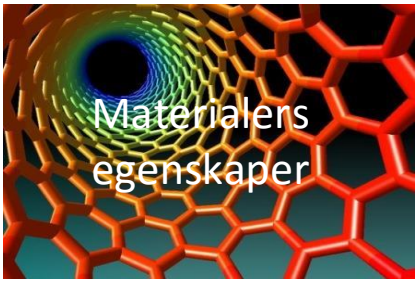
Konkurransedyktig og bærekraftig produksjon

GRUNNLAGS- og STRATEGIRAPPORT

1. september 2017

Jørn Vatn



NTNU/IV RAPPORT

NTNU

Fakultetet for ingeniørvitenskap

Addresse: Høgskoleringen 6, NTNU
NO-7491 Trondheim
NORWAY
Telephone: +47 73 59 45 01

Enterprise No.: NO 974 767880 MVA

TITTEL:

Forskningsstrategi IV-fakultetet 2018-2022

Del B:

Konkurransedyktig og bærekraftig produksjon

FORFATTER(E):

Arbeidsgruppen for produksjonsområdet v/Jørn Vatn

ABSTRAKT:

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

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

Regjeringens industrimelding som ble lagt fram i mars 2017 peker på behovet for at nye materialer tas i bruk og at prosesser endres, automatiseres og digitaliseres. Det er behov for en reindustrialisering hvor norsk industri settes i stand til å ta tilbake produksjon som tidligere har blitt satt ut til lavkostland.

Industrimeldingen peker også på behovet for omstilling og at denne må skje innenfor bærekraftige rammer: «Det grønne skifte».

NTNU-IV sin forskningsstrategi på produksjonsområdet svarer på de utfordringer som reises i industrimeldingen. Følgende strategiske forskningsområder løftes fram:

1. Produkter og tilvirkningsprosesser
2. Materialers egenskaper
3. Digitalisering og automatisering av produksjon
4. Verdikjeder og industrialisering
5. Lavvolumproduksjon

I denne rapporten er områdene kort beskrevet. Videre beskrives tilhørende faggrupper ved NTNU-IV og hvordan disse faggruppene tar fatt i forskningsutfordringer innenfor de strategiske forskingsområdene.

1. Innhold

1. Innhold v
1 Innledning 1
2 Digitalisering som bakteppe 2
3 Det grønne skifte 3
4 Grunnleggende og generiske fagfelt 3
5 Forskning for et bærekraftig industrielt Norge 5
5.1 Produkters livssyklus 6
5.1.1 Digitalisering 6
5.1.2 NTNU sine konkurransemessige fordeler 7
5.1.3 Knytningen til norske forhold 7
5.1.4 Det grønne skifte 7
5.2 Produksjonsteknologi 7
5.2.1 Digitalisering: 8
5.2.2 NTNU sine konkurransemessige fordeler 8
5.2.3 Det grønne skifte 8
5.2.4 Knytningen til norske forhold 8
5.3 Verdikjeder 8
5.3.1 Digitalisering 10
5.3.2 Det grønne skifte 11
5.3.3 Norske forhold 11
5.3.4 NTNU sine fortrinn 11
6 Forskningslaboratorier 12
7 Strategiske forskningsområder innenfor produksjon 12
7.1 Produkter og tilvirkningsprosesser 12
7.2 Materialers egenskaper 13
7.3 Digitalisering og automatisering av produksjon 13
7.4 Verdikjeder og industrialisering 14
7.5 Lavvolumproduksjon 15
8 Forskningsgrupper - Oversikt 16
8.1 Faggruppe Produksjonssystemer (MTP) 17
8.2 Faggruppe DAM (MTP) 17
8.3 Faggruppe Produksjonsledelse (MTP) 17
8.4 Faggruppe Materialer (MTP) 17
8.4.1 Forskningsfokus i faggruppen 18
8.4.2 Kompetanseområder 18
8.4.3 Forskningsaktiviteter knyttet opp mot produksjon 18

8.5 Faggruppe RAMS (MTP) 19
8.5.1 Forskningsmessige hovedutfordringer for RAMS gruppa 19
8.5.2 Vitenskapelig og ingeniørmessige underdisipliner 19
8.6 Faggruppe Bærekraftig Vareproduksjon (IVB) 20
8.7 Faggrupper Prosjekt- og kvalitetsledelse (MTP) og Bygg og anleggsteknikk (IBM) 21
8.7.1 Konkretisering av forskningstema 22
8.7.2 Prosjektledelse sine bidrag inn mot de overordnede forskningstema innenfor produksjon 22
8.8 Faggruppe Industriell økologi / IndEcol (EPT) 23
8.8.1 Forskningsmål 23
8.8.2 Tematiske anvendelsesområder 23
8.8.3 Metodeutvikling 23
8.8.4 Bidrag til strategiske forskningsområder 24
8.9 Faggruppe for bachelorutdanning (MTP) 24
8.10 Faggruppe Marine Systemer (IMT) 25
8.10.1 Faggruppens bidrag inn mot de strategiske forskningsområdene 26
8.11 Faggruppe Industrial Engineering (IHB) 27
8.12 Faggruppe Konstruksjonsmekanikk (KT) 27
8.12.1 Forskningsfokus i faggruppen: 28
8.12.2 Forskningsaktiviteter knyttet opp mot de strategiske forskningsområdene 28

1 Innledning

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

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

Det overordnede samfunnsmålet forskningen ved NTNU-IV skal støtte opp under er:

Konkurransedyktig og bærekraftig produksjon

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

Industrimeldingen peker på behovet for omstilling innenfor bærekraftige rammer (det grønne skifte), betydninger av tilgang på kapital og tilgang på kompetanse og viktigheten av forskning, innovasjon og teknologiutvikling.

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

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

- Produkter og tilvirkningsprosesser
- Materialers egenskaper
- Digitalisering og automatisering av produksjon
- Verdikjeder og industrialisering
- Lavvolumproduksjon

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

Forskningsstrategien for produksjonsområdet er en revidering av arbeidet utført i 2011 for perioden 2012-2020. Revisjonen var begrunnet i omorganiseringen av NTNU i 2016/2017 ved at fagmiljøer ved de tre tidligere høgskolene i Gjøvik, Ålesund, og Sør-Trøndelag (HiST)

ble innlemmet i det nye fakultet for ingeniørvitenskap ved NTNU (NTNU-IV). De tre miljøene representerer viktige bidrag på produksjonsområdet både i forhold til fagmiljøene de representerer og kontakten de har med næringsliv og forvaltning.

Området produksjon står sterkt i forskningsstrategien ved NTNU-IV. Herunder tenker vi både på produktene som skal produseres, produksjonsteknologien for å kunne produsere, og de tilhørende verdikjedene som må utvikles for lønnsom og bærekraftig produksjon i Norge.

Bruken av begrepene 'produksjon', 'vareproduksjon' og 'tilvirkning' brukes noe forskjellig, både på norsk og internasjonalt. I amerikansk terminologi benyttes 'manufacturing' som det overordnede begrep mens 'production' er knyttet til fysisk fremstilling av produkter. Britisk terminologi er motsatt hvor 'manufacturing' betegnelse på den fysiske fremstillingen mens 'production' omfatter bedriftens totale virksomhet. I denne fremstillingen brukes begrepet 'produksjon' i en bred forstand, mens begrepene vareproduksjon og tilvirkning er snevrere begreper som er mer knyttet til den fysiske produksjonen i en fabrikk eller på et verkstedgulv.

2 Digitalisering som bakteppe

Allerede i 2011 ble bruk av IKT, digitalisering og automatisering pekt på som avgjørende for fremtidig produksjon i Norge. Siden den gang har begrepet 'digitalisering' blitt allemannseie, og nesten enhver virksomhet med respekt for seg selv har en avdeling med «digital» i navnet. Slik er det også ved NTNU hvor IKT er en av de tre muliggjørende teknologier som er løftet fram og går under navnet NTNU Digital (http://www.ntnu.edu/ict). Tyskerne har lansert begrepet 'Industri 4.0' hvor det fysiske systemet kobles sammen med en virtuell tvilling via sensorteknologi og internett. Grunnelementene i digitaliseringen er ikke i dramatisk endring. Det er fortsatt snakk om beregningsverktøy, samhandlingsverktøy og programmerte roboter i produksjonen og andre former for automatiserte operasjoner som krever beregningskraft. Det nye er at man nå ser muligheten for å koble ting sammen i *sann tid*. En rivende utvikling på sensorsiden, hvor kostnader er betydelig redusert, samt sammenkobling via internett (IoT = Internet of Things) og skyberegning (cloud computing, IoS = Internet of Service) åpner helt nye muligheter.

Tilgangen til data om produktene, produksjonen og verdikjedene gir også store utfordringer. Begrepet 'stordata' (big data) viser til datasett som er så store eller komplekse at de er vanskelige å analysere med vanlige dataprosesseringsverktøy. Grunnlaget for stordatabehandling[1] ligger i teknologier som prosesseringskraft, lagringskapasitet, kommunikasjonskapasitet, allestedsnærværende og gjennomtrengende databehandling, og standardidentifikatorer. Forskningen ved NTNU-IV er ikke knyttet til disse teknologiene som sådan, men hvordan de kan utnyttes i forhold til f eks produksjon. Det kan for eksempel bety hvordan man kan søke i store data for å finne modellparametere som benyttes i optimaliseringsmodeller for å maksimere verdikjedene. Både tradisjonelle statistiske- og kunstig intelligens (AI = artificial intelligence) metoder kommer til anvendelse.

Å koble sammen systemer i sann tid gir enorme muligheter til effektivt å kunne styre produktutvikling, produksjon og verdikjeder. For å få til dette kreves et betydelig løft i data-kunnskaper til de som skal utvikle systemene. En «produksjonsingeniør» må beherske programmering på et høyt nivå med kjennskap til flere programmeringsspråk, ha god innsikt i algoritmer og datastrukturer, samt forstå standarder og protokoller for datautveksling. I dagens studieprogrammer ved NTNU-IV er denne kunnskapen for svak, og det må arbeides for en styrking av datakunnskapene, noe som vil gå ut over andre fag. I dag er det svært

[1] https://no.wikipedia.org/wiki/Stordata

vanlig å outsource IKT- og programmeringsjobber til f eks India. Dette skyldes både lave kostnader men også at relevant kompetanse ikke finnes i Norge. Vi ser dessverre også jevnlig negative konsekvenser av slike strategier, f eks at en oljeplattform kan settes ut av spill av en programmerer i India, og at programmerere i India over lang tid har hatt tilgang til nødnettet i Norge. Sårbarheten digitaliseringen medfører er åpenbar og det blir særdeles viktig å utvikle kunnskap om pålitelighet til, og sikring (security) av dataløsningene. Dette gjelder enten programmering og utvikling skjer hjemme eller i utlandet.

8. mars 2017 ble NTNU AI-lab åpnet. Viktigheten av IKT som muliggjørende teknologi var åpenbart på agendaen. At AI-labben vil bli viktig for produksjonsområdet er også åpenbart. Men for å gi en retning ble et viktig budskap formulert av Astrid Undheim (VP Analytics and AI at Telenor Research): Programmering og kunnskap om programmering er avgjørende for å kunne lykkes med digitaliseringen. Dette er noe som også ble løftet frem i møter med Ålesundsindustrien i slutten av februar 2017 og i møter med på Raufossindustrien i april 2017.

Regjeringens Industrimelding[2] peker på digitalisering som avgjørende for konkurransedyktig og bærekraftig produksjon i Norge. Å beherske IKT både for utvikling av nye komponenter, for å produsere dem, og utvikling av nye forretningsmodeller knyttet til produkter og produksjon er viktig for å ta tilbake produksjon fra utlandet, for å beholde eksisterende produksjon, og for å utvikle nye produkter og produksjonssystemer i Norge. Konkret pekes det på digitalisering av selve produksjonsprosessene (automatisering, 3D-printing osv), digitalisering for integrert produktutvikling og produksjon, digitalisering som muliggjørere for nye forretningsmodeller, og digitalisering av administrative prosesser f eks for å forenkle kommunikasjon med offentlig myndigheter for mindre bedrifter og knoppskytinger.

3 Det grønne skifte

For å nå FN sine klimamål er det avgjørende å tenke bærekraft i alle ledd knyttet til produksjon. Dette blir også grundig omtalt i Industrimeldinga. For å tiltrekke seg norske og utenlandske investorer for å kunne produsere i Norge vil det framover bli helt nødvendig å kunne demonstrere at produksjonen er bærekraftig. Det betyr at kunnskap som trengs for å dokumentere bærekraft må utvikles og bli en del av verktøykassa for hele forskningsfeltet. Verktøykassa skal i tillegg til å dokumentere bærekraft også benyttes til å finne de mest bærekraftige løsningene. Sirkulær økonomi er et slikt verktøy. Mens en tradisjonell lineær økonomisk modell er basert på at man utvinner ressurser, produserer, bruker og kaster dem, er en *sirkulær økonomi* basert på gjenvinning, reparasjon og forbedring. Sirkulær økonomi handler om å gjenbruke ressurser, men også om å redusere mengden avfall, utnytte ressursene bedre og mer effektivt, øke levetiden til produkter og benytte flere resirkulerte materialer i nye produkter.

4 Grunnleggende og generiske fagfelt

Området produksjon preges av forskning på mer anvendelsespregede felt, men har også kompetanse og forskningsaktivitet på mer grunnleggende og generiske fagfelt. En kort oversikt over disse fagfeltene er angitt i de etterfølgende avsnitt.

[2] Stortingsmelding nr 27 2016/17: (Industrien – grønnere, smartere og mer nyskapende): https://www.regjeringen.no/contentassets/9edc18a1114d4ed18813f5e515e31b15/no/pdfs/stm201620170027000dddpdfs.pdf

Designområdet er i sin natur lite relatert til grunnleggende generisk forskning i tradisjonelle forstand. I tillegg til grunnleggende estetikk og formgivning er forskning innen interaksjonsdesign, designmetodikk og bærekraftig produktdesign viktige områder. Et annet viktig område i designforskning er hvordan industrien skal anvende grunnleggende kunnskap i en rekke områder relevant i industriell designvirksomhet.

Innenfor tradisjonell produktutvikling er det stort fokus på tidligfase produktutvikling (Discovery), Kunnskapsbasert-Lean produktutvikling (Development) og Design for X, samt tilvirkning og integrasjon av krav fra tilvirkningsprosesser og bærekraftighet (Delivery) i produktutvikling. Utvikling av modeller (teori- og eksperimentalbaserte) og mekanismeforståelse innenfor metallforming, samt utvikling av konseptuelle løsninger nye teknologier (med potensial for økt kundeverdi) og tilvirkningsprosesser er et viktig forskningsområde.

Innen fagfeltet produksjon og logistikk er de grunnleggende teorier, prinsipper, modeller og metoder for planlegging og styring i stor grad generiske, og har relevans og anvendelse på en rekke andre områder. Styring av ressurser og vare- og informasjonsstrømmer er like gyldige innen kommunikasjon og infrastruktur, drift av offentlige og privat tjenesteyting, og driftsorganisasjoner som oljefelt, skipsflåter etc. Det samme gjelder fagkunnskapen om hvordan IKT-støtte og systemer kan utvikle og forbedre prosesser og tjenester, i forhold med både manuelle og papirbasert metoder som verdistrømkartlegging, systems engineering og bedriftsanalysemodeller (enterprise models), og mer IKT basert metoder. I den siste gruppen finner vi både de mer kartleggende og beskrivende metodene som for eksempel prosesskartlegging og styringsmodeller, samt de mer matematisk basert metodene for simulering og optimering. Innhenting av fremadskuende prestasjonsdata og til rettelegging for transparens innad i virksomheter og langs hele verdikjeder vil også være sentrale virkemidler for å oppnå høyere prestasjonsnivå og bedre kvalitet.

Når det gjelder produksjonssystemer, er additive prosesser for metalliske produkter en relativt ny og revolusjonerende produksjonsmetode. Den gjør det mulig å fremstille former i metalliske produkter som har vært nærmest umulige med de gamle metodene for metallprodukt tilvirkning. I dag ser vi metoden anvendt for verktøyfremstilling, prototypproduksjons og for medisinske implantater. Den vil bli stadig mer effektiv og kan gi grunnlag for ny og spennende produksjon i Norge. De additive metodene er generiske for fremstilling av metalliske produkter og kan komme til anvendelse over alt hvor ekstreme krav til form og/eller materiale foreligger. Det er i dag ingen produksjon av maskiner for additive prosesser i Norge. Det er derfor heller ingen forskning knyttet til den primære teknologien. Aktiviteten i Norge er primært knyttet til effektiv utnyttelse av denne teknologien. For NTNU-IV betyr dette primært å bygge på generisk kunnskap innen materialteknologi og produksjonsmetoder.

Sammenføyningsteknologier er et viktig fundament for produksjon hvor ulike typer materialer skal kombineres i et produkt. Her trengs grunnleggende kunnskaper om materialer for å forstå hva som skjer når man skal sammenføye ulike materialer, f eks metaller, polymerer og keramiske enheter. Videre blir det avgjørende å utvikle robuste produksjonsmetoder slik som automatisert lasersveising.

Intelligente robotsystemer er en fellesbetegnelse for robotsystemer der styringen er utviklet for å kunne utnytte signaler fra en rekke sensortyper for sanntids korrigering av robotoperasjonene. På dette området utvikles det nys styresystemløsninger parallelt med utvikling av teknologisk innsikt i de prosessene hvor robotene anvendes. I dag forskes det på handtering av fleksible materialer som skinn og tekstiler ved møbelproduksjon, kjøtt og fisk i matvareindustrien. Fremtidige utviklingstrekk er roboter som kan kombinere informasjon fra

DAK-modeller og elektroniske kamera, såkalt datasyn, for selv å kunne bestemme metoden for bearbeiding og montasje av produkter.

Intelligent prosessovervåking omfatter utvikling av nye metoder for overvåking av alle vitale parametere som har innvirkning på produktets kvalitet i mekanisk industriproduksjon. Dette omfatter både etablering av sammenhengen mellom målbare parametere og produksjonsresultat og bruk av komplekse Computational Intelligence metoder for analyse av måledata for styring av produksjonsprosessene. Slike metoder er generisk i sin natur, mens anvendelsene er spesielt knyttet til sanntidsstyring av maskiner og prosesser hvor man søker det ultimale mål om nullfeil i produksjonen.

Miljømessig bærekraft, samfunnsansvar, sikkerhet, pålitelighet og vedlikeholdsvennlighet er fundamentale egenskaper til både produkter og systemene for produksjon av disse. Forskningen på disse områdene er generisk i sin natur, og må tilpasses produksjonsområdet, f eks er man innenfor området sirkulær økonomi opptatt av en bærekraftig bruk av mineraler og andre råmaterialer som skal inngå i produktene, mens man for vedlikeholdsområdet er opptatt av hvordan vedlikehold og produksjon/drift kan synkroniseres på en effektiv måte.

I Norge foregår svært mye av produksjonen i form av såkalt småskalaproduksjon[3], f eks bygging av et skip. Arbeidet organiseres da som et prosjekt, og effektiv prosjektledelse er avgjørende for å nå kravene til tid, kostnader og kvalitet. Prosjektledelse er et generisk fag mens utfordringer innen produksjon ofte er knyttet til store og komplekse prosjekter, stor grad av samhandling mellom ulike selskaper fra ulike land og med ulike kulturer.

5 Forskning for et bærekraftig industrielt Norge

Det norske samfunnet er avhengig av en bærekraftig verdiskaping, og industrien er ryggraden i denne verdiskapingen. Utvikling og utnytting av teknologi for å utvikle, produsere og levere produkter og tjenester basert på våre naturgitte og kompetansemessige forutsetninger må prioriteres. Fremtidens produkter, produksjonssystemer, verdikjeder og infrastruktur må møte kravene til bærekraft og de aller fleste prosesser og produkter må automatiseres og digitaliseres.

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

For å utvikle forskningsstrategien er området produksjon oppdelt i følgende dimensjoner:

- ***Produkter og systemers livssyklus:*** Fokus er på de ulike livsfasene fra design og utvikling, produksjon, bruk/drift av produkter og systemet og til slutt avhending/resirkulering
- ***Produksjonsteknologi:*** Fokus er på selve tilvirkningsprosessene hvor digitalisert og automatisert produksjon er avgjørende
- ***Verdikjeder***: Fokus er både på verdiskapningen i selve produksjonen men også på produktenes bidrag til verdiskapningen i samfunnet.

Dimensjonene er overlappende og det er viktig å dyrke overlapp og synergier. Det kan argumenteres for at en slik oppdeling sementerer eksisterende forskningsgruppene ved NTNU-IV. Det velges likevel å gjøre en slik oppdeling fordi man da kan bli mer konkret på

[3] På engelsk benyttes ofte begrepet 'One-Of-a-Kind-Production'. I denne presentasjonen vil vi ikke skille mellom situasjoner hvor det lages bare en fysisk enhet, eller om det lager en serie av begrenset størrelse. Det prinsipielle skillet er i forhold til masseproduksjon.

forskningsutfordringene som de ulike forskningsgruppene kan utvikle forskningsstrategier i forhold til. For de tre områdene gjøres det egne vurderinger mht følgende forhold:

- Digitalisering
- Det grønne skifte
- NTNU sine konkurransemessige fordeler
- Knytningen til norske forhold

Produktene, å produsere dem (produksjonsteknologi) og tjene penger på dette (verdikjeder) sees på som basisen for produksjonsområdet uavhengig av forskningsstrategien. Senere i dette dokumentet løftes fram fem forskningsområder som vurderes å ha stor strategisk betydning for forskningen ved NTNU-IV i årene 2018-2022.

For produksjonsteknologi er tilgang på hensiktsmessige laboratorier avgjørende. I beskrivelsen av produksjonsteknologi er derfor viktige elementer fra MANUNET søknaden om infrastrukturmidler innbakt. Det er åpenbart at forskningsstrategien og NTNU sine konkurransemessige fordeler i stor grad vil avhenge av utvikling av NTNU sine laboratorier.

5.1 Produkters livssyklus

Produkter og systemer som skal utvikles og produseres i Norge vil være kjennetegnet ved at de har relativt høy pris som forsvarer produksjon i et høykostland. Det forventes at produktene å systemene i større og større grad vil ha innebygget sensorteknologi og datakraft for selvdiagnose, integrasjon med andre produkter osv. I lys av det grønne skifte vil også bærekraft og sirkulær økonomi bli avgjørende på alle plan for fremtidens produkter og systemer. Forskning vil adressere alle fasene i livssyklusen til produkter og systemer. Viktige forskningsområder er:

- Produktutvikling og design av produkter med relativt høy salgsverdi hvor sensorer, algoritmer og datakraft er innebygd i produktene.
- Bærekraft og sirkulær økonomi som sikrer at alle livssyklusfaser analysers med hensyn på miljømessig fotavtrykk.
- Metoder og tilnærminger som fostrer innovasjon, effektiv og lean[4] produktutvikling og produksjon
- Metoder og tilnærminger som bidrar til sikre og pålitelige produkter som lett kan vedlikeholdes
- Metoder og tilnærminger for å analysere geometri- og materialegenskaper som sikrer lang levetid og riktige funksjonsegenskaper
- Metoder tilnærminger som understøtter løsninger med menneske i fokus for en interaktiv utviklings- og designprosess.

5.1.1 Digitalisering

Svært mange produkter har i dag innebygget elektronikk og datakraft for styring og diagnose. Denne utviklingen forventes å fortsette. Billig sensorteknologi og tingenes internett (IoT) gjør at tilstand og status til produktene kan overvåkes i sann tid. For produktene blir det derfor viktig å sikre at det bygges inn tilstrekkelig hardware (sensorer, kommunikasjonstenologi osv) til både dagens bruk men også fremtidig bruk. Med hensyn på programvare blir det

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

avgjørende at slik programvare kan oppdateres via internett slik vi ser det for f eks smarttelefoner.

5.1.2 NTNU sine konkurransemessige fordeler

NTNU sammen med SINTEF representerer majoriteten av nasjonale forskningsenheter på produksjonsområdet og NTNU er derfor godt posisjonert for å vinne forskningsprosjekter i samarbeid med norsk industri. På noen områder slik som Lean produktutvikling, aluminium- og metallforming, intelligent produktdesign og produkters materialegenskaper er NTNU internasjonalt anerkjent.

5.1.3 Knytningen til norske forhold

I Norge er det mange kompetansesentra og industriklynger. Bergensregionen har blitt et senter for undervannsteknologi og undervannsutstyr. I Buskerud, og spesielt på Kongsberg, er det utviklet et fremragende miljø knyttet til subseateknologi, automasjon og dynamisk posisjoneringsutstyr. Sørlandet bidrar med verdens ledende selskaper innenfor boreteknologi. Nord-Vestlandet har et unikt skipsbyggings- og skipsutstyrsnettverk. Raufoss har blitt et sterkt kompetansemiljø innenfor lettmetaller og automatisert produksjon av blant annet bildeler og komposittflasker for gass. Å videreføre det gode samarbeidet NTNU har med disse miljøene er viktig for at NTNU sin forskning på produktutvikling skal være relevant og verdensledende.

5.1.4 Det grønne skifte

Vareproduserende industri må være med på å finne løsninger mht miljøvennlige produkter og forretningsmodeller. Regjeringens Industrimelding[5] påpeker at: ”Teknologisk utvikling, innovasjon og forskning kan gi viktige bidrag til å løse miljøutfordringer og gi et mer bærekraftig samfunn”. Grønn transport, fornybar energi etc. krever at vareproduserende bedrifter kan produsere miljøvennlige produkter som f.eks. biler med lette materialer og effektive solceller og vindmøller med bærekraftige produksjonsmetoder og materialer. På dette området er svært mye ugjort og forskning og utvikling er derfor nødvendig for å sikre bedriftene i Norge en bærekraftig fremtid.

5.2 Produksjonsteknologi

Norge er et høykostland og må derfor basere produksjonen på høy grad av automatisering. Automatisering i seg selv er imidlertid ikke lengre tilstrekkelig for lønnsom produksjon i Norge. Det kreves at produksjonsbedriftene har høy kompetanse for å sikre fleksibel automatisert produksjon for små seriestørrelser, kundetilpasset produksjon og hurtig rekonfigurerbar produksjon. Det betyr konkret å kunne programmere produksjonslinjene, selve tilvirkningsprosessen osv. Digitaliseringen hvor sanntidsinformasjon om hele produksjonslinjen blir tilgjengelig stiller også høye krav til å utvikle tekniske kontrollsystemer for å justere produksjonen kontinuerlig. Viktige forskningsområder er:

- Konsepter og modeller for sanntidsstyring av produksjon («digitalisering»)
- Modellering, simulering og optimering av produksjonsystemer og produksjonsprosesser
- Utvikling av selvkorrigerende produksjonsmetoder for nær nullfeil produksjon
- Utnyttelse av statistisk prosesskontroll og prestasjonsmåling for automatisert produksjonsovervåkning og -styring

[5] Stortingsmelding nr 27 2016/17: (Industrien – grønnere, smartere og mer nyskapende)

- Utvikling av metoder for automatiske selvprogrammerende (lærende) prosesser for tilvirknings- og montasjeceller
- Nye produksjonsformer basert på additiv tilvirkningsprosesser
- Sammenføyningsteknologi for heterogene materialer
- Lasersveising i kombinasjon med roboter for posisjonering og forming av sammenføyningsmaterialene
- Mikro- og nanoproduksjonsmetoder for mekaniske produkter
- Robotbaserte fleksibel automatisk montasje for lavvolumproduksjon
- Energieffektive produksjonsmetoder
- Integrasjon av produktutvikling og produksjon

5.2.1 Digitalisering:

Forskning på såkalte kyberfysiske systemer (Cyber Physical Systems) blir viktig for digitaliseringen av produksjonen. Fra et produksjonsteknisk system blir det viktig å effektivt kunne bruke tilgjengelig sensorteknologi og koble sanntidsinformasjon om produksjonsflyt og tilstand på produkter og produksjonsutstyr sammen ved hjelp av internett. Forskningen vil ha spesielt fokus på hvordan IoT (Internet of Things) og IoS (Internet of Services) effektivt kan benyttes for å utvikle de såkalte digitale tvillingene (digital twins). Innebygde datasystemer (embedded computer systems), kommunikasjonsprotokoller og hendelsesbaserte dynamiske semantiker er viktige stikkord.

5.2.2 NTNU sine konkurransemessige fordeler

NTNU har gode laboratorier for forskning på produksjonsteknologi. Det gjør at NTNU er en attraktiv partner for både grunnleggende og anvendt forskning. NTNU har godt samarbeid med industriklynger for vareproduksjon på Raufoss og Kongsberg og verftsindustri på Nord-Vestlandet. Videre er det et stort potensiale for digitalisering og automatisering på «nye» områder, f eks trelastindustrien på Østlandet og fiskeindustrien langs hele kysten. NTNU sine fagmiljø på Gjøvik og i Ålesund har styrket disse samarbeidsrelasjonene.

5.2.3 Det grønne skifte

Det er behov for å styrke forskningen på bærekraft inn mot produksjonsteknologi. Dette gjelder både forskning på effektive tilvirkningsmetoder som krever mindre bruk av innsatsfaktorer slik som energi og råmaterialer, men også produksjonsprosesser som gjør det mulig og lønnsomt å gjenvinne materialer fra f eks feilproduksjon, restmaterialer fra produksjonen osv.

5.2.4 Knytningen til norske forhold

Norge som skipsnasjon gjennom generasjoner har bidratt til en sterk verftsindustri i Norge. Verftsindustrien har styrket seg videre som følge av olje- og gassvirksomheten. Det betyr at Norge er verdensledende på produksjon av skip, oljeplattformer og lignende produksjon av små serier eller enstykksproduksjon (One-Of-a-Kind-Production). Norge har også en vareproduksjon på Raufoss og Kongsberg som på visse områder er verdensledende, f eks leveranse av deler til bilindustrien.

5.3 Verdikjeder

Produksjon i Norge krever at vi forstår verdikjedene både knyttet til produktene, produksjonen, leveranse og omsetning av dem. Videre kreves utvikling og produksjon av komplekse og avanserte produkter forankret i nasjonale og regionale styrker og kompetansefortrinn (offshore, subsea, marin, bærekraftig energi, arktisk, elektronikk,

material- og formingskompetanse osv). I tillegg til klassiske produkter er det også viktig å forstå industrielle og kommersielle verdikjeder for mat og fisk, med fokus på bærekraft, kvalitet og særegenhet matopplevelser.

Kunnskaps- og informasjonssamfunnet har flyttet fokus fra å levere produkter med service til å skape tjenester/service med produkter. Av dette følger at det ikke bare er produktets fysiske kvalitet som er avgjørende for konkurranseevne og suksess i markedet, men også det at produktet blir levert til rett tid, på rett sted og til rett pris, det vil si at det i dag stilles nye krav og utfordringer til bedrifters logistikk. Framveksten av Supply Chain Management bygger videre på at det ikke lenger er tilstrekkelig bare å forbedre og styre logistikken i egen bedrift. Like nødvendig er det å involvere alle aktører som bidrar til verdiskapingen av produktet/tjenesten, direkte eller indirekte, helt fra råvarekilde til sluttbruker, inklusive resirkulering og gjenbruk. For å oppnå størst mulig fordeler og konkurransemessige fortrinn fra logistikken er det altså behov for å utvide det interne logistikkperspektivet oppstrøms til å omfatte leverandører, leverandørers leverandører etc. og nedstrøms til å omfatte kunder, kunders kunder etc. Dette er på mange måter kjernen i tankegangen som ligger til grunn for Supply Chain Management.

Bærekraft og massetilpasning er fundamentale krav som stilles til dagens verdikjeder.

Kjernen i Brundtland sin definisjon av bærekraft (UN 1987) er "utvikling som oppfyller behovene til den nåværende generasjonen uten å gå på bekostning av fremtidige generasjoners evne og mulighet til å møte sine egne behov". Brundtlandrapporten medførte betydelig innsats for å bevare ressurser samtidig som det fremmer samfunnsmessige forbedringer. Prinsippene for bærekraftig utvikling fokuserer på livssyklusen til produktet eller tjenesten og man forsøker å sikre at prosessen er strømlinjeformet og sømløst integrert. En helhetlig systemtilnærming bidrar til å integrere alle aktiviteter i verdikjeden mest mulig effektivt. (Gibson, Yoke San, Pham, Pham, & Thomas, 2008; Rusinko, 2010). Supply Chain Management er viktig for operasjonell produksjonseffektivitet og berører tema knyttet til blant annet den raske veksten av multinasjonale selskaper og strategiske partnerskap; Global ekspansjon og handel; varierende energipriser og miljøhensyn. Hvert av disse forholdene har stor betydning for bedriftens strategi og bunnlinje. Supply chain management er derfor en av de mest kritiske forretningsdisipliner i dagens globale samfunn.

Etter hvert som massetilpasningsområdet har blitt mer populært og modent blant selskaper som opererer i ulike sektorer, er det særlig to utfordringer man ser for å lykkes: Produksjon for massetilpasning. Til nå har man innført fleksible og rekonfigurabe produksjonssystemer, som muliggjørere for massetilpasning. Men masseproduksjon produksjon er ikke bare avhengig av fremskritt i produksjonsteknologi. Organisering av produksjonsprosessen er viktig slik at man unngår tidlig spredning av kundeordre. Et annet sentralt tema er strukturer for forsyningskjedene for massetilpasning. Her er det avgjørende å håndtere material- og informasjonsflyt sammen med kunder og leverandører for å forbedre ikke bare effektiviteten men også kundetilfredsheten.

Tilbud og etterspørsel har alltid vært av kritisk betydning når det gjelder forbruksvarer. I forhold til personalisering er dette enda viktigere. Hvor mange produkter må masseproduseres til standardspesifikasjoner? Hvor mange produkter må være forberedt for personliggjøring? Det er behov for sanntidsforståelse av operasjonene - ordre, avkastning, forventninger, markedstrender, osv. Det er også et behov for sanntidsinformasjon om hvor produktets deler og materialer befinner seg. Sanntidsdata gjør det mulig å produsere i takt med etterspørselen slik at man kan redusere lager og logistikk-kostnader.

Viktige forskningsområder er:

- Bærekraftige logistikksystemer
- Metodikk og modeller for systematisk design av dynamiske verdikjeder tilpasset fremtidens internettbasert forretningsmodeller
- Neste generasjons ledelse og styringsmodeller med globale samhandlingsmekanismer i verdikjeden
- Metodikk for analyse av hvor verdiskapningen skjer og hvilken deler av verdikjeden Norge skal tjene penger på og for dynamisk tilpasse produksjon hjemme og ute ut fra endringer i rammebetingelser, etterspørsel osv
- Nye modeller for produktutvikling, produksjon, logistikk og drift og vedlikehold av komplekse, høyteknologiske produkter og installasjoner
- Nye modeller for utvikling, produksjon, levering og drift av installasjoner i arktiske strøk og fornybar energiproduksjon
- Konsepter og modeller for sanntidsstyring av komplekse industrielle verdikjeder («digitalisering»)
- Avansert beslutningsstøttesystemer for styring av automatisert produksjon integrert med vedlikeholdsstyring og statistisk prosesskontroll
- Nye konsepter for styring som kombinerer tradisjonell LEAN styring med moderne IKT
- Nye drifts og ledelsesmodeller basert på ideen om livslang læring, den norske modellen og bruk av IKT
- Innovative modeller for planlegging, ledelse og operasjon av komplekse prosjekter og systemer, der kompleksitet er et resultat av teknologiske nyvinninger, mange involverte aktører, interessenter som forfølger ulike mål, krevende omgivelser, osv. eller kombinasjoner av disse.

5.3.1 Digitalisering

En av de mest populære og mest diskuterte trendene i næringsliv og forskningsmiljøer de siste årene er den stadig økende graden av digitalisering, muliggjort av stadig billigere IT-maskinvare og –programvare i tillegg til økt IT-kompetanse i befolkningen. Et av de største og mest kjente prosjektene innenfor dette området er Tysklands «Industrie 4.0», et samarbeidsprosjekt mellom næringslivet, akademia og myndighetene. Prosjektet sikter mot å øke konkurransekraften til tysk industri gjennom å utnytte mulighetene digitalisering og nye IT-løsninger kan tilby.

Kort forklart innebærer digitalisering å samle store mengder data fra den fysiske verden for lage en virtuell kopi. I den virtuelle kopien, såkalte "digitale tvillinger" blir generert, som er en digital utgave av en fysisk ressurs, for eksempel et produkt eller en maskin. I den virtuelle kopien, data blir utvekslet og algoritmer blir kjørt for å optimalisere operasjonene, som igjen blir brukt som grunnlag for operasjonene i den fysiske verden. For verdikjeder blir skillet mellom selve verdikjeden og den digitale tvillingen mer abstrakt siden verdikjeden ikke er fysisk. Det blir likevel viktig å utvikle den digitale tvillingen til verdikjeden for effektivt å kunne styre selve verdikjeden i sanntid. De enorme mengdene data som blir samlet gjør at stordataanalyse (big data analysis) blir sentralt. Kommunikasjonsprotokoller og hendelsesbaserte dynamiske semantiker er også her viktige stikkord. Men like viktig blir forskning på hvordan man kan utnytte stordataene inn i styringen av verdikjedene. Tradisjonelle estimeringsteknikker ut fra forhåndsdefinerte modeller må gå hånd i hånd med mer eksplorative metoder fra kunstig intelligens og maskinlæring. Beslutningsstøtte i sann tid stiller også krav til beregningshastighet og det blir enda viktigere å finne effektive heuristikker for å løse komplekse optimaliseringsproblemer fra operasjonsanalysen.

5.3.2 Det grønne skifte

Det har de senere år vært en god utvikling mot grønnere logistikk- og verdikjeder. Grønne produkter er tilgengelig og «Design for R» kommer til å bli en standard. Med R forstås her "Recycling", "Repair", "Refurbishing", "Reclaim" og "Reverse Logistics". Et viktig fremskritt har vært å inkludere tilbakeføringssløyfer i produktdesign for å understøtte tre grønne strategier: (i) Økt effektivitet mht bedre utnytting, (ii) bruke mindre innsatsfaktorer, og (iii) Lengre varighet til produktene. Slike strategier kjemper mot dagens bruk og kast mentalitet styrt av kortsiktig økonomiske mekanismer.

Digitalisering og hensikgsmessig modularisering av produkter og systemer gir muligheter for at ødelagte moduler kan si fra når de må repareres eller byttes ut for resirkulering. Også produksjonsprosessen kan gjøres mer miljøvenlig ved hjelp av digitalisering (sensorer, GPS, RFID-teknologi osv) ved at verdikjedene kan monitoreres og optimaliseres med hensyn på f eks transport og energiforbruk. Kombinering av perspektivene fra det grønne skifte og mulighetene som ligger i digitaliseringen blir viktig for forskningen ved NTNU.

5.3.3 Norske forhold

Norge som skipsnasjon gjennom generasjoner har bidratt til en sterk verftsindustri i Norge. Verftsindustrien har styrket seg videre som følge av olje- og gassvirksomheten. Det betyr at Norge er verdensledende på produksjon av skip, oljeplattformer og lignende produksjon av små serier eller enstykksproduksjon (småskalaproduksjon). Det betyr at det er svært viktig å forstå verdikjedene knyttet til slik produksjon. For å sikre at en stor del av verdiskapingen blir igjen i Norge er det svært viktig å forstå hvilke deler av verdikjedene som bør «ligge» i Norge.

Videre er det bygget industri gjennom en storstilt utnyttelse av vannkraftenergi som har gitt rom for prosessindustri i verdensklasse. Parallelt er det bygget og viderutviklet produksjonsbedrifter knyttet til våpen og ammunisjonsproduksjon, som kombinert med kompetanse på egenskaper og formingsprosesser har gitt rom for utvikling av bedrifter som leverer til mange bransjer. Klassiske eksempler er aluminiums kompetanse utviklet til å levere komponenter til bilindustrien, og med basis i styringssystemer for militære anlegg utviklet produkter og teknologi for skip og oljeinstallasjoner.

Det er også viktig å referere til matindustri, både landbruk og fisk, som har evnet å være konkurransedyktig til tross for vanskelige konkurranseforhold som høyst kostnadsnivå og store geografiske og demografiske utfordringer. Og norske leveransekjeder er godt utviklet gjennom moderne teknologi til å takle framtiden krav om bærekraft kombinert med en-stykksleveranser til sluttkunder

5.3.4 NTNU sine fortrinn

NTNU har en enorm faglig bredde og tverrfaglig kompetanse. Spesielt for forskning innen verdikjeder er dette en viktig styrke, da den ligger i skjæringspunktet mellom teknologi, samfunn og miljø. Det er behov for ingeniørvitenskapelige, økonomiske, samfunnsvitenskapelige, og naturvitenskapelige perspektiv, og alle disse innfallsvinklene er representert ved NTNU. NTNU sin anvendte, industrinære forskningstradisjon er også en viktig forutsetning for fremragende forskning på feltet. Universitetet er lokalisert i nærhet av flere verdensledende industrimiljø, blant annet de maritime og bilrelaterte klyngene, med bedrifter som inngår i svært ulike, komplekse, globale, og dynamiske verdikjeder. Dette gir universitetet bakteppet for å kunne posisjonere seg internasjonalt høyt på verdikjedeområde. Faggruppen for produksjonsledelse ved IV fakultetet har utstrakt forskning og er blant Europas største innen dette feltet. Det har eller har hatt utstrakt samarbeid med utallige

universitet, i Norden, Europa, og verden ellers. NTNU, med faggruppen i spissen, var vert for fagfeltets største europeiske konferanse i 2016, EurOMA. Samlet gir disse fortrinnene en unik forutsetning for å være ledende på forskning relater til verdikjeder.

6 Forskningslaboratorier

Tilgang på forskningsinfrastruktur er avgjørende for forskningen på produksjonsområdet. NTNU har gode forskningslaboratorier både i Trondheim, på Gjøvik og i Ålesund. Det er likevel behov for å komplementere eksisterende forskningslaboratorier for å tilby forskning i fremste front. NTNU har derfor søkt Norges Forskningsråd om økonomisk støtte på ca 150 millioner kroner for å videreutvikle forskningslaboratoriene. Søknaden har fått navnet MANULAB. I søknaden skisseres eksisterende forskningsinfrastruktur og konkrete behov for videreutvikling.

7 Strategiske forskningsområder innenfor produksjon

Forskningsstrategien ved fakultetet legger til grunn at alle områdene (havrom, energi, produksjon, infrastruktur og mineraler) hver skal identifisere 3-5 strategiske forskningsområder som skal løftes fram. For produksjon er disse:

1. Produkter og tilvirkningsprosesser
2. Materialers egenskaper
3. Digitalisering og automatisering av produksjon
4. Verdikjeder og industrialisering
5. Lavvolumproduksjon

Områdene beskrives kort nedenfor. Utfyllende informasjon finnes på følgende webadresse: https://www.ntnu.no/iv/forskning.

7.1 Produkter og tilvirkningsprosesser

Produkter og systemer som skal utvikles og produseres i Norge vil være kjennetegnet ved at de har relativt høy pris som forsvarer produksjon i et høykostland. Det forventes at produktene og systemene i større og større grad vil ha innebygget sensorteknologi og datakraft for selvdiagnose, integrasjon med andre produkter osv. I lys av det grønne skiftet vil også bærekraft og sirkulær økonomi bli avgjørende på alle plan for fremtidens produkter og systemer. Sentrale forskningsutfordringer knyttet til produktutvikling er (i) nye paradigmer og verktøy for intelligent produktdesign og produktutvikling, (ii) videreutvikling av lean[6] produktutvikling, (iii) utvikle intelligente IoT produkter med innebygget sensorteknologi[7] og datakraft som gjennom oppdatering under produktets levetid kan øke funksjonalitet og vedlikeholdsvennlighet, og (iv) videreutvikling av metoder som sikrer gode geometri- og materialegenskaper, lang levetid og høy pålitelighet.

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

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

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

7.2 Materialers egenskaper

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

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

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

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

7.3 Digitalisering og automatisering av produksjon

Det foreslås en strategisk satsing på digitalisert produksjon basert på Industri 4.0. Dette vil ha fokus på kyber-fysiske systemer med stor grad av funksjonell integrasjon basert på lokal intelligens og sammenkobling med åpne protokoller som IoT. Funksjonell integrasjon innebærer at de kyber-fysiske systemene har kapabilitet for automatisk konfigurasjon, kalibrering og sammenkobling i avanserte kyber-fysiske produksjonssystemer. Kyber-fysiske systemer inkluderer intelligente IoT produkter, industriroboter, mobile roboter, kamera-systemer, sensorer og verktøymaskiner, og funksjonell integrasjon innebærer at arbeidsoppgaver kunne beskrives på et høyere abstraksjonsnivå enn hva som er mulig i dag. Dette vil være avgjørende for å muliggjøre effektiv utvikling av kyber-fysiske produksjonssystemer samt programmering og omstilling av automatiserte produksjons-prosesser. Videre er det planlagt kapabilitet for automatisk generering av simulatorer og digitale tvillinger basert på matematiske modeller. Industri 4.0 innebærer også nye roller for prosessoperatører, og det åpnes nye muligheter for kommunikasjon, læring, kunnskapsutvikling og innovasjon v.h.a. simulering, visualisering og analyse av data. Ny teknologi gjør at produksjonssystemene kan tilpasses menneskelige behov, og ikke motsatt, med bedre mann-maskin grensesnitt og nye tekniske hjelpemidler som for eksempel utvidet- og virtuell virkelighet («augmented reality»). Selv om Industri 4.0 har sitt utspring i produksjonsindustrien er konseptene også anvendbare for et *utvidet* produksjonsbegrep, f. eks. produksjon, drift og vedlikehold av kritisk infrastruktur hvor automatisering og digitalisering blir sentralt.

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

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

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

7.4 Verdikjeder og industrialisering

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

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

Alt dette må ses i lys av behovet for bærekraft i fremtidens verdikjeder. Med en stadig økende befolkning og økonomisk vekst er presset på miljøet stort. Markedet har et ønske om bærekraftige produkter og tjenester, og tilgang til ressurser reduseres stadig. Derfor er det viktig å planlegge og styre ressursene i hele verdikjeden for å sikre bærekraftig virksomhet for fremtidige generasjoner. Dette oppnås både med nye teknologier og nye teorier med fokus på å utnytte ressursene på best mulig måte med minst innvirkning på miljøet.

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

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

7.5 Lavvolumproduksjon

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

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

Det er viktig å søke forskningsprosjekter som involverer ulike norske selskaper som spesialiserer seg på lavvolumproduksjon: skipsbygging og marinutstyr, olje- og gassindustri, flyindustri, fiskeoppdrett og fiskeforedling, samt undervannsutstyr og annet tungt utstyr. Det

er også viktig å involvere norske selskaper som jobber for et høyere nivå på produkttilpasning, for eksempel møbler og elektronikk.

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

8 Forskningsgrupper - Oversikt

Error! Reference source not found. viser en oversikt over faggrupper ved fakultet ved ingeniørvitenskap som har en sterk kobling til produksjonsområdet. Kolonnen «% produksjon» indikerer hvor stor andel av tiden forskningsgruppen bruker på produksjonsområdet.

Tabell 1 Forskningsgrupper innenfor produksjonsområdet ved NTNU-IV

Institutt	Faggruppe	Lokasjon	Faste årsverk	Årsverk stip.	% produksjon
Energi- og prosessteknikk (EPT)	Industriell økologi	Gløshaugen	8	20	30%
Marin teknikk (IMT)	Marine Systemer	Tyholt			
Bygg- og miljøteknikk (IBM)	Bygg- og anleggsteknikk	Lerkendal	17	19	50%
Maskinteknikk og produksjon (MTP)	Design, Analyse og Manufacturing	Gløshaugen	10	20	100%
Maskinteknikk og produksjon	RAMS	Valgrinda	7,5	7	30%
Maskinteknikk og produksjon	Produksjonssystemer	Valgrinda	4	15	100%
Maskinteknikk og produksjon	Produksjonsledelse	Valgrinda	4,5	15	100%
Maskinteknikk og produksjon	Prosjekt- og kvalitetsledelse	Valgrinda	4	7	30%
Maskinteknikk og produksjon	Materialer	Gløshaugen	8	25	70%
Maskinteknikk og produksjon	Faggruppe for bachelorutdanning	Kalvskinnet	19	1	100%
Havrom og bygg (IHB)	Industrial Engineering	Ålesund	5	4	100%
Vareproduksjon og byggteknologi (VB)	Vareproduksjon	Gjøvik	16	12	100%
Konstruksjonsteknikk (KT)	Konstruksjonsmekanikk	Gløshaugen	8	40	20%

Nedenfor presenteres kort forskningsgruppene ved NTNU-IV som jobber mest med produksjon. Alle faggruppene har en mer utfyllende beskrivelse. Denne finnes på følgende web-adresse: https://www.ntnu.no/iv/forskning.

8.1 Faggruppe Produksjonssystemer (MTP)

Faggruppen Produksjonssystemer ved MTP har 3 professorer og en førsteamanuensis. Faggruppen har ca 10 PhD og to post.doc'er. Forskningen kombinerer bruk av roboter i automatisert produksjon med maskinering og måleteknologi ved bruk av sensorsystemer og kontrollteori. Forskningen drar veksler på synergi mellom produksjonsindustrien med dens fokus på kostnadseffektivitet og offshore og maritime industri med lavvolum og spesialiserte produkter med stor merverdi.

I forhold til strategiske forskningsområder er det områdene «Produkter og tilvirkningsprosesser» og «Digitalisering og automatisering av produksjon» som vil være hovedsatsningen for forskningen i faggruppen

8.2 Faggruppe DAM (MTP)

Forskningsgruppa Design, Analysis and Manufacturing (DAM) ved MTP har 10 førstestillinger og ca 20 stipendiatstillinger Design og produktutvikling utgjør overordnede forskningstema, mens fokusområder for forskning er: Lean metoder, Fuzzy Front End (intelligente innovasjoner i tidligfase) og kunnskapsbasert engineering/utvikling, anvendt numeriske metoder innenfor engineeringfaget. Videre er metallbearbeiding slik som ekstrudering, smiing, profilbøyning og støping av aluminiumlegeringer og til en viss grad stål områder DAM-gruppen har forskningsaktivitet på. Faggruppa benytter laboratorier som en sentral del av forskningen.

Forskningen i DAM-gruppa har et produktutviklingsperspektiv som berører mektaronikk, kontrollteori, additive manufacturing (3D printing), materialteori og metalliske bearbeidings-prosesser. Faggruppa har forskningsprosjekter sammen med svært mange type industrier, det spenner fra havrommet, undervannsteknologi (subsea) og landbasert virksomhet. Det er viktig for faggruppa å bidra inn mot oppstartsfirma så vel som etablerte virksomheter.

I forhold til de strategiske forskningsområdene er det særlig «Produkter og tilvirkningsprosesser» som vil ha hovedfokus for faggruppa.

8.3 Faggruppe Produksjonsledelse (MTP)

Faggruppen Produksjonsledelse ved MTP har 1 professor, 2 førsteamanuenser og en forsker. Videre er en professor II knyttet til faggruppen, og en professor fra RAMS gruppen er assosiert medlem av faggruppen. Faggruppen har i overkant av 15 aktive PhD og Post.doc. Faggruppen har fire integrerte forskningsområder: Produksjonslogistikk, verdikjedestyring, produksjonsstrategi og digitalisering i logistikk og verdikjeder. Faggruppen har størst fokus på lavvolumproduksjon (One-of-a-Kind-Production) og har mindre fokus på masseproduksjon.

Forskningsstrategien i faggruppen ligger svært tett opp til de strategiske forskningsområdene «Verdikjeder og industrialisering» og «Småskalaproduksjon» og utdypes derfor ikke ytterligere her.

8.4 Faggruppe Materialer (MTP)

Faggruppen Materialer (Materials) ved institutt for maskinteknikk og produksjon har 5 professorer, 3 professor II, 3 førsteamanuenser og ca. 25 aktive PhD og Post.doc. Faggruppen

har hatt hovedfokus på olje- og gass relaterte problemstillinger og utstrakt kontakt og prosjektsamarbeid med industrien. Faggruppen har de senere årene hatt god uttelling på søknader til Forskningsrådet og til EU. Gjennom rekruttering av utenlandske ansatte har gruppa også etablert et stort internasjonalt nettverk. Dette gjelder både universitet og industri.

8.4.1 Forskningsfokus i faggruppen

Konstruksjonsmaterialer og overflater – produksjon, egenskaper, komponenter er sentralt for faggruppen. Forskningen skjer gjennom:

1. Etablere forståelse for *materialegenskaper på multiskala* nivå (nano til makro) gjennom: (i) Fundamental teoretisk forståelse, (ii) eksperimentelt arbeid, og (iii) modellering/simulering
2. Ved anvendt ***nanoteknologi*** (i) utvikle nye materialer og nano-strukturerte overflater, og (ii) etablere metodikk og utføre «Multi-physical» karakterisering av materialegenskaper
3. ***Design og fremstilling*** av konstruksjoner, komponenter og utstyr: (i) modellering-/simulering/virtuell presentasjon av design, egenskaper og oppførsel, (ii) innovative, bærekraftige og robuste løsninger ved å bruke materialegenskaper i design, og (iii) optimalisering av produksjonsmetoder og –prosesser
4. Utvikle smarte løsninger for ***Integrity Management*** inkludert tilstandskontroll og inspeksjon: (i) modellering/simulering/virtuell presentasjon av design, egenskaper og oppførsel, (ii) innovative, bærekraftige og robuste løsninger ved å bruke materialegenskaper i design, og (iii) optimalisering av produksjonsmetoder og –prosesser

8.4.2 Kompetanseområder

Faggruppen har prioritert følgende kompetanseområder for sin aktivitet;

- Kompositter og polymerer
- Korrosjon og korrosjonsbeskyttelse
- Utmatting, brudd og hydrogensprøhet
- Tribologi og overflatebehandling
- Sammenføyning/sveising (fremtidig)

8.4.3 Forskningsaktiviteter knyttet opp mot produksjon

Innenfor produksjonsområdet vil faggruppens aktiviteter i hovedsak være knyttet til følgende forskningsområder:

Produkt og tilvirkningsprosesser
Dokumentasjon av produktegenskaper gjennom fundamental forståelse av materialegenskaper, modellering og testing. Aktiv medvirkning i design og utvikling av/fremskaffelse av materialer og overflater. For Additive manufacturing har fokusert vært på utvikling av testmetoder for å dokumentere material- og komponentegenskaper, modellering av komponentegenskaper/oppførsel, sammenheng mellom komponentegenskaper, material og aktuell prosess med fokus på metallurgi.

Digitalisert og automatisert produksjon
Identifisering av produksjons-/prosessparametere som har betydning for optimal drift/vedlikehold av produksjonssystemet, fremskaffelse/utvikling av sensorteknologi, bruk av tilgjengelig informasjon fra drift i modeller til å optimalisere drift/vedlikehold.

8.5 Faggruppe RAMS (MTP)

RAMS[8]-gruppa ved institutt for maskinteknikk og produksjon har 4 professorer, 3 første-amanuenser, en professor II og ca 10 aktive PhD/Post.doc. I forhold til forskningsstrategien ved IV-fakultet har RAMS gruppa identifisert 4 hovedutfordringer (overskrifter ikke oversatt til norsk) knyttet til design og drift av komplekse tekniske og sosiotekniske systemer som diskuteres kort nedenfor. Et hovedfokus for forskningen er prestasjon eller ytelse (performance) til slike systemer, hvor RAMS gruppa legger størst vekt på RAMS egenskapene.

8.5.1 Forskningsmessige hovedutfordringer for RAMS gruppa

Challenge 1: Engineer performance of cyber-physical systems
Kyberfysiske systemer er kommet for å bli. For å studere slike systemer viser det seg at de klassiske metodene som har fungert rimelig godt for *mekaniske* systemer må videreutvikles for dynamikken og behovet for sanntidsanalyser av kyberfysiske systemer. Det viser seg spesielt viktig å se på sikringsproblematikk (security).

Challenge 2: Engineer performance of digitized production and manufacturing processes
Digitalisering betraktes som kjernen i den fjerde industrielle revolusjon (Industri 4.0) og innsamling, strukturering, lagring og analyse av store datamengder (big data) for å gi relevant beslutningsstøtte blir viktig. Faggruppa jobber både med hensiktsmessig målstyringskonsepter og modellbasert beslutningsstøtte.

Challenge 3: Deploy performance engineering in the extended enterprise
Industriell og forvaltningsmessig virksomhet krever et utvidet virksomhetsperspektiv hvor systemtekniske perspektiver (systems engineering) utfyller dekomponerings- «(divide-and-conquer) tilnærminger for å se helheten i formulering av systemkrav og oppfyllelse av disse.

Challenge 4: Engineer long-term performance of critical infrastructures
Å utvikle en robust kritisk infrastruktur er svært viktig for et modere samfunn hvor bidraget fra faggruppa både er å forstå risikobildet knyttet til dynamiske og koblede infrastrukturer, men også å se på tilpasningsaspekter særlig med hensyn på klimaendringene.

8.5.2 Vitenskapelig og ingeniørmessige underdisipliner

For å jobbe med de identifiserte hovedutfordringene har faggruppa fire underingeniørdisipliner som diskuteres nedenfor (overskrifter ikke oversatt til norsk).

- ***Complex system safety and reliability:*** På dette området jobber faggruppa med fundamentale problemstillinger og teorier for systempålitelighet. Av mange anvendelsesområder står sikkerhetssystemer i en særstilling i forskningen. Kyberfysiske systemer og komplekse systemer mer generelt krever nye analysetilnærminger og faggruppa jobber med fremtidens modelleringsverktøy.
- ***Maintenance optimization and asset management:*** Forskningen er sentrert rundt såkalt prediktivt vedlikehold hvor proaktive tilnærminger (prognose) i større grad tar over for reaktive tilnærminger (diagnose og korreksjon). Et sentralt forskningstema her er utvikling av optimaliseringsmodeller for vedlikehold hvor digitalisering av historiske data er avgjørende for å utvikle effektive modeller. For effektivt å kunne planlegge og synkronisere drifts og vedlikeholdsoppgaver er sentrale tema fra «Industri 4.0»: digital tvilling, tingenes internett (IoT), skyberegning (IoS), stordata og maskinlæring.

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

- ***Systems engineering:*** Systemteknikk (systems engineering) representerer et sett av tilnærminger og praksiser som tar et systemperspektiv for å analysere og utvikle industrielle og forvaltningsmessige systemer. Fokus er på helheten fremfor delene. Et sentralt forskningstema her er utvikling av såkalte «Design for X»-rammeverk.
- ***Risk analysis and major accidents prevention:*** Risikoanalyse er svært tverrfaglig forskningsområde hvor faggruppa har spesielt fokus på utfordringer knyttet til dynamiske aspekter. Med dynamikk her forstår vi både tidsavhengighet og ønske om å uttrykke risiko i sann tid, men også dynamikk knyttet til interaksjoner og «feedback loops». Et annet forskningstema er knyttet til hvordan vi kan lære av hendelser og ulykker, og spesielt hvordan vi kan nyttiggjøre oss store datamengder som er lite strukturert (big data analytics).

Hver av underingeniørdisiplinene har eksplisitt identifisert forskningstema under hvert av de fem strategiske forskningsområdene identifisert for produksjon. I faggruppa sin strategi er dette utdypet, mens det nedenfor kun gis en samlet oppsummering for hvert strategiske forskningstema:

Produkter og tilvirkningsprosesser
Design for X med hovedfokus på RAMS egenskaper. Bruk av additive teknikker (3D-printing) for å utføre reparasjoner av komponenter og deler «on site», dvs der enheten er i drift. Sikre at tilstrekkelig sensortekonologi er installert i komponenter og systemer mht fremtidig vedlikeholdsbehov.

Materialers egenskaper
Undersøke hvordan valg av materialer og overflatebehandling av materialer påvirker fremtidige vedlikeholdsbehov.

Digitalisering og automatisering av produksjon
Design for X for produksjonssystemer. Spesielt viktig blir sårbarhetsbetraktninger (security = sikring) ved økt digitalisering. Sanntids matematisk modellering av RAMS egenskaper blir muliggjort ved Industri 4.0 konsepter. Integrasjon av produksjon og vedlikehold hvor sensorbasert produksjonsdata og feilstatistikk ses i sammenheng ved hjelp av stordata analyseteknikker, herunder også maskinlæring.

Verdikjeder og industrialisering
Modellbasert ytelsesmodellering for kyberfysiske produksjonssystemer og verdikjeder med fokus på koordinering av drifts og vedlikeholdsoppgaver ved hjelp av sanntidsinformasjon.

Lavvolumproduksjon
Strategier for teknologikvalifisering for spesialiserte produkter med utfordrende drifts og miljøbetingelser. Vedlikeholdsplanlegging for større og komplekse enheter, f eks autonome skip. Design for X med fokus på RAMS egenskaper. Risikoanalyse for større og komplekse enheter, f eks autonome skip.

8.6 Faggruppe Bærekraftig Vareproduksjon (IVB)

Faggruppen Bærekraftig Vareproduksjon har 17 vitenskapelig ansatte (hvorav 6 professorer), og 14 PhD-studenter. Faggruppen er involvert i aktivitet som sikrer finansiering til ytterligere 5 PhD og en Post.Doc stilling de neste to årene.

Faggruppen har to hovedtema for forskningen: Industri 4.0 og materialteknologi:

Innenfor Industri 4.0 er *produksjonssystem, organisering og ledelse* det største området der vi i dag har 6 PhD-studenter og vi deltar i SFI Manufacturing, KPN-prosjektet Lean Management og BiA IPN-prosjektet *Forsprang 2018*. Forskningstemaene spenner fra Lean,

Produksjonsorganisering, Learning factories, Performance assessment med bruk av System dynamics modelling, og Information system strategy.

Videre forsker faggruppen på prosessmonitorering, maskinlæring og kunstig intelligens. Her har faggruppen 3 PhD-studenter, og har nettopp avsluttet EU-prosjektet REALISM der monitorering og styring av skjærende bearbeiding ved hjelp av kunstig intelligens var tema. Faggruppen deltar i det nystartede KPN-prosjektet CPS-plant og videre deltar faggruppen i IPN-prosjektene Mulitmat og Megamould.

Faggruppen har også et forskningsområde på trådløse sensorsystemer med 3 PhD-studenter og et KPN-prosjektet: Wireless Sensor Network for Industrial Process Automation and Smart Grid.

Faggruppen har et Learning Factory laboratorium, lab for prosessmonitorering med diverse sensorer (kraft, vibrasjon, AE, kamera/optisk) og jobber med realisering av ny lab for digitalisering og Industri 4.0.

Innenfor materialteknologi forsker faggruppen på materialfysikk og atomskala material-modellering med en PhD i SFI Manufacturing. Videre forsker faggruppen på additiv tilvirkning der vi deltar i KPN-prosjektet MKRAM og IPN-prosjektet Addform. Faggruppen er i ferd med å bygge opp kompetanse på plast, kompositter og biomaterialer med sprøytestøping som tema i Megamould og Multimat og har tre som materiale i samarbeid med Norwegian Wood Clustre som et av de viktige tema i skjæringspunktet mellom bygg og vareproduksjon.

Faggruppen har et laboratorium for additive tilvirkning med en EOS polymer laser powder bed fusion, og en ARCAM electron beam powder bed fusion, samt diverse laboratorieutstyr for materialtesting, som strekkprøvemaskin og en jigg for fullskala testing av utmatting.

8.7 Faggrupper Prosjekt- og kvalitetsledelse (MTP) og Bygg og anleggsteknikk (IBM)

Det er to faggrupper ved NTNU-IV som jobber med prosjektledelse. Til sammen har disse faggruppene i overkant av 20 førstestillinger og ca 25 aktive PhD/post.doc. Faggruppa på MTP har hovedfokus på prosjektledelse mens faggruppa på IBM dekker betydelig bredere enn bare området prosjektledelse.

Fra et økonomisk perspektiv er prosjektledelsesområdet svært viktig for en svært stor andel av et lands økonomi er organisert i form av prosjekter. Andelen varierer fra land til land men anslås å være mellom 25-35%. Å forbedre metoder for prosjektgjennomføring representerer derfor enorme økonomiske gevinster for et land.

Sentrale overordnede forskningstema for prosjektledelse er: Menneskelig og digitalisert sam-handling i prosjekter, utvikling av nye og innovative prosjektgjennomføringsmodeller, Lean[9]-konseptet og ”value management” i prosjektsammenheng; og prestasjonsmåling og faktabasert forbedringsarbeid.

Forskningstemaene kan konkretiseres i to hoveddimensjoner:

1. Menneskelig og digitalisert samhandling i prosjektering og prosjektgjennomføring
2. Industrialisert prosjektproduksjon

[9] Wikipedia: Lean betegner en produksjonsmetodikk for fremstilling av varer og tjenester. Begrepet er hentet fra ledelsesteori og kom i bruk på 1990-tallet. Metodikken fokuserer på å eliminere sløsing og ser på kundens opplevelse av produktets verdi fremfor kostnadselementer. Det underliggende målet er å forbedre den bedriftsøkonomiske lønnsomheten. Sentralt i denne tenkningen er det å skape merverdi med mindre innsats av ressurser.

Begge disse dimensjonene knytter seg til de 5 samfunnsmålene[10] i NTNU-IV sin forskningsstrategi men hvor den sterkeste koblingen er til produksjon og infrastruktur.

8.7.1 Konkretisering av forskningstema

Nedenfor utdypes forskningstemaene stikkordsmessig:

- Menneskelig og digitalisert samhandling i prosjektene, hånd i hånd. Prosjekter i byggebransjen, vei- og anleggssektoren og olje- og energibransjen blir stadig mer komplekse, med samhandling mellom flere organisasjoner og økende antall kontrakter i prosjektene. Endringshåndtering, beslutningsprosesser og organisatorisk kompleksitet er viktige områder hvor digitalisert samspills- og samhandlingskontrakter er avgjørende for menneskelig samhandling. Digital samhandling i prosjektene er også viktig på tvers av organisasjonene, i og utenfor prosjektene.
- Nye og innovative gjennomføringsmodeller for prosjekter, basert på menneskelig og digital samhandling og innrettet mot å skape maksimal verdi for brukere og samfunnet.
- Lean og ”value management” i prosjektsammenheng. Lean er veletablert i noen bransjer, aller mest vareproduksjon, men har også blitt tilpasset til både prosjektproduksjon (som ”lean construction”) og IKT-prosjekter (som agile metoder) og forskningsfokus er på hvordan lean-teknikker kan benyttes i prosjektsammenheng.
- Prestasjonsmåling og faktabasert forbedringsarbeid.
- Digitalisering/IKT-utvikling på områder som:
- Digital 3D/4D/5D modellering av tekniske systemer ved bruk av såkalt BIM (Building Information Modeling)
- Sensorteknologi/IoT-kapabilitet i materialer og utstyr, som kan brukes til å innhente store mengder data om alt fra betongherding til forflytning av materialer til fremdriftsmåling gjennom dronebilder
- Visualisering av BIM-modeller og planer ved hjelp av nettbrett/smarttelefoner tilgjengelig for alt fra prosjektleder til fagarbeidere
- Bruk av «big data» til alt fra å analysere og forstå bruksmønstre for bygg/infrastruktur, detektere mulige fremtidige problemer basert på ulike svake signaler til å styre logistikken på en byggeplass
- GPS-styring av anleggsmaskiner, transportutstyr, montasjeutstyr, osv.
- Teknologisk utvikling i retning av industrialisert produksjon i prosjekter, i form av:
- Modularisering av prosjektleveranser som bygg, skip, broer, plattformer, osv.
- Industriell prefabrikasjon av slike moduler for sammenstilling på byggeplass fremfor plassbygging
- Roboter som håndterer stadig mer avanserte operasjoner i prosjektproduksjon, f.eks. sveiseroboter, roboter som borer hull i takkonstruksjoner, osv.
- Automatiserte transportløsninger for byggeplass, verft eller andre produksjonssteder

8.7.2 Prosjektledelse sine bidrag inn mot de overordnede forskningstema innenfor produksjon

De sterkeste koblingen mellom prosjektledelsesområdet og produksjonsområdet er:

Digitalisert og automatisert produksjon

[10] Havrom, Energi, Produksjon, Infrastruktur og Mineraler

På samme måte som kyberfysiske systemer spiller en sentral rolle på «fabrikkgolvet» vil kyberfysiske systemer knyttet til prosjektproduksjon på en «byggeplass» ved hjelp av BIM bli sentralt. Det blir derfor viktig å samkjøre metoder og modeller for digitalisering enten det er snakk om produksjon «inne» eller «ute».

Verdikjeder og digitalisering
For å analysere prosjektorienterte verdikjedene blir også digital modellering av tekniske systemer ved bruk av såkalt BIM (Building Information Modeling), sensorteknologi/IoT-kapabilitet i materialer og utstyr viktig for å styre fremdriften i et prosjekt, og kunne avdekke avvik på et tidlig tidspunkt.

Lavvolumproduksjon
Det som kjennetegner lavvolumproduksjon er at arbeidet organiseres i form av prosjekter. Effektiv prosjektledelse blir sentralt enten det er snakk om en enkelt installasjon (f eks produksjon av en fiskebåt), eller det er snakk om mindre serier, f eks produksjon av 10 stk propeller for leverandør til et skipsverft.

8.8 Faggruppe Industriell økologi / IndEcol (EPT)

IndEcol-gruppa ved EPT har 5 professorer, 3 førsteamanuenser, ca 30 aktive PhD, Post.doc og forskere. Suksessfaktorer for IndEcol har vært et sterkt fokus på utvikling av metodegrunnlag, anvendelsesorientering, internasjonale nettverk og involvering i større forskningsprosjekt og sentra, f eks SFI og FME. Forskningen i faggruppa bygger opp under FN sine mål for bærekraft. Forskningen i faggruppa er tverrfaglig.

8.8.1 Forskningsmål

Et overordnet forskningsmål for IndEcol er å utvikle neste generasjons rammeverk for industriell økologi for å nå FN sine mål for bærekraft. For å støtte opp under det overordnede forskningsmålet er følgende aktiviteter identifisert:

- Metodeutvikling
- Tematiske anvendelsesområder

8.8.2 Tematiske anvendelsesområder

IndEcol-gruppa har identifisert følgende tematiske anvendelsesområder:

- **Økologiske systemer og bioressurser:** Sammenheng mellom bevaring av økosystemer, biologisk mangfold, og klimaregulerende tiltak under økende samfunnskrav til mat, bioenergi og biologisk materiale.
- **Energi, transport og forurensning:** Sammenheng mellom energi, forurensing og klimaeffekter ved sektorvis samfunnsendringer under bærekraftskriterier.
- **Sirkulær økonomi:** Benytte prinsipper fra sirkulær økonomi til å studere sammenhenger mellom ressurser, materialer, gjenvinning og miljø under ulike utviklingsscenarier for produkter og infrastruktur.
- **Bærekraftig produksjon og forbruk:** Sammenheng mellom produksjon, forbruk, handel og økonomisk aktivitet, og konsekvenser på global ressursforbruk, forurensning og sosiale hensyn.
- **Menneskelige bosetningsmønster og ressurser:** Sammenheng mellom bosetnings-mønster, arealplanlegging, ressursbruk og utslipp.

8.8.3 Metodeutvikling

IndEcol-gruppa har identifisert følgende områder for metodeutvikling:

- **Et enhetlig modellrammeverk** for å forene livsløpsvurdering (LCA = Life-Cycle Assessment), kryssløpsanalyse (EIO = Environmentally Extended Input Output) og materialstrømsanalyse (MFA = Material Flow Analysis).
- **Adaptiv miljøkonsekvensvurdering:** Utvikle metoder for å vurdere miljømessige konsekvenser med økt oppløselighet over tid og spatial skala.
- **En åpen, digital plattform for industriell økologi:** Utvikle en felles, åpen plattform for bruk og deling av kildekode og data.

8.8.4 Bidrag til strategiske forskningsområder

IndEcol-gruppa sine bidrag inn mot de strategiske forskningsområdene er diskutert nedenfor.

Produkter og tilvirkningsprosesser
Forskningen er primært knyttet til valg av materialer og miljømessig fotavtrykk i et livssyklusperspektiv. F eks titan er et materiale som har svært gode egenskaper men hvor fremstilling av pulver som skal benyttes i den additive produksjonen er svært energikrevende.

Materialers egenskaper
Se punktet ovenfor.

Verdikjeder og industrialisering
Forskningen er knyttet til hvordan sirkulær økonomi kan integreres som en del av verdikjede-analysene til både produkter og produksjon.

8.9 Faggruppe for bachelorutdanning (MTP)

Faggruppen representerer den treårige bachelorutdanningen på Kalvskinnet i Trondheim. Aktiviteter innenfor FoU har i hovedsak vært mot utvikling. Kontakten med regionale bedrifter har vært avgjørende, både med hensyn til motivasjon og finansiering. Faggruppen har ikke egne forskere eller stipendiater. I prosjekter er det faglærere som står for prosjektledelse og –gjennomføring med hjelp av studenter som utfører arbeidet gjennom bacheloroppgave og/eller som sommerjobb. Faglig videreutvikling er mulig ved frikjøp fra undervisning gjennom innleie av undervisningsvikarer finansiert fra prosjektmidler.

Nedenfor listes noen relevante forskningsprosjekter:

- En teoretisk studie av vekt og stabilitet på vogntog
- Tørking av skogsflis - praktiske eksperimentelle forsøk og verifisering av mulig teknologi
- Utvikling av inneklimarom – Testing av isolasjonstyper (mineralull og vakuum/VIP) og vinduer
- Testing av ventilasjonsaggregat - E utviklingsarbeid innen ventilasjon og regulering av batteri i samarbeid med de regionale firmaene GK og Systemair
- Etablering av et akustikklaboratorium
- Fiskeskinn til snacks – Et samarbeid mellom maskin- og matmiljøene for bachelor-utdanningen
- OPTIMAT Klimakammer - Utvikling av en laboratorieinnretning som kan simulere en prosess som f.eks. en laksefilet (eller annet matprodukt) gjennomgår under produksjon og transport fra fabrikk til marked, ulike parametere kan varieres fritt så som temperatur, trykk, stråling, atmosfære, rystelser osv. Videre skal det kunne modelleres en tenkt prosess som avviker fra det som finnes i dag med tanke på tidlig utprøving av nye måter å prosessere og transportere sjømat på. Videre inngår utvikling/bruk av en datalogger i prosjektet som skal kunne registrere alt en matvare faktisk gjennomlever på sin vei gjennom en produksjons- og transportprosess.

Spesielt viktig for faggruppen er satsingen på samarbeidet mellom maskin og matmiljøene som representerer en spennende virksomhet som allerede representerer store verdier og mange arbeidsplasser i Norge som ledende sjømatnasjon. Veksten i denne bransjen er i dag kanskje den største og viktigste vi kan se for oss når oljealderen begynner å ta slutt.

8.10 Faggruppe Marine Systemer (IMT)

Faggruppen Marine systemer ved Institutt for marin teknikk (IMT) er en av to faggrupper ved IMT. Faggruppen består av tre fagområder: Marin prosjektering og logistikk; Sikkerhet og driftsledelse; og Marint maskineri. I tillegg inngår fordypningen Marine ressurser og havbruk i faggruppen, men kan betraktes mer som et anvendelsesområde enn eget fagområde. Faggruppen består av åtte professorer hvorav to er i permisjon og to er nylig avgått, tre førsteamanuenser, og en universitetslektor. Faggruppen har også fire professor II.

Forskningstilnærmingen for faggruppen er å anvende og kombinere et sett av metoder for prosjektering, analyse og beslutningsstøtte med grunnleggende marin teknikk og 'first principles' metoder for prosjektering og operasjon av marine systemer. Metodene skal gi innsikt i forhold til ytelseskriterier som dekker teknisk, operasjonell og økonomisk yteevne over systemets levetid, samt bidra til å fremme systemløsninger med akseptable nivå på risiko for helse, miljø og sikkerhet.

Anvendelsesområdet dekker marine systemer innen skipsfart, offshore olje og gass, offshore fornybar energi, havbunns mineralutvinning, samt marine ressurser og havbruk. De marine systemene kan deles inn i fire nivå – her eksemplifisert med skip og skipsfart: i) Ombordsystemer, som for eksempel maskinerisystem; ii) Objektet, her skipet; iii) En gruppering av objekter, for eksempel en flåte med skip; og iv) Objektene satt inn i en formålssammenheng, for eksempel et transportsystem som skip inngår i, eller marine operasjoner hvor skip inngår. Nivå ii) kan også være havbruksinfrastruktur, flytere innen offshore olje og gass, eller infrastruktur for offshore fornybar energi, alle med ulike typer ombordsystemer (nivå i). Nivå iii) kan også være feltutvikling innen offshore olje og gass, fornybar energi, eller marine ressurser og havbruk. Nivå iv) kan være støttesystemer for offshore energiproduksjon eller marine ressurser, slik som skip for ulike tilknyttede marine operasjoner, samt marine systemer som er nødvendige for å bringe produkter fra ulik produksjon til havs til viderebehandlings- og forbruksmarkeder.

Faggruppas faglige tema knyttet til de tre fagområdene er:

Fagområde	**Formål**	**Faglige kjerneelementer**
Marin prosjektering og logistikk	Prosjektering og verifikasjon av marine systemer i forhold til flermåls ytelseskriterier	- Prosjekteringsteori og systemverifikasjon - Operasjonsanalyse og risikoanalyse - Systems engineering
Marint maskineri	Prosjektering og verifikasjon av marine maskineri for generering av max fremdriftsmoment med min bruk av energi og utslipp	- Systemintegrasjon – simulering & optimering - Dynamikk i systemoperasjon (kraftstyring) - Utslipp kontra fremdriftsmoment
Sikkerhet og driftsledelse	Prosjektering og drift av marine systemer med akseptable risiko og sikkerhetsnivå	- RAMS metoder - Vedlikeholdsplanlegging - Systems engineering

8.10.1 Faggruppens bidrag inn mot de strategiske forskningsområdene

Produkter og bearbeidingsprosesser
Produktutvikling og innovasjon av marine systemer har vært fokusert både i forskning og undervisning innen Marine systemer. En faglig kjerne er faget TMR4254 Prosjektering av marine systemer, hvor formålet er å prosjektere et nytt marint system som har nye (innovative) egenskaper eller fyller en rolle eller et behov på en ny (innovativ) måte, samt har en kommersiell mulighet. Resultat fra dette faget har resultert både i forskning og etablering av ny virksomhet.

Innen faggruppens forskning er produktutvikling og produkters egenskaper tett knyttet sammen, på systemnivå. Dette er basert på faggruppens tilnærming til marine systemer på ulike nivå, og hvor prosjektering ('produktutvikling') og verifikasjon ('produkters egenskaper') er grunnleggende tilnærming for alle tre fagområder i faggruppen.

Tidlig fase blant annet i forskning rundt å bygge elementer til marine konstruksjoner, for eksempel foiler til fremdrift og løft/plan av skip. Dette er ikke et sentralt område hos oss, men snarere et resultat vi er interessert i å benytte da det kan gi oss nye muligheter i tidligfase produktutvikling og testing.

Digitalisert og automatisert produksjon
Faggruppen forventer at digitalisering og autonomitet vil stå sentralt i fremtidig forskningsarbeid. «Shipping 4.0» er en parallell til Industri 4.0, og faggruppen jobber både med forskning knyttet til autonomitet i og digitalisering av marine systemer i denne sammenheng. Autonomitet er tema for faggruppen blant annet opp imot SFF AMOS, samt at faggruppen jobber med å utvikle forskning omkring digitale tvillinger av marine systemer. Et startpunkt er å utvikle en digital tvilling av NTNUs forskningsfartøy FF Gunnerus.

Verdikjeder og industrialisering
«Kjede» dekker det fjerde (iv) systemnivået hos marine systemer. En kjede kan både være en verdikjede, en forsynings-/produksjonskjede, eller en kjede som resulterer i en service basert på bruk av marine systemer. «Produkter» vil innen marine systemer være objekter som skip, flytere, mærer og liknende. «Produksjon» vil i noe grad være knyttet til for eksempel skipsbygging og liknende, men også støtte og distribusjonskjeder for produksjon av olje og gass, eller marine ressurser. Faggruppen har økende fokus på det siste.

De aktuelle tema som faggruppen dekker er gitt av fagområdenes faglige fokus, slik at en oppnår «kjedekonstruksjoner» som er pålitelige og tilgjengelig (robuste), klarer å håndtere hendelser og avvik (resiliente og smidige), på en økonomisk god, samt risiko og sikkerhetsmessig akseptabel måte, over systemets levetid.

Lavvolumproduksjon
Produksjon knyttet til marine systemer er små-skala produksjon, og prosjekteringsfilosofien innen marine systemer er fokusert på evnen til å skape nye, unike system med gode mål på ulike ytelseskriterier. Faggruppen har her spesielt fokus på *prosjekteringsprosesser* som skal bidra til å skape fleksibilitet og tilpasningsdyktighet gjennom forståelse av krav gitt av usikkerhet omkring fremtidig utvikling, samt kunnskap omkring design som gir mulighet for kostnadseffektiv tilpasning av grunnleggende design til spesifikke anvendelsesformål også i små serier.

Faggruppen tror riktig prosjekteringstilnærming til sammensatte, komplekse produkter med høy grad av autonomt innhold, prosjektert og operert i en digitalisert virkelighet, og konstruert og operert med systemer med stor grad av autonomitet vil være et viktig forskningstema for å møte dette.

8.11 Faggruppe Industrial Engineering (IHB)

Faggruppen Industrial Engineering sitt forskningsfokus er knyttet til Lean Prosesser/Industri 4.0 Prosesser og Design for Manufacturing, i hovedsak rettet mot lavvolumproduksjon. Forskningsmetodene er i hovedsak bruk av Virtual Prototyping og Fysisk Prototyping - både for produktmodeller og prosessmodeller. En har gjennomført forsking og utvikling av en rekke robotceller med Collaborative Robots, avanserte Gripere, og sensorer, samt gjort konseptutvikling på produkter og produktarkitekturer for å tilpasse disse til effektiv produksjon. Forskningen er relatert til anvendelse av teknologi på nye områder forskning (TRL 3- TRL 6), der forskningscasene er knyttet tett mot bedriftens forretningsmodell.

Faggruppen har etablert et tett samarbeid med sentrale Industribedrifter på Mørekysten; eks vis Kleven – skipsbygging (lavvolumproduksjon), Sperre Industrier(lavvolumproduksjon), Optimar - prosessering av fisk både på lakseslakteanlegg på land og på avanserte fabrikktråler (verdikjeder og industrialisering/digitalisering og automatisering av produksjon) og Ocean Simulation Center (smart småserieproduksjonsprosesser av byggeprosesser).

En har etablert tett samarbeid med blant anna disse forskingsmiljøene; Chalmers i Sverige, NOFIMA og Lilleborg. Faggruppen har arbeidspakker i 10 stk Forskningsprosjekter BIA -, Nærings-PHD, og VRI prosjekter. Eksempler på forskningsprosjekter er Robotvasking av Fiskefabrikker (Optimar), Robotsveiste Broelementer (Kleven) og Byggsimulator – store bygg (Ocean Simulation Center).

Faggruppen har et betydelig potensial for å videreutvikle seg innenfor prosessering av fisk, da en har tilegnet seg verdifull kunnskap gjennom BIA Prosjekter og etablert langsiktige industrielle relasjoner hos teknologileverandører til sjømatbransjen. Faggruppen har også et betydelig potensial for forskningsprosjekter innenfor småserieproduksjon gjennom de forskningsprosjekter en har etablert sammen med Ocean Simulation Center og Kleven, som begge er langt fremme på simulering på sine respektive områder. Faggruppen jobber også tett sammen med Automasjonsmiljøet ved NTNU i Ålesund.

Faggruppen består av 2 Professorer/ Dosenter, 2 Førsteamanuensiser, 1 Amanuensis og 4 Phd Studenter, Det er til enhver tid knyttet ca 5 – 8 msc studenter og 15 bsc studenter til faggruppen. Faggruppen har egen Lab, Prototype og Innovation Lab, som er tett knyttet sammen med Fablab konseptet fra MIT. Labben har avansert utstyr for Virtual Prototyping og Rapid Prototyping.

Faggruppens arbeid retter seg inn mot følgende strategiske forskningsområder:

1. ***Digitalisering og automatisering av produksjon*** - Industriell anvendelse av Collaborative Robots, Internet of Things og Cloud
2. ***Verdikjeder og industrialisering*** –Virtual Prototyping og Fysisk Prototyping av produkter, verdikjeder , fabrikker, produksjonslinjer og prosesser
3. ***Lavvolumproduksjon*** (hovedfokus for faggruppen) - Effektive og smarte produktarkitekturer i kombinasjon med lean prosesser og industri 4.0 teknologi. En arbeider mot flere typer verdikjeder, eks vis prosessering av fisk, verftsindustrien og teknologileverandører i maritime bransje.

8.12 Faggruppe Konstruksjonsmekanikk (KT)

Konstruksjonsmekanikk (KMEK) gruppen ved KT er primært opptatt av forskningsaktiviteter knyttet til numeriske simuleringer, fenomenologisk og probabilistisk material og last modellering, eksperimentelle laboratorietesting samt fullskala testing på alle nivå.

8.12.1 Forskningsfokus i faggruppen:

KMEK gruppen har følgende fire strategiske satsningsområder:

1. Kritisk infrastruktur (konstruksjonsdynamikk og lastmodellering, bruddmekanikk og utmatting, usikkerhet og pålitelighet, tilstandsovervåkning og reanalyse i hht nye forskrifter/behov, levetidsforlengelse og konstruksjonsintegritet).
2. Nanomekanikk og nanoteknologi (multiskala simulering, nanomekanisk prøving og materialer for arktiske strøk).
3. Trebaserte materialer og trekonstruksjoner (materialmodellering, forbindelseslevetid og miljøvennlige konstruksjoner).
4. Digitalisering av planleggingsprosessen, konstruksjonsoptimalisering og industriell produksjon (konseptuell konstruksjonsdesign).

Mange av strekpunktene for forskningen er av mer *grunnleggende* natur og er særlig relevant for produksjonsområdet og infrastruktur-/byggområdet.

8.12.2 Forskningsaktiviteter knyttet opp mot de strategiske forskningsområdene

Materialers egenskaper
Faggruppens forskningen på nanomekanikk og nanoteknologi er viktig for forståelse av materialegenskaper på multiskala nivå (nano til makro).

Digitalisering og automatisering av produksjon
Faggruppens forskning på digitalisering av planleggingsprosessen, konstruksjonsoptimalisering og industriell produksjon vil være viktig for produksjonsområdet. I et klimaperspektiv er trebaserte materialer i så vel bygg som produkter forventet å bli mer og mer påkrevd. Tre er et materiale som enkelt kan formes med CNC maskiner og det er en nær sammenheng mellom avansert byggeteknikk og produksjon. Dette er også et område som hittil har vært lite industrialisert og det er et stort potensiale for en ny æra for bærekraftig byggeteknologi og en byggenæring hvor bruken av tre er en viktig bestanddel. Dette er et sentralt område som faggruppen vil arbeide innenfor, i samarbeid med andre aktører, f eks automatiseringsmiljøet ved MTP som også ser potensialet for automatisert produksjon i trelastbransjen i samarbeid med miljøet på Gjøvik.

Forskningen innen digitalisering fokuserer på integrerte løsninger i den totale byggeprosessen. Et viktig temaområde er konseptuell konstruksjonsdesign der det utvikles en enhetlig digital plattform mellom konstruksjon og arkitektonisk utforming. Det metodiske rammeverket for digitalisering i byggeprosessen har også store likheter med digitaliseringsutfordringene i produksjon og faggruppen ser derfor synergieffekter med produksjonsmiljøet på dette området.