Anita Moum • Halvard Høilund-Kaupang •
Nils Olsson • Martin Bredeli

SINTEF
FAG
45

Industrialisering av byggeprosessene
Status og trender

SINTEF Fag

Anita Moum, Halvard Høilund-Kaupang, Nils Olsson og Martin Bredeli

Industrialisering av byggeprosessene
Status og trender

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 45
Anita Moum, Halvard Høilund-Kaupang, Nils Olsson og Martin Bredeli

Industrialisering av byggeprosessene
Status og trender

Emneord: byggeprosess, byggeprosjekt, effektivitet, kvalitet, logistikk

Prosjektnummer: 102013329
ISSN 1894–1583
ISBN 978-82-536-1559-2 (pdf)

Omslagsfoto: Moelven ByggModul

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2017
Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.
Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

SINTEF akademisk forlag
SINTEF Byggforsk
Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO
Tlf.: 73 59 30 00

www.sintef.no/byggforsk
www.sintefbok.no

Forord

Denne rapporten oppsummerer Fase 1 og 2 i en kartlegging av status og trender på feltet "industrialisert byggeprosess". Innholdet er utredet av forskere ved SINTEF Byggforsk, NTNU og SINTEF Raufoss Manufacturing.

Fase 1 var utarbeidelsen av en rapport bestilt og finansiert av BAE-programmet om temaet. Arbeidet ble utført første halvår 2016, og rapporten ble levert i endelig versjon september 2016.

Fase 2 har vært å sende rapporten ut til aktører i næringen på høring og deretter gi ut rapporten som denne rapporten. Medlemmene i nettverket Bygdin – Bygge- og anleggsnæringens industrialiseringsarena – ble valgt ut som høringsinstanser. Arbeidet er finansiert gjennom nettverket Bygdin.

Rapporten har tre hoveddeler. I del 1 bretter vi ut feltet, tar et historisk sveip og analyserer hva som kjennetegner en industrialisert byggeprosess. Vi ser på forholdet mellom prosessene, produktet, folkene som er involvert og ytre drivere (globalisering, etterspørsel, lover og regler m.m.). Vi introduserer et kart hvor vi beskriver fem dimensjoner: organisering, variasjon, skala, automatisering og teknologibruk. Det å se disse i sammenheng gir et bilde av graden av industrialisering i byggeprosessene.

I del 2 legger vi frem eksempler på hva som rører seg på feltet innen forskning og praksis, både nasjonalt og internasjonalt. Vi trekker frem relevante erfaringer i andre industrier.

I del 3 beskriver vi noen utviklingstrender; læring fra andre industrier, fra manuelle til automatiserte prosesser, fra "off-site" til "on-site" industrialisering, økt kundetilpasning og fra komponentbaserte til sømløse produkter.

Et godt kunnskapsgrunnlag bidrar til en felles forståelse av hva vi mener med en industrialisert byggeprosess og til å sikre at videre FoU-arbeid plasserer seg riktig i forhold til status i BA-næringen og på forskningsfronten.

Oslo, 19.09.2017

Sofie Mellegård
Forskningsleder
SINTEF Byggforsk

Anita Moum
Prosjektleder
SINTEF Byggforsk

Innhold

FORORD **3**

INNHOLD **4**

1 INTRODUKSJON **6**

1.1 FORMÅL OG PROSESS 6
1.2 STRUKTUR, METODE OG AVGRENSNING 6

DEL 1 – BEGREPSDISKUSJON **8**

2 INDUSTRIALISERING I BA-NÆRINGEN – HVA OG HVORFOR? **8**

2.1 INDUSTRIALISERING I ET HISTORISK PERSPEKTIV 8
2.2 EKSEMPLER PÅ DEFINISJONER OG TILNÆRMINGER I BA-NÆRINGEN 10

3 HVA ER EN INDUSTRIALISERT BYGGEPROSESS? EN ANALYTISK BEGREPSDRØFTING **13**

3.1 (PROSESS + PRODUKT + FOLK) X DRIVERE 14
3.2 ORGANISERING 14
3.2.1 Flyt og "gjennomstrømming" *14*
3.2.2 Logistikk *16*
3.3 VARIASJON 17
3.3.1 Standardisering *17*
3.3.2 Tilpasning og skreddersøm *20*
3.4 SKALA 21
3.4.1 Produktskala *21*
3.4.2 Produksjonsskala – Stordriftsfordeler *21*
3.5 AUTOMATISERING 21
3.6 TEKNOLOGIBRUK 22
3.6.1 BIM-data og BIM i skyen *22*
3.6.2 Stordata *23*
3.6.3 Automasjon og robotisering *23*
3.6.4 3D-printing/additiv produksjon *24*
3.6.5 Andre eksempler på muliggjørende teknologier *24*
3.7 INDUSTRIALISERING = MER ENN STANDARDISERING OG MODULBYGG 25

DEL 2 – EKSEMPELSAMLING **26**

4 INTERNASJONALT **26**

4.1 MARKEDSSITUASJON PREFABRIKASJON 26
4.2 ET INTERNASJONALT FOU-VEIKART FOR "OFFSITE PRODUCTION AND MANUFACTURING" 26
4.3 LAND I UTVIKLINGSFRONTEN 27
4.3.1 Storbritannia *27*
4.3.2 USA – et sveip innom noen ledende FoU-miljø *28*
4.4 INTERNASJONALE "HOT PICKS" 29
4.4.1 Lean-guruene *29*
4.4.2 3D-printing *29*
4.4.3 ManuBuild – Open building manufacturing *30*
4.4.4 Flying factories *31*
4.4.5 DFMA (Design for Manufacture and Assembly) *31*

5 NASJONALT **32**

5.1 ET KNIPPE NASJONALE INITIATIV PÅ BRANSJENIVÅ 32
5.2 EN TEMPERATURSJEKK PÅ BYGG.NO 32
5.3 HVA MED BEDRIFTENE? 33
5.3.1 To segmenter *33*
5.3.2 Underleverandørene er langt fremme *34*

6 RELEVANTE ERFARINGER I ANDRE INDUSTRIER **35**

6.1 MØBELBRANSJEN OG SKREDDERSØM FOR Å OPTIMALISERE PRODUKSJONEN 35
6.2 SKIPSINDUSTRIEN OG ENGINEER-TO-ORDER 36
6.3 STOR FORSKNINGSBASERT INNOVASJONSSATSING I NORSK PRODUKSJON 36

DEL 3 – VI SER INN I KRYSTALLKULEN 37

7 TRENDER OG KONKLUSJONER 37

7.1 LÆRE FRA ANDRE 37
7.2 FRA MANUELLE TIL AUTOMATISERTE PROSESSER 37
7.3 FRA "OFF-SITE" TIL "ON-SITE" INDUSTRIALISERING 37
7.4 KUNDETILPASSET INDUSTRIALISERING 37
7.5 FRA KOMPONENTBASERTE TIL SØMLØSE PRODUKTER 37

REFERANSER 38

1 Introduksjon

1.1 Formål og prosess

Denne rapporten oppsummerer fase 1 og 2 i en kartlegging (State of the art) av status, satsinger og trender på feltet "industrialisert byggeprosess". Formålet med kartleggingen er tredelt. Den skal bidra til:

1) En opprydding i begreper og definisjoner. Vi ser behov for å en omforent forståelse for hva vi legger i begrepet industrialisert byggeprosess.
2) Bedre innblikk i hva som skjer på feltet, både nasjonalt og internasjonalt.
3) Identifisering av sentrale utviklingstrender.

Rapporten inngår i arbeidet med å etablere et kunnskapsgrunnlag for forskning, utvikling og innovasjon knyttet til en industrialisering av byggeprosessene. Hva kan og vet vi allerede? Hva er problemene og hvor er kunnskapshullene? Hva synes å være morgendagens muligheter og utfordringer? Et godt kunnskapsgrunnlag er sentralt for å kunne sette inn støtet på riktig sted i kommende FoU-prosjekter og sikre at videre arbeid plasserer seg i forhold til status i BAE-næringen og på forskningsfronten.

Kartleggingsarbeidet er delt inn i to hovedfaser:

- **Fase 1.** Hovedfokus på en analytisk begrepsavklaring, etterfulgt av en eksempelsamling og en oversikt over trender i forskning og praksis. Utført av en gruppe forskere på SINTEF Byggforsk, NTNU og SINTEF Raufoss Manufacturing. Finansiert av BAE-programmet i Prosjekt Norge. Leveransen var en vanlig SINTEF oppdragsrapport som ble ferdigstilt september 2016.
- **Fase 2.** Suppleringer og utdypinger basert på høringsinnspill fra medlemmene i Nettverket Bygdin – Bygg- og anleggsnæringens industrialiseringsarena. Finansiert av egeninnsats og nettverksmidler. Koordinert av forskerteamet i fase 1. Leveransen er denne rapporten.

Vi ønsker å rette en stor takk til alle som har bidratt inn i arbeidet. Takk også til BAE-programmet, som har finansiert Fase 1. Vi anbefaler at rapporten brukes som utgangspunkt for å lage en bransjerettet og kortfattet infobrosjyre. Utarbeidingen må i så fall finansieres i et eget prosjekt.

1.2 Struktur, metode og avgrensning

Rapportens tre hoveddeler reflekterer dens tre hovedformål.

- Del 1: Analytisk begrepsdiskusjon
- Del 2: Eksempelsamling. Prosjekt, initiativ og miljø innen forskning og praksis
- Del 3: Trender

Forfattergruppen er satt sammen av forskere fra ulike fagmiljøer med til dels ulike fagtradisjoner og nettverk. Tverrfagligheten har i seg selv gitt en bredde til datagrunnlaget og til analysene og refleksjonene i rapporten. Datagrunnlaget er hentet fra kilder som:

- Meta-litteratur. Rapporter og artikler som ser på overordnede mekanismer, problemstillinger. Ofte en sammenstilling av funn fra mange aktører og prosjekter, en bransje- eller markedsanalyse eller en gjennomgang av tilgjengelig litteratur om et gitt felt. Denne typen litteratur er primærkilden i denne rapporten.
- Vitenskapelig dybdelitteratur. Rapporter og artikler som går inn i spesifikke deltema.
- Bransjerelaterte publikasjoner. Debattinnlegg, kronikker, nyhetsoppslag i ulike bransjekanaler.
- Hjemmesider. Til nasjonale satsinger, universiteter, FoU-sentra og prosjekter m.m.
- Intervjuer/samtaler med nøkkelpersoner på feltet.

- Fagdager og seminarer. Gir godt overblikk over aktuelle diskusjoner i næringen og hva aktørene er opptatte av.

Forfattergruppen har hatt totalt to ukesverk til å gjennomføre kartleggingen og skrive denne rapporten. Vi så raskt behovet for å gi en drøfting og analyse av selve begrepet industrialisert byggeprosess mye plass og ressurser. Hovedgrunnen er at begrepsbruken i både bransjediskusjoner og publisert materiale er flytende og tvetydig. Det er heller ikke en full enighet om hvorvidt industrialiserte byggeprosesser er et egnet begrep i seg selv, eller om det gir feil assosiasjoner. Vi har i denne rapporten valgt å ikke gå inn i den siste diskusjonen, men å beholde "industrialisering" og "industrialiserte byggeprosesser" som begreper. Fokuset ligger på å bidra til en mer omforent forståelse av hva det er vi mener med industrialiserte byggeprosesser i den norske BA-næringen. En slik enighet anser vi som et helt sentralt fundament for å både kunne si noe om hvor næringen er i dag når det gjelder graden av industrialisering – og hvor vi skal.

Vi har i Del 1 brukt en utforskende og analytisk tilnærming. Eksempelsamlingen i Del 2 med nasjonale og internasjonale aktiviteter og initiativ innen forskning og praksis er overordnet og beskrivende. I Del 3 ser vi inn i krystallkulen og reflekterer rundt trender og strømninger vi mener å kunne trekke frem fra kartleggingsarbeidet.

DEL 1 – BEGREPSDISKUSJON

2 Industrialisering i BA-næringen – hva og hvorfor?

Industrialisering er et begrep som i dag dukker opp i mange diskusjoner i bygg- og anleggsnæringen. Det knyttes en forventning til at en mer industrialisert BA-næring og industrialiserte byggeprosesser vil føre til:

- kortere byggetid
- mer effektive og smidige prosesser
- reduserte kostnader
- økt konkurransekraft
- bedre kontroll
- færre arbeidsulykker
- renere bygg
- bedre kvalitet og færre byggskader
- økt levetid

Disse forventningene har satt industrialisering høyt på agendaen hos store aktører i den norske BA-næringen (for eksempel Bygg21, Nye Veier, Sykehusene i Vestfold og Stavanger). Men det kan se ut som om forventningene til gevinstene av en industrialisering i næringen er mer omforente enn hva det er vi legger i selve begrepet "industrialisering" eller "industrialiserte byggeprosesser". Dette skaper utfordringer i diskusjoner knyttet til hvor industrialisert BA-næringen er, og hvor industrialisert den skal eller bør bli. For hva er egentlig en industrialisert byggeprosess? Vi skal her først se på industrialisering generelt i et historisk perspektiv, før vi gir noen eksempler på definisjoner og tilnærminger i BA-næringen.

2.1 Industrialisering i et historisk perspektiv

Norsk Wikipedia omtaler industrialisering som "betegnelsen på overgangen fra manuelt til automatisert og maskinelt arbeid i et samfunn". Industrialisering knyttes historisk sett tett sammen med samfunnsutvikling og produktivitetsøkning. Schmenner (2015) gir, i en artikkel om jakten på produktivitet (The Pursuit of Productivity), en oversikt over innovasjoner som har ført til store produktivitetssprang i samfunnet (Tabell 1, neste side).

Det Schmenner (2015) beskriver som felles for alle disse innovasjonene, er at de muliggjorde det han kaller en "swift, even flow", som vi kan oversette med en rask og jevn flyt. Han vekt-legger at suksessen bak innovasjonene i tabellen ikke bare kan føres tilbake til utviklingen av nye maskiner og ny teknologi. Like viktig er hvordan maskinene ble organisert og hvilke oppgaver de skulle utføre. Schmenner trekker frem to suksesskriterier for produktivitets-økning; 1) reduksjon av variasjon (i kvalitet, kvantitet, tid) og 2) reduksjon av gjennom-strømningstid (den tiden det tar å lage et produkt).

Vi kan knytte Schemmers (2015) liste over innovasjoner til ulike steg og industrielle revolusjoner. Utviklingen har gått fra håndverk og skreddersydde løsninger, til masse-produserte standardprodukter og er nå på vei tilbake mot skreddersøm, men nå med hjelp av automatisert én-stykks-flyt og meget avanserte produksjonssystemer. Den industrielle revolusjonen på 1800-tallet gjorde det mulig å produsere mer og raskere med hjelp av "Spinning Jenny" og fremfor alt dampmaskinene. Siden den tid er Fords samlebåndsprinsipp og dagens automatiserte produksjonssystemer benevnt som den andre-, respektive tredje industrielle revolusjonen. Alle rapporter om den fjerde industrielle revolusjonens som har

kommet de senere år, er mer eller mindre utspring fra Tysklands nasjonale satsing "Industrie 4.0", omtalt av Forbundskansler Angela Merkel 22. januar i Davos[1] (se Figur 1 neste side).

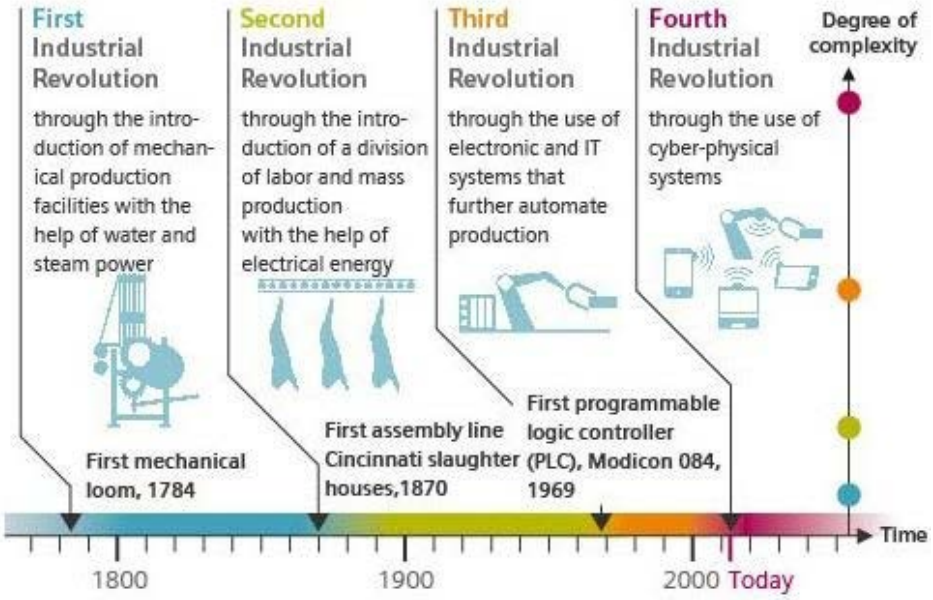
Tabell 1
Produktivitetens Pantheon (fra Schmenner 2015). Oversatt til norsk av forfatterne.

Innovasjon	**Representant**	**År**	**Hvorfor signifikant?**
Fabrikk	Richard Arkwright	1776	Brakte sammen maskiner, arbeidskraft og en sentral energikilde for første gang. Bomullstråder ble spunnet raskt og kontinuerlig, den var konsistent og av bedre kvalitet. Et enormt produktivitetssprang sammenlignet med det tidligere "sette-ut" systemet.
Spesialisert arbeidskraft	Ble først bredt anerkjent av Adam Smith	Ukjent, men ganske utbredt fra 1776	Ved spesialiseringen av arbeidskraft, kunne både arbeidsoppgavene og "gjennomstrømningstiden" for produktet reduseres drastisk. Bedre kvalitetssikring.
Standardisert design og utskiftbare deler	John Hall, raskt fulgt av Simeon North og andre. Enda senere, Walter Shewhart	1820-åra, så 1920-åra	Stor forbedring av produktets kvalitet. Produktet kunne produseres raskere og uten tilpasningsarbeidet som var dominerende tidligere. Lavere kostnader. Så snart det ble håndterbart å veksle ut deler, kunne statistisk kvalitetskontroll utføres.
Distribusjons-kanaler	Edward Clark	1850-åra	Den første gangen produsenter av større volumer kunne komme nærmere slutt-kunden og håndtere etterspørsel på en bedre måte.
Kontinuerlige flytprosesser	C.C. Washburn, Pillsbury brothers, andre	1870-åra	Maskinbasert og raskere bevegelse av produktet gjennom prosessen (fra råmateriale til ferdig prosessert produkt).
Integrerte forsyningskjeder	Gustavus Swift, other meat packers; later, Richard Deupree	1880-åra, så 1919	Kontroll av hele forsyningskjeden, fra lager til selger. Satte fart på "gjennomstrømningstiden", med leveranser av produkter med høy kvalitet. Kunne sentralisere produksjonen. Unngå "bullwhip"-effekten[2].
Bevegelig samlebånd	Henry Ford's løytnanter (for eksempel Clarence Avery)	1913–1914	Enormt produktivitetssprang. Arbeidsoppgaver og "gjennomstrømningstid" ble redusert dramatisk; kostnadene falt. Konsistent kvalitet og produksjonstempo.
Containerization	Malcom McLean	1950-åra	Store containere muliggjorde rask lassing og lossing av skip og at gods kunne bli overført til lastebiler og tog. Sparte mye tid og ressurser. Forandret havner og import/eksport.
Lean manufacturing	Taiichi Ohno, Shigeo Shingo, og kollegaer	1940-åra og etterfølgende tiår	Forbedret kvalitet, ingen sløsing, redusert "inventories", reduserte kostnader.

At industritankegang vil innta byggenæringen er beskrevet blant annet av Kieran & Timberlake i deres bok "Refabricating architecture". Her trekkes blant annet frem eksempler fra bilindustrien som mål på hvordan dette kan gjøres også i byggenæringen. Mye tyder på at prosesser bruk innen bil- og annen vareproduserende industri ikke er like direkte overførbare til BA-næringen.

[1] Se: http://www.welt.de/videos/article136667190/Hier-erklaert-Merkel-den-Bossen-die-Industrie-4-0.html. Sist besøkt 24.10.2017.

[2] "Bullwhip"-effekten er et fenomen ved distribusjonskanaler som synliggjør ineffektivitet i en verdikjede. Effekten henviser til svingninger i varelager som svar på endringer i kundebehov ettersom man beveger seg lenger opp i verdikjeden. (https://en.wikipedia.org/wiki/Bullwhip_effect)



Figur 1
Industriutviklingen gjennom fire definerte revolusjoner
Kilde: https://ing.dk/blog/den-4-industrielle-revolution-162347

2.2 Eksempler på definisjoner og tilnærminger i BA-næringen

Hva er industrialisering i tilknytning til byggeprosessen? Berg (2008) viser at begrepsbruken rundt industrialisering i BA-næringen er flytende. Definisjonseksemplene i Figur 2 illustrerer dette. Av disse eksemplene vil vi trekke frem Sarja (1998) som den mest treffende ut fra det vi i neste kapittel beskriver som hovedingrediensene i industrialisert bygging:

> *"Industrialised building is the term given to building technology where modern systemised methods of design, production, planning and control as well as mechanised and automated manufacture are applied."*

Bygg21 arrangerte et frokostmøte om industrialisering den 9. mai 2016. Et panel av fire ledere i norsk byggenæring la frem sine refleksjoner rundt temaet. Et av spørsmålene som ble stilt av Bygg21, er hva panelet og tilhørerne legger i begrepet. Bygg21 oppsummerer ut fra dette at industrialisering

- Er gjentakelse av standard løsninger og -prosesser, med utstrakt bruk av fabrikkproduksjon, ekstern eller på byggeplass.
- Fremmes av harmoniserte regler og standarder.
- Øker forutsigbarheten og gir en helt annen kvalitet og kontroll.
- Gir signifikant bidrag til 20 %-målet.

De fremhever videre at avklarte standard funksjonskrav for ulike byggkategorier gir grunnlag for økt tidligfaseinvolvering.

Industriell byggeproduksjon der hovedsaken av verdiskapingen skjer i fabrikker (moduler og/eller prefabrikkerte elementer i store serier).

(Byggekostnadsprogrammet, 2008)

"Offsite construction is that part of the construction process that is carried out away from the building site (such as in a factory), and which would normally be carried out on site."

(BuildOffsite, 2007)

Industriellt byggande: Tilverkningsprocesser som sker i en sluten miljö, endast montagearbeten sker på byggeplatsen. Industrialiserat byggande: Bygg- och planeringsprocessen drivs enligt industriella principer med bland annat användning av förtillverkade komponenter men en övervägande del av byggandet sker på byggplatsen.

(Apleberger, Jonsson, & Åhman, 2007)

Modularization entails the large-scale transfer of stick-build construction effort from the jobsite to one or more local or distant fabrication shops/yards, to exploit any strategic advantages.

(Construction Industry Institute, 2013)

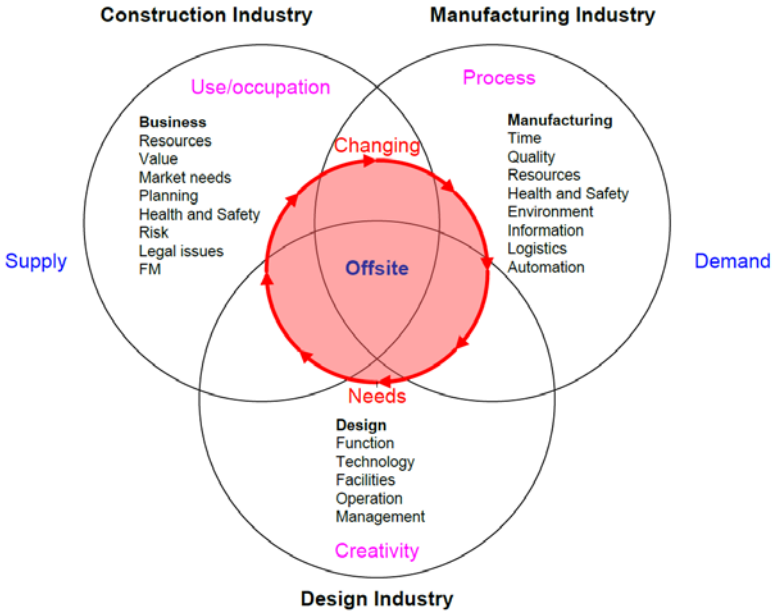
Industrialised building is the term given to building technology where modern systemised methods of design, production, planning and control as well as mechanised and automated manufacture are applied.

(Sarja, 1996)

Figur 2
Eksempler på definisjoner av industrialisert bygging/industriell bygging
Sakset fra "Markedsundersøkelse Industriell byggemetodikk", som ble utarbeidet i regi av BA2015-programmet i 2015

Höök (2008) ser på industrialisert bygging som grensesnittet mellom en byggekultur og produksjonskultur.

En lignende tilnærming finner vi også i et R&D veikart for "Offsite production and manufacturing" (CIB TG74, 2013).



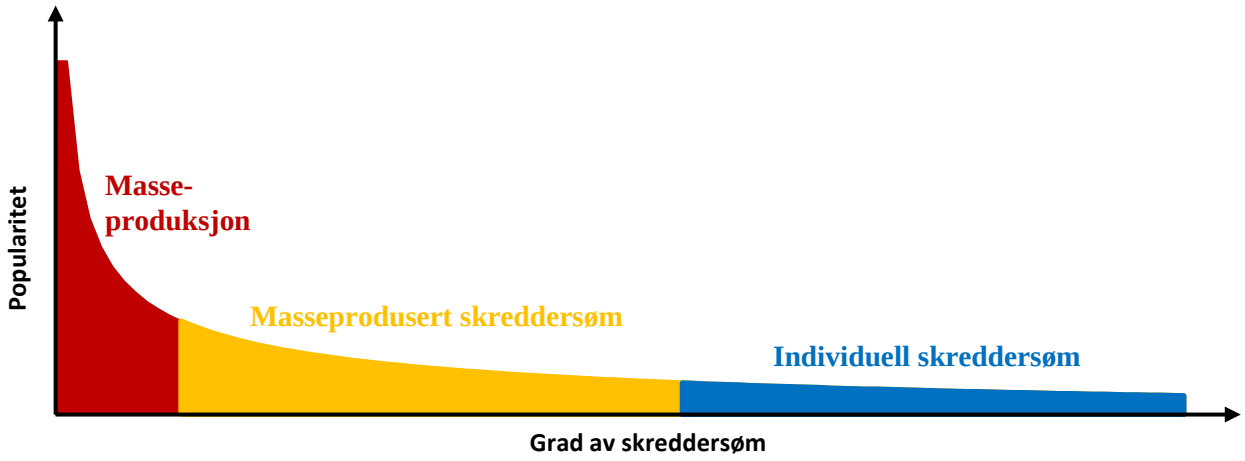
Figur 3
Design, bygging og industriell produksjon: "off-site" sammenhenger (CIB TG74, 2013).

Det virker å være lettere å beskrive og gi eksempler på hva som er industrialisert bygging, enn å gi en definisjon. Apleberger et al. (2007) utviklet en modell der graden av industrialisering beskrives basert på åtte ulike aspekter. Disse er:

1. Planlegging og kontroll av prosessen
2. Tekniske system
3. Bygningsdeler produsert "off-site"
4. Langsiktige relasjoner mellom aktørene
5. Logistikk integrert i byggeprosessen
6. Kundefokus
7. Bruk av IKT
8. Systematiske evalueringer av måloppnåelse og erfaringstilbakeføring

Masseproduksjon av varer har vært et resultat av de første to industrielle revolusjoner. Med den tredje og fjerde industrielle revolusjon åpnes et nytt felt mellom masseproduksjon av standardiserte produkt og individuell tilpasning av hvert produkt (se Figur 4 på neste side). Dette feltet er blant flere kalt masseprodusert skreddersøm (Mass Customization). EU-prosjektet ManuBuild – Open building manufacturing – har sett på ulike tilnærminger til masseprodusert skreddersøm innen byggeprosess (Thuesen og Claeson-Jonsson 2009).

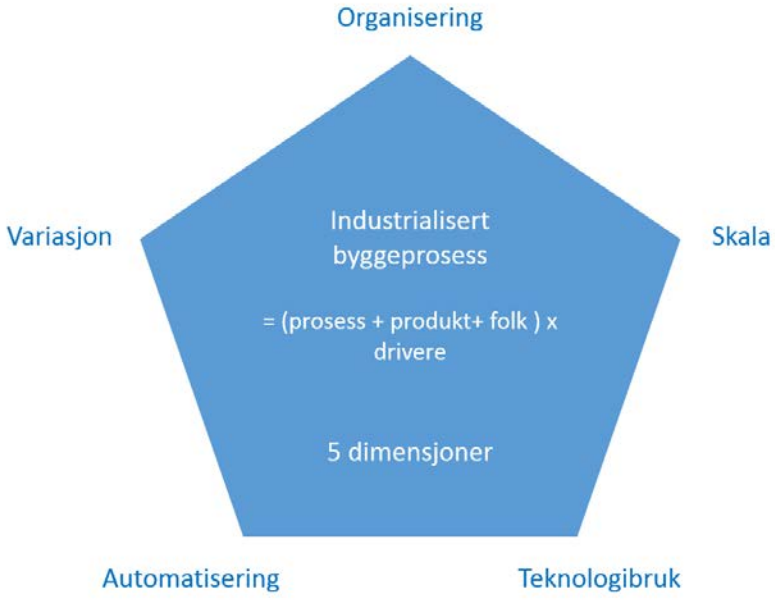
Nederveen, Gielingh og Ridder påpekte i 2009 at byggenæring var preget av et etterspørselsdrevet tilbud, og at industrialisert bygging fordret en tilbudsdrevet etterspørsel. Begrepene er først introdusert av Ridder og Vrijhoef (2007). Etterspørselsdrevet tilbud betyr at næringen leverer det sluttbruker ønsker, og passer med tradisjonell individuell skreddersøm. Skal industrialisert bygging bli en suksess, må det skje en dreining til en tilbudsdrevet etterspørsel, altså at sluttbruker velger ut fra et "varespekter" bestemt av leverandøren med utgangpunkt i leverandørens produksjonsmuligheter. Dette omtales også i pkt. 6.1 og 6.2.



Figur 4
Forhold mellom masseproduksjon, masseprodusert skreddersøm og individuell skreddersøm
Figuren er gjenskapt basert på Figur 2 i Thuesen og Claeson-Jonsson 2009

3 Hva er en industrialisert byggeprosess? En analytisk begrepsdrøfting

Vi har i det forutgående kapittelet sett at industrialisering har en historie som går mer enn tre hundre år tilbake i tid og at de ulike innovasjonsskrittene er vevd tett sammen med samfunns- og teknologiutvikling, produktivitet og velstand. Industrialisering er slik sett på ingen måte noe nytt, ei heller i BA-næringen. Vi har også sett at det ikke er en klar enighet om hva det er vi egentlig legger i begrepet "industrialiserte byggeprosesser", hvor industrialiserte vi allerede er eller skal bli. For å bidra til mer differensierte diskusjoner rundt disse og andre spørsmål, skal vi i dette kapittelet forsøke å brette ut begrepet "industrialisert byggeprosess". Hva er de sentrale ingrediensene vi må forstå og ha med oss når vi snakker om en industrialisert byggeprosess?



Figur 5
Den industrialiserte byggeprosessens fem dimensjoner.

3.1 (prosess + produkt + folk) x drivere

Prosess, folk og produkt er sentrale variabler i en industrialisert byggeprosess. "Formelen" i Figur 5 tydeliggjør at det er en relasjon mellom variablene som blir påvirket (svekket/styrket) av ytre faktorer/drivere. Den er å forstå som et bilde, og ikke som en matematisk formel.

Det synes lite fruktbart å diskutere hvor industrialisert vi egentlig er og eller hvordan man skal lykkes med en industrialisering av byggeprosessen uten å ha med både produktet, prosessen og de involverte menneskene i betraktningene.

- Det er nærliggende å ha et sterkt fokus på selve produktet, dets egenskaper og egnethet/potensial for en industriell produksjon. I BA-næringen kan produkter være alt fra byggematerialer til tekniske anlegg.
- Prosessen er like sentral. Schemmers (2015) oversikt over de store skrittene innen industrialisering er alle prosess-relaterte. Halvparten av Apleberger et al. (2007) sine 8 punkter er direkte relatert til måten prosjekter gjennomføres på.
- Folkene som er involvert, er direkte eller indirekte viktige – som utførende, som kunder og bestillere, som brukere. Viktige stikkord er ledelse, kompetanse og tilpasningsevne.

Drivere og barrierer kan ligge på samfunnsnivå, på bransjenivå eller på prosjektnivå. Eksempler (tilfeldig rekkefølge):

- Globalisering og urbanisering
- Marked og etterspørsel
- Teknologi og digitale verktøy
- Lovgivning og forskrifter
- Standarder/standardisering
- Lokale forhold og tilpasning (tomteforhold/topografi, kundekrav, byggeskikk, klima)
- Prosjektgjennomføringsmodeller og prosjektledelse
- Folk, kompetanse, kultur

Vi skal i det følgende beskrive fem dimensjoner som på ulike måter er styrende for hva man industrialiserer i en byggeprosess, og hvordan. De fem dimensjonene har alle elementer av prosess, produkt og folk i seg. Basert på "femkanten" og "formelen", kan vi si noe om graden av industrialisering. Vi har identifisert de fem dimensjonene ut fra stoffet vi har gjennomgått i rammen av dette studiet.

3.2 Organisering

Den første dimensjonen er selve organiseringen av en industriell byggeprosess. Vi skal her se på noen sider ved organisering som vi har identifisert som særlig sentrale. Det kan være fornuftig å skille mellom organisering av industrialisert byggeproduksjon og industrialisert byggeprosess. Mye av grunnlaget for industriell byggeproduksjon legges før selve produksjonsprosessen starter. I dette ligger for eksempel utbyggers valg og prioriteringer av profil, ytelse, rammer, miljø, kundetilpasning, levetid osv., samt valg av prosess og prosjektorganisering. Valg av en industrialisert byggeprosess er avgjørende hvis industrialisert byggeproduksjon skal være effektiv. Eksempler på industrialiserte byggeprosesser er Bygg21 sin stegnorm for byggeprosessen (2015) og Statsbyggs prosjektmodell (2008).

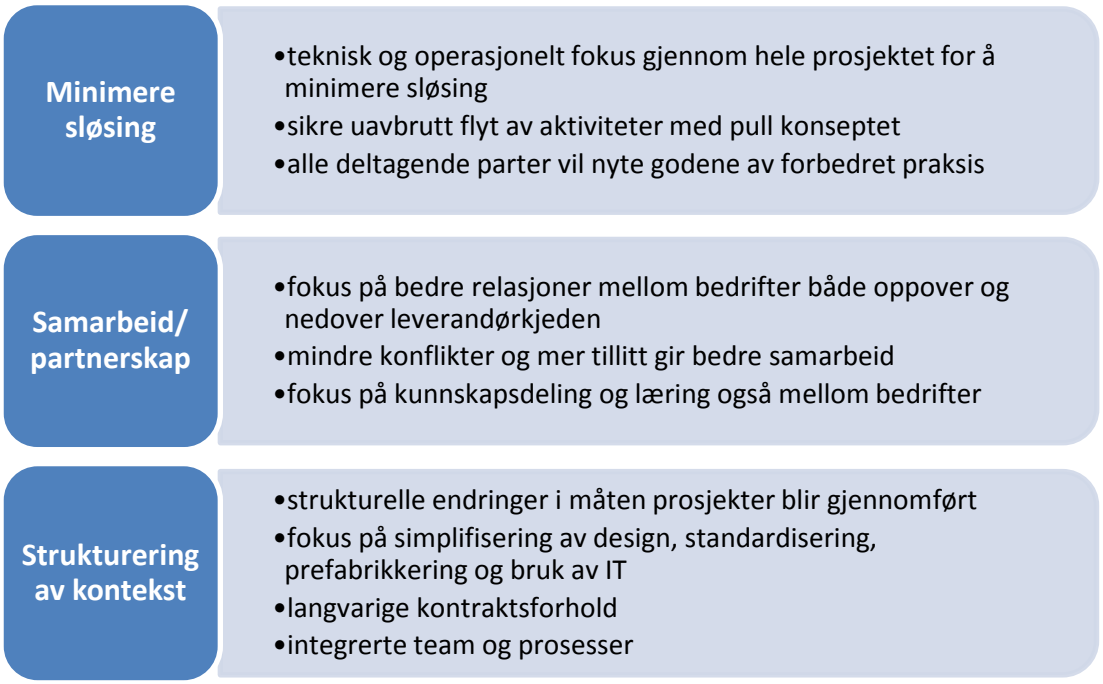
3.2.1 Flyt og "gjennomstrømming"

Kontinuerlige flytprosesser og integrerte forsyningskjeder er blant innovasjonene som ifølge Schmenner (2015) har ført til store utviklingssprang. De pågående diskusjonene i BA-næringen tyder på en voksende bevissthet om at det ikke er nok å ha fokus på selve

produksjonsleddet og det som skjer i fabrikk og på byggeplass. En industriell tenkning krever et overblikk over hele prosessen, et fokus på produktets flyt eller gjennomstrømming fra første idé til ferdigstilling og bruk. Det er i dag ulike konsepter eller verktøy for å tilrettelegge for mer flyt i byggeprosessen.

Vi vil her særlig trekke frem Lean Construction, som er basert på en tankemåte som kommer fra produksjonsindustrien og som er overført til byggenæringen (Koskela, 1992). Howell og Ballard (1998) beskriver fem Lean-prinsipper som vil forbedre måten prosjektene blir planlagt og drevet på. Først må det spesifiseres hvor verdien i prosjektet ligger for kunden, hvilke mål skal prosjektet tilfredsstille. Det andre prinsippet er å identifisere hvilke deler av prosessen som skaper verdi i prosjektet og hvilke aktiviteter som ikke bidrar mot målet (for eksempel lagring). Dette er aktiviteter som må kartlegges og med tiden minimeres for å kutte ned på unødvendige kostnader. Tredje prinsippet påpeker at ved eliminering av mellomlagring vil produktet kunne flyte i større grad fra en verdiskapende aktivitet til den neste, og dermed maksimere produksjonstiden og ytelsen. Pull-konseptet er fjerde prinsippet i Lean-tankegangen. Det vil bidra til konstant flyt i produksjonen og sikre at ikke unødvendig arbeid blir utført fordi en påfølgende aktivitet ikke har behov for den. Verdiskapende aktiviteter blir ferdigstilt og overlevert på det tidspunktet neste aktivitet i produksjonen har behov for den for å unngå mellomlagring. Til slutt må arbeid og leveranser synkroniseres ved hjelp av åpenhet og innsyn i bedriftenes planer. Informasjonen må i tillegg bli delt mellom underleverandørene og ikke bare bli delt fra hovedkontraktøren, slik at de selv kan bedre koordineringen av aktiviteter seg imellom.

Over tid har Lean Construction blitt brukt i en bred betydning (Jørgensen og Emmitt, 2008). Green og May (2005) har oppsummert tre forståelser som viser den generelle oppfatningen for hvilken praktisk bruk Lean Construction representerer.



Figur 6
Tre modeller/forståelser av Lean Construction basert på Green og May (2005).

Gjennomføringen av verdistrømsanalyser er regnet som et nyttig verktøy for bedre å forstå hvordan man kan tilrettelegge prosessen for å strukturere en produksjonslinje og organisasjonen. Starten på en strukturert prosess er ofte en form for nå-steds-analyse. Innen Lean kalles denne analysen "Verdistrømsanalyse".

Verdistrømsanalyse:

- Er primært et verktøy for å utarbeide en Lean verdistrøm
- Har sin styrke i at forbedringsfokus flyttes bort fra isolerte prosesser over på hele verdikjeden
- Forener en rekke prinsipper og verktøy fra Lean og sikrer derfor en helhetlig endringsprosess
- Er et effektivt visualiseringsverktøy underveis i endringsprosesser
- Er et effektivt verktøy for å oppnå en felles problemforståelse i organisasjonen
- Legger et godt grunnlag for en Lean forbedringsplan

Analysen gjennomføres i flere trinn:

1. Sett sammen et team som skal gjennomføre verdistrømsanalysen
2. Velg et produkt som kartlegges fra kunde til leverandør
3. Analyser prosesser, materialflyt, informasjonsflyt og sløseri
4. Skisser nåsituasjon
5. Lag en fremtidig Lean-situasjon
6. Utarbeid handlingsplan og gjennomfør

Det er helt essensielt at deltakerne som gir input til en verdistrømsanalyse faktisk jobber i verdikjeden. Det er umulig for, for eksempel, ledelsen å vite hvordan ting foregår i praksis.

3.2.2 Logistikk

Flere av definisjonseksemplene i kapittel 2 tar opp betydningen av at en del av verdiskapingen, eller produksjonen, skjer i en fabrikk eller tilsvarende "off-site" fasilitet. I en global markedssituasjon ser vi at det ikke er uvanlig at slike fabrikker ligger i andre land (et eksempel er modulproduksjonen i de baltiske landene og Polen). Construction Industry Institute (CII) gjør et skille mellom prefabrikasjon, forhåndsmontering og produksjon utenfor byggeplassen:

- Prefabrikasjon utføres i spesialiserte fasiliteter eller fabrikker, hvor materialer settes sammen til komponenter som senere vil utgjøre en del av den endelige installasjonen.
- "Pre-assembly" er en prosess hvor ulike materialer, prefabrikkerte komponenter og annet blir satt sammen på en ekstern lokasjon. Sammensetningen utgjør senere en enhet til det ferdige systemet.
- "Off-site production" innebærer at elementer blir fabrikkert og satt sammen utenfor byggeplass, det vil si på en annen plass enn ved elementets endelige posisjon

Distansen mellom produksjonssted og byggeplass/tomt/anlegg skaper en logistikk som gir andre behov for organisering og tilrettelegging enn tradisjonell plassbygging.

- *Transport og lagring*. En fysisk distanse mellom produksjonssted og byggeplass skaper behov for transport av produktene. Distansen kan også skape behov for mellomlagring. Enten hos fabrikken, på veien og/eller på byggeplassen. Berg (2008) trekker frem logistikk og transport som viktige elementer i industrialisering også i byggenæringen. God logistikk forutsetter oftest planer for hvordan elementene skal transporteres og håndteres på byggeplassen. Det må blant annet tilrettelegges for sikring mot regn og annen ytre påvirkning underveis. Logistikken omfatter transport og mellomlagringer, men også informasjonsflyten knyttet til materialflyten. Just-in-time er veletablert prinsipp i vareproduserende industri, og er også aktuelt i byggenæringen. Byggematerialer må leveres til rett tid for å sikre god flyt i montasjen. Gibb (1999) peker på at man må å ta hensyn til transportforholdene tidlig i byggeprosessen. Man må ta hensyn til både vekt og størrelse på elementer som skal transporteres. Normalt er størrelse en større utfordring enn vekt ved transport. Elementenes størrelse må tilpasses slik at de kan løftes på fabrikk, transporteres til

byggeplass, løftes og monteres på byggeplass. Gibb poengterer at man må ta hensyn til lengde, høyde, bredde og vekt i prosjekteringen. En mulighet som Berg (2008) trekker frem, er å produsere elementene i feltfabrikker på byggeplassen.

- *Rekkefølge, ansvar og ledelse*. Hva må gjøres når av hvem? Avklare ansvarsdeling mellom produsent (fabrikk og ofte også montasje) og entreprenør (byggeplass). Behov for god planlegging for en systematisk ferdigstilling.
- *Sporbarhet*. Åpenhet og informasjonsflyt mellom aktørene via en felles plattform vil legge til rette for sporbarhet av produkter, prosjektering, ansvar osv. i et prosjekt. Sporbarhet er et kriterium for effektiv kvalitets- og produksjonskontroll. Sporbarhet av produkter, men også informasjon om produktet (prosjektering e.l.), er nødvendig for effektivt å unngå feilbygging, men også for å håndtere feil som slipper gjennom kvalitetskontrollen og som utvikler seg til skader over tid. Sporbarhet legger også til rette for læring og forbedring i ettertid.
- *Nye grensesnitt*. Mellom fabrikkproduserte komponenter/moduler og plassbygg. Mellom elementer og moduler fra ulike leverandører og fag.
- *Ferdigstillingsgrad*. Hva gjøres ferdig på fabrikken, og hva på byggeplassen?
- *Kvalitetssikring og kontroll*. Et mer internasjonalt marked og import av elementer og moduler skaper behov for ekstra fokus på håndtering av kvalitetssikringsrutiner og -prosedyrer gjennom lovpålagt eller retningsgivende produktdokumentasjon og -godkjenninger. Berg (2008) henviser til at prosedyrene for dette lett kan bli en flaskehals i en global markedssituasjon.
- Jaillon & Poon (2009) og Neale et al. (1993) fremhever at prefabrikasjon kan bidra til forbedrede ergonomiske forhold, blant annet ved reduserte støv- og støyproblemer.

Det å produsere deler av bygg og anlegg i fabrikker er i seg selv på langt nær ukjent i BA-næringen. Det er for lengst etablert praksis at produksjonen av eksempelvis vinduer og dører er fabrikkbasert (eller industrialisert). Når vi i dag snakker om prefabrikasjon, er det gjerne som alternativ produksjonsform for produkter som også kunne settes sammen på byggeplassen. For eksempel fasadeelementer, vegger og dekker.

3.3 Variasjon

Schmenner (2015) trekker frem reduksjon av variasjon som et suksesskriterium for økt produktivitet ved industrialisering – da først og fremst en reduksjon av variasjon knyttet til kvalitet, til kvantitet og til timing. Vi skal i dette avsnittet se på to aspekter som kan knyttes tett opp til variasjonsbegrepet; standardisering og skreddersøm. Begrepsparet oppfattes gjerne som motpoler. I polariserende diskusjoner fremstilles lett standardisering som et grep som fører til kostnadsreduksjon, mens skreddersøm fører til det motsatte. Vi skal her se at en slik svart-hvitt fremstilling ikke nødvendigvis er riktig. Standardisering og skreddersøm inngår begge som elementer i en industrialisert byggeprosess.

3.3.1 Standardisering

Det er knapt noe begrep som assosieres så sterkt med industrialisering og med forventningen til kostnadsreduksjon, som standardisering. Dette reflekteres også i et spørsmål stilt til diskusjonspanelet på Bygg21 sitt frokostmøte om industrialisering den 9. mai 2016; "er industrialisering egentlig standardisering?".

Produkt-relatert standardisering

La oss begynne med å se på standardisering knyttet til selve produktet. Først noen nøkkelstikkord som kan knyttes til kostnadsreduksjonspotensialet:

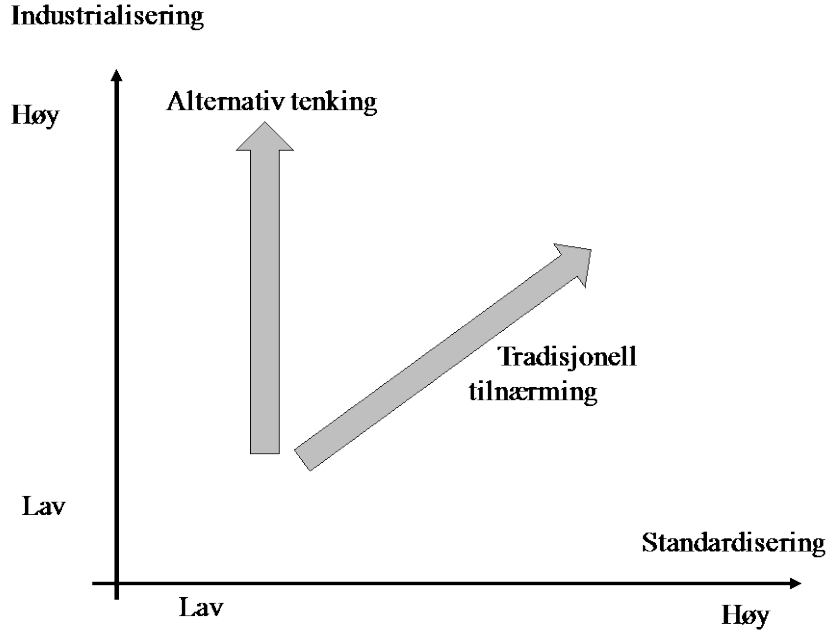
- *Repetisjon.* Planlegge et produkt en gang, produsere dette produktet mange ganger (masseproduksjon). Reduksjon av tid (og kostnader) brukt til planlegging, rigging og til tilpasning.
- *Utskiftbarhet.* Enklere å erstatte komponenter.
- *Kvalitetssikring.* Ved standardiserte krav.

Eksempler på produktrelatert standardisering:

- *Produktstandardisering.* Eksempler: fra hele hus (plukke drømmehuset fra ferdighuskataloger) ned til den enkelte skrue. Fra fargekoder til standard dimensjoner på bjelker og vinduer.
- *Grensesnittstandardisering.* Eksempel: USB-overgangen.
- *Kravstandardisering.* Eksempler: produktkrav (brann, tetthet m.m) og funksjonskrav (universell utforming, utstyr m.m).

Det er kanskje særlig produktstandardiseringen som har gitt industrialisering et dårlig rykte og som skaper utfordringer på et norsk marked som etterspør individuell tilpasning, høy standard, fleksibilitet og valgmuligheter. Produktstandardisering assosieres lett med reduksjon av valgmuligheter, monotone og kjedelige brakkebygg, lav standard og manglende betalingsevne eller -vilje (lavstatusbygg eller spekulativ bygging). Produktstandardisering kan for eksempel oppfattes som et problem i boligbygging, da kunden ofte har ulike preferanser Schmidt (2009). Standardisering kan bli sett på som motsetningen til det individuelt tilpassede. Standardisert bygging blir da oppfattet som lite attraktivt. Samtidig fronter store boligutbyggere produktstandardiseringens betydning for å løse boligmangelen i norske storbyer og den (for) høye inngangsprisen til et presset boligmarked (for førstegangskjøpere eller betalingssvake).

Det blir fort aktuelt å introdusere et skille mellom teknisk og opplevd standardisering. Opplevd standardisering blir ofte fremhevet som uønsket for bygg, der høy grad av standardisering oppleves som et kjennetegn på lav kvalitet. Likevel kan det for flere forhold være positivt med opplevd standardisering, der brukeren kjenner seg igjen.



Figur 7
Standardisering

På oppstartsmøtet i Bygdin-nettverket 17. juni 2016 ble "usynlig produktstandardisering" trukket frem som en mulig måte å få en gevinst av standardisering uten at det går på bekostning av det fysiske resultatet. Forenklet sett menes en produktstandardisering av "det som befinner seg bak overflatene" – det vil si inni vegger, over himlinger med mer. Vi skal senere i dette kapittelet se at skala spiller en stor rolle i produktstandardisering.

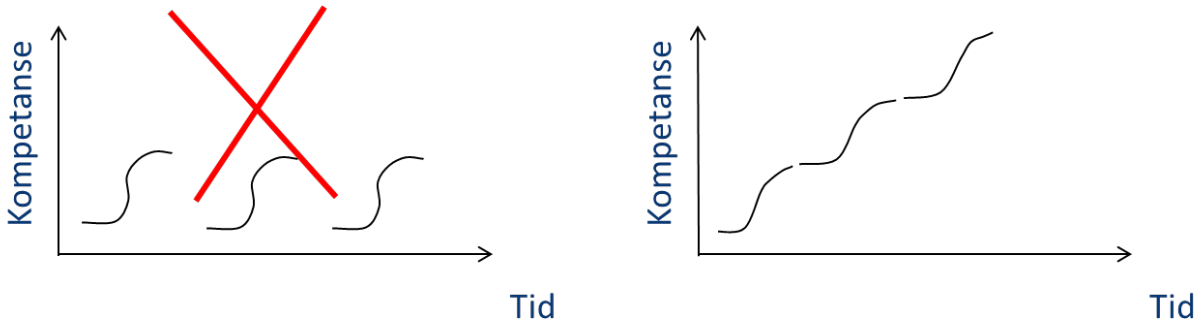
Prosessrelatert standardisering

En annen side ved standardisering er knyttet til prosessene og måten vi utfører oppgaver på. Det er først når man har en standard at man kan være kreativ som team/organisasjon. En standard skal gjøre prosessen sikker, repeterbar og tidseffektiv. Eksempler på standarder:

- Maler for brev, tilbud, rapporter o.l.
- Kirurger på et sykehus blir enige om en standard for utstyr som kreves for å utføre en gitt operasjon
- Arbeidsinstrukser og prosedyrer som sikrer at utfallet blir det samme hver gang et hjuloppheng kommer ut fra produksjonslinjen

Denne typen standarder er relativt enkle å akseptere for de aller fleste arbeidstakere, mens det i såkalte kreative prosesser er større motstand. I, for eksempel, en produktutviklingsprosess mener mange at standarder er hemmende for kreativiteten. I en Lean produktutviklingsprosess fokuserer man på at prosessen skal være den samme hver gang, dvs. at de ulike fasene, feedback og evalueringsloopene repeteres og at beslutningspunktene er de samme hver gang. Selve produksjonen av det nye produktet er selvfølgelig ny hver gang, det er kun prosessen rundt som er standardisert.

Denne tankegangen rundt standardisering sikrer en lærende organisasjon hvor hvert team lærer fra sine og andres tidligere erfaringer istedenfor å finne opp hjulet på nytt i begynnelsen av hvert prosjekt.



Figur 8
En matrise for hvordan kompetanse må utvikles over tid.
Kilde: En lærende organisasjon SINTEF Raufoss Manufacturing, Kursmateriell Lean-kurs

Vi har nå sett at standardisering kan knyttes til både produkt og prosess. Den kan ta ulike former; for eksempel som en retningslinje, mal, krav, Norsk Standard. Standardisering både påvirkes av, og er en premiss for, flere av de andre elementene innen industrialisering. Schmidt (2009) viser at industrialisering har kommet lengst i de prosjektene som kjennetegnes av en rendyrket strategi, og har begrensede valgmuligheter og fleksibilitet. Gibb (1999) og Berg (2008) peker på den nære sammenhengen mellom prefabrikasjon og standardisering. Prefabrikasjon forutsetter ofte standardisering.

3.3.2 Tilpasning og skreddersøm

Ethvert bygg og anlegg må forholde seg til sted og kontekst. Det er stedlige forhold som krever at deler av bygget eller anlegget må tilpasses (i større grad innen bygg enn anlegg). Eksempler er (Berg 2008):

- Klima
- Lokal byggeskikk
- Topografi og solforhold
- Tomteforhold, eksisterende infrastruktur, grunnforhold
- Plan- og reguleringsbestemmelser

Et tredje helt sentralt tema er at BAE-næringen bygger for en kunde (eier og/eller bruker). Evnen til å kunne produsere etter ordre, tilpasset hver enkelt kunde var enkelt i håndverkssamfunnet. Det kom en ordre, man laget det kunden ville ha, nytt hver gang. Så kom den første industrielle revolusjonen, og samfunnet gikk fra skreddersøm til masseproduksjon. Det gjorde varer billigere og mer tilgjengelige for en større kundegruppe. Etter det gikk alt ut på å produsere så mye som mulig, så standardisert som mulig og til lavest mulig pris. Vi gir i det følgende eksempler på to metoder for industrialisering med høy grad av kundetilpasning.

Automatisert skreddersøm

Dagens kunder ønsker skreddersydde løsninger, men det skal fortsatt være (relativt) billig og dessuten øker presset for bærekraftige løsninger. Derfor jobber mange med å å automatisere skreddersøm.
En produksjonslinje som er laget med tanke på masseproduksjon, er ofte lite fleksibel og har lang omstillingstid. For å oppnå automatisert skreddersøm må i prinsippet bedriften gå fra en produksjonslinje for hver produkttype til å kjøre mange flere produkttyper i samme linje. Dette får man til gjennom fleksibel innmating (én mater håndterer ulike dimensjoner) og et "visionsystem" som gjenkjenner hvilken type del som er på vei inn i linjen. Så sendes signaler til roboter og maskiner om hvilke programmer som skal kjøres i denne runden. Slik gjøres det for hver enkelt del i høy hastighet hele døgnet. At vision-systemet gjenkjenner hver enkelt del og at ulike deler dermed kan produseres om hverandre, er det som kalles én-stykks-flyt. En annen måte er at robotprogrammene lages i et off-line simuleringsmiljø. Så når helt nye produkter kommer, kan de i teorien bare legges på eksisterende mater og kjøres rett inn i produksjonslinjen.

Engineer to Order

Gosling & Naim har utført en større litteraturstudie rundt "Engineer to Order"-produksjon (ETO) (2009). ETO-produksjonsformen innebærer at hvert enkelt produkt blir spesialdesignet til kundens spesifikke behov og kjennetegnes av følgende karakteristikker:

- Stor kundetilpasning
- Riktig produktutvikling og produksjon på første forsøk
- Rasjonell utnyttelse av teknologi og ressurser
- 'Løs' produksjonsplanlegging
- Kontinuerlig kundeinnflytelse
- Samtidig (concurrent) produktutvikling og produksjon
- Distribuert styring og autonome produksjonsceller
- Virtuell nettverksstruktur

Det er mange konkurransefortrinn ved ETO-produksjon (Amaro and Kingsman 1999). Tradisjonell ETO-produksjon skiller seg fra andre produksjonsformer bl.a. ved å ha en vesentlig høyere grad av kundetilpasning og små volum. Hver leveranse blir gjerne et prosjekt for å transformere kundens ideer eller krav til et vellykket produkt på første forsøk, og i henhold til de begrensninger som gjelder for leveringsdato, kostnad og kvalitet. ETO-produksjon er variabel, kompleks og usikker, og dermed krevende å automatisere og

effektivisere. Men gjennom tilpassede løsninger og anvendelse av ny teknologi og kunnskap innen automatisering, IKT, og produksjonslogistikk er det mulig å også skape effektive ETO produksjonsprosesser.

3.4 Skala

3.4.1 Produktskala

Man bygger i liten grad større ferdige hele bygg som bare plasseres på byggeplass. Det er et spenn fra komponentnivå, som for en stor del allerede er industrialisert, til hele bygg, som typisk krever større eller mindre grad av stedlig tilpasning.

Ulike skalaer på komponentene kan illustreres med ulik grad av prefabrikkering. Gibb (2001) deler prefabrikkering inn i fire kategorier:

- Komponenter: deler som alltid blir produsert på fabrikk og ikke er aktuelle å produsere på byggeplass.
- Ikke-volumetriske elementer: Elementer som produseres og monteres i forkant, men som ikke direkte skaper bruksareal/ferdig volum til det endelige bygget.
- Volumetriske elementer: Elementer som er ferdig produsert og montert på forhånd og utgjør direkte arealer til det ferdige bygget. Disse modulene er ofte installert i et nytt eller eksisterende bygg.
- Bygningsmoduler: Moduler som utgjør ferdig bygg (bæresystem, gulv, vegger og tak). De fleste enhetene er ferdig produsert når de ankommer byggeplassen.

Størrelsen på selve produksjonslokalene, produksjonsutstyret og transportformen gir klare føringer for utstrekning og vekt. Skalaen på delene påvirker valgmuligheter og variasjon i utseende på det helhetlige produktet (bygget).

3.4.2 Produksjonsskala – Stordriftsfordeler

Det er en klar sammenheng mellom produksjonsskala og lønnsomhet (Economics of Scale, Schmenner, 2015). En "return of investment" relatert til for eksempel dyrt produksjonsutstyr og tidkrevende produktutvikling betinger et gitt produksjonsomfang og muligheten til å utnytte stordriftsfordeler. Moelven Byggmodul og NCC Komplett (Berg, 2008) er eksempler på industrialiseringskonsepter med tungt produktstandardiseringsfokus på 2000-tallet, hvor tilstrekkelig produksjonsskala ble utfordrende på grunn av et marked som ønsket mulighet til tilpasning.

Schmenner (2015) advarer mot å se seg blind på produksjonsskala som et middel for å oppnå lønnsomhet. Han trekker frem at det kan gi større konkurransefordeler å bruke ny teknologi på en måte som ikke forutsetter storskaladrift. Det å øke skala må i seg selv føre til mer flyt og raskere gjennomstrømming for å gi reell effekt.

3.5 Automatisering

Automatisering betyr at en arbeidsoperasjon går fra å være manuell til at den blir utført med hjelp av maskiner eller en automatisert produksjonsløsning. Biler er et produkt som de fleste kjenner til. Graden av automatisering i bilbransjen har gått fra Henry Fords samlebånd som startet opp i 1930 etter fem års utviklingsarbeid, til dagens mer eller mindre fullautomatiserte produksjonslinjer. På samlebåndet til Henry Ford utførte hver operatør sine oppgaver på en fast plass langs båndet mens produktet ble flyttet nedover verdistrømmen i en bestemt hastighet. Til slutt kom reparasjonsavdelingen, som justerte alle ting som ikke var blitt helt riktig under produksjonens gang. Det er en av de største forskjellene til dagens produksjon, hvor det er helt essensielt at hvert ledd i produksjonskjeden leverer det som kalles "rett fra meg" på Lean-språk. Hvis en feil oppstår sendes produktet ikke videre uten hele produksjonslinjen stopper opp til feilen er løst. På den måten sikres kvaliteten kontinuerlig i hele verdikjeden, og ingen sluttkontroll er nødvendig. Automatiseringsgraden er høy i den

automotive industrien, spesielt i høykostland som Norge. De automatiserte løsningene er som regel standard- og/eller spesialbygde maskiner med integrerte produksjonssystemer. Bilprodusentene, de så kalte OEM-bedriftene (Original Equipment Manufacturer) har vært flinke til å bygge opp nettverk av underleverandører som leverer komponenter inn til produksjonslinjen med riktig kvalitet, til riktig tid (se kap 3.4 om logistikk).

De aller fleste prosessene er det mulig å automatisere, men bedriftens kompetanse må oppdateres slik at ny teknologi kan håndteres. Det er ikke lenger så viktig å kunne slå i en spiker hvis man skal operere en avansert maskin. Det er tre faktorer som er viktige å ha kompetanse på for å oppnå prosesskontroll.

1. Materialer
2. Prosesser
3. Organisering av arbeid og kommunikasjon

For selve prosessen innebærer automatisering at alle enkeltoperasjoner må utføres likt hver gang. Enkeltoperasjonene kan settes sammen ulikt hver gang så den totale prosessen kan variere, men helt nede på detaljnivå kan variasjoner ikke forekomme. Et annet viktig aspekt er at inputen til en industrialisert prosess må være i henhold til visse kriterier. Prosessen skal ikke gjøre tilpasninger som ikke er planlagt.

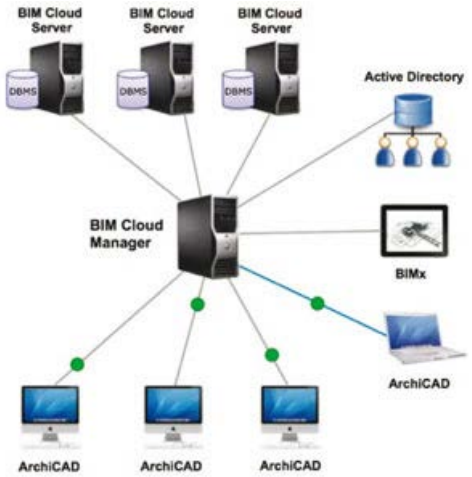
Det er enkelt å begå den feilen å tro at en automatisert løsning på hele eller deler av produksjonslinjen skal løse alle problemer. Det er mye viktigere å se på flyten gjennom hele verdikjeden og identifisere flaskehalser. Når prosessen er designet slik at flyten er mer optimal, kan man se på automatiserte løsninger. Det er altså ikke noe poeng å sette fart på en dårlig prosess.

3.6 Teknologibruk

I store verdikjeder hvor aktører innen design og prosjektering, entreprenører og utbyggere, og underleverandører skal jobbe mer effektivt og samarbeide mer sømløst, blir det viktig å ta i bruk nye muliggjørende teknologier.

3.6.1 BIM-data og BIM i skyen

BIM (bygningsinformasjonsmodell eller -modellering) med sine relaterte verktøy og standarder er en kraftfull plattform for informasjonsflyt på tvers av faser og aktører. I en industrialisert prosess vil BIM gjøre dataflyt mellom prosjekteringsverktøy og digitalt produksjonsutstyr mulig.



Figur 9
Graphisofts BIM-server (nettsky) løsning
Kilde: http://www.graphisoft.com/bimcloud/overview/. Sist besøkt 24.10.2017

Anvendelse av nettskyløsninger for tilgjengeliggjøring av standardiserte BIM-data innenfor ulike produktfelt kan legge til rette for en mer åpen utveksling av data og en mer transparent plattform som kan deles på tvers av bransjen.

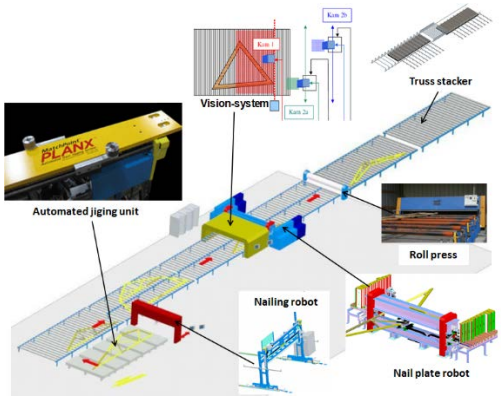
3.6.2 Stordata

Anvendelse av stordatateknologi ("big data") kan bidra til å knytte aktører i flere deler av verdikjeden sammen gjennom synliggjøring. Datainnhenting og dataanalyse kan bidra til å skape mer effektive logistikksystemer, mønstergjenkjenningsmodeller, tilstandskontroller og enklere vedlikehold etc. Smarte systemer basert på datainnhenting og analyse kan utvikles til å bli selv-optimaliserende med tanke på ressursbruk, energi etc. Eksempel er droner for sprøyting av ugress som optimaliserer seg selv for å dekke området. Et annet eksempel er energigjenbruk og hvordan det bidrar til økt bærekraftighet.

Figur 10
Venstre: visualiserer hvordan stordatateknologi kan hjelpe byggaktøren til å se det store bildet bedre.
Høyre: viser hvordan byrom, hjem og personer kan kobles sammen i nettverk for eksempelvis finne ledig ladestasjon til elbilen.
Kilde: Shutterstock.

3.6.3 Automasjon og robotisering

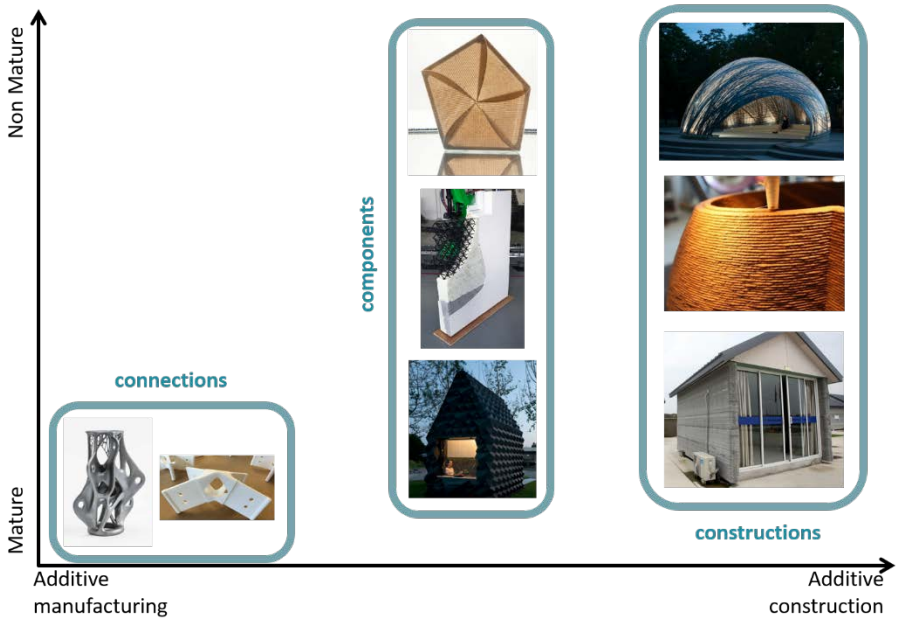
Innenfor automasjon kan fokus på fleksibel fabrikkautomasjon bidra til å øke produksjonskapasiteten samt å omstille jobber enklere. Det involverer automatiserte produksjonslinjer med fleksible jigger, laser og maskinsynsteknologier for måling, posisjonering og sortering, CNC-maskiner, samt sensorbaserte robotsystem. En forutsetning er digitalisering av BIM-data som kan tolkes av produksjonsmaskineri.



Figur 11
Utforming av en moderne produksjonslinje for takstolproduksjon
Kilde: Pretre

3.6.4 3D-printing/additiv produksjon

Det hevdes i noen sammenhenger at 3D-printing kan utløse et paradigmeskift i samfunnet når det gjelder produksjon – fra proteser i helsesektoren til forbruksvarer innen vareproduserende industri. Hva er status og muligheter i BA-næringen? Figur 12 illustrerer næringens modenhet ut fra en kartlegging utført av Labonnote et al. (2016). Mens det allerede er eksempler på fremstilling av konstruktive knutepunkter ved 3D-printing, er det en lengre vei å gå før 3D-printing av hele konstruksjoner eller bygningssegmenter blir anvendt i praksis. Hvor raskt dette vil gå, er blant annet avhengig av utviklingen av egnede materialer (3D-printerens "blekk") og printere (for eksempel i form av robotarmer på byggeplassen).



Figur 12
Modenhet for 3D-printing og additiv produksjon i BA-næringen
Illustrasjon: Nathalie Labonnote, SINTEF Byggforsk, 2016

3.6.5 Andre eksempler på muliggjørende teknologier

IKT-industrien utvikler en raskt voksende palett med verktøy som på ulike måter kan anvendes i en industrialisert byggeprosess. Internett og skyløsninger, BIM, Stordata, robotisering og 3D-printing er gode eksempler. Men det finnes også en rekke andre spennende verktøy, som:

- *Oppmåling.* Bruk av nye oppmålingsteknologier for utstikking av nye byggeplasser. Dette kan gi færre besøk på byggeplass, mer effektiv lagring av datafangst med en mer komplett dokumentasjon med mindre følgefeil, samt også mer komplette 3D modeller.
- *Skanning.* Nye skannerteknologier gjør det mulig å skanne innvendige areal over i digital form veldig detaljert. Det kan for eksempel brukes til planlegging av nye fabrikkarealer hvor nytt utstyr skal installeres, renovasjon av eksisterende bygg, rømningsplaner etc.
- *Smartere infrastruktur.* Benytte ny og smart teknologi i utvikling av ny infrastruktur som bidrar til økt samfunnssikkerhet og bærekraft.
- *Visualisering (Augmented reality and Virtual reality).* Teknologier for augmentert og virtuell virkelighetsgjenskapelse kan brukes til å gi mer nøyaktige gjengivelser av bygg, byrom og annen infrastruktur i forbindelse med utvikling, prosjektering, innsalgsfaser.

- *Droneteknologi*. Droner utrustet med HD kamera i kombinasjon med software for innhenting av data kan brukes til kartlegging og overvåkning av byggeplasser, produksjon av 3D-modeller, mer nøyaktige kart etc. Et selskap i Østerrike har nylig brukt teknologien for å innhente data for visualisering av termiske effekter i nabolag under utbygging.

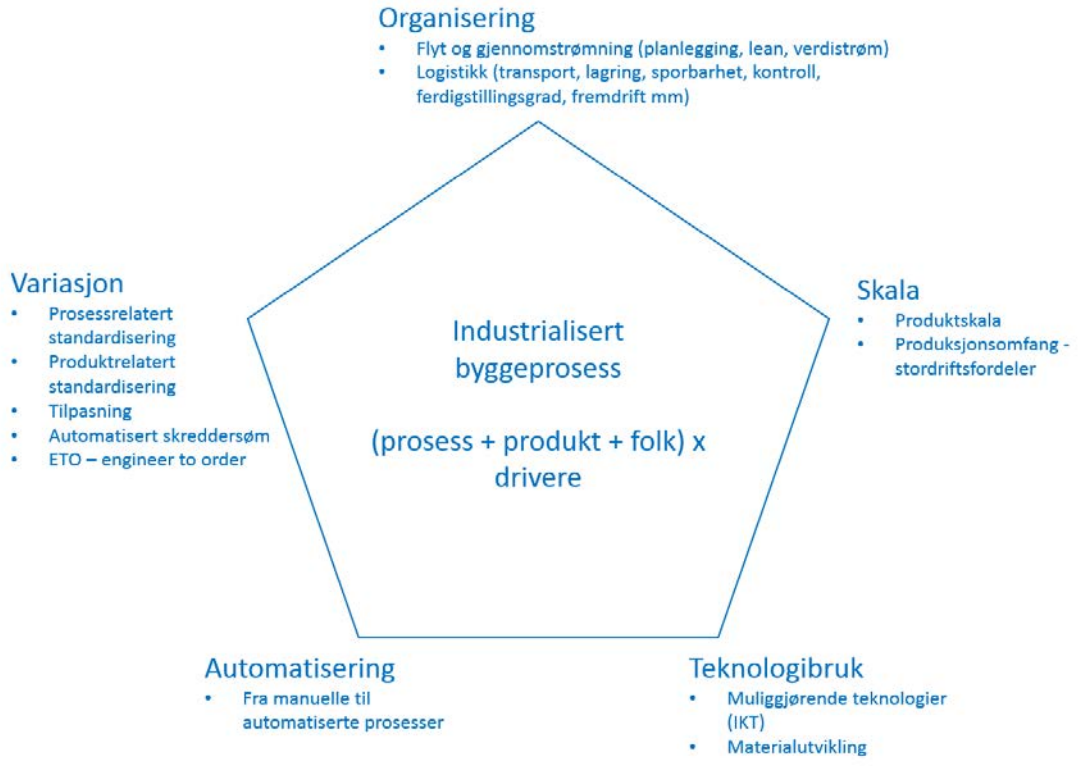
3.7 Industrialisering = mer enn standardisering og modulbygg

Vi har i dette kapittelet beskrevet sentrale ingredienser i en industrialisert byggeprosess. Vi har samlet hovedpunktene i en illustrasjon vi kaller Industrialiseringskartet (se Figur 13). Vi har vektlagt at industrialisering må ses i sammenheng både med produkt, prosess og mennesker. Vi ønsker å nyansere, eller gå bort fra, den forenklede antakelsen at industrialisering forutsetter standardisering av utseendet på et bygg.

Det er krevende å håndtere kompleksiteten gitt av avhengighetene mellom de fem dimensjonene. Ikke minst når hele dette bildet påvirkes av ytre faktorer og drivere vi ikke alltid kan kontrollere eller forutse. Dette, sammen med mangelen på en omforent forståelse av hva vi legger i begrepene, kan forklare hvorfor industrialiseringsdiskusjoner i BAE-næringen fort kan bli snevre eller ubalanserte.

Kan vi, ut fra de fem dimensjonene, si noe om graden av industrialisering i en reell byggeprosess/prosjekt? Vi kan se for oss de fem dimensjonene og/eller underpunkter som skyveknapper på et virtuelt dashbord. Et program kan da, ut fra skyveknappenes plassering, generere frem et algoritmebasert resultat som sier noe om industrialiseringsgraden.

Industrialiseringskartet (Figur 13) i kombinasjon med et industrialiserings-dashbord er en idé til metode/verktøy/tilnærming som kan bidra til en mer helhetlig og omforent forståelse av hva som legges i begrepet industrialisert byggeprosess. En slik forståelse vil igjen være viktig for å kunne evaluere erfaringer, gjenkjenne problemer og muligheter, etablere gode utviklingsprosesser og ikke minst; definere gode mål og den beste veien til å oppnå dem.



Figur 13
Industrialiseringskartet

DEL 2 – EKSEMPELSAMLING

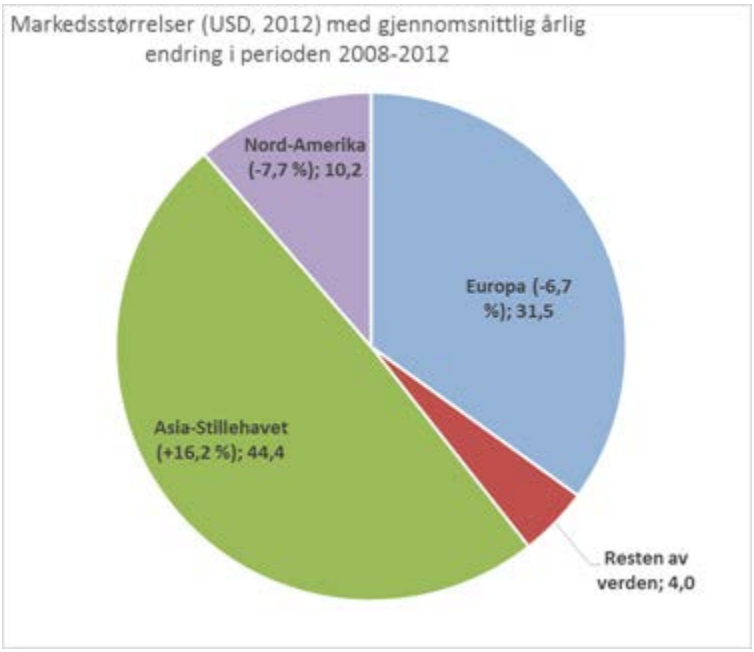
Vi skal i denne delen av rapporten gi noen internasjonale og nasjonale eksempler fra både akademia og praksis med mål om å gi smakebiter fra utviklingsfronten. Merk kommentaren innledningsvis om at dette på ingen måte er ment å være en utfyllende oversikt. Vi har valgt å holde beskrivelsene av de ulike initiativene og prosjektene kortfattet. For lesere som ønsker å gå nærmere inn i stoffet, har vi lagt inn lenker til hjemmesider og rapporter. Avslutningsvis i denne delen legger vi frem eksempler på relevante erfaringer i andre industrier.

4 Internasjonalt

4.1 Markedssituasjon prefabrikasjon

Det ble i regi av BA2015 og Sykehuset i Vestfold/Tønsberg-prosjektet utarbeidet en markedsundersøkelse om Industriell byggemetodikk (inkludert i deres definisjon er prefabrikasjon av komponenter og produksjon av volumetriske moduler). Undersøkelsen konkluderer med at den største markedsandelen er i Asia-Stillehavet (Kina er her den største aktøren med 61 % av markedet). Europa har nest største andel, hvor Italia leder an, foran Tyskland, Frankrike, Storbritannia og Russland. Det Nord-Amerikanske markedet ligger på plass tre (BA2015). Hele rapporten kan lastes ned her (sist besøkt 24.10.2017):

- http://www.metier.no/ba2015/Filer/Leveranser-fra-BA2015-prosjektet/MARKEDSUNDERSOEKELSE-SIV



Figur 14
Fra rapporten "Markedsundersøkelse etc."
Kilde: BA2015 (2016)

4.2 Et internasjonalt FoU-veikart for "Offsite Production and Manufacturing"

CIB (International Council for Research and Innovation in Building and Construction) har satt industrialisering på agendaen ved etableringen av en egen arbeidsgruppe med oppgave å lage et eget FoU-veikart om "Offsite Production and Manufacturing". Første utgave av veikartet kom ut i 2013. Det oppdateres i disse dager etter innspill gitt på den internasjonale

konferansen CIB WBC 2016 i Tampere, Finland. Veikartet tar utgangspunkt i drivere innen bygging, produksjon og design knyttet til henholdsvis prosess, teknologi og folk. Videre er det fokus på likheter/ulikheter mellom bygg og anlegg og vareproduserende industri (møbler m.m). Rapportene fra arbeidet kan lastes ned her (sist besøkt 24.10.2017):

- https://heyblom.websites.xs4all.nl/website/newsletter/1304/offsite_production_manufacturing.pdf

4.3 Land i utviklingsfronten

En rekke land kan trekkes frem i en slik eksempelsamling. Vi har sett spesielt til Storbritannia, som i mange sammenhenger blir omtalt som et foregangsland på målrettet utviklingsarbeid i BA-næringen, helt fra myndighetsnivået og ned til den enkelte aktør. Vi presenterer også et sveip innom noen amerikanske universitetsmiljøer som er regnet blant de internasjonalt ledende på prosessrelatert FoU i BA-næringen. Andre eksempler på interessante land når det gjelder industrialisering, er Sverige, Tyskland, Japan, Kina, Australia og Canada.

4.3.1 Storbritannia

Departementet for "Business Innovations and Skills" og Construction 2025 (samarbeid mellom myndigheter og næring) har utviklet strategier for BA-næringen. Strategiene er innrettet mot følgende måloppnåelse innen 2025 (på originalspråket):

1. A 33 % reduction in both the initial cost of construction and the whole life cost of assets
2. A 50 % reduction in the overall time from inception to completion for new build and refurbished assets.
3. A 50 % reduction in greenhouse gas emissions in the built environment.
4. A 50 % reduction in the trade gap between total exports and total imports for construction products and materials.

Det er blant annet trukket frem to prioriterte områder innen forskning og innovasjon

1. Green construction
2. Smart construction and digital design
    a. Making the most of BIM and offsite
    b. Removing barriers to innovation

Figur 15
Kilde: Construction 2025

Strategiene kan lastes ned her:

- Construction 2025: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/210099/bis-13-955-construction-2025-industrial-strategy.pdf
- Government Construction Strategy 2016–20 (definerer bl.a. prioriterte satsingsområder): https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/510354/Government_Construction_Strategy_2016-20.pdf

Lenkene er sist besøkt 24.10.2017.

Den nasjonale satsingen har stimulert (direkte eller indirekte) en rekke aktiviteter på bransjenivå og i enkeltbedrifter[3]. Noen aktiviteter er beskrevet senere i dette kapittelet.

4.3.2 USA – et sveip innom noen ledende FoU-miljø

Prosess- og prosjektmiljøene på SINTEF og NTNU har en god tradisjon for samarbeid med ledende amerikanske universiteter. Nedenfor har vi gitt eksempler på noen aktiviteter eller publikasjoner i regi av disse.

- **Stanford CIFE Seed projects 2014–2015**
  - Methodology for Digital Design and Additive Manufacturing of High Performance Building Façade Segment Optimized to Environmental Constraints AND Impact of Material Characteristics on Construction and Lifecycle Performance of Buildings http://cife.stanford.edu/SEED2014MehodologyImpact
  - Managing Construction Parts – From Manufacturing to Construction http://cife.stanford.edu/ManagingConstructionParts
  - Application of the new production philosophy to construction. Lauri Koskela, CIFE Technical Report #72, 1992. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.15.9598&rep=rep1&type=pdf
- **UC Berkeley**
  - Berkeley Laboratory for Automation Science and Engineering http://automation.berkeley.edu/ *UC Berkeley's Automation Sciences Lab, directed by Professor Ken Goldberg of IEOR, EECS, School of Information, and Art Practice, is a center for research in robotics and automation, with current projects in Cloud Robotics, Computer Assisted Surgery, Automated Manufacturing, and New Media Artforms.*
  - LMAS - Laboratory for Manufacturing And Sustainability http://lmas.berkeley.edu/index.html
  - UC Berkeley Robotics and Intelligent Machines Lab https://robotics.eecs.berkeley.edu/index.html
- **MIT**
  - Laboratory for Manufacturing and Productivity, https://lmp.mit.edu/
  - Automated construction technologies : analyses and future development strategies Thesis, Han Hoang (2005) https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/33016

[3] Samarbeidet mellom NORDIC Office of Architecture og Brydon Wood (http://www.brydenwood.co.uk/) er et eksempel på hvordan norske aktører bruker kompetansen i Storbritannia.

https://www.technologyreview.com/s/540916/robots-lay-three-times-as-many-bricks-as-construction-workers/
http://www.construction-robotics.com/about-us/

- Robotic design construction: digital fabrication strategies for freeform masonry casting and mobile assembly. Liu, Yuchen, S.M. Massachusetts Institute of Technology, 2009
https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/49728

Lenkene er sist besøkt 24.10.2017.

4.4 Internasjonale "hot picks"

Til sist i denne internasjonale eksempelsamlingen vil vi presentere noen utvalgte hete tema i internasjonal FoU.

4.4.1 Lean-guruene

Miljøer som har markert seg innenfor Lean Construction, inkluderer Berkeley og Salford (Koskela (1992), Bertelsen og Koskela (2005), Howell og Ballard (1998) med flere). Spesielt for noen år siden var også Danmark godt profilert (. De etablerte blant annet nettstedet leancostruction.dk. Begrepet "Lean Production" 3 ble lansert av forskere ved MIT som studerte den globale bilindustrien. For å oppnå stabilitet benyttes en rekke verktøy og virkemidler: Just-in-time, utjevning av produksjon, total kvalitetsledelse (TQM), totalt produktivt vedlikehold (TPM) og utstrakt samarbeid med underleverandører. Sentrale elementer i Lean organisering er standardiserte prosesser, jobbrotasjon, teamorganisering og forbedringsgrupper.

Det går en tydelig utviklingslinje fra guruer innenfor kvalitetsledelse, som Deming og Juran, til de som nå jobber med Lean. Noen hovedtrekk i kvalitetstenking er: prosessfokus, redusere variasjon, riktig første gang, og faktabasert styring. Alle disse områdene er også en del av Lean. En viktig utvikling de seneste årene har vært å overføre Lean-prinsipper fra permanente organisasjoner til prosjekter, som bygg og -anlegg.

4.4.2 3D-printing

Et stort antall internasjonale forskningsmiljøer er for tiden aktive innenfor 3D-printing. 3D-priniting basert på plastikk, metall og betong er etablert, og man arbeider med tilpasning til bruk på bygg.

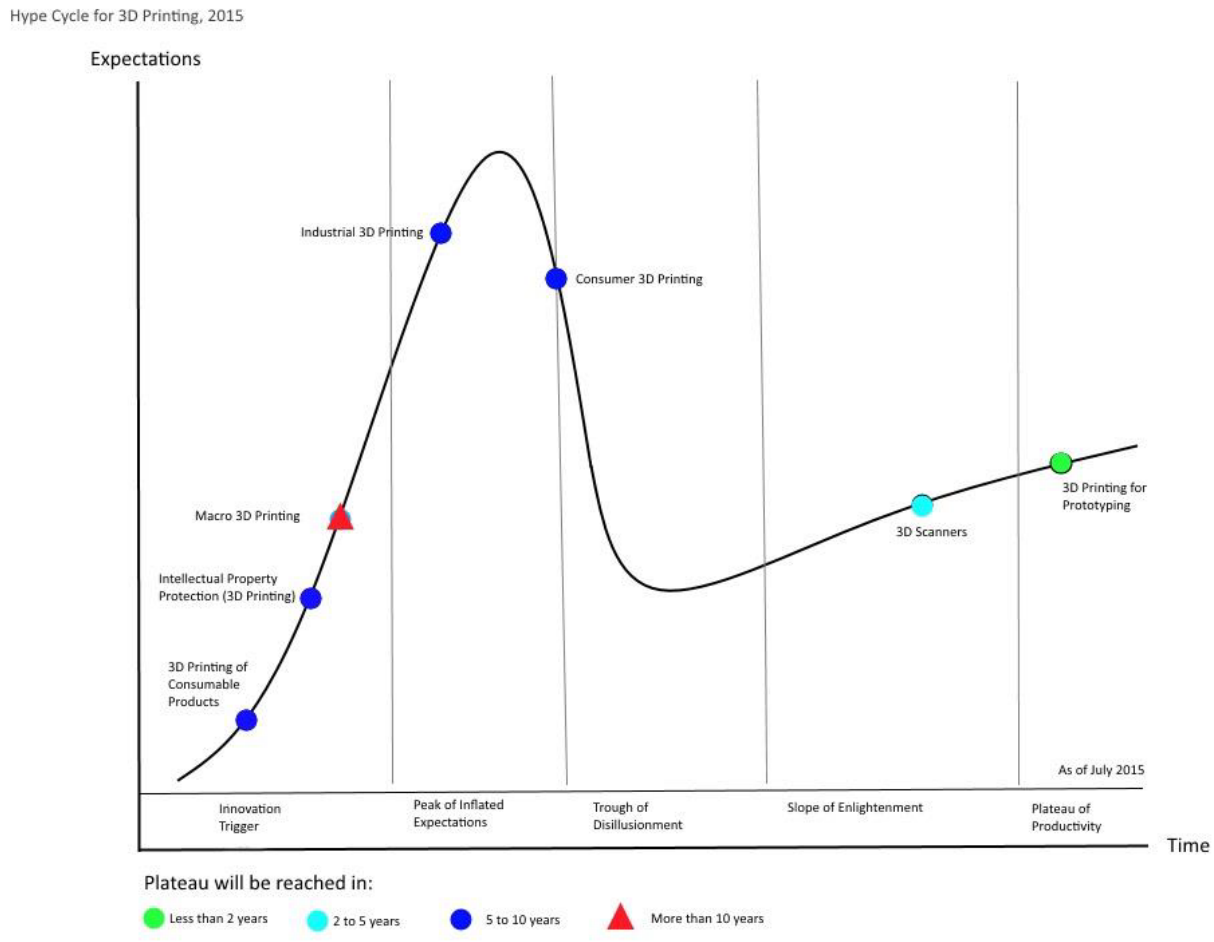
Flere miljø i Sverige satser på 3D-priniting i flere bransjer, og flere inkluderer applikasjoner i byggenæringen. I prosjektet +Project i Umeå ligger fokuset på 3D-printing av cellulose-baserte materialer (Forskning och Framsteg, 2016). Bakgrunnen var at man oppfattet det som at Sverige var i ferd med å bli akterutseilt innenfor additiv produksjon. Man bygget videre på en etablert industriklynge innenfor skogsindustri. +Project inkluderer forskere innenfor arkitektur, fysikk, elektronikk, bedriftsøkonomi, informatikk og biokjemi. Prosjektet har et budsjett på 36 millioner SKR, hvorav halvparten er EU-midler. Målet er dels å utvikle teknologier, men også å skape en klynge for bærekraftig byggeri. I Umeå-regionen finnes det rikelig med restprodukter fra skogsindustrien, som røtter, flis etc., og avfall fra papirmasseproduksjon. Forutsetningene er derfor gode for å kunne etablere en bærekraftig løsning basert på rimelige materialer. For mer informasjon se http://www.er.umu.se/am (sist besøkt 24.10.2017).

"3D concrete printing" er et utviklingsprosjekt som drives av universitetet i Loughborough[4] (Storbritannia). Prosjektet har fokus på å utvikle storskala additive prosesser for produksjon

[4] Dette universitetet var også vertskap for følgende storsatsning 2001–2011: Loughborough Innovative Manufacturing and Construction Research Centre (IMCRC) (sist besøkt 24.10.2107) http://www.lboro.ac.uk/eng/research/imcrc/

av byggkomponenter. Arbeidet har resultert i en additiv produksjonsprosess som fremstiller fullskala arkitektoniske og konstruktive komponenter. Pågående arbeid fokuserer på armeringsteknikker, materialforskning og utvikling av robotikk. Skanska og Foster & Partners er blant partnerne i prosjektet. For mer informasjon se http://www.buildfreeform.com/ (sist besøkt 24.10.2017).

"Contour crafting" er etablert av Professor Behrokh Khoshnevis ved Univerity of Southern California. Han bruker en spritsingprosess. En robotarm med et skrivermunnstykke løper på skinner og printer betong som stivner hurtig i centimetertykke lag. Ifølge Khoshnevis er det mulig må printe et hus på 185 m^2 på mindre enn et døgn (Forskning och Framsteg, 2016). Et interessant trekk ved contour crafting er at prosessen langt på vei kan pågå uten menneskelige arbeidere til stede. Man trenger folk til å sette opp skinnene på stedet der huset skal bygges. Deretter kan roboten bevege seg og utføre mesteparten av jobben forholdsvis uavhengig (Lemley 2005). Roboten påfører betong, men man kan også benytte andre materialer som keramikk, leire eller plastikk. Figur 16 viser en såkalt hype-kurve fra Gartner Group. 3D-priniting for prototyper er i ferd med å bli etablert, men makro-3D-printing, som er aktuell i byggenæringen, er fortsatt forholdsvis umodent (Gartner 2014).

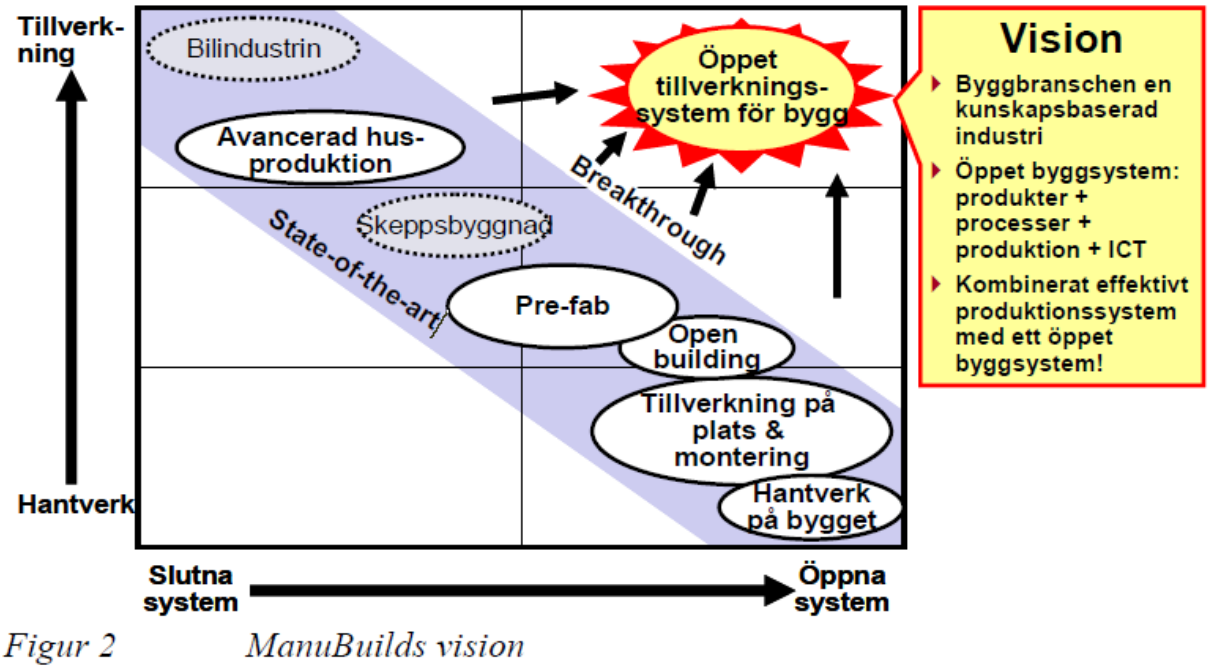


Figur 16
Hype Cycle of 3D-printing (Gartner 2014)

4.4.3 ManuBuild – Open building manufacturing

I EU-prosjektet ManuBuild er industrialisert boligbygging analysert. Totalt 22 partnere fra åtte land deltok I prosjektet, som ble ledet av finske VTT. Tema som design, prosjektering, produksjon, IKT og opplæring er undersøkt. Fire case har deltatt: To blokkprosjekter i

Storbritannia, ett i Sverige og ett høyhus i Spania. ManuBuilds visjon har vært å bryte med en konvensjonell produkt–prosess-diagonal og øke verdiskaping gjennom nye, åpne byggesystem med felles digital kommunikasjonsplattform (se Figur 17).



Figur 17
Manubuilds visjon
Kilde: Figur 2 fra Claeson-Jonsson (2010)

4.4.4 Flying factories

"Modern Flying Factories" er et konsept som Skanska UK, BRE og Exelin med flere har videreutviklet. Hovedideen er å bruke temporære og fleksible fabrikker for prefab-produksjon ved byggeplassen (Haukka og Lindqvist (2015), Pasquire og Conolly (2002)). Dette gir blant annet fordeler knyttet logistikkutfordringer som lagring og transport. Anvendelsen av Lean-prinsipper er sentralt i dette. Se:

- https://www.skanska.co.uk/about-skanska/innovation-and-digital-engineering/innovation/flying-factories/
- https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Flying_factory_for_construction_works

Lenkene er sist besøkt 24.10.2017.

4.4.5 DFMA (Design for Manufacture and Assembly)

DFMA kombinerer to metoder; 1) *Design for Manufacture*, som betyr design som tilrettelegger for produksjonen av deler av et produkt, og 2) *Design for Assembly*, som betyr design som tilrettelegger for montasje. For mer informasjon, se her:

- http://www.design-iv.com/
- http://me.gatech.edu/files/capstone/L071ME4182DFA

Lenkene er sist besøkt 24.10.2017.

5 Nasjonalt

Hva skjer så i den norske BA-næringen? Vi skal her gi noen eksempler på aktiviteter både på bransjenivå, i segmenter av næringen og i enkeltbedrifter.

5.1 Et knippe nasjonale initiativ på bransjenivå

I 2008 tok SINTEF Byggforsk og OBOS initiativ til et arbeid med mål om å kartlegge industrialisering og systematisering av boligbyggerproduksjonen i Norge. Arbeidet ble finansiert av Byggekostnadsprogrammet, og utgitt som en SINTEF-rapport (Berg, 2008). Rapporten gir blant annet en bred oversikt over konsepter og prosjekt på feltet på starten av 2000-tallet, som Skanskas BoKlok, NCCs Komplett, OBOS' Open House og Snøhettas Modular. Flere av disse prosjektene ble avsluttet eller gikk konkurs. Tonje Frydenlund, daglig leder i Snøhetta, trakk frem mangelen på modenhet i BA-næringen som en mulig årsak på en pre-workshop i tilknytning til BA2015 konferansen i 2016.

Teknologiutviklingen, et tøffere og mer globalt marked og behovet for større kostnadseffektivitet er blant flere grunner til at industrialisering igjen er høyt oppe på agendaen i den norske BA-næringen. Det gjenspeiles i flere initiativ. Her noen eksempler:

- *Bygg21*. Har utnevnt "Industrialisering av byggeprosessene" som ett av seks satsningsområder som kan bidra til å nå målet om 20 % kostnadsreduksjon i byggeprosjekter innen 2020 (September 2016, http://www.bygg.no/article/1287708)
- *Nettverket Bygdin – BA-næringens industrialiseringsarena*. Etablert juni 2016. Nettverket skal stimulere til samarbeid, nytenking, erfaringsutveksling og til etablering av forsknings- og innovasjonsprosjekter på områder som er forankret i medlemsbedriftene. Fokus på hele byggeprosessen, fra vugge til vugge. Det treårige nettverket delfinansieres av Norges Forskningsråd og ledes av SINTEF Byggforsk. Har september 2016 rundt 35 medlemmer. (Mai 2016, http://www.bygg.no/article/1274636). Nettverket er koblet mot aktiviteter i Bygg21, Foreningen Industrielt Trebyggeri, til relevante innovasjonsprosjekter (SpeedUp), og ph.d[5] og masterarbeider hos de akademiske medlemmene.
- *Foreningen Industrielt Trebyggeri.* Samler 17 firma innen elementer, massivtre og moduler. Fokus på produsenter og leverandører. Norsk Treteknisk Institutt er sekretariat. Etablert juni 2016. (Juni 2016, http://www.bygg.no/article/1280184)

Lenkene er sist besøkt 24.10.2017.

5.2 En temperatursjekk på Bygg.no

Bygg.no er en internett-nyhetsside som har en bred skrive- og lesermasse i den norske BAE-næringen. Oppslagene gir et inntrykk av hva som opptar noen aktører i BA-næringen når det gjelder ulike sider ved industrialisering. Her noen eksempler:

- Industrialisering og standardisert produksjon – et hinder eller en driver for innovasjon og tilpasning? *Fremveksten av nye teknologier og metoder muliggjør en fremtidens BAE-næring som forener det beste fra industrialisering og standardisert produksjon på den ene siden, og fra tradisjonelt plassbygg og skreddersøm på den andre. Nytenking, endringsvilje og kunnskap må til for å unngå at det som i dag blir sett på som et av de viktigste midlene for en mer produktiv og konkurransedyktig BAE-næring, ikke går på bekostning av mangfold, innovasjon og tilpasning*. Gjestekommentar av Anita Moum og Cecilie Flyen, SINTEF Byggforsk (Juni 2015, http://www.bygg.no/article/1238472)

[5] Et eksempel er arbeidet til ph.d-kandidat Andreas Økland (SINTEF/NTNU): Industrialisering av byggeprosessen og bærekraftig samfunnsutvikling. Arbeidet tar sikte på å avdekke hvordan den pågående industrialisering av byggeprosessen bidrar til bærekraftig samfunnsutvikling, og hvordan endrede holdninger og krav om bærekraft påvirker industrialiseringen av byggeprosessen. Klarer vi å utnytte mulighetene slik at både aktørene i byggenæringen og samfunnet for øvrig vinner?

- Planlegg for kostnadsreduksjon på 50 prosent. *Pioneren innen prefabrikasjon, Josè Alfano fra ARC Prefab Centre – University of Melbourne, kommer for første gang til Norge og skal holde et innlegg på BA2015-konferansen 26. januar* (Januar 2016, http://www.bygg.no/article/1260930)
- OBOS vil innovere og standardisere i ny Oslo-bydel. *OBOS-sjef Daniel K. Siraj vil ha med byggenæringen på en innovasjons- og standardiseringskonkurranse i Ulvenbyen på Oslo* (Mars 2016, http://www.bygg.no/article/1267729)
- Nye Veier: Ønsker mer industrialisering i veibyggingen. *Nye Veier AS ønsker å realisere sine veiprosjekter på en litt annen måte enn hva vi tidligere har gjort i Norge* (April 2016, http://www.bygg.no/article/1272209)
- Dette er måten å gjøre det på. *Det vil bli endringer i hvordan byggenæringen skal jobbe i årene fremover. Det settes nye krav til oss utenfra, det internasjonale markedet kommer nærmere, konkurransen tiltar, urbaniseringen vil øke på og ikke minst vil grønne krav føre til endringer. Det gjør at vi må tenke nytt og fremtidsrettet.* Leder (Arve Brekkhus, Mai 2016, http://www.bygg.no/article/1274741)
- Industrialisering av byggenæringen? – Hva betyr det? *Til stadighet hører vi at byggenæringen må industrialiseres. Industrialisering er nødvendig for å få ned kostnadene osv. Men hva betyr det å industrialisere?* Gjestekommentar av Jon Karlsen, adm.dir. Glava (Juni 2016, http://www.bygg.no/article/1278169)
- Alt var mye bedre etter krigen. *Industrialisering i byggenæringen? Nei, men vi er gode på skreddersøm.* Gjestekommentar av Kim Robert Lisø, innovasjonssjef i Skanska (Juli 2016, http://www.bygg.no/article/1282651)
- Sykehusbyggere må tenke nytt. *Norske sykehus må bygges raskere, billigere og bedre – og Tønsberg-prosjektet skal vise vei, lover prosjektdirektør Johan Arnt Vatnan.* Gjestekommentar av Johan Arnt Vatnan, prosjektdirektør Tønsberg-prosjektet (August 2016, http://www.bygg.no/article/1283448)

Lenkene er sist besøkt 24.10.2017.

5.3 Hva med bedriftene?

5.3.1 To segmenter

Byggenæringen i dag har to segment med aktører som jobber industrialisert. Det ene segmentet er de aktørene som i høy grad bruker prefabrikkerte bygningsdeler med moderat til høy ferdiggrad. I dette segmentet finner vi hovedsakelig utbyggere, entreprenører og leverandører av elementer og moduler. Mye prosjektering gjøres av (total)entreprenør, og derfor nevnes ikke arkitekt og rådgivere spesifikt. Eksempler på konsepter er BoKlok, ModernaHus, OBOS' Open House, Selvaag Bolig og Superkuben (Berg 2008, Schmidt 2009, Fladberg 2016).

Av leverandører av bygningselementer, bygnings- eller våtromsmoduler med SINTEF Teknisk Godkjenning er det i dag 60–70 aktører som opererer i det norske markedet. Ved DiBKs markedstilsyn i 2015 ble det avdekket at bare 10 av 19 modulleverandører hadde nødvendig produktdokumentasjon i orden, så det er grunn til å tro at tallet på aktører er høyere.[6] Leverandørene er både norske og internasjonale. Flere leverandører er også entreprenører og noen er dessuten utbyggere.

[6] Mer om dette her: Dokumentasjonsmangler for byggmoduler – varslet omsetningsstans for halvparten etter tilsyn, Byggeindustrien, bygg.no, http://www.bygg.no/article/1229507, sist endret 11.03.2015 kl. 09.06 (sist besøkt 24.10.2017).

Det andre segmentet er aktører som bygger med lav ferdiggrad, men der byggeprosessen kjennetegnes av høy grad av systematisering/industrialisering. Innen dette segmentet er det naturlig å inkludere arkitekter og rådgivere i tillegg til entreprenører og utbyggere. Leverandørindustrien nevnes ikke spesielt ettersom denne er svært stor for mindre bygningsdeler og komponenter som er "for vanlige" til å nevnes spesielt. Plassbygg er vanlig, men flere entreprenører har egne rutiner og systemer for å håndtere vareflyt og produksjon (Berg 2008). I Bergs rapport (2008) nevnes Veidekke som en typisk aktør her, men Veidekke har også i senere tid hatt utbygging av ny studentby på Moholt i Trondheim der prefabrikkerte massivtre-elementer ble benyttet (Faanes 2016).

Mange boligprodusenter er også i dette segmentet. Hvor industrialisert de ulike boligprodusentene arbeider, varierer, men det er mer og mer vanlig å bruke BIM som et hjelpeverktøy. Dette fungerer særlig godt når det kommer til å inkludere leverandørindustri og tekniske fag i planleggingen[7]. Norgeshus trekkes frem som en aktør som er kommet langt i bruk av BIM.

5.3.2 Underleverandørene er langt fremme

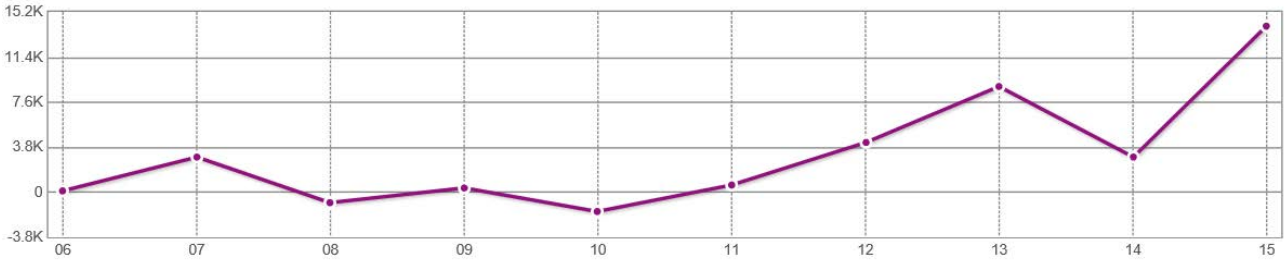
Aktører som er langt fremme i Bygg og -anleggsbransjen, er underleverandører. På denne siden av verdikjeden må man ofte ta imot små ordrer og respondere raskt, og levere god kvalitet. Samtidig opplever også leverandør at nye distribusjonsløsninger og netthandel fra store landsomfattende grossister har gjort betydningen av lokal tilstedeværelse mindre. Dette har gjort konkurransen hardere for SMB leverandørbedrifter ute i regionene sett i kombinasjon med høye lønnskostnader.

Konkurransefortrinnet ligger da først og fremst å kunne tilby produkter som enten er unike eller som er bearbeidet i større eller mindre grad og samtidig produsert med lave omstillingskostnader og uten tilsyn døgnet rundt. Det er derfor særlig viktig å finne frem til effektive automasjonsløsninger som dekker disse behovene. For å få dette til vil investeringer i fleksible automasjonsløsninger være en nøkkel for å holde tritt med markedet, som i de kommende årene vil være preget av ekspansjon og høy aktivitet. Også innenfor logistikk er det behov for å utvikle rutiner og verdikjeder som kan gi fortrinn som leverandør.

Kongsberg Automotive på Raufoss produserer bremserørskoblinger til nyttekjøretøyer som buss og vogntog. Bedriften har utviklet seg fra å ha en produksjonslinje for hver produkttype til å kjøre mange flere produkttyper i samme linje, ved automatisert skreddersøm (fleksibel innmating, et "visionssystem" og robotprogrammer) [8]. Andre produkter er større og vanskeligere å håndtere, men for eksempel takstolprodusenten Pretre på Stryn tillemper akkurat det samme prinsippet som Kongsberg Automotive, avdeling Raufoss. Pretre er en av flere norske leverandørbedrifter som allerede er på god vei med å tilpasse seg denne utviklingen.

For Pretre hadde produksjonsmetoden mer eller mindre vært manuell montering siden oppstarten i 1970. Før automatiseringen brukte Pretre ca. 20 arbeidsminutter per takstol, og ytterligere reduksjon var vanskelig. Samtidig har hver takstol et potensielt unikt design. Ved hjelp av ny automasjonsteknologi som automatisk jigging/fikstuering, lasermåling, robot maskinsyn, og en effektiv produksjonslogistikk ble produktiviteten økt med 400 %. Dette krevde en forholdsvis høy investering og det var helt nødvendig at Pretre tok en aktiv rolle i utviklingen av den nye teknologien for å bygge ny kompetanse innad i bedriften. Men som vi kan se av grafen nedenfor, viser driftsresultater for Pretre i perioden 2006–2015 tydelig at etter investeringen endret resultatet seg til positiv vekst.

[7] Myhre, Lars (2016). Personlig kommunikasjon. Boligprodusentenes forening.
[8] Se 3.3.2 for forklaring av hva automatisert skreddersøm innebærer.



Figur 18
Pretres driftsresultater fra 2005-2015.

Gilje vinduer og dører er en annen aktør som har fokus på å være i forkant når det gjelder teknisk utstyr. Bedriften investerer betydelig i å stadig utvikle maskinparken og har sannsynligvis noen av de mest moderne produksjonsmiljøene i bransjen. For dem er god arbeidsmetodikk like viktig som bra maskiner. Derfor er grundig planlegging en nøkkelfaktor for å oppnå best mulig flyt i prosessene. Produksjonen blir mer effektiv, og kvaliteten på produktene høyere. Gilje er svært opptatt av å optimalisere hvert enkelt produksjonstrinn. Dette gjør de gjennom Lean Production, med målet om å fjerne flest mulig unødvendige operasjoner innenfor hvert produksjonsledd. Det bidrar til å finne løsninger som gir økt effektivitet i produksjonen. Samtidig skaper det et bedre arbeidsmiljø ved at ansatte blir involvert og får innsikt i hvordan delene fungerer i den helhetlige produksjonsprosessen. Målet og hensikten med Giljes produksjonssystem er å fjerne alle prosesser som i kundens øyne ikke gir produktet økt verdi. Resultatet blir en vinn-vinn situasjon – Gilje jobber smartere og bedre, og kundene nyter godt av økt kvalitet på produktene og høyere effektivitet i produksjonen.

6 Relevante erfaringer i andre industrier

Her presenterer vi relevante eksempler fra andre bransjer som har industrialisert produksjon og som baserer seg på masseprodusert skreddersøm (Figur 4 og Figur 17). Møbelindustri og skipsbygging trekkes frem, og begge disse, i likhet med bilindustrien, er preget av tilbudsdrevet etterspørsel og ikke vice versa (jf. pkt. 2.2).

6.1 Møbelbransjen og skreddersøm for å optimalisere produksjonen

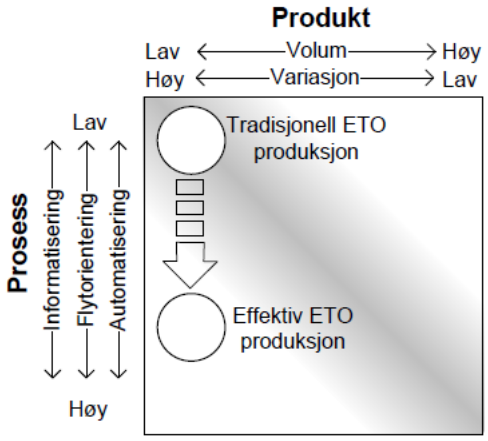
Skreddersøm innebærer at man produserer etter ordre i den rekkefølgen hver kunde har bestilt. Ved kjøp av en ny Volvo XC90 i dag gjør man et sted mellom 50 og 75 valg, av alt fra motor og girkasse til farge og interiør (www.volvocars.com). Ved kjøp av en Stressless fra Ekornes er valgmulighetene noe færre enn for en bil. Det er allikevel mange flere valg som gjøres i dag enn for 20 år siden, da man gikk i butikken og valgte en av de modellene som fantes inne. Stresslesskunden velger modell, understell, farge osv. Alle enkeltvalg genererer en standardoperasjon i bil- respektive møbelfabrikken. Men måten de er sammensatt på, er skreddersydd etter den enkelte kundens ønsker. Det krever at fabrikken kan håndtere alle de ulike valgene kunden har gjort i en rasjonell verdikjede. Industriell skreddersøm skiller seg dermed noe fra gammeldags skreddersøm hvor alle ledd i verdikjeden utførtes fra scratch ved behov.

Et viktig element i alle disse eksemplene er kompetanse. Operatører trenger en annen kompetanse når man går fra å utføre en enkel operasjon til å styre en automatisert prosess. Systemet blir også mer komplekst når alle de ulike valgene kundene har gjort genererer mange flere verdistrømmer enn en typisk masseproduksjonsprosess. Operatører må dermed både ha detaljkunnskap om produksjonsutstyret, i tillegg til et helikopterperspektiv som gir

et bilde av vareflyten. En operatør på Ekornes trenger ikke lenger fagkunnskap kun i møbelsnekkerfaget, men også i logistikk, maskinering, vedlikehold og produksjonssystem. Samtidig som operatøren trenger økt kompetanse, må produktutvikling, økonomifunksjoner og ledelse få økt kompetanse i hvordan ulike strategiske valg påvirker utfallet. En omstilling fra håndverk til industrialisert produksjon krever kompetanseheving, involvering og tverrfaglig samarbeid gjennom hele organisasjonen.

6.2 Skipsindustrien og Engineer-to-Order

Sett i sammenheng med andre industrier er tematikken innenfor Engineer-to-Order (ETO) også relevant for å utvikle BA-bransjen, spesielt innenfor leverandørindustrien, hvor man ser mer behovet for mindre standarder og mer ordrebasert produksjon. Man kan se til norske skipsutstyrsprodusenter, som leverer typisk kundetilpassede produkter i små volum til maritime kunder. De benytter innovative produksjonsstrategier og teknologier basert på den velkjente produktprosess-matrisen (Hayes and Wheelwright 1984) som innebærer at hvert enkelt produkt blir spesialdesignet til kundens spesifikke behov.



Figur 19
ETO produktprosess-matrisen

Produktprosess-matrisen sier at det er mest hensiktsmessig å velge en produksjonsstrategi som befinner seg på diagonalen. I likhet med ManuBuild-prosjektet ser skipsindustrien på avansert teknologi for automatisering, datafangst, og planlegging som muliggjørende for å bevege seg bort fra diagonalen og ned mot det nedre venstre hjørnet. Slike innovative produksjonsstrategier kan være med på å utvikle leverandørsiden og BA for øvrig mot større konkurransedyktighet basert på småvolum/høy variasjon i sammenheng med effektiv interne verdikjedeprosesser.

6.3 Stor forskningsbasert innovasjonssatsing i norsk produksjon

SFI Manufacturing (Senter for forskningsbasert innovasjon) ble satt i gang i 2016. Fokuset ligger på tverrfaglig forskningsbasert innovasjon av multimaterial-produkter. Automatisert produksjon og innovative organisasjoner skal gi økt konkurransekraft i norsk produksjon. Visjonen er å vise at bærekraftig og avansert produksjon er mulig i høykostland, med de riktige produktene, teknologiene og menneskene involvert på en riktig måte. Senteret har 18 partnere fra ulike industrier. Vertskap for senteret er SINTEF Raufoss Manufacturing, og det er finansiert av Forskningsrådet og partnerne. Erfaringene og resultatene i senteret vil være interessante for BA-næringen. For mer informasjon: http://www.sfimanufacturing.no/ (sist besøkt 24.10.2017).

DEL 3 – VI SER INN I KRYSTALLKULEN

7 Trender og konklusjoner

7.1 Lære fra andre

Kompetanseutvikling og kompetanseoverføring fra andre bransjer blir viktig for industrialiseringen av bygg og anleggsbransjen. De involverte aktørene må være villige til "gå veien". BA-næringen kan se til bransjer som har blitt industrialisert, da det er det å gå fra håndverk til industrialiserte prosesser som er den store bøygen. Dette gjelder både høyt og lavt i verdikjeden, men som for hver enkelt aktør reduserer prisen. Dette kan gjøres ved å anvende følgende tematikker som allerede er utviklet

- Lean-tematikk
- Skreddersømtematikk
- ETO- tematikk

7.2 Fra manuelle til automatiserte prosesser

Det er et stort potensial for automatisering i bygg og anleggsnæringen, spesielt for underleverandører. Det er mulig for SMB å utnytte dagens avanserte automasjonsteknologi. Noen viktige hensyn er:

- Finne den optimale graden av automatisering
- IT – infrastruktur i verdikjeden er like viktig som utstyret
- Bli involvert i utviklingsprosessen
- Opplæring av operatører og operativ ledelse er viktig

Trenden man har sett hos underleverandører i automotivbransjen er at man må ha en fabrikk som er fleksibel nok til å takle mange flere produktvarianter enn før. Samtidig må man ha en fabrikk som er robust nok til å kunne levere det kunden trenger når kunden trenger det. Det er ikke lenger mulig å selge fra et stort ferdigvarelager, det binder for mye kapital. Trenden har også vært å produsere nært markedet. Det vil si at Volvobiler som skal selges i Kina, også blir produsert i Kina med deler fra kinesiske underleverandører.

Omstillingen fra manuelle til automatiserte prosesser er tett knyttet til diskusjoner om fremtidens arbeidsplass og sysselsetting. Hvilke ferdigheter kreves av fremtidens aktør i BA-næringen? Hva skjer med lokalt- eller nasjonalt forankret håndverkstradisjoner?

7.3 Fra "off-site" til "on-site" industrialisering

Flere definisjoner av industrialisering har som sentralt poeng at en del av verdiskapingen skjer i en fabrikk. Vi har i denne rapporten dratt frem noen utviklingstrekk som kan ta produksjonen tilbake til (eller i nærheten av byggeplassen). For eksempel: teknologitrender som 3D- printing og robotisering muliggjør industriell produksjon på stedet, på samme måte som ideer om flying factories. Dette skaper nye muligheter for lokal arbeidskraft.

7.4 Kundetilpasset industrialisering

Vi ser et trendskifte fra at industrialisering assosieres med sluttprodukter som har et standardisert utseende, til at industrialiserte prosesser assosieres med sluttprodukter som har opplevd høy grad av tilpasning og variasjon. En sentral driver er teknologiutviklingen og nye produksjonsmetoder, som gir andre muligheter når det blant annet gjelder skala.

7.5 Fra komponentbaserte til sømløse produkter

Den industrielle tankegangen er i dag i høy grad er bygd på oppfatningen av sluttproduktet som systematisk sammensatt av komponenter i ulik størrelse og ferdigstillingsgrad. Det er naturlig å føre dette tilbake til at en del av produksjonen skjer i fabrikker, som igjen påvirker produktskala.

Materialutviklingen kombinert med nye teknologier (som 3D-printing) kan muliggjøre sømløse produkter og helt andre fysiske grensesnitt i bygg og anlegg. En gruppe på MIT arbeider i grensesnittet mellom biologi og teknologi, og eksperimenterer med fremstilling av organiske/levende materialer innen, for eksempel, klesindustrien og bygg (silkeormer spinner fasaden på en paviljong). For mer info, se: https://www.ted.com/talks/neri_oxman_design_at_the_intersection_of_technology_and_biology

Referanser

Amaro, G., Hendry, L., & Kingsman, B. (1999). Competitive advantage, customisation and a new taxonomy for non-make-to-stock companies. International Journal of Operations & Production Management, 19 (4): 349-371.

Apleberger, L. Jonsson, R. & Ahman, P. (2007). Byggandets industrialisering: Nulägensbeskrivning. Göteborg: Sveriges Byggindustrier.

BA2015 (2016). Markedsundersøkelse Industriell byggemetodikk. Sykehuset i Vestfold – Tønsbergprosjektet. Rapport. Undersøkelsen gjennomført av Metier.

Berg, T. F. (2008). Industrialisering og systematisering av boligbyggproduksjon, SINTEF Byggforsk Prosjektrapport 20.

Bertelsen, S. & Koskela, L. (2005). Approaches to managing complexity in project production. Proceedings of 13th International Group for Lean Construction Conference: 65–71.

Bygg21 & Norsk eiendom (2015). Veileder for fasenormen "Neste steg" " Et felles rammeverk for norsk byggeprosesser. http://www.bygg21.no/globalassets/dokumenter/nestesteg_fullversjon.pdf (sist besøkt 24.10.2017).

Claeson-Jonsson, C. (2010). ManuBuild – Erarenheter från et EU-projekt om industriellt bostadsbyggande. SBUF-projekt 12260. NCC Teknik.

CII. (u.d.). IR171-2 – Prefabrication, Preassembly, Modularization, and Offsite Fabrication: Decision Framework and Tool. Construction Industry Institute. Tilgjengelig fra: https://store.construction-institute.org/detail.aspx?id=IR171_2 (sist besøkt 24.10.2017).

Fladberg, D. (2016). Superkuben. Fleksible skolebygg. SINTEF Certification, Bransjemøte om prefabrikkerte bygningsmoduler, 19. mai 2016, Oslo.

Forskning och Framsteg (2016) Skriv ut ditt eget hus. Nr. 3-2016

Faanes, S. (2016). Moholt studentby – Prefabrikkerte massivtreelementer er brukt for å korte ned på byggetiden – har dette gitt forventet effekt? Andre erfaringer med å bygge på denne metoden? Næringsforeningen i Trondheimsregionen, Byggenavet 2016 – Industrialisering, 19. mai 2016, Trondheim.

Gartner (2014). Hype Cycle for 3D Printing, 2014, Pressmeddelande 2014-07- 01.

Gibb, A. G. F (1999). Off-site fabrication: prefabrication, pre-assembly, modularization. Scotland: Whittles Publishing.

Gibb, A. G. F. (2001). Standardisation and pre-assembly—distinguishing myth from reality using case study research. Construction Management and Economics, vol. 19(3), s. 307–315.

Gosling, J. & Naim, M. M. (2009). Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda. International Journal of Production Economics, 122(2), 741-754.

Green, S. D. & May S. C. (2005). Lean construction: arenas of enactment, models of diffusion and the meaning of 'leanness' Building Research & Information 33.6, 498-511.

Han, S. H., Kim, D. Y., Jang, H. S. & Choi, S. (2010). Strategies for contractors to sustain growth in the global construction market. Habitat International, 34 (1): 1-10.

Hayes, R. H., & Wheelwright, S. C. (1984). Restoring our competitive edge: competing through manufacturing.

Haukka, S. & Lindqvist, M. (2015). Modern Flying Factories in the Construction Industry. A Description of the Concept and Lessons for Further Development. Master of Science in Engineering Technology. Architecture. Luleå University of Technology. Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering

Hoang, Han (2005). Automated construction technologies : analyses and future development strategies. Cambridge, Massachussetts: Massachussetts institute of technology.

Howell, G. & Ballard, G (1998). Implementing Lean construction: Understanding and action. Proc. International Group for Lean Construction, Guaruja, Brazil.

Höök, M. (2008). Lean culture in industrialized housing a study of timber volume element prefabrication.

Jaillon, L & Poon, C. S. (2009). The evolution of prefabricated residential building systems in Hong Kong: A review of the public and the private sector. Automation in Construction. 18(3), s. 239-248.

Jørgensen, B. & Emmit, S. (2008) Lost in transition: the transfer of lean manufacturing to construction. Engineering, Construction and Architectural Management 15.4, 383-398.

Kieran, S. & Timberlake, J. (2004). Refabricating architecture: McGraw-Hill New York, NY.

Koskela, L. (1992). Application of the new production philosophy to construction. Stanford, California: Stanford University.

Labonnote, N., Rønnquist A., Manum B. & Rüther, P. (2016). Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities. Automation in Construction, 72 (3): 347–366.

Lemley, B. (2005). The Whole-House Machine. Discover Science for the curious, 28 april. http://discovermagazine.com/2005/apr/whole-house-machine (sist besøkt 24.10.2017)

Neale, R. H., Price, A. & Sher, W., (1993). Prefabricated Modules in Construction: A Study of Current Practice in the United Kingdom: Chartered Institute of Building.

Nederveen, S van, Gielingh, G & Ridder, H de (2009). Value-oriented Industrial Building for a sustainable future. I Open Building Manufacturing: Key Technologies, Applications, and Industrial Cases. (pp. 21–30). ManuBuild, ISBN 978-951-38-7146-8 (Electronic).

Ridder, H. de and Vrijhoef, R. (2007). From demand-driven supply towards supply-driven demand in construction. In Hughes, W. (ed.) Proceedings CME25 Conference, University of Reading, UK.

Sarja, A (1998). Open and industrialised building. E & FN Spon, London, UK.

Schmenner, R. W. (2015). The Pursuit of Productivity. Production and Operations Management. Vol. 24, No. 2, pp. 341-350.

Schmidt, L. (2009). Industrialisering av trehusproduksjonen: En kunnskapsoversikt. Oslo: Nordberg AS.

Thuesen, C. L., & Claeson-Jonsson, C. (2009). The Long Tail and Innovation of New Construction Practices: Learning Points from Two Case Studies. I Open Building Manufacturing: Key Technologies, Applications, and Industrial Cases. (pp. 51–64). ManuBuild, ISBN 978-951-38-7146-8 (Electronic).

INDUSTRIALISERING AV BYGGEPROSESSENE STATUS OG TRENDER

Hva kjennetegner industrialisert bygging før og nå? Hvordan kan fremtiden se ut? Et historisk sveip og analyse av trender nasjonalt og internasjonalt munner ut i noen spådommer om hva byggebransjen står overfor:

- kompetanseutvikling og læring fra andre bransjer blir viktig – Lean, skreddersøm og ETO er noen stikkord
- potensialet for automatisering er stort, med fleksibel produksjon og geografisk nærhet til markedet
- fra off-site til on-site bygging, med ny teknologi som 3 D-printing og "flying factories"
- større grad av kundetilpasning, skreddersøm og variasjon
- fra komponentbaserte til sømløse produkter

Forfatterne er forskere ved SINTEF Byggforsk, NTNU og Raufoss Manufacturing. Arbeidet har vært en aktivitet innenfor Bygdin – Bygge- og anleggsnæringens industrialiseringsarena.

SINTEF akademisk forlag