorden NOK 8000 mrd. For eksempel har Statistisk sentralbyrå (SSB) beregnet at verdien av norske boliger i 2009 var ca. 3600 mrd. Verdien av norske vann og avløpsanlegg er beregnet til 1200 mrd (Norsk Vann 2013). I Figur 1 er verdien av infrastruktur og bygninger sammenlignet med statsbudsjettet (inntekt) for 2017 og verdien av Statens Pensjonsfond - utland per april 2017. I følge SSB er den samlede investeringen i bygninger og anlegg ca. 50 % av total bruttoinvestering i fast realkapital i Norge, og er anslått til NOK 9583 mrd i 2014 alene. I Norge hadde BA-næringens 56 154 bedrifter i 2014 en omsetning på 462 milliarder, og den sysselsatte ca. 230 000 personer (SSB).



Figur 1 Anslåtte gjenanskaffelsesverdier for infrastruktur (2015) og bygninger (2014) sammenlignet med Oljefondet og Statsbudsjettet.

Regjeringen har i 2011 angitt at ca. 70-80 % av de bygninger som vi har i dag, vil eksistere også i 2050. Levetiden for nye vann og avløpsledninger skal etter moderne krav være minst 100 år. Det er i dag et stort etterslep når det gjelder vedlikehold og forvaltning av hele infrastrukturen, og det er i flere sammenhenger angitt investeringsbehov for flere hundre milliarder kroner for en tilfredsstillende oppgradering av denne. En omfattende dokumentasjon av dette finner vi i rapporten "State of the nation", som ble utarbeidet av Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF) i 2010, revidert i 2012 og 2015. Både nåværende mangel på ressurser for tilfredsstillende vedlikehold og det faktum at nåværende praksis for oppgradering og vedlikehold ikke er bærekraftig i mange sammenhenger, understreker at det er et stort og prekært behov for forskning og innovasjon for å finne nye løsninger.

NTNU sin visjon med formuleringen: "Kunnskap for en bedre verden" utfordrer oss til økt forskning for det bygde miljøet. Det dreier seg om utvikling av ny kunnskap og løsninger som også sikrer fremtidige generasjoners livskvalitet. Omfanget av utfordringen kan illustreres med at verdens befolkning i følge FN passerte 7.4 milliarder i løpet av 2016.

- **Teknologiske trender/stikkord og henvisninger av betydning for området bygg, anlegg og infrastruktur**
 - Digitalisering, ved mer effektive og autonome tekniske systemer og arbeidsprosesser
 - Økt fokus på produksjon av fornybar energi og redusert energibruk i bygninger
 - Ønske om reduksjon av utslipp – CO₂ og miljøgifter – fra bygd miljø og transport
 - Utvikling av nye materialer og produkter - bruk av nanoteknologi
 - Økt fokus på bruk av fornybare materialer, mellom annet trematerialer.
 - Ressurstilgangen (eks.: geologiske byggematerialer - tilslag) blir vanskeligere.
 - Nye muligheter i IT baserte verktøy og digitale modeller - BIM
 - Nye muligheter for instrumentering og tilstandsovervåkning, sensorteknologi
 - Økende transportbehov – kan noe transport reduseres med lokale materialer?
 - Økt fokus på bærekraftige transportmiddel – gang, sykkel og kollektivtransport
 - Bedre og mer effektivt anleggsutstyr og ny anleggsteknologi
 - Infrastrukturen eldes, krav til vedlikehold, fornyelse og kunnskap om tilstand
 - Økt fokus på helse og innemiljø.
 - Økte krav til sikkerhet og risikovurderinger
 - Mer fokus på jus og strengere økonomisk styring
 - Mer omfattende regelverk og krav
 - Mer komplekse prosesser for planlegging og bygging, økte krav til dokumentasjon
 - Økt fokus på gjenvinning av ressurser i avløpsvann

<http://unfccc.int/2860.php>

<http://ipcc.ch/>

[Digitalt veikart - bnl.no](#)

www.gronnkonskurranseskraft.no/

www.rif.no/om-rif/state-of-the-nation/

www.bygg21.no/

www.prosjektnorge.no/

www.klima2050.no/

<https://dibk.no/no/BYGGEREGLER/>

www.ntp.dep.no/

www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2010-10

Klimakonvensjonen Paris 2015

FNs internasjonale klimapanel

BNL om digitalisering

Grønn konkurransekraft, Regjeringsutvalg

RIF om Norges tilstand

Produktivitet og bærekraft BAE-næringen

Norsk senter for prosjekttrettet virksomhet

SINTEF/SFI klimaendringer bygd miljø

TEK 17 nye tekniske byggeforskrifter

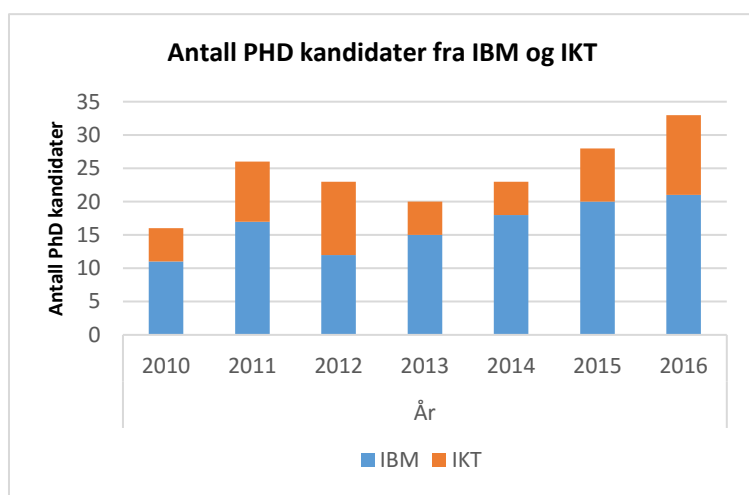
Nasjonal transportplan 2018-2029

Tilpassing til eit klima i endring

- **Status pr. i dag**

Etter fusjonen med de tre høyskolene og omorganiseringen, er det ved IV-fakultetet særlig Institutt for bygg og miljø (IBM), Institutt for konstruksjonsteknikk (IKT), Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk (IHB-Ålesund) samt Institutt for vareproduksjon og byggteknikk (IVB-Gjøvik) som har *Bygg* som sitt virkeområde. Historisk sett er det instituttene IBM og IKT som har hatt forskning som en primær del av virksomheten. Fusjonen og samarbeidet med de tidligere høyskolene vil imidlertid føre til økt forskningsinnsats for NTNU som helhet. Det viser nettopp arbeidet med denne Forskningsstrategien, der IHB, IVB og IBYG har engasjert seg sterkt i forslag til forskningsutfordringer.

Ved utgangen av 2016 var det 74 fast vitenskapelig ansatte ved instituttene IBM og IKT, og det ble uteksaminert 33 PhD kandidater, se Figur 2. Dette tilsvarer ca 0,45 PhD kandidater uteksaminert per år per vitenskapelig ansatt. IV fakultetet har forventning om at de vitenskapelig ansatte til enhver tid skal ha hovedansvar for 3 PhD studenter, i gjennomsnitt. De to instituttene er i ferd med å nå dette måltallet. I dag er situasjonen 2.73 PhD studenter/vitenskapelig ansatt. Antall uteksaminerte PhD kandidater vil dermed øke betraktelig de nærmeste år, til ca 0.80 PhD kandidater uteksaminert per år per vitenskapelig ansatt - under forutsetning av at den positive rekrutteringen til PhD-studiet holder seg.



Figur 2 Antall PhD kandidater uteksaminert fra IBM og IKT de 7 siste år

- **Politiske signaler gjennom Norges forskningsråd**

Basert på tydelige politiske signaler fra regjering (departementene) og Storting har Norges Forskningsråd prioritert to store tematiske forskningsområder, Energi og miljøteknologi, Klimaendringer og klimapolitikk. Av spesiell interesse for BA næringen finner vi i Forskningsrådets strategier disse stikkordene:

- Energieffektivisering
- Klimavennlig kraft
- Miljøvennlig transport

Satsingen innenfor forskningssentrene for miljøvennlig energi (FME) viser forskningspolitiske prioriteringer fra Forskningsrådet og NTNU:

- Centre for Environmental Design of Renewable Energy (CEDREN)
- Norwegian Research Centre for Offshore Wind Technology (NOWITECH)

– The Research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB)

For BA sektoren er det forskning på konsekvenser og klimatilpasninger som er aktuelle under overskriften *klimaendringer og klimapolitikk*.

Flere etablerte forskningsprogrammer som Senter for fremragende forskning (SFF), Senter for forskningsdrevet innovasjon (SFI) etc. bidrar til forskning innenfor bygg, anlegg og infrastruktur ved NTNU og SINTEF med flere:

SFI: Centre for Advanced Structural Analysis (CASA)	(2015-2023)
SFI: Bærekraftig arktisk kyst- og maritim teknologi (SAMCoT)	(2011-2018)
SFI: Reduksjon av risiko ved klimaendringer på det bygde miljø (Klima 2050)	(2015-2023)

Norges forskningsråd målbærer i dag i liten grad helhetlig forskning på tema innen bygg, anlegg og infrastruktur. Et helhetlig program for prioritert forskning innen bygg, anlegg og infrastruktur burde være et mål for næringen sammen med forskningsinstitusjonene.

- **“State of the nation”**

Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF) har utarbeidet rapporten ”State of the Nation”, der Norges infrastruktur får karakterer på en skala fra 1 – 5 der 5 er best. ”Jernbane og avløpsanlegg får karakter 2 som betyr at anleggene er i en så dårlig forfatning at funksjonaliteten er truet. I midtsjiktet 3 er kommunale bygg, helsebygg, riks-/fylkesveier, kommunale veier og vannforsyningsanlegg. Lufthavner, avfall, energiproduksjon og energidistribusjon får karakteren 4, noe som viser at vi også har gode anlegg.”

- **EU forskningen**

EU sitt neste rammeprogram, Horizon 2020, signaliserer muligheter for forskningsfinansiering innen fornybar energi, redusert energibruk, klima, vann og transport. Bærekraftig infrastruktur synes også å få fotfeste, men satsingen er mer diffus så langt. Innovasjon, nyskapning og produksjon gis vekt. European Construction Technology Platform har prioritert følgende tema for Horizon 2020:

- Energy Efficient Buildings
- Ageing Society
- Infrastructure

Et aspekt ved bærekraft er økende vekt på en biobasert økonomi. Forskningsinitiativer i EU frem mot Horizon 2020 uttrykker dette gjennom begrepet KBBE (Knowledge Based Bio Economy).

Det er flere relevante plattformer, bla Water and Wastewater Technology Platform som fremmer prosjekter relatert til vannressurser og oppgradering av ledningsnett. Vi har også JPI-Urbant Europa og JPI-Vann som er knyttet til byrelatert infrastruktur.

- **Måldefinering 2022 for arbeidsgruppens områder**

Betegnelsen ”Internasjonalt fremragende” i IVT sin visjon må forstås slik at vår forskningsvirksomhet skal være betydelig bedre enn middels god. Begrepet oppfattes å tilsvare de høyeste karakterer, 4 eller 5 i internasjonale evaluering. Det er en ambisjon å heve alle områder som fortsatt skal dekkes til dette nivået.

Virkemidlene for dette vurderes å være:

- Klok bruk av egne ressurser på IV-fakultetet i tverrfaglig samarbeid med andre enheter ved NTNU.
- Næringsssamarbeid (etablering av 15 nye næringslivsfinansierte PhD – stillinger innen sektoren er lansert av Dekanus som utgangspunkt for en dialog med Næringen).
- NFR og/eller EU Finansiering (som Horizon 2020 – og JPI etc.).

Arbeidsgruppen mener at NTNU når lengst i sin forskning for å oppnå målsettingen gjennom et tett samarbeid med SINTEF og norsk næringsliv.

3. Strategiske forskningsområder

Ut fra samfunnsmessige behov, politiske føringer, muligheter for finansiering og IV sin kompetanse i sektoren, foreslår arbeidsgruppen å møte utfordringer til det bygde miljøet nasjonalt og globalt om effektivitet, energi og ressursbruk, miljø, klima og bestandighet med forskning som sikter mot et **bærekraftig bygd miljø**, rettet mot et «**Grønt skifte**» og en «**Digital fremtid**» med følgende forskningsområder:

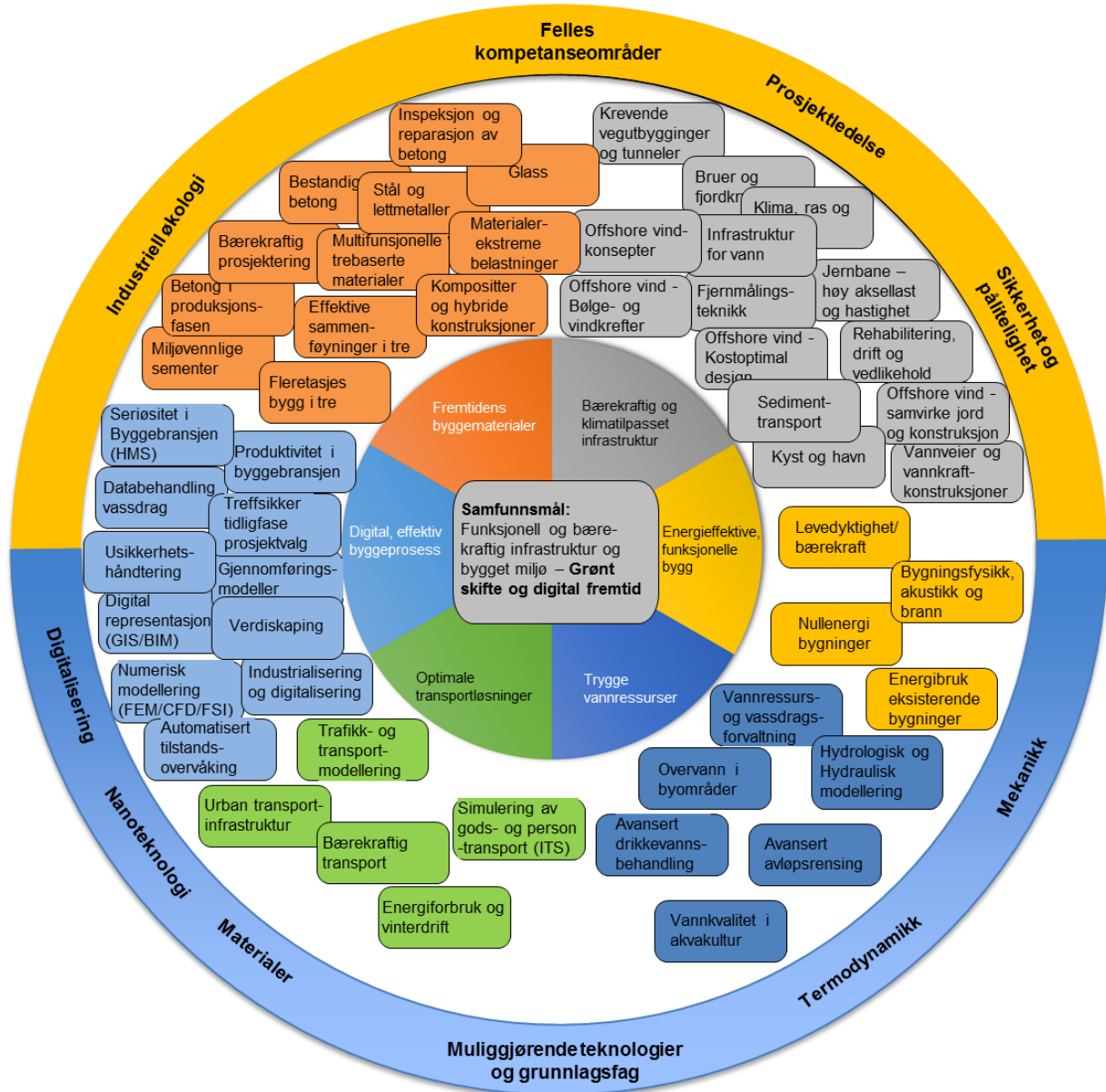
- **Bærekraftig og klimatilpasset infrastruktur**
- **Energieffektive og funksjonelle bygg**
- **Fremtidens byggematerialer**
- **Trygge vannressurser**
- **Optimale transportløsninger**
- **Digital, effektiv byggeprosess**
- **Mekanikk, ingeniørvitenskapelig grunnlagsfag**

Forskningsstrategien forutsetter utvikling og grunnleggende forskning innen konstruksjonsteknikk, vannfag, vegfag, bygningsmaterialer og bygningsfysikk, anleggsteknikk, geoteknikk, geologi og bærekraftanalyser.

Digitalisering og bruk av ny teknologi er et område som vil understøtte effektive prosesser innenfor de nevnte sektorene. Sentrale målsetninger er å redusere tidsbruk og kostnader, og samtidig bedre kvaliteten på planprosessen og det bygde miljøet.

Det skal satses målrettet på bruk av informasjonsteknologi og laboratorier som forskningsredskaper.

Hver av forskningsområdene inneholder store forskningsutfordringer, som er beskrevet i det følgende og illustrert med "Bygg-kartet" i Figur 3.



Figur 3 Forskningskartet bygg – illustrasjon av forskningsutfordringer knyttet til områder

3.1. Bærekraftig og klimatilpasset infrastruktur

I forskningsstrategien har vi valgt å definere infrastruktur slik: Fysisk infrastruktur som konstruksjoner og anlegg for samferdsel, bergrom, vannforsyning og avløp, behandling av restprodukter og produksjon og forsyning av energi, altså eksklusive bygninger. 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).

Nasjonal Transportplan 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.

Eksisterende sentra, store pågående aktiviteter

Forskningen vil innen deler av feltet dra stor nytte av kunnskapen fra Etatsprogrammet NIFS (2012-2016) i regi av Statens Vegvesen, Jernbaneverket og NVE, Forsknings-satsningen E39 i regi av Statens Vegvesen, samt NFR programmet GeoFuture (2011-2019), SFI Klima 2050 (2015-2023), SFI SamCot (2011-2019). I tillegg vil kompetansen fra SFI COIN (2007- 2014) og SFF GEOHAZARDS (2003 – 2012), Horizon 2020 programmene BINGO, DestinationRail, SAFER-LC og KMB prosjekt RECOVER være relevant.

Mål

Forskningen retter seg mot bærekraftig planlegging, bygging og vedlikehold av 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.

Strategier

Det siktes mot store forskningsinitiativ/program i regi av IV med tung næringslivsstøtte blant annet i form av EU prosjekter der ansvaret tillegges IBM. Det bør satses videre basert på SFI Klima 2050. Finansiering skal søkes gjennom NFR/EU/ansvarlige statlige etater i allianse med internasjonale samarbeidspartnere med vekt på PhD produksjon. En PhD skole bør vurderes innen deler av feltet.

Prioriterte forskningsutfordringer

- Krevende nye vegutbygginger, undergrunnsanlegg i byer, tunneler i berg og løsmasser
Vegteknologisk forskning på dekke og bærelag i felt og laboratorium er nødvendig for robuste løsninger og økt levetid. Vanskelige grunnforhold krever innovative geotekniske løsninger
Flomfare og avledning av vann stiller krav til utforming og lokalisering av anlegg som krever bedre og innovative hydrologisk og hydraulisk metoder og løsninger tilgjengeliggjort for planleggere. Løsmasser og knust fjell er det materialet vi benytter oss mest av ved bygging av vår infrastruktur. Økt utnyttelse av lokale geo-materialer er påkrevet og fordrer økt materialteknologisk forskning på geomaterialer, inklusive innovative metoder for grunnundersøkelser. Et større fokus på en probabilistisk tilnærming til materialegenskapene er ønsket i videre forskning. Befolkningsøkning i byer og gode bomiljø i bysentra krever flere, større og dypere konstruksjoner i undergrunnen enn før. Løsninger krever forskning innen bergteknikk, geoteknikk og anleggsteknikk. Krav om raskere lokal og regional transport vil kreve stadig større og flere tunnelanlegg i fjell og løsmasser. FoU knyttet til planlegging og bygging av lange tunneler under høye bergspenninger er aktualisert. Vegteknologisk forskning på dekke og bærelag i felt og laboratorium er nødvendig for robuste løsninger og økt levetid basert på lokalt råstoff.
(Ansvar: IBM/Bygg og anlegg/Geoteknikk, VA, Vassdrag, IGP, IKT)

- Bruer og nye rekordlange fjordkryssninger. Betong og tre i brukonstruksjoner

Nye broløsninger åpner for ferjefrie forbindelser der en tidligere har vurdert dette som umulig. Utvikling av hengebruer med lengre spenn, flytebruer, neddykkede flytetunneler krever avansert materialteknologi og grensesprengende innovasjon. Risiko og sårbarhetsanalyser, usikkerhet i lastvirkninger og dynamisk oppførsel må studeres. Forbedrede modeller for ekstreme naturlaster inklusive vind, bølger, strøm, is og seismisk aktivitet er nødvendig for pålitelige løsninger. Forskning kreves også for å ivareta sikkerhet, pålitelighet og levetids-forlengelse av eksisterende brukonstruksjoner. Overvåkningssystemer ved hjelp av målinger av dynamisk respons og tilstandsanalyse bør videreutvikles. Forskning på de mange mekaniske egenskaper til betong er nødvendig for å videreutvikle denne type konstruksjoner. Fokus må økes på levetid og bestandighet av betong med vekt på økt forståelse av nedbrytningsmekanismer som kloridinntrengning, karbonatisering, fryse/tine, alkali/silika reaksjoner og armeringskorrosjon. Dette er nødvendig for vedlikehold og rehabilitering av betong i brukonstruksjoner for bærekraftige totalløsninger. Broer med tre som konstruksjonsmateriale er aktuelle, dels motivert av ressurs og miljøhensyn, og det er nødvendig med forskning for å sikre god levetid. Utvikling av modeller for å forespeile utvikling i teknisk tilstand, og for å ta optimale beslutninger og strategier for inspeksjoner og vedlikehold. Bruk av «big» data og flere datakilder. Utvikling av strategier for akseptkriterier og risikostyring for forebygging av storulykker. Bruk av «big» data og flere datakilder. (Ansvar: IKT, IMP/RAMS)

- Klima, ras og flom

Stengte veger og jernbane på grunn av ekstremnedbør, ras og flom koster samfunnet store beløp. Forskning må fortsette på utløsningsmekanismer, konsekvenser av og tiltak mot skader knyttet til ekstremnedbør, flom, flomskred, sørpeskred, fjellskred, steinsprang og løsmasseskred, ikke minst i kvikkleireområder, strandsoner og deltaområder. Forskning må fortsette for å sikre riktig dimensjonering av overvannsanlegg knyttet til veg og jernbane, inklusive dimensjonering av kulverter.

Forskningen må inkludere hvordan scenarier for klimaendringer påvirker dimensjoneringskriteriene og hvordan man best tilpasser utforming og løsninger til disse. Utvikling av bedre metoder for forebygging av storulykker som hensyntar effektiviteten av sikringssystemer under miljøpåvirkning. Bruk av «big» data og flere datakilder. (Ansvar: IGP, IBM/Geoteknikk/Vassdrag, IMP/RAMS)

- Jernbane. Høy aksellast/hastighet mellom bysentra, inspeksjon, vedlikehold og drift.

Betydelig satsing er nødvendig for jernbanesektoren. Med samme energimengde transporterer elektrisk jernbane dobbelt så mange personer som bensindrevne personbiler og 4 ganger så mange som fly. Det er ønskelig at større mengder gods og persontransport overføres til jernbane. Jernbane med høyere aksellast og hastighet krever nye spor, sporvekslere og traséer og bedre løsninger for mellom annet dynamikk av kontaktledningsanlegg, interaksjon mellom kjøretøy, konstruksjon og grunn, støy og vibrasjoner, rutiner for oppbygging og vedlikehold av sporet og økte påkjenninger på eksisterende og nye jernbanebruer. Nye løsninger betyr større bruk av sensorer og instrumentert tilstandskontroll. For trasé i dagen vil skredproblematikk både i fjell og løsmasser, snø og vinterdrift stå sentralt. Effektiv bruk og gjenbruk av råstoff som ballastpukk er nødvendig for å redusere levetidskostnader. God integrering av raskere jernbane sammen med andre transportmetoder er viktig for å utnytte investeringene best mulig. Utvikling av nye modeller for simulering av gods og persontransport (ITS) vil være et nyttig virkemiddel. Utvikling av mer avanserte modeller for å analysere og ivareta krav til sikkerhet og pålitelighet i mer moderne signalsystem, som ERTMS. Utvikling av mer avanserte modeller for å forespeile utvikling i teknisk tilstand, og

for å ta optimale beslutninger og strategier for inspeksjoner og vedlikehold. Bruk av «big» data og flere datakilder.

(Ansvar: IBM, IKT, IGP, IMP/RAMS)

- Kyst og havn

Sjøtransport bør utnyttes for mer integrerte og miljøriktige transportløsninger. Norge har en lang kyst og vi har et potensiale i forbedrede, bærekraftige løsninger for effektiv og trygg transport til sjøs gjennom forskning på gode havner inklusive fiskerihavner (moloer og kaianlegg), farleder. Forskingen bør også dekke miljømessige utfordringer innen mudring og deponering, samt spesielle utfordringer i arktiske strøk. Betong vil være et sentralt byggemateriale i arktiske strøk. Forskning på betongegenskaper ved lave temperaturer som luftinnføring i fersk og herdet betong, isabrasjon og termiske egenskaper er derfor nødvendig. Utvikling av bedre metoder for forebygging av storulykker som tar hensyn til effektiviteten av sikringssystemer under miljøpåvirkning. Bruk av «big» data og flere datakilder.

(Ansvar: IBM/Marin byggeteknikk, IHB, IKT/Betong, IMP/RAMS)

- Miljøbelastning ved rehabilitering, drift og vedlikehold

Vurdering av ressursbruk, miljøbelastning, teknologialternativer ved design, bygging, drift, vurdering av levetid, aldring, materialstrømanalyse og livsløpsanalyse. Utvikle rehabiliteringsmetoder og konstruksjoner som minimerer behovet for kostbart vedlikehold og sikrer lang levetid.

(Ansvar: IEP/IndEcol, IBM/Bygg og anlegg/VA, IKT/Betong)

- Infrastruktur for vann

Utvikling av metoder og modellverktøy for støtte ved langtids planlegging for bygging av nye VA systemer, overvannsystemer, renseanlegg og prioritering av fornyelsesprosjekter.

Grøftefrie løsninger ved oppgradering av ledningsnett. Integrert drift og vedlikeholdsstyring.

(Ansvar: IBM/VA/Bygg og anlegg)

- Nye belastninger på og krav til vannveier og vannkraft-konstruksjoner

I lys av det framtidige europeiske energisystemet blir det forandret kjøremønster i vannkraft-system. Det medfører forandrede belastninger på vannveier og vannkraftkonstruksjoner og inkluderer nødvendigheten av å revurdere tilstand og styrke til eksisterende konstruksjoner. Nye vanndirektiv setter nye miljøkrav til forvaltning og drift av vassdrag som vil kreve stor forskningsinnsats for å tilpasse seg på en optimal måte.

(Ansvar: IBM/Vassdrag)

- Fjernmålingsteknikk vassdrag

Et detaljert datagrunnlag er en forutsetning for god prosessforståelse og nøyaktige numeriske simuleringer. Derfor er viktig for å utvikle nye fjernmålingsmetoder for å finne topografi rundt elver med tilleggs informasjon om vegetasjon og sedimenter. Vi ser et sterkt behov for å utvikle nye målemetoder som kan samle data raskt og nøyaktig, spesielt under flom.

(Ansvar: IBM/Vassdrag)

- Sediment transport/håndtering /modellering

Ved flom øker vannet hastighet og vannstand. Elver utvikler store krefter slik at erosjon og sediment-transport øker. Lokal erosjon kan medføre at kvikkleire-områder raser ut eller at skråninger blir destabilisert. Infrastruktur kan bli ødelagt. Økt sediment transport medfører at magasinert volum blir redusert og effekten av anlegget redusert. I tillegg må man unngå at transporterte sedimenter kommer inn i inntak og ødelegger turbiner. Forskningsfokus på måling av sediment transport under flom bør prioriteres. Slike data er vanskelige å oppnå, men viktige for optimal bygging og drift basert på forståelse av fysiske prosesser og for testing av numeriske modeller.

(Ansvar: IBM/Vassdrag)

- Konsepter for bærende konstruksjon, for mellomstore havdyp 20 – 60 meter

Forbedre eksisterende konsepter for bunnfaste vindturbiner. Vurdere alternative tårnkonsepter opp mot eksisterende og flytende, forankrede strukturer. Produksjonsmetoder og installering. Delta i utvikling og bygging en demo-vindturbin for en framtidig 10MW forankret struktur.
(Ansvar: IBM/Marin byggteknikk, IMT)

- Krefter fra bølger og vind på turbiner større enn 5 MW

Utvikling og verifisering av modeller for dynamisk belastning. Instrumentering og tilbake-regning fra målt oppførsel.

(Ansvar: IBM/Marin byggteknikk, IMT)

- Verktøy for kost-optimal design

Utvikling av gode simuleringsverktøy for modellering av påkjenninger, dynamisk respons, utmatting, levetid mm. Utvikling av metoder for evaluering av risiko og usikkerhet i analyseverktøy og datagrunnlag.

(Ansvar: IBM/Marin byggteknikk, IMT)

- Modellering av samvirke jord og konstruksjon

Utvikling av modeller for syklisk stivhet, degradasjon og akkumulerte deformasjoner i jord. Verifikasjon av modeller ved etterregning av målinger.

(Ansvar: IBM/Marin byggteknikk/Geoteknikk, IMT)

Samarbeidsparter, faggrupper, institutt, eksterne

Forskningsutfordringene gjennomføres i de aktuelle faggruppene ved IBM, IKT, IGP, IMT og IMP, i tverrfaglig internt samarbeid - også med institutter ved Fakultet for arkitektur og design (planlegging, rehabilitering, drift og vedlikehold) og ved Fakultet for naturvitenskap (vannrensing). Forskningen foregår i nært samarbeid med SINTEF og eksterne aktører som Statens vegvesen/direktoratet, Bane NOR/direktoratet, Avinor, Kystverket og rådgivende ingeniører.

Relevante finansieringskilder/virkemiddelapparat

Under Horizon 2020 er det satt av 31,7 milliarder euro for å løse de sosiale utfordringene Europa står ovenfor. Seks konkrete nøkkelområder er prioritert. To av disse er: (1) Smart, grønn og integrert transport og (2) Klima, råvarer og ressurseffektivitet. I regi av ECTP lanseres: "Research for Future Infrastructure Networks in Europe" (reFINE). ERA net Roads satser på: (1) Intelligent infrastructure, (2) Effektiv og varig vedlikeholds-metodikk, (3) Bærekraftige og energieffektive transportløsninger. NFR har prioritert konsekvenser av klimaendringer i sine planer. Det er etablert et solid fundament innenfor vindenergiforskning gjennom to sentre for miljøvennlig energi Nowitech der NTNU er vertskap og Norcowe (UiB). Innen Nowitech samarbeides det med industripartnere som Aker Solutions, Det Norske Veritas, DONG Energy Power, Lyse Produksjon, Statkraft Development, Statoil Petroleum, Vestas Wind Systems, GE Wind Energy (Norway) med flere, samt internasjonale forskningsinstitusjoner.

Ressurser (Laboratorier, tungregnerressurser, personell etc)

Satsingen krever styrking av laboratoriene innen vegteknikk, geoteknikk, geologi, vann, bergteknikk, betong og tre, spesielt når det gjelder fullskala forsøk. Bane NOR/Direktoratet har forsøksanlegg i form av fullskala brusegment i stål, tidligere jernbanebru over Stjørdalselva, som står til rådighet for NTNU.

3.2. Energieffektive og funksjonelle bygg

BAE 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 må nye løsninger ivareta arkitektoniske - og funksjonelle krav. De må tilfredstille brukerbehov, HMS-krav, universell utforming og bidra til god lønnsomhet, både privatøkonomisk og samfunnsmessig. Løsninger må også håndtere fremtidige nye økonomiske modeller, EPC (Energy Performance Contract) kontrakter og klimaendringer, se NOU 2010:10 «Tilpassing til eit klima i endring».

Eksisterende sentra, store pågående aktiviteter

Forskningen vil koordineres med pågående aktiviteter i SFI Klima 2050, tidligere resultater fra FME ZEB og prosjekter knyttet til forskningsprogrammet ENERSENSE, som retter seg mot energilagring og energieffektivisering ved instrumentert tilstandskontroll.

Mål

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

Strategier

Det satses på nye forskningsinitiativ med sikte på et EU program eller SFI.

Forskningsområdet er prioritert av EU og NFR (RENERGI og FME). Konkrete planer er under utarbeidelse for et program innen redusert klimagassutslipp fra eksisterende bygninger.

Prioriterte forskningsutfordringer

- Levedyktighet/bærekraft

Det skal forskes på bygningskonsepter for energisparing og bærekraft med hensyn på økonomi, ressursbruk, branntekniske egenskaper og miljøpåvirkning. Sustainability Impact Assessment (SIA) og Life Cycle Assessment (LCA), FDV konsepter må utvikles og utnyttes for alternative bygningskonsepter. Tekniske installasjoner skal utvikles ut fra brukerbehov og brukeradferd for ulike kategorier av bygninger, (etter bygningstype og byggeperiode og vernekrav). Dette må inkludere samfunnsvitenskapelige studier. Utvikling av «lean» og «agile» produksjonsprosesser. Modellbasert risikostyring i planlegging og gjennomføring. (Ansvarlig: IBM, EPT, EKB, MPT, IndEcol, AD-fakultetet)

- Utvikling av ny teknologi for nær nullenergi bygninger, ZEB og ZEN

Utvikling av byggetekniske løsninger for ekstremt isolerende bygningsskall. Økt anvendelse av nye materialer og komponenter basert på nye typer superisolerende varmeisolasjonsmaterialer, bygningsintegreerte solceller og smarte vinduer (elektrokrome vinduer) samt nanoteknologiske muligheter. Forskning på bygningsfysikk for utvikling av robuste og bestandige løsninger der vi unngår fuktproblemer og kan håndtere framtidige klimaendringer. Utvikling av energieffektive ventilasjonsløsninger. Utvikling av nye varme-

og kjøleløsninger med hensyn til interaksjon mellom bygninger, varme/kjøling, eksport/import og lagring. Utvikling av nye lagringsmaterialer og batterier tilpasset bygninger. Muligheter innen smart styring og drift med bruk av databeregninger og data learning machines. Mulighetene innen BIM bør utvikles for informasjonshåndtering, simulering, prosjektering, overvåkning, drift og styring av energiforbruk.

(Ansvarlig: EPT, IBM, AD-fakultetet)

- Bygningsfysikk, akustikk og brann

De fysiske prosessene knyttet til varme-, luft- og fukttransport i bygninger er vesentlig endret som følge av strengere energikrav, jfr TEK 2017. Typiske bygningsfysiske problemstillinger er isolering av bygninger, lufttetthet og fuktsikring mot vanndamp og fritt vann. Spesielt akustikk og brann er elementer i bygningsfysikken som krever forskningsinnsats. Begge disse fagområdene er kompliserte med stor grad av tverrfaglighet.

(Ansvarlig: IBM, IE-fakultetet/akustikk, AD/Institutt for arkitektur og teknologi, NTNU Samfunnsforskning/Studio Apertura)

- Effektiv energibruk i nye og eksisterende bygninger. Bruk av automatisering

Om 50 år vil fortsatt de fleste av de bygningene vi har i dag være i bruk. Det er derfor viktig at fokus rettes mot rettes mot eksisterende så vel som nye bygninger. Nye superisolerende materialer vil kunne bidra til å redusere dagens tykke løsninger for etterisolasjon, som ofte er økonomisk, praktisk og miljømessig ugunstig. For eksisterende bygg gir fukt og bygningsvern betydelige forskningsutfordringer. Skifte av energikilder til varmepumpe eller fjernvarme ved hjelp av nye løsninger. Utvikling av digitaliserte prosedyrer for dokumentert EPC. Utvikling av energieffektive løsninger for klimatisering som samspiller med bygningens fysiske egenskaper. Optimaliserte bygningskropper kan innebære kompromisser, dvs. oppdeling av et bygg i "klimasoner" som oppfyller lavere og høyere energiambisjoner, og i sin tur føre til lavere eller høyere innemiljøkvalitet. Ved bruk av moderne instrumentering kan vi overvåke og styre mange av de relevante innemiljø-parametrene. I tillegg kan overvåking og styring av innemiljø-parametrene brukes til fordel for mer effektiv energibruk og lagring/overføring av energioverskudd. Formulering og kartlegging av forutsetninger for optimalisert bygningskropp som i kombinasjon med bruk av moderne sensortechnologi kan gi mer effektiv energibruk og godt innemiljø for brukere. Overvåkning og styring av innemiljø-parametre ved nybygg og oppgradering av eksisterende bygninger til høyere energistandarder kan være effektivt ved økt automatisering.

(Ansvar: IBM, IVB, EPT, IE/ITK, AD-fakultetet, ENERSENSE)

Samarbeidsparter, faggrupper, institutt, eksterne

IBM/Bygg og anleggsteknikk, IVB, EPT/ Energiforsyning og klimatisering av bygninger, IndEcol, AD-fakultetet, HF-Fakultetet/Institutt for tverrfaglige kulturstudier, IE-Fakultetet/ITK og Prosjektet Enersens. Relevante samarbeidspartnere er SINTEF Energi, SINTEF Byggforsk, Enova, eiendomsforvaltere (Entra, Statsbygg, Forsvarsbygg, DNB Eiendom), boligsamvirker (OBOS, TOBB), utstyrsleverandører (Systemair, Swegon, Oso), materialprodusenter (Glawa, Rockwool, Sunde), entreprenører (Skanska, Caverion etc), rådgivere.

Relevante finansieringskilder/virkemiddelapparat

EU: Store finansieringsmuligheter tilbys av EUs programmer for eksempel *Horizon 2020* under "Secure, clean and efficient energy", Nanoteknologi, Avanserte materialer, Bioteknologi og "Advanced Manufacturing and Processing (NMBP)" samt "Leadership in enabling and industrial technologies (LEIT)" og "*Innovation for SME og Fast-Track for Innovation (FTI) Pilot*". *Forskningsrådet:* Mange relevante programmer for flere forskningsområder: FORNY2020, KLIMAFORSK, FRINATEK, NANO2021,

FORKOMMUNE, ENERGIX, INTPART. *Norsk næringsliv*: Flere aktører i de ulike bransjer kan bidra til finansiering av forskning, doktorgradsstipend og stillinger i sammenheng med nevnte programmer. *Interesse-/fagorganisasjoner*: Ulike bransjeforeninger er aktuelle partnere for å sette nye standarder for sine interessegrupper.

Ressurser (Laboratorier, tungregnerressurser, personell etc)

NTNU har en omfattende infrastruktur for eksperimentell forskning på nye materialer, komponenter, systemer, kontrollstrategier og byggekonsepter: for eksempel ZEB-Komponentlaboratoriet, ZEB-testcellelaboratoriet, ZEB-Levendelaboratoriet, og om noen år vil ZEB-Fleksible kontorlaboratoriet også være operativt.

3.3. Fremtidens byggematerialer

Redusert tilgang til naturlige ressurser og krav om å redusere utslipp i livsløpet av materialene fører til et stort behov for forskning på fremtidens byggematerialer. Hovedstrategien til IV omfatter betong, tre, stål og lettmetaller, glass, kompositter og hybride konstruksjoner. Betong er verdens mest brukte byggemateriale på grunn av lav pris og høy anvendelighet. Produksjon av sement bidrar med omkring 4% av menneskeskapt CO₂ i Norge. Dette skyldes både produksjonsprosessen men ikke minst samfunnets enorme behovet av dette materialet. Store produksjonsvolum fører til at forskning som resulterer i selv små forbedringer av sement og betong som byggemateriale vil medføre store gevinster for samfunnet både økonomisk og miljømessig. Trevirke er en fornybar og CO₂-bindende materialressurs som produseres med lav energiinnsats og energien kan gjenvinnes. I Norge avvirkes kun halvparten av den årlige tilveksten av skog og økt bruk av trematerialer er således bærekraftig både med hensyn på fremtidig ressurstilgang og effekt på globalt klima.

Eksisterende sentra, store pågående aktiviteter

Eksisterende prosjekter innenfor betong er NFR prosjektene DOLCEM (2015-2017), ASR KPN (2015-2018), LavKarbSem (2014-2018), DaCS (2015-2019) og MIKS (2016-2020), Fergefri E39 med Statens vegvesen, de internasjonale prosjektene Grøn Beton II og LowE-CEM og prosjekter finansiert gjennom det internasjonale konsortiet Nanocem. Pågående aktivitet innenfor stål, lettmetaller og glass foregår innenfor SFI CASA. Innenfor trekonstruksjoner avsluttes ERAnet prosjektet Durable Timber Bridges i 2017 (20 partnere fra 4 land koordinert av NTNU). Det ble i 2016 startet opp et fireårig nasjonalt forskerprosjekt på urbane fleretasjers trebygg (WoodSols) ledet av NTNU/KT med Sintef Byggforsk som partner.

Mål

Utvikling av fremtidens byggematerialer til bærekraftige og miljøvennlige konstruksjoner.

Strategier

Følgende strategi vil bidra til å løfte forskningsmiljøet på nasjonal og internasjonal nivå:

- Deltagelse i nasjonale og internasjonale forskningssøknader som fokuserer på flerfaglige prosjekter for å opprettholde forskningsnivået og aktiviteten som finansierer PhD'er, Post Docs og laboratoriene.
- Ivareta den tette kontakten med internasjonale og nasjonale industripartnere både i søknadsprosessen og gjennomføringen av forskningsprosjekter. Dette tette samarbeid sikrer kunnskapsoverføringen til bransjen.

- Opprettholde og videre utvikle av våre tette relasjoner og samarbeid med internasjonale forskningspartnere.
- Fremme og prioritere publisering av forskningsresultatene og dermed øke den internasjonale rangeringen av forskningsmiljøet.
- Delta i internasjonal and nasjonal regulerende og pre-regulerende komitearbeid (f.eks. CEN, RILEM, fib) for å bidra til en bærekraftig utvikling av samfunnet og for å implementere forskningsresultater.
- Opprett holde og videre utvikle robuste, innovative og kostnadseffektive laboratorier, som er sentrale i vår forskningsmetodikk som kombinerer eksperimenter og modellering.
- Byggebransjen har etterlyst et nytt initiativ etter SFI COIN (2007-2015) innenfor betong. Det satses derfor på å søke på en ny SFI på betong der utlysningen forventes i slutten av 2018.
- Bruk av tre i bærende konstruksjoner vil få økt fokus. Det satses derfor på en SFI.

Prioriterte forskningsutfordringer

- Miljøvennlige sementer

Produksjon av sement står for omkring 4% av menneskeskapt CO₂ i Norge. Norsk sementindustri har en null CO₂ utslipps visjon med blant annet tanken på Paris avtalen. En av hovedstrategiene for å oppnå dette er å erstatte en del av sementklinker med alternative materialer. I dag blir hovedsakelig flyveaske, et biprodukt fra kullfyrte kraftverk, brukt til å erstatte en del av klinker. På grunn av overgangen til fornybar energi vil tilgangen til flyveaske reduseres. Vi trenger derfor å utvikle nye og mer miljøvennlige materialer som kan erstatte en enda større del av sementklinkeren. Dette vil føre til et enormt forskningsbehov på sementer men ikke minst også på betonegenskapene siden de vil bli sterkt påvirket når man endrer sementene.

(Ansvarlig: IKT/Betong)

- Betong i produksjonsfasen

Naturlige sand som resurs tar slutt og betongindustrien må over til *knust tilslag* (NFR prosjekt MIKS). Dette byr på utfordringer i produksjon av tilslag, betongproporsjonering, og flyteegenskaper av betongen. Det er et behov for å utvikle mikroproporsjoneringsmodeller for å kunne forutse effekten av den avgjørende fine fraksjonen av knust tilslag.

Å få et *stabilt luftinnhold* i betongen som beskytter mot frostskaader er en utfordring (NFR prosjekt DACS). Miljøvennlige sementer viser seg til å være spesielt følsomme. Det er behov for å få en bedre forståelse om faktorene som påvirker luftstabilitet.

Betonggruppens laboratoriet er verdensledende innenfor forskning på *oppripping av betong i ung alder*. Miljøvennlige sementer oppfører seg annerledes enn tradisjonell portlandsement. Dette unike laboratoriet kan bidra til å etablere fysiske modeller som klarer å forutse og dermed unngå oppripping av ung betong med miljøvennlig sement.

(Ansvarlig: IKT/Betong)

- Bærekraftig prosjektering av betongkonstruksjoner

Karbonavtrykket til en konstruksjon vil bli en av de avgjørende parametre under prosjektering. Derfor vil *bærekraftig prosjektering* være en stor forskningssatsning. Bruk av smarte betongløsninger kan bidra til å optimalisere bruk av byggematerialene som f.eks. lettbetong der man skal spare egenvekt eller bruk av fiberbetong der fiber kan erstatte en del av den ordinære stålarmeringen. Det vil også kreves en stor satsing på nasjonal og internasjonal komitearbeid for å få disse innovative løsninger inkludert i regelverket.

(Ansvarlig: IKT/Betong)

- Bærekraftig betong er bestandig

Overgangen til mer miljøvennlige sementer vil føre til et stort forskningsbehov på bestandighet f.eks. frost, ASR, karbonatisering og kloridinntrenging. Mangel på erfaring med disse nye sementer fører til at man må etablere en grunnleggende forståelse for de fundamentale nedbrytningsmekanismene for å kunne utvikle akselererte prøvingsmetoder og modeller for å forutse levetiden. Empiriske modeller samt prøvingsmetoder som har blitt brukt for tradisjonell Portland sement er ikke tilpasset de nye sementene.

(Ansvarlig: IKT/Betong)

- Nye inspeksjons og reparasjonsmetoder

Byggeindustrien flytter gradvis sin hoved aktivitet fra nybygging av konstruksjoner til vedlikehold og reparasjon av eksisterende konstruksjoner. Årlige budsjetter for reparasjon, forsterkning og erstatning av konstruksjoner øker kontinuerlig. Forskningen vil fokusere på å forbedre tilstandsvurderingsstrategier og metoder, og reparasjonsstrategier og metoder.

(Ansvarlig: IKT/Betong, IBM)

- Fleretasjes bygninger i tre

Trevirke er en fornybar og CO₂-bindende materialressurs som produseres med lav energiinnsats og kan energigjenvinnes. LCA analyser vil få stor innflytelse for valg av materialer i byggverk og konstruktiv bruk av tre har et stort uutnyttet potensial i så måte. Dette inngår som en del av NTNUs satsning på tre og EU programmer for biobasert økonomi (KBBE), Forest Technology Platform og det nye BIOTEK programmet fra Forskningsrådet. Sentrale forskningstema er fleretasjes bygninger i tre, effektive og prefabrikerte sammenføyninger og utvikling av nye multifunksjonelle trebaserte materialer (fiberkompositter) ved hjelp av nanoteknologi.

(Ansvarlig: IKT/Konstruksjonsmekanikk, IVB, AD-fakultetet)

- Stål og lettmetaller

Stål er og vil også fortsette å være det konstruksjonsmaterialet som muliggjør den optimale kombinasjonen av styrke, stivhet og slankhet til en konkurransedyktig pris. Forskningsutfordringer vil være knyttet opp mot oppførsel av knutepunkter, effektive produksjonsmetoder, økt bruk av høyfaste stål, og anvendelse av stål i kalde og korrosive miljøer. Lettmetaller, og da spesielt aluminium, er aktuelt hvis det er viktig å kombinere høy styrke og stivhet med lav vekt. Siden aluminium er mindre benyttet enn stål, er også kunnskapen om konstruktiv bruk noe lavere men forskningsutfordringene vil være de samme.

(Ansvarlig: IKT/SIMlab)

- Glass

Det er en utstrakt bruk av store glassflater i en del offentlige og andre større bygg. Til tross for dette er det lite kunnskap om hvordan man kan gjøre numeriske beregninger av glass på en hensiktsmessig måte. Denne problemstillingen har blitt spesielt aktuell etter terroraksjonen i Oslo i juli 2011. Forskningsutfordringene omfatter brudd og mulig fragmentering av ulike glasstyper, herunder laminerte glass.

For trekonstruksjoner er det startet opp en forskningsaktivitet på området horisontal avstivning av bygningsdeler ved hjelp av aktiv utnyttelse av glassfelt i fasader. Videre er det i de senere årene utviklet brannsikket glass, noe som også gir utvidede muligheter for bedre brann-seksjonering uten at det går på bekostning av estetiske eller bruksmessige egenskaper.

(Ansvarlig: IKT/SIMLab/Konstruksjonsmekanikk)

- Kompositter og hybride konstruksjoner

Bruken av komposittmaterialer er økende, og stadig flere konstruksjoner er hybride i den forstand at det inngår mange typer materialer. Moderne kompositter søker å optimalisere et sett med egenskaper (f.eks mekaniske, termiske, vekt) ved å kombinere ulike materialer. Det kan være polymerer, skum, tre og stål, betong eller aluminium. Forskningsutfordringer vil

være rettet mot mekanisk oppførsel, brann samt modellering av materialer og komponenter. For hybride konstruksjoner vil knutepunktene være en spesiell utfordring.

(Ansvarlig: IKT/SIMLab/konstruksjonsmekanikk/betong)

- Materialer og konstruksjoner utsatt for ekstreme laster - sikkerhet

En rasjonell metode for å forhindre ulykker og dermed skadeomfanget er å gjennomføre risiko- og sårbarhetsanalyser. Slike analyser krever imidlertid at man er i stand til å bestemme konsekvensene når en handling eller ulykke er definert. Dette medfører at man blant annet trenger kunnskap om hvordan materialer og konstruksjoner oppfører seg når disse utsettes for ekstreme lastvirkninger fra en definert ulykke eller hendelse. Gjeldende regelverk dekker for eksempel ikke laster og respons fra terrorangrep, og sivile konstruksjoner dimensjoneres ofte med bakgrunn i regler for militære konstruksjoner. Sivile konstruksjoner, slik som offentlige bygg, har ofte et lettere konstruksjonssystem (inkludert mye glass) og er samtidig mere sammensatt enn militære konstruksjoner. Dette medfører en annen oppførsel og dermed behov for andre dimensjoneringsregler for sivile konstruksjoner. For å etablere sikre og samtidig kostnadseffektive konstruksjoner og løsninger, så er det et stort behov for forskning i Norge på dette området. Aktuelle problemstillinger er hvordan sjokkbølgen sprer seg fra en eksplosjon og hvordan den belaster konstruksjonen den treffer. Her inngår også dimensjonering av konstruksjonen mot de fragmenter som genereres av eksplosjonen samt interaksjon mellom last og respons. Andre problemstillinger er hvordan konstruksjonssystemer og forbindelser skal dimensjoneres for å få en robust oppførsel samt hvordan man effektivt kan bruke numeriske teknikker i dimensjoneringsprosessen. Det er i denne sammenheng spesielt snakk om konstruksjoner og systemer i stål, aluminium, glass og betong.

(Ansvarlig: IKT/SIMLab/konstruksjonsmekanikk/betong)

Samarbeidsparter, faggrupper, institutt, eksterne

Internt på IV fakultetet IKT, IBM og IGP. På NTNU samarbeides det med institutter på NV-fakultetet, AD-fakultetet og NTNU nanolab. SINTEF Byggforsk er en viktig partner for å kjøre felles forskningsprosjekter og dele laboratorier.

På forsknings siden samarbeider betonggruppen internasjonalt med blant annet DTU, TU Delft, TNO, Princeton, Stanford, LTU, NIST, Nanocem-partners og COST-partners. Nasjonalt er forskningen sterkt forankret i alle ledd av byggebransjen: materialleverandører (Norcem, Mapei, Borregaard, NorMat, Norbetong, Unicon osv), entreprenører (Skanska, Veidekke osv), byggherrer (Staten Vegvesen/Jernbaneverket), konsulenter (Multiconsult, Olav Olsen), interesseorganisasjoner (Norsk Betongforening, Betong Rehabiliteringsforening, Betongelementforening).

For trekonstruksjoner er det utviklet gode samarbeidsrelasjoner nasjonalt med Sintef Byggforsk, Norsk treteknisk institutt, Fakultet for arkitektur og design, NTNU Wood, NTNU Gjøvik, Moelven konsernet og Kjeldstad konsernet (InnTre AS), Statens vegvesen Vegdirektoratet samt en rekke konsulent selskaper som Sweco og Rambøll. Internasjonale partnere er VTT (Finland), Aalto universitet, RISE (SP) Sverige, Luleå universitet, Universitetet i Lund, Forest Products Laboratory Madison USA samt flere universiteter i Tyskland.

Innen glass, kompositter og materialer utsatt for ekstreme belastninger er samarbeidspartnerne de som deltar som industripartnere i SFI CASA (www.ntnu.edu/casa), dvs. Audi, BMW, Toyota, Honda, Renault, Benteler Aluminium Systems, Hydro, Sapa, Statoil, Gassco, Forsvarsbygg, Nasjonal sikkerhetsmyndighet, Kommunal og moderniseringsdepartementet, SVV, DNV GL og SINTEF Materialer og Kjemi.

Ressurser (Laboratorier, tungregnerressurser, personell etc)

Satsingen krever styrking av laboratoriene innen byggematerialer, fra nano/mikronivå til fullskalaforsøk.

Finansieringskilder

Forskningsaktiviteten finansieres gjennom EU-finansierte prosjekter som H2020, Marie Curie ITN, og COST nettverk, internasjonalt finansierte prosjekter, prosjekter støttet av norsk forskningsrådet, og samarbeid med Statens vegvesen og Jernbaneverket. Finansieringen vil også komme som en del av NTNU sin satsing på bruk av tre og EU programmer for biobasert økonomi. I tillegg er Institutt for konstruksjonsteknikk vertskap for SFI CASA (www.ntnu.edu/casa) i perioden 2015-2023 med finansiering fra NFR og industri.

3.4. Trygge vannressurser

World Economic Forum's "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, og vann som levemiljø og næringsgrunnlag er truet. 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 merkbar i form av mer intense og lokale nedbørstilfeller med påfølgende lokale flommer som eksisterende infrastruktur ikke er dimensjonert for. Skadeutbetalinger for flomskader, bare til de som er forsikret i norske forsikringselskaper, nærmer seg i snitt 1 milliard årlig og er økende. I tillegg kommer skader langs veinett, jernbane og øvrig infrastruktur. Nye nasjonale og internasjonale vanddirektiv stiller strengere miljøkrav til forvaltning og tiltak i vassdragene og økte dimensjonerende flommer, som følge av klimaendringene, medfører store og svært kostnadskrevenne 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.

Eksisterende sentra, store pågående aktiviteter

Koblingen vann-energi-mat er sentralt på den europeiske forskningsagendaen. EU har sammen med vann og avløpsbransjen etablert den europeiske vannplattformen, Water Supply and Sanitation Technology Platform (WSSTP), med bred norsk deltakelse. WSSTP har formulert en visjon, en forskningsagenda og en implementeringsplan for å etablere sikre og bærekraftige vann og avløpstjenester.

Mål

Bidra til trygge og sikre løsninger for vannforsyning og for håndtering av avløpsvann, overvann og vassdrag med hensyn til forventede klimaendringer og utnyttelse og i samsvar med nåværende og forventede fremtidige krav til kvalitet og miljø, nasjonalt og internasjonalt.

Strategier

Etableringen av den europeiske samarbeidsplattformen JPI Water, der Norges forskningsråd deltar og der NTNU har vært representert i den vitenskapelige rådgivningsgruppen, åpner for nye muligheter for finansiering og internasjonalt samarbeid innen vann og avløpsforskning. H2020 har betydelige vannrelaterte programmer og byr på muligheter for omfattende samarbeid med europeiske forskningsmiljøer. IV deltar i samarbeidet ARC (Aqua Research Coalition) med sentrale forskningsmiljøer i Europa.

Prioriterte forskningsutfordringer

- Bærekraftig vannressurs- og vassdragsforvaltning

Vannressurser for vannforsyning, energi og matproduksjon vs. klimaendringer, flomsoneer vs bygde områder, flomveier i urbane områder, klimajustert dimensjoneringsgrunnlag for- og miljøtilpasset utforming av vassdragskonstruksjoner og infrastruktur som krysser vannveier (veg, jernbane etc.). Sedimentmengder og –håndtering i vannveier og magasin.

(Ansvarlig: IBM/vassdrag/VA, IHB)

- Hydrologisk og hydraulisk modellering – effekter av klimaendringer og -konsekvenser

Det kreves forskning med fokus er på utvikling av verktøy for simulering av flom og effekter av flom, både i form av hydrologiske modeller og vassdragsmodeller. Hydrologisk simulering av konsekvenser av klimaendringer krever forskning på nedskalering av klimadata, bruk av avanserte målemetoder, avanserte , flomprognosemodeller, virkninger på vassdragsmiljø, snøforhold og på is i vassdrag. Kunnskap om fysiske virkninger i vassdrag og vannførende system krever avansert hydraulisk modellering i og i tilknytning til sjøer, elver, tunneler, broer, kulverter, rør og ledningsnett. Forskning på bruk av Computational Fluid Dynamics (CFD) i samspill med fysiske modeller og feltobservasjoner er nødvendig for å løse komplekse hydrauliske utfordringer.

(Ansvarlig: IBM/vassdrag/VA, IHB/Vann-og Miljøteknikk, IBYG)

- Overvann i byområder

Reduksjon av risiko ved flommer i urbane områder, forurensingsutslipp ved helhetstenkning rundt avledning av vann fra regn og snøsmelting. Tilpasning til forventede virkninger av klimaendringer, robuste overvannssystemer. Videre utbygging av feltstasjon.

(Ansvarlig: IBM/VA/vassdrag, IBYG)

- Avansert drikkevannsbehandling og vannkvalitet

Forbedring av vannkvalitet med fjerning av naturlige organiske materialer (NOM), nye forurensnings-komponenter, samt kontroll av korrosjon og biofilmvekst. Anvendelse av membranteknikk (forbehandlingsstrategier, prosesskonfigurasjon, valg av membrantyper, fouling, energieffektivisering). Anvendelse av biologiske prosesser, bruk av oksidasjonsmetoder, desinfeksjon og vannhygiene. Risikovurderinger knyttet til drikkevann og helse. Aktivitetene forutsetter utbygging/oppgradering av laboratoriene.

(Ansvarlig: IBM/VA, IHB/Vann-og Miljøteknikk/Byggteknikk, NA-fakultetet/Kjemi)

- Avansert avløpsrensing

Utvikling av kompakte bio-kjemiske rensemetoder (med fokus på membran bioreaktorer, fjerning av næringsstoffer og nye forurensningskomponenter). Ressursgjenvinning (vann, energi og gjødselsprodukter) fra avløpsvann. Systemløsninger for kommunalt og industriavløp.

(Ansvarlig: IBM/VA, IHB/Vann-og Miljøteknikk, IVB, NA-fakultetet/Bioteknologi, NMBU)

- Vannkvalitet i akvakultur

Effektiv vannrensing i resirkuleringsanlegg med integrering av membranteknikk, biologiske prosesser/biofilter, biostabilitet. Optimalisering av vannkvalitet innen akvakultur, tilpasset for smolt/marin yngel produksjon og for vekst/matfisk produksjon.

(Ansvarlig: IBM/VA, IHB/Vann-og Miljøteknikk, NA-fakultetet/Bioteknologi)

Samarbeidsparter, faggrupper, institutt, eksterne

Hovedtyngden av fagressursene finnes ved faggruppene IBM/Vassdrag og IBM/VA.

Samarbeid er aktuelt med andre faggrupper ved IBM, IKT og IMP. Samarbeid med andre faggrupper ved NTNU: NT/Inst for kjemi, NT/Inst for bioteknologi samt institutter ved AB-fakultetet. Det er et tett samarbeid med SINTEF, primært gjennom gruppene for energi og vann-og avløpsteknikk, og med faggrupper ved NMBU, Ås.

Ressurser (Laboratorier, tungregnerressurser, personell etc)

IV har i dag internasjonalt anerkjente forskningsgrupper innen vassdragsforvaltning og vann-og avløpsteknikk. Forskningen dekker et bredt spekter av hydraulikk og hydrologisk relaterte utfordringer og spesielt den ingeniørmessige delen av disse; Tekniske og miljørelaterte utfordringer i vassdragene og hele VA-kjeden fra kilde via overføring, behandling og distribusjon til tappekran for vannforsyning og fra sanitærinstallasjoner via oppsamling, overføring, rensing og resipient på avløpssiden. IV disponerer et vassdragslaboratorium, vannanalyse-laboratorium, forskningshaller for drikkevann og avløpsvann, samt en avansert feltstasjon for naturhydrologiske studier i Sagelva ved Jonsvatnet og en for urbanhydrologiske målinger på Risvolla i Trondheim. Disse danner ryggraden for en stor del av vår forskning og er sentrale i utdanningen både for demonstrasjon og for å skaffe datagrunnlag for student-og PhD oppgaver. Tidsseriene fra Risvolla og Sagelva er unike og viktige i nasjonal sammenheng og vil bli enda viktigere med større klimautfordringer. NTNU Ålesund har en komplementær vanngruppe og samarbeid med dem og med vannmiljøet ved tidligere HIST er under utvikling. Det foregår også diskusjoner med sikte på større vannrelatert aktivitet ved NTNU Gjøvik. Det er et godt samarbeid med parallelle forskningsgrupper i SINTEF og med andre institutter ved NTNU, blant annet innen energi, kjemi, kjemisk prosessteknologi, bioteknologi og risikoanalyse. Sentrale laboratorier for arbeid med rent vann utenom IV vil være NTNU Nanolab og NTNU Sealab. Det er videre viktig at det nære samarbeidet som eksisterer i dag mellom IV's forskergruppe og brukere av forskningsresultater i næringslivet og blant myndigheter fortsetter og utvikles videre.

Finansieringskilder

Forskningen innen tema *Trygge vannressurser* finansieres av EUs programmer, Norges forskningsråds programmer, norske kommuner og en rekke rådgivende ingeniør- og industribedrifter. Aktuelle problemstillinger for forskning sikrer at finansieringen forventes opprettholdt i lang tid framover.

3.5. Optimale transportløsninger

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-utslipp personbiler i Norge, og fra 2030 skal også resten av vegtrafikken være nullutslipp eller lavutslipp. Antall drepte og skadde i vegtrafikken har gått ned i mange år, men utgjør fortsatt et alt for høyt antall; en spesiell utfordring innenfor trafikksikkerhet fremover er fotgjengere og syklisters ulykker da NTP forutsetter at den meste transportveksten i bymiljø skal skje med bærekraftige transportmiddel. Mye av transportsektoren kan således deles opp i byområder og lavtrafikkerte områder. Autonome kjøretøy kommer til å stille nye krav til veger og posisjonering, men også påvirke trafikken og måten vi reiser på. Dermed blir det behov for ny kunnskap innenfor trafikk- og transportmodeller. Innenfor samme område er tilgangen til detaljerte data noe som forandrer seg raskt med flere oppkoblede kjøretøy. Effektiv og sikker håndtering og analyse “big data” er et av de raskest voksende felt. Forskning på transportløsninger forutsetter digital representasjon av bygget miljø for effektiv informasjonshåndtering, planlegging, prosjektering, numeriske simuleringer, visualisering, prosjektledelse, effektiv bygging, drift, vedlikehold og forvaltning. I denne sammenheng må mulighetene innen Geomatikk (GIS, ITS og BIM) utvikles videre (se område Digitalisering).

Eksisterende sentra, store pågående aktiviteter

Forskningen vil innen deler av feltet dra stor nytte av kunnskapen fra forskningssatsningen E39 i regi av Statens Vegvesen samt pågående EU-prosjektet SAFER_LC. Fagmiljøet har to etablerte forskningssentra innenfor Vinterdrift og Trafikkteknikk.

Mål

Bidra til utvikling av miljøvennlige, sikre og optimale transportløsninger basert på effektiv utnyttelse av eksisterende infrastruktur (Logistikk, ITS, trafikksikkerhet osv.)

Strategier

Under Horizon 2020 er det satt av 31,7 milliarder euro for å løse de sosiale utfordringene Europa står ovenfor. Seks konkrete nøkkelområder er prioritert. To av disse er: (1) Smart, grønn og integrert transport og (2) Klima, råvarer og ressurseffektivitet. I regi av ECTP lanseres: “Research for Future Infrastructure Networks in Europe” (reFINE). ERA net Roads satser på: (1) Intelligent infrastruktur, (2) Effektiv og varig vedlikeholds-metodikk, (3) Bærekraftige og energieffektive transportløsninger. NFR har prioritert konsekvenser av klimaendringer i sine planer. Det siktes mot store forskningsinitiativ blant annet i form av EU prosjekter. Finansiering skal søkes gjennom NFR/EU/ansvarlige statlige etater (eksempelvis Statens vegvesen og Bane NOR) i allianse med internasjonale samarbeidspartnere med vekt på PhD prosjekter.

Prioriterte forskningsutfordringer

- Trafikk- og transportmodellering

Forskning for smart, grønn og integrert transport inkluderer utvikling av bedre transportmodeller, trafikkstyring og overvåkning. ITS er ett sentralt område, og i forlengning autonome kjøretøy. Big data er et prioritert område som følge av økt tilgang til detaljerte trafikkdata fra mobiltelefoni og kjøretøy. Dette åpner nye muligheter for smart innsamling av reisvanedata og studier av trafikantadferd.

(Ansvar: IBM/Veg og transport/Geomatikk)

- Urban transport-infrastruktur

Retter seg mot trafikksikkerhet, næringstransport, gang-, sykkel- og kollektivløsninger og universell utforming. En spesiell utfordring er hvordan vi får den ettertraktede veksten av fotgjengere, syklister og kollektivtrafikk uten å øke antall skader og dødsfall i trafikken. Forskningen skal bidra til gode, bærekraftige bymiljøer med reduserte forurensninger (støv, støy, avgasser).

(Ansvar: IBM/Veg og transport/Geomatikk, AD/Institutt for arkitektur og planlegging)

- Jernbane i tett befolkede områder

Integrering av raskere jernbane sammen med andre transportmidler er viktig for å utnytte investeringene i infrastruktur best mulig. Utvikling av nye modeller for simulering av gods og persontransport (ITS).

(Ansvar: IBM/Veg og transport)

- Bærekraftig transport

Hvordan minimerer vi energiforbruk i transportsystemer gjennom optimalisering av utforming, drift og vedlikehold? Vinterdrift har stor effekt på både fremkommelighet og sikkerhet for forskjellige trafikantslag hvilket trenger mer forskning for å kunne inkluderes i optimaliseringen.

(Ansvar: IEP/IndEcol, IBM/Veg og transport)

- Vinterdrift

Optimalisert bruk av salt på snø og is. Friksjonsmåling og vinterdrift av både bil- og sykkelveier og fortau. Bruk av varme i dekkekonstruksjoner. Lokalisering av veier i forhold til snødrift

(Ansvar: IBM/Transport, VA og Vassdrag)

Samarbeidsparter, faggrupper, institutt, eksterne

Forskningsutfordringene gjennomføres i de aktuelle faggruppene ved IBM, og IEP, i tverrfaglig internt samarbeid – i tillegg til institutter ved Fakultet for arkitektur og design (planlegging). Forskningen foregår i nært samarbeid med SINTEF og eksterne aktører som Statens vegvesen/direktoratet, Bane NOR/direktoratet, VTI.

Ressurser (Laboratorier, tungregnerressurser, personell etc)

Senter for Vinterdrift har kuldelaboratorium/islab som er i bruk med internasjonale samarbeidspartnere og er en viktig ressurs som trenger fortsatt satsing. Statens vegvesen har bygd opp og instrumentert flere vegstrekninger som er åpne for NTNU (f.eks. testtunnel, ITS-teststrekning, Lånkebanen m.m.).

Finansieringskilder

Finansiering retter seg mot etater som Statens Vegvesen og Bane NOR, men og fra EU og NFR da området dekker store og høyt prioriterte samfunnsutfordringer.

3.6. Digital, effektiv byggeprosess

Bygninger og den fysiske infrastrukturen gjennomføres ved prosjekter som stiller store krav til kompetanse på prosjektering, dimensjonering, analyse, planlegging, gjennomføring og drift av bygg og anlegg. Digitaliseringen i BA sektoren berører alle sider ved byggeprosessen, blant annet innen informasjonshåndtering, planlegging, prosjektering, visualisering, prosjektledelse, design, beregningsorientert mekanisk analyse og numeriske simuleringer, effektiv bygging, drift, vedlikehold og forvaltning. Prosjektene innehar stor grad av usikkerhet som må beherskes eller utnyttes og prosjektene er normalt så store at mange ulike aktører må involveres. Når prosjektene og kontraktene i bransjen blir større og større trengs

andre måter å gjennomføre prosjektene på. I byggeprosessen har ulike aktører ulike interesser som gir sterke incentiver til å sub-optimalisere sine bidrag og arbeidsforhold, noe som ofte har negative effekter for det totale prosjektet, og som påvirker produktiviteten i bransjen. Parallelt med den fysiske infrastrukturen ser man i dag konturen av en digital infrastruktur der både menneskeskapte og naturlige omgivelser er modellert og lagret på et digitalt format. Etter hvert som denne digitale infrastrukturen blir mer komplett åpner det seg større muligheter for å simulere den virkelige verden for å analysere ulike scenario. Denne digitaliseringen må utnyttes for å effektivisere planlegging, prosjektering, bygging og drift av bygg og anlegg. Etter hvert som den digitale representasjon av våre omgivelser blir mer komplett vil kravet til hurtig oppdatering av endringer øke. Stadig bedre modelleringsverktøy kombinert med sensortechnologi, fra satellitter til lokale måleinstrumenter, gir store muligheter for hurtig oppdatering av den digitale representasjonen. Det ligger et stort potensial i bedre interoperabilitet mellom ulike typer data og modeller, og digital representasjon av bygget miljø og dets omgivelser åpner for store forbedringer.

Digitalisering er et område for forbedring av effektivitet, både i planlegging, prosjektering, gjennomføring og drift av komplekse prosjekt. Andre områder for effektivisering av byggeprosessen er å etablere et godt og riktig prosjektgrunnlag fra prosjektets tidlige fase, fokus på hvilken verdi prosjektene skal bidra med i prosjektenes livsløp, bedre gjennomføringsmodeller, industrialisering, bedre forståelse av prosjektbasert produksjon, god usikkerhetshåndtering og fokus på seriøsitet og sikkerhet i bransjen.

Eksisterende sentra, store pågående aktiviteter

Nylig etablert BIM-laboratorie ved IBM. Geoteknikk har nylig avsluttet SFF Centre for Geohazards, og fagmiljøer innenfor stål, aluminium og plast og bio- og nanomekanikk er internasjonalt ledende innenfor sine forskningsområder. Selv om disse i utgangspunktet ikke representerer det tradisjonelle byggområdet, kan kunnskapen og erfaringen innen digital representasjon utnyttes i langt sterkere grad i dette forskningsområdet.

Mål

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.

Strategier

Det satses på nye forskningsinitiativ med sikte på et EU program eller SFI. Forskningsområdet er høyt prioritert av industrien, EU og NFR. Konkrete planer er under utarbeidelse for et program for digitalisering av byggeprosessen. Forskningsbasert kunnskap om gjennomføringsmodeller er sterkt etterspurt av byggenæringen og flere initiativ er i gang for en kraftig økning av forskningen innen dette området.

Gjennom samarbeidet "Norge digitalt" ligger Norge fremst i verden for gjennomgående innsamling, organisering og lagring av geografisk informasjon. Dette forspranget kan man ved NTNU utnytte ved videre forskning på integrering av ulike digitale representasjoner. Videre er NTNU i en særstilling nasjonalt når det gjelder bredden av laboratorier. Dette gjelder alt fra prøving av materialer på nano- til fullskalanivå, av materialer, geoteknisk laboratorium, storskalaprøving på konstruksjoner og innenfor vassdagsteknikk og vann- og avløpsteknikk, samt feltundersøkelser. Samtidig har IV flere sterke fagmiljøer innenfor numerisk modellering. Denne kombinasjonen av numerisk simulering og eksperimentell forskning er et konkurransefortrinn som kan utnyttes i enda større grad enn i dag.

Prioriterte forskningsutfordringer

- Treffsikker tidligfase – riktige prosjektvalg

En god og treffsikker tidligfase er viktig for å treffe riktige beslutninger om hvilke konsepter som skal satses på og om hvilke rammer prosjektene skal gis. Fortsatt er det store kostnadsøkninger gjennom planfasene, og eksempler på at prosjekter startes opp med et for umodent grunnlag. Prosjektevaluering, sikring av bærekraft, og riktige prosjektvalg er fokus. (Ansvarlig: IBM/Prosjektledelse, IMP/Prosjekt og kvalitetsledelse, AD-fakultetet/arkitektur og planlegging)

- Gjennomføringsmodeller

BAE-næringa opplever en stigende grad av misnøye og konflikt med prosesser og gjennomføringsmodeller. Gjennomføringsmodellene synes ikke lenger å være balansert i samsvar med den arbeidsform og risikodeling som aktørene i næringa ønsker og tilstreber. Det er flere drivere for denne utviklingen, men globalisering, økt konkurranse og digitalisering er blant de viktige. Nye strategier og former for samarbeid, kontrahering og styring blir tatt i bruk med vekslende hell. BAE-næringens aktører har derfor signalisert sterkt behov for mer kunnskap om hvordan ulike gjennomføringsmodeller fungerer i ulike situasjoner. Gjennomføringsmodeller er et tverrfaglig tema som har potensiale for å bygge broer mellom og engasjere mange fagmiljøer.

(Ansvarlig: IBM/Prosjektledelse, IMP/Prosjekt og kvalitetsledelse, AD-fakultetet/Institutt for arkitektur og planlegging, NTNU Samfunnsforskning)

- Verdiskaping

Hvem bygger vi for, hva er verdifullt - verdi for kunder og aktører, verdiskaping i prosess og produkt, verdi i et livsløpsperspektiv - eiendomsutvikling og forvaltning, strategiske og taktiske virkemidler for å sikre verdi.

(Ansvarlig: IBM/Prosjektledelse, AD-fakultetet/arkitektur og planlegging)

- Digital representasjon

Den digitale representasjonen av infrastrukturen nå utnyttes i alle deler av prosessen.

Integrering mellom GIS og BIM. BIM må utnyttes for planlegging, prosjektering, gjennomføring og drift av infrastruktur. innendørs navigering og visualisering.

Målingsmetoder for å få data om topografi rundt elver med tilleggs informasjon om vegetasjon, og sediment transport under flommer. 3D registrering og modellering av fysisk infrastruktur (over og under bakken), bygget miljø og dets omgivelser for planlegging, byggefase og driftsfasen. Registrering og modellering av havbunnen f.eks. i forbindelse med undersjøiske ferskvannledninger. Visualisering av den digitale representasjonen.

(Ansvarlig: IBM/Bygg og anleggsteknikk/VA/Vassdrag/Geomatikk, IVB, IHB/Vann-og Miljøteknikk/Byggteknikk, IE-fakultetet/Institutt for datateknikk)

- Numerisk modellering – beregningsorientert analyse

Matematisk modellering av jord og konstruksjonsmaterialer, flerskalamodellering, koblete FSI/CFD analyser, isogeometrisk analyse og dynamisk modellering av konstruksjoner.

Konstruksjoner utsatt for ekstreme lastvirkninger. Analyse av geotekniske problemer for eksempel stabilitet på basis av 3D jordprofiler i digitale terrengmodeller. Termodynamisk modellering av hydratasjonsprosessen i betong. CFD analyser av brannforløp i bygninger og innenfor vann og avløpsteknikk og vassdragsteknikk for optimalisering og sårbarhetsanalyser. Hydrologiske- flomprognose- og vassdragsmodeller for flom, ekstremnedbør og effekt av endret klima. Modellering og verifisering av bærekraftkvalitet og utvikling for elementer av det bygde miljø.

(Ansvarlig: IBM/Geoteknikk/Vassdrag/Geomatikk, IKT/Betong/SimLab/Konstruksjonsmek, IEP/Fluid mekanikk, IE-fakultetet/Institutt for datateknikk)

- Industrialisering og digitalisering

Økt grad av digitalisering av byggeprosessen og økt grad av industrialisering av prosessen har innvirkning både på prosessen, produktet og organiseringen av prosjektene. Herunder er sentrale tema informasjonsflyt, driftsstyring av bygninger, prefabrikasjon, robotisering og 3D printing interessante områder. BIM gir nye muligheter både i prosessen, til beskrivelse av produktet, og som vil ha påvirkning på hvordan prosjektene organiseres

(Ansvarlig: IBM/Prosjektledelse/Bygg og anleggsteknikk, IE-fakultetet/Inst for kybernetikk, IMP/Prosjekt- og kvalitetsledelse, AD-fakultetet/Institutt for arkitektur og planlegging)

- Produktivitet i byggebransjen Prosjektbasert produksjon

Produksjon av bygninger og infrastruktur er i all hovedsak prosjektbasert, det vil si at det etableres midlertidige organisasjoner og produksjonslokaler for å gjennomføre byggeprosessen. Hvert prosjekt er til en viss grad unikt (beliggenhet, størrelse, utforming, grunnforhold mm.). Utvikling av beslutningsstøtteverktøy for valg av byggemetode, bruk av prefabrikasjon og modularisering, måling og forbedring av produktivitet, kostnadsutvikling, organisering og styring av prosjekter, overføring av lean-prinsipper til byggebransjen.

(Ansvarlig: IBM/Prosjektledelse, AD-fakultetet/arkitektur og planlegging)

- Seriositeten i byggebransjen

Forskningsbasert kunnskap om seriositet i bygg- og anleggsbransjen fremstår som mangelvare. Helse, Miljø og Sikkerhet (HMS) og å forebygge arbeidsmarkeds kriminalitet er sentrale tema i fremtidens byggeprosesser. Antall ulykker i bygg- og anleggsnæringen er fremdeles for høyt, og mer forskningsbasert kunnskap om sikkerhetsarbeidet er nødvendig. Arbeidsmarkeds kriminaliteten kan feste grep om næringen, og har så langt gitt tapte skatteinntekter, skjeve konkurranseforhold, inntreden av tunge kriminalitet i verdikjeden, bruk av falske materialer og sosial dumping.

(Ansvarlig: IBM/Prosjektledelse, IMP/Prosjekt og kvalitetsledelse, AD-fakultetet/arkitektur og planlegging)

- Usikkerhetshåndtering

Analyse og styring av usikkerhet gjennom prosjekters livsløp. Fra usikkerhetsanalyser i tidlig fase til usikkerhetsstyring i gjennomføringsfasen.

(Ansvarlig: IBM/Prosjektledelse, IMP/Prosjekt og kvalitetsledelse, AD-fakultetet/arkitektur og planlegging, IMP/RAMS)

- Tilstandsovervåking

Overvåking av bygninger og konstruksjoner basert på sensorer og satellitter for vurdering av drift, vedlikehold, sikkerhet, pålitelighet og levetidsforlengelse. Satellittbasert overvåking av bølger, havnivå og havstrømmer i forbindelse med bølgekraft og offshore vindkraft, og av vannmengder for bedre hydrologiske modeller. Overvåking basert på sensorer og satellitt (ex Copernicus-Sentinels) av konstruksjoner for vurdering av sikkerhet, pålitelighet og levetidsforlengelse. Tilstandsovervåking basert på LIDAR-teknologi. Tilstandsovervåking av ressursbruk og miljøbelastning for elementer av det bygde miljø.

(Ansvarlig: IBM/Geomatikk/Bygg og anlegg, IBM/VM, IKT/Konstruksjonsmek, IMT, IE-fakultetet/Institutt for datateknikk)

- Avansert databehandling vassdrag

Utvikling i avansert datainnsamling gir nye muligheter for analyse og simulering. Et detaljert datagrunnlag er en forutsetning for god prosess-forståelse og nøyaktige numeriske simuleringer av prosesser i vann. Utvikling av nye fjernmålings- og analysemetoder for å finne topografi, vegetasjon, sedimenter og klimadata. Vi ser et sterkt behov for å utvikle nye måle-metoder som kan samle data raskt og nøyaktig og å utnytte metoder fra "big data" metodikk for å analysere og utvinne informasjon fra store datamengder.

(Ansvarlig: IBM/vassdrag, IHB/Vann-og Miljøteknikk)

Samarbeidsparter, faggrupper, institutt, eksterne

Bygg- og anleggsteknikk (IBM), Prosjekt- og kvalitetsledelse (IPM). Industriell økonomi og teknologiledelse, arkitektur og planlegging, sosiologi, sosialantropologi, informasjonsteknologi, generelle byggfag ved NTNU. I tillegg finnes kompetanse ved SINTEF (Teknologi og samfunn, Byggforsk, Marintek, Energi). Videre finnes det et stort nettverk av internasjonale forskningspartnere.

Relevante finansieringskilder/virkemiddelapparat

Norsk næringsliv: Et stort antall aktører i de ulike bransjer som kan bidra til finansiering av forskning, doktorgradsstipend og stillinger.

Offentlige etater: Kommuner, SVV, JBD, Statsbygg.

Forskningsrådet: Tradisjonelt få relevante programmer, men kan være en kilde og på lang sikt bør det være en ambisjon å få mer gjennomslag i Forskningsrådet.

EU: Også tradisjonelt få åpenbare finansieringsmuligheter, men kan bli mer relevant fremover.

Interesse-/fagorganisasjoner: Ulike bransjeforeninger, Prosjekt Norge, Concept-programmet, osv. har forskningsmidler som det kan søkes om. Det vil være et åpenbart mål å etablere ett eller flere større forskningsprosjekter de neste 2-3 årene samt et doktorgradsprogram med minst 10 stipendiater.

Ressurser (Laboratorier, tungregnerressurser, personell etc)

Innen flere av forskningsområdet vil feltarbeid og god tilgang til caseprosjekter være viktig. IBM's digitaliseringslab skal kunne brukes i deler av forskningen. Denne laben vil utvikles videre. Faggruppene disponerer en rekke avanserte programmer for digital fremstilling av såvel geometri som resultatpresentasjon.

3.7. Mekanikk, ingeniørvitenskapelig grunnlagsfag

Mekanikk er et sentralt grunnlagsfag for svært mye av fakultetets forskning og 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. *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 beregningsorientert analyse (CFD), særlig i forbindelse med aero- hydrodynamiske turbulente strømningsfelt. *Geomekanikken* retter seg mot jordartenes/bergartenes deformasjons- og styrkeegenskaper, gjerne i kombinasjon med væsketrykk, strømming og temperatur. 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 vindinduserte 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.

Eksisterende sentra, store pågående aktiviteter

Forskning innen de ulike retningene i mekanikken foregår gjerne i forbindelse med forskningsoppgaver knyttet til aktuelle problemstillinger som vanligvis også har andre målsettinger enn å løse rent mekaniske problemstillinger. Mange av de større forskningsprogrammene ved fakultetet, slik som eksempelvis i SFI SAMCot, SFI CASA og Toppforskningsprosjektet Fractal har dermed forskningsutfordringer innen mekanikk.

Mål

Med basis i grunnligninger skal vi etablere matematiske modeller og beregningsmetoder som er validerte, robuste, og med høy grad av forutsigbarhet (lavest mulig usikkerhet). Usikkerhet skal kvantifiseres i størst mulig grad. Kvaliteten på simuleringene kontrolleres ved sammenligning med høykvalitets eksperimenter. Forskningen har til enhver tid tilgjengelig regnekraft med høyest mulig ytelse.

Strategier

Forskning innen rene mekaniske emner vil gjerne høre til betegnelsen grunnforskning. Fakultetet har faggrupper med kompetanse og ideer til forskningsområder med potensiale i forhold til Forskningsrådets utlysninger, slik som FRINATEK programmet eller EU programmer som ERC. I tillegg vil mekanikkforskningen fremdeles foregå som viktig element i mange av forskningsutfordringene som er motivert av andre problemstillinger.

Prioriterte forskningsutfordringer

- Materialmekanikk

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. På den eksperimentelle siden er mikroskopi, tomografi og digital bildekorrelasjon viktige metoder ved siden av mer tradisjonelle mekaniske tester. To- og tredimensjonal bildekorrelasjon er viktige teknikker for å ta ut mer informasjon fra mekaniske tester og et aktivt forskningsområde. En annen viktig forskningsutfordring innen materialmekanikken er å etablere fysikalsk baserte modeller slik at modellene både kan beskrive og forklare de fenomenene vi observerer eksperimentelt. Disse modellene vil kunne redusere behovet for mekaniske tester til stor nytte for industrien og bidra til utvikling av nye og bedre materialer. For å nå dette målet må metoder for multi-skala modellering og simulering utvikles og valideres. Disse metodene benytter informasjon fra atomistiske, molekyler-dynamiske og mikromekaniske simuleringer til å etablere matematiske og numeriske modeller på høyere skala for bruk i numerisk analyse av komponenter og konstruksjoner. Metoder for å overføre informasjon fra simulering på lavere til høyere skala, såkalte homogeniseringsmetoder, er et aktivt forskningsområde innenfor materialmekanikken.

(Samarbeidparter: IKT, IBM/Geoteknikk, IMT, IGP, SINTEF Materialer og Kjemi, industri og offentlige etater)

- Beregningsmekanikk

I den senere tid har vi hatt fokus på å utnytte fordelene ved å bruke eksakt samme geometri i design og analyse. Ved å anvende isogeometrisk analyse (IGA) representerer vi geometrien ved det samme sett av basisfunksjoner som vi anvender i analysemodellen. Ved å anvende IGA oppnår vi en sømløs overgang fra design til analyse samtidig som potensialet for store besparelser i arbeidstid, høyere nøyaktighet, mer stabile og robuste analyser er mye større enn

i tradisjonelle FEM analyser. IGA bidrar også til at forskningen innen digitalisering og fokus på integrerte løsninger i den totale byggeprosessen forenkles. Et annet viktig område er konseptuell konstruksjonsdesign hvor IGA har bidratt til mer nøyaktige og bedre verktøy for formoptimalisering. Et annet fokusområde er aerodynamisk stabilitet og modellering av interaksjon mellom luft og konstruksjon (FSI) for hengebroer med lange spenn. Pålitelige responsberegninger for lange hengebroer strekker allerede de metodene vi i dag anvender til det ytterste. I dag designes optimale brotverrsnittene på basis av omfattende vindtunneltester, noe som både er tidkrevende og kostbart, samtidig som usikkerheten knyttet til modellskala er ukjent. En moderat bruk av vindtunneltester sammen med økt bruk av CFD/FSI analyser kan skape nye og forbedrede lastmodeller for mer nøyaktige, sikrere og effektive responsberegninger.

(Samarbeidsparter: IBM, IKT, IMT, SVV, JBD)

- Geomekanikk

Jord, i form av sand grus silt og leire, er det mest brukte bygningsmaterialet regnet i volum. All infrastruktur er bygd på eller av jord eller fjell. Stabilitet av fjell og løsmasser er sentralt i risikovurderinger i sammenheng med jordskred, steinsprang og erosjon. Geomekanikk og matematisk modellering av materialoppførsel er en nødvendig del av all prosjektering og desing som involverer jord.

Forskning innen geomekanikk er viktig for videreutvikling innen områder som:

- Infrastruktur som veier, jernbane brufundament. For å bidra til en bærekraftig utvikling er det nødvendig å kunne utnytte lokale masser på en best mulig måte.
- Med et klima i endring er det en økende fokus på geofarer fra skred og oversvømmelser. Utvikling av bedre modeller for modellering av slike prosesser er viktig for å kunne sikre både eksisterende og framtidig infrastruktur.
- Innen området fornybar energi er geomekanikk viktig for stabilitet av dammer, fundamentering av vindturbiner og jordvarme.
- For utvikling av infrastruktur i arktiske strøk er utvikling av utvikling av termo-hydro-mekaniske modeller viktig for å kunne regne på egenskaper til frossen jord og fryse-tine prosesser.

(Samarbeidsparter: IKT, IGP, IMT, IBM/Marin byggteknikk/vassdrageteknikk)

- Biomekanikk

Dette er et meget bredt område og det er viktig å fokusere på enkeltområder. Vi fokuserer på modellering av mykt og hardt biologisk vev (hjerte, hjerteklaffer, blodårer, bein). Dette kombineres med numeriske løsningsteknikker og simulering av biologiske systemer (hjertekar-systemet) og organer. Forskningsfokus rettes mot viktige medisinske problemstillinger hvor ny kunnskap har stort potensial for forbedret diagnose og behandling (f eks høyt blodtrykk, optimal kirurgi for defekte hjerteklaffer). I et lengre perspektiv kobles mekanikken nærmere biologien ved å finne sammenhenger mellom prosesser på cellenivå og på organnivå. Forskningen er meget tverrfaglig og samarbeid med de beste forskere i medisin er en forutsetning for å bringe biomekanikken inn mot kliniske anvendelser. Derfor er etablering av gode tverrfaglige nettverk en viktig oppgave (medisinere, biofysikere, kybernetikere, bioteknologer osv). Vi jobber kontinuerlig med å utvikle vår egen skreddersydde biomekanikk-lab slik at vi har mulighet til å definere materialmodeller for flere typer biologisk vev. Vevstilgang gjøres mulig ved kontakter i medisinske miljøer (det søkes om godkjenning av bruk hos medisinsk-etiske komiteer/REK).

- Nanomekanikk

Hovedfokuset på vår nanomekanikk forskning er å forstå de grunnleggende nanoskala-flerfysiske mekanismer og deres effekt på og forhold til makroskopiske egenskaper ved hjelp av multiskala simuleringsmetoder og avansert eksperimentell teknologi slik at vi kan

skreddersy materialer og systemer med betydelig forbedrede funksjoner, skade motstand, ytelse og levetid.

(Samarbeidsparter: NTNU fysikk, NTNU IVT-IPM, NTNU petroleum, Michigan Tech, Tsinghua Univ, Darmstadt Univ, Caltech)

Ressurser (Laboratorier, tungregnerressurser, personell etc)

Forskningen krever styrking av laboratoriene innen geoteknikk og konstruksjonsteknikk, i tillegg til videreutvikling av NTNU Nanomekanisk laboratorium. Det aller meste av forskning innen mekanikk krever påvisning 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.

4. Grunnleggende byggfaglig kompetanse

Vår forskningsevne er avhengig av grunnleggende teoretisk og eksperimentell byggfaglig kompetanse. Våre laboratorier må utnyttes og utvikles til en moderne forskningsarena.

Faggruppene innen bygg-området har kort oppsummert forskningstema og dagsaktuelle forskningsmessige utfordringer slik det vurderes fra faggruppens i Tabell 1:

Tabell 1 Faggruppenes forskningsfokus

Institutt - Faggruppe	Forskningsfokus
KT – Betong	Sammenheng mellom produksjon, utførelse, materialestruktur, materialegenskaper og konstruktiv oppførsel samt innflytelsen av aldring og nedbrytning i betong. Nye materialer, armerings- og konstruksjonsløsninger.
KT – Konstruksjonsmekanikk	Konstruksjonsdynamikk: Numerisk modellering, måling på laboratoriemodeller, fullskalamåling. Bruer og lange fjordkrysninger, stokastisk analyse, lastmodellering, sikkerhet/pålitelighet og levetidsforlengelse. Jordskjelvsikre konstruksjoner. Konstruksjoner for energiproduksjon. Overvåking av konstruksjoner for skadeidentifisering. Biobaserte byggematerialer – tre og trekonstruksjoner: Fleretasjes bygninger og bruer i tre, effektive og prefabrikkerte sammenføyninger, pålitelighetsbasert, multiskala modellering av tre, FEM modeller for design basert på fiberkompositter, bruddkriterier og bruddmekanikk, nye multifunksjonelle trebaserte materialer. Beregningsmekanikk: Lukke gapet mellom design og analyse BIM - DAK – FEM. Feilestimat basert på isogeometrisk analyse med anisotrop nettgradering. Løsningsmetoder for problemer med sterke og svake diskontinuiteter. Etablere et flerskala design system for konstruksjonsmaterialer.
KT – SIMLab	Oppførsel og modellering av konstruksjoner og komponenter utsatt for ekstreme lastvirkninger. Bestemmelse av laster. Beskyttelseskonstruksjoner.

IBM – Vassdragsteknikk	Miljøkonsekvenser av vassdragsregulering, Grunnforskning innen vannkraftkonstruksjoner, sediment transport, numerisk modellering, ekstremnedbør.
IBM – Vann og avløpsteknikk	Produksjon av drikkevann og avansert rensing av avløpsvann (membranteknikk, oksidasjon, biologiske og fysisk/kjemiske renseprosesser etc.). Nye forurensingsformer. Vannkvalitet og resirkulering i akvakultur. Gjenbruk. Rehabilitering av ledningsnett. Overvannshåndtering inklusive rensing, urbanisering, klimaendring. Kaldklima.
IHB – Vann-og Miljøteknikk	Vann og Helserisiko modellering. Smart Water Systems (e.g. digitalisering, big data, verktøy osv). Utvikling av drikkevann/avløpsvann renseprosess og nye teknologi («integrated water systems»). Produksjon av drikkevann og rensing av avløpsvann. Rehabilitering av VA ledningsnett. Nye ledningsmaterialer. Rent vann for Utviklingsland. Overvannshåndtering inklusive klimaendring og rensing (e.g. overvann fra tunnel). Gjenbruk (Biogas), Modellering av spredning av forurensing. Vannkvalitet for akvakultur. Avløpsrenseanlegg i spredt bebyggelse.
IBM – Veg og trafikkteknikk	Bærekraftige, miljøriktige transportsystemer: veg, bane og flyplasser. Modellering og testing av veger og vegbyggingsmaterialer. Avanserte undersøkelsesmetoder for veger og annen infrastruktur. Konsekvenser av klima, vintervedlikehold. Sikkerhet for myke trafikanter, Modellering av trafikk, Intelligente transportsystemer (ITS).
IBM – Bygge og anleggsteknikk	Ledelse av BA-prosjekter med utgangspunkt i byggteknisk kompetanse. Tidligfase av prosjekt, Anleggsteknikk/Tunneldrift. Bygningsfysikk, Brannteknikk, Bygningsmaterialer, Miljøsystemanalyse, Eiendomsutvikling
IBM – Geomatikk	Digital informasjon og koordinatfesting av bygget miljø for planlegging, design, bygging, forvaltning og vedlikehold. Digitalt Norge GIS, BIM i stor og liten skala. Geomatikk forsker på innovativ tolkning og bruk av satellittdata f.eks. på sann tids registrering av havbølger for offshoreindustri og akvakultur, virkninger av ekstremnedbør og klima.
IBM – Geoteknikk	Matematisk modellering av jord som materiale. Utvikling av numeriske metoder for geoteknisk design. Avanserte målinger i felt og velutviklet laboratorium. Arktisk teknologi. Praktisk anvendelse på mellom annet: (1) Veg og jernbanebygging, større byggeprosjekter i byer, (2) Offshore vindkraft samt olje og gass, (3) Geohazards (skred)
IBM – Marin byggteknikk	Offshore vindkraft – Kostnadseffektive bunnfaste og flytende konstruksjoner utsatt for ekstreme dynamiske påkjenninger. Kyst og havn – Modellering av virkninger av vind, bølger, strøm, stigende havnivå og islaster inklusive stokastisk modellering på installasjoner langs kysten. Moloer, oppdrettsanlegg. Omfattende forskning innen

	arktisk teknologi på is, islaster, erosjon og permafrost rettet mellom annet mot olje og gass i nordområdene.
IEP – Energiforsyning og klimatisering av bygninger	Systemløsninger og tekniske installasjoner for romoppvarming, ventilasjon, romkjøling, varmt tappevann og lokal energiforsyning, CO2 utslipp. Vannbåren varme i bygningene og fjernvarmenettet. Zero Emission Buildings (ZEB) i samspill med arkitekt, BAT og SINTEF.
IVB – Bygg	Trebyggeri: Massivtreelementer, sammenføyninger Digitalisering: informasjonsflyt, formelle informasjonsmodeller, geomatikk.
IGP – Ingeniørgeologi og bergmekanikk	Ingeniørgeologi-bergmekanikk: undersøkelsesmetoder, drivemetoder, stabilitetsanalyser. Bergsikring, utnyttelse av undergrunnen i byer. Ingeniørgeologi-løsmasser: forurensning av jord og vann, grunnvannsproblematikk, geovarme. Geohazards (skred), interaksjon mellom klimaendring og kryosfæren
IMT - Marine konstruksjoner	Stokastisk, dynamisk analyse av bunnfaste plattformer og vindturbiner utsatt for bølge-, vind- og islaster. Hydrodynamiske laster på og responsanalyse av flytebruer og rørbruer, evt. andre flytere. Arktisk teknologi – med vekt på is-konstruksjons respons. Konstruksjonspålitelighetsanalyse og risikoanalyse av plattformer, vindturbiner, flyte- og rørbruer; arktiske konstruksjoner inkludert estimering av ulykkeslaster.
IMP - Prosjekt- og kvalitetsledelse	Bredt spekter av fagområdet prosjektledelse; tidligfase, interessentledelse, usikkerhetsstyring, oppstart, trimmet bygging, samspill, tidlig varslings. Ledelse av kvalitet gjennom hele verdikjeden, fra kartlegging av behov via design til oppfølging av gjennomføring, statistisk prosesskontroll, prestasjonsmåling. Leder Norsk Senter for Prosjektledelse. Tett samarbeid med BAT, IØT, SINTEF, BI og internasjonale partnere.
IHB – Byggteknikk	Kystinfrastruktur

5. Tverrfaglig samarbeid på NTNU innen bygg, anlegg og infrastruktur

Mange av de prioriterte forskningsutfordringene innen bygg, anlegg og infrastruktur skal løses i samarbeid med internasjonale forskningsaktører, næringen og nasjonale samarbeidspartnere, ikke minst miljøer ved de andre fakultetene på NTNU. Tabell 2 gir noen stikkord.

Tabell 2 Forskningstema med særlig tverrfaglig interesse innen NTNU

Fakultet	Forskningstema
Arkitektur og design	Bærekraftig byutvikling, funksjonalitet og trivsel Digital representasjon, visualisering av bygninger og lokalmiljø for planlegging og beslutningstaking. Byggeprosess og bygningsforvaltning.
Det medisinske fakultet	Innemiljø, ventilasjon og sunne byggematerialer. Effektive sykehus, drift og logistikk
Det humanistiske fakultet	Trivsel i storby, lokalmiljø og innemiljø Trafikkatferd og holdninger til energibruk sparing
Informasjonsteknologi og elektronikk	Elektroniske systemer Sensorer og Kybernetikk
Naturvitenskap	Materialer, Nanomaterialer og andre nye materialer til bygg Vannrensing og vannkjemi
Økonomi Samfunns- og utdanningsvitenskap	Bærekraft, klima, miljø, natur, vann, befolkning og bosetting Entreprenørskap og innovasjon, Operasjonsanalyse og optimering

6. Faggruppenes strategiske samarbeidspartnere

Næringslivsringen for bygg og miljøteknikk er en sentral samarbeidspartner for IV innen Bygg, anlegg og infrastruktur. Ulike faggrupper har for øvrig anført noen av sine sentrale samarbeidspartnere, se Tabell 3.

Tabell 3: Etablerte nasjonale og internasjonale samarbeidspartnere pr. jan 2016

Faggruppe	Nasjonale samarbeidspartnere utenom NTNU	Internasjonale samarbeidspartnere
KT – Betong	SINTEF, Statens Vegvesen, Skanska, Veidekke, Saint-Gobain Weber, Kværner, Norcem, Spenncon, Rescon Mapei, Unicon, Norbetong, Det Norske Veritas, Normet, ulike rådgivere	DTU-danmark, TU-Delft, NanoCem, RILEM, fib, Far Eastern Federal University, Princeton University, Stanford University, EMPA
KT – Konstr-mekanikk	Konstruksjons-dynamikk: Sintef, Statens vegvesen og Jernbaneverket, NORSAR, NGI	DTU-Danmark, University of Iceland, University of Texas at Austin, KTH, Chalmers, University of Canterbury, Aachen University, Texas university of mining & agriculture, Trafikverket Sverige, Europeiske jernbaneinteressenter som DBAG og SBB.

	Biobaserte byggematerialer – tre og trekonstruksjoner: Treindustrien, Norsk treteknisk Institutt, UMB, Limtreprodusentene, større aktører i markedet	ETH Zürich , University of Trento- Italia, Lund University, DTU-Danmark , University of Graz, Auckland University, Eindhoven University of Technology, Technical University of Munich, The University of British Columbia , University of Sassari-Italy. Gjennom COST actions
	Beregningsmekanikk: SINTEF ICT, Applied Mathematics Det Norske Veritas: Research and Software	University of California at San Diego, University of Texas at Austin, University of Umeå
KT – SIMLab	SINTEF, Hydro Aluminium, Forsvarsbygg, Statens vegvesen, Det Norske Veritas: Research and Software, Statoil	Benteler Aluminium Systems, SSAB, Audi, BMW, Renault ,Toyota Motor Europe, Impetus Afea
IBM – Vassdrags-teknikk	SINTEF, met.no, Kraftselskap, spesielt ØTB, NVE	Univ. i Grenoble, Univ. of Braunschweig, Univ. of Budapest, Univ. of Bologna, Karlsruhe Institute of Technology, Univ. of Stuttgart, IGB Berlin, Inst. of Hydrology i Tyskland, Kraftselskap og internasjonale samarbeidspartnere knyttet til CEDREN, Univ i Victoria og andre AMAP samarbeidspartnere
IBM – Vann og avløpstekn.	SINTEF, Statoil, Norsk Vann, NIVA, Aquateam, Norconsult, Salsnes filter.	GE Water Solutions, Veolia ENVRI, membran produsenter, forskningskoalisjon ARC (Aqua Research Coalition). Flere universiteter og FoU-institutter i Europa. Internasjonale universiteter; USA (eg. U of Minnesota, U of Washington, Arizona State U), Australia (eg. UNSW Sydney, UTS Sydney, UQ Brisbane), Kina (eg. CAS China Academy of Science Beijing og Xiamen, Tsinghua University Beijing, Tongji University Shanghai, Chongqing University, Xi'an University of Science and Architecture, Dalian University of Technology, Harbin University), Nanyang University of Technology - Singapore, Seoul National University – Korea, KAUST – Saudi Arabia, S. Afrika (eg. UKZN, Durban, University of Stellenbosch).
IBM – Veg og transport	Statens Vegvesen, SINTEF, JBV, AVINOR, Forsvarsbygg	KTH, VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut Sverige). University of Washington og University of Minesota

IBM – Bygge og anleggstekn.	SINTEF Byggforsk, industripartnere – blant annet gjennom næringslivsringen, UMB, Vestlandsforskning, SINTEF, Tresenteret i Trondheim, Norsk Institutt for Skog og Landskap, Handelshøyskolen BI, Norsk Handelshøyskole i Bergen, Universitetet i Oslo, Universitetet i Agder.	International Initiative for the Sustainable Built Environment (iiSBE), International Council For Research And Innovation In Building And Construction (CIB), United Nations Environment Programme (UNEP), Project Management Institute (PMI), European Construction Technology Platform, Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), University of Southampton, Samarbeidsprosjekt med Strålsikkerhetsmyndigheten i Sverige, deltaker i noen andre EU-prosjekter.
IBM – Geomatikk	Statens kartverk, , The Nansen Environmental and Remote Sensing Center in Bergen, Trådløse Trondheim	Danish National Space Center, School of Earth Sciences at the Ohio State University, Department of Spatial Information Science and Engineering at University of Maine, Orono.
IBM – Geoteknikk	NGI, SINTEF, SVV, NGU, NVE, Statoil, DnV, rådgivende firmaer i geoteknikk.	Universiteter: Chalmers, Aalborg, Univ. Dundee, Bristol, Dublin, Delft, Stuttgart, UCSD, UWA, ETH, Graz, Grenoble, Barcelona, Cantabria. Samarbeid innen forskning og kursvirksomhet med Software firma: Plaxis BV, Delft
IBM – Marin byggtteknikk	Statoil, DNV, the Norwegian Coastal Administration, Sintef, Aker Solutions, Barlindhaug Consult, Olav Olsen, Norconsult.	Aalto University (Finland), TU-Delft, University of Southampton, UK; City University in London, UK, the Technical University of Catalonia (UPC), Barcelona, Spain), Texas A&M College Station, USA, The Ship Model Basin in Hamburg, Germany (HSVA), St.Petersburg State Polytechnic University (SPbSTU) and Moscow Institute for Physics and Technology (MIPT)
IVB – Bygg	Trebyggeri: Norsk treteknisk institutt, Norwegian Wood Cluster Digitalisering: Statens kartverk (signert samarbeidsavtale om undervisning og FoU), SVV, buildingSmart Norge	Norwegian Wood Cluster
IHB – Vann og miljøteknikk	WaterCube , et faglig samarbeidsorgan mellom ulike faggrupper på NTNU for systematisk forskning og tverrfaglig forskning knyttet til vann-	International Water Management Institute (IWMI), WHO, UN Environmental Programme (UNEP), Stockholm Environment Institute (SEI), University of North Carolina (US), DTU-Danmark, TU-Delft, UNESCO-IHE, University of Sarawak, Kwame Nkrumah University of

	sektoren. SVV, NIBIO, FHI, Meteorologisk Inst, Norsk Vann, NVE, JETS AS, Ecomotive AS, NMBU	Science and Technology (Ghana), Durban University of Technology (South Africa)
IEP – Energi- forsyning og klimatisering av bygninger	SINTEF Energi (Avdeling energibruk), SINTEF Byggforsk	University of Saskatchewan, Tsinghua University (China)
IGP – Ing. geologi og bergmek.	SINTEF Byggforsk, Statens vegvesen, Jernbaneverket, NVE, NGU, NGI, Norconsult, Sweco, Multiconsult, IRIS, Acona, Asplan Viak, SNSK og andre norske gruveselskaper	TU Munchen, Colorado School of Mines, KTH, Helsinki Tekn. Univ., Politecnico Torino, BASF, Curtin University (Canada), København Universitet, Lund Universitet, Islands Universitet, Göteborgs Universitet, Boliden, LKAB, CANMET, Robbins
IMT – Marine kon- struksjoner	Marintek, SINTEF FH, DNV, Statoil	Forskningsinstitutter og industri i Europa; samt bl.a. U.Osaka; Shanghai JiaoTong U.; NUS (Singapore), IIT, Madras; MIT, University of California, Berkeley; University of NREL (USA), UFRJ, Rio de Janeiro; oljeselskaper
IMP – Prosjekt og kvalitets- ledelse	NSP (Norwegian Center of Project Management)	Project Management Academy, International Academy for Quality, Serious Games Network of Excellence, Nettverk av europeiske partnere fra en rekke tidligere EU-prosjekter.

7. Arbeidsgruppen for Bygg-området

Deltagere i arbeidsgruppen for Bygg-området, som ble etablert ved starten av prosjektet høsten 2016, fremgår av Tabell 4. I løpet av prosjektperioden har arbeidsgruppen hatt fire allmøter. I tillegg har det vært en rekke enkeltmøter med involverte faggrupper og andre aktuelle faggrupper ved NTNU.

Tabell 4: Deltagere i arbeidsgruppen

Institutt	Faggruppe	Deltagere
Konstruksjonsteknikk	Delprosjektleder	Karl Høiseth
	Stedfortreder	Jan Arve Øverli
IV-fakultetet	Prosjektleder	Sven Erik Nørholm
Energi- og prosessteknikk	Energiforsyning og klimatisering	Hans M Mathisen
	Industriell prosessteknikk	

	Industriell økologi	Helge Brattebø
	Strømningsteknikk	
	Termisk energi	
	Fornybar energi	
Marin teknikk	Marine Konstruksjoner	Torgeir Moan
	Marine Systemer	
Geovitenskap og petroleum	Geologi	
	Ingeniørgeologi og bergmekanikk	Bjørn Nilsen
	Mineralproduksjon og HMS	
	Geofysikk	
	Reservoarteknikk og petrofysikk	
	Brønnkonstruksjon og produksjonssystemer	
Bygg- og miljøteknikk	Bygg- og anleggsteknikk	T Haavaldsen/S Carlucci
	Geoteknikk	Steinar Nordal
	Marin byggtteknikk	Knut Høyland
	Veg og transport	Thomas Jonsson
	Vannforsyning og avløpsteknikk	Sveinung Sægrov
	Vassdragsteknikk	Oddbjørn Bruland
	Bygg og miljø	Rolf Edvard Petersen
Konstruksjonsteknikk	Betong	Terje Kanstad
	Biomekanikk	Bjørn Skallerud
	Konstruksjonsmekanikk	Kjell M Mathisen
	Simlab	Magnus Langseth
Maskinteknikk og produksjon	Design, Analyse og Manufacturing	
	Materialer	
	RAMS	Mary A Lundteigen
	Produksjonssystemer	
	Produksjonsledelse	
	Prosjekt- og kvalitetsledelse	
	Maskinteknikk og logistikk	
Maritime operasjoner	Marine operasjoner	
	Bygg	Razak Seidu
Vareproduksjon og byggtteknologi	Byggteknologi	Fred Johansen
	Vareproduksjon	
Tematiske satsingsområder	Energi, Havrom, Bærekraft, Helse	
Samarbeidende fakulteter	AB	Siri Bakken
	NT	
	IME	Harald Øverby
	SVT	Eirik Albrechtsen
SINTEF		Berit Laanke
Næringsliv	Nordic Mining	
	Cowi	Birgit Farstad Larsen
	Veidekke Entreprenør	Sigmund Aslesen

	Statens vegvesen	Eirik Skjetne
	Jernbaneverket	Ragnhild Wahl