

# BUILD Rapport 2020:28

## Vejledning i Byggelogistik

Processer, ansvar og udvikling af transport, lagre og håndtering af materiel, byggevarer og affald til, på og fra byggepladsen





# VEJLEDNING I BYGGELOGISTIK

Processer, ansvar og udvikling af transport, lagre og håndtering af materiel, byggevarer og affald til, på og fra byggepladsen

Niels Haldor Bertelsen

Michael Henriques

Allan Ruben Dam

Henrik Davidsen

Finn Zoëga

BUILD Rapport 2020:28

Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet København

2020

<b>TITEL</b>	Vejledning i Byggelogistik
<b>UNDERTITEL</b>	Processer, ansvar og udvikling af transport, lagre og håndtering af materiel, byggevarer og affald til, på og fra byggepladsen
<b>SERIETITEL</b>	BUILD Rapport 2020:28
<b>FORMAT</b>	Tryksag
<b>UDGIVELSEÅR</b>	2020
<b>UDGIVET DIGITALT</b>	December 2020
<b>FORFATTER</b>	Niels Haldor Bertelsen, Michael Henriques, Allan Ruben Dam, Henrik Davidsen, Finn Zoëga
<b>SPROG</b>	Dansk
<b>SIDETAL</b>	198
<b>LITTERATURHENVISNINGER</b>	Side 178-187
<b>EMNEORD</b>	Byggelogistik
<b>ISBN</b>	978-87-563-1977-5
<b>OMSLAGSILLUSTRATION</b>	FM Bygningsdrift ApS
<b>UDGIVER</b>	Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post <a href="mailto:build@build.aau.dk">build@build.aau.dk</a> <a href="http://www.build.dk">www.build.dk</a>

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

# INDHOLD

<b>FORORD</b>	<b>6</b>
<b>1 INTRODUKTION TIL BYGGELOGISTIK</b>	<b>8</b>
1.1 Indledning, formål og anvendelse	8
1.2 Byggeriets organisering og dataplatforme	11
1.3 Forståelsesramme og ledelse af byggelogistik	11
1.4 Operationel styring af byggelogistik i praksis	13
1.5 Personlige kompetencer og forbedring af byggelogistik	14
1.6 Videngrundlag, teorier, krav og historik	15
<b>2 BYGGERIETS ORGANISERING OG DATAPLATFORME</b>	<b>18</b>
2.1 Byggeriets sektorer og hoveddele	19
2.2 Byggeriets fasemodeller, aktører og organisering	20
2.3 Aktiviteter, strømme og lokationsstyring	22
2.4 Bygningsdele, rum, gentagelser og lokationer	23
2.5 Dataplatforme om byggeriets processer og produkter	26
<b>3 FORSTÅELSESRAMME FOR ORGANISERING AF BYGGELOGISTIK</b>	<b>32</b>
3.1 I. Krav fra byggeprogram og projektering	34
3.2 II. Bygningsdele, gentagelser og lokationer	34
3.3 III. Udførelse, bearbejdning og arbejdsstationer	37
3.4 IV. Byggelogistik på byggepladsen	40
3.5 V. Leverandørlogistik og lagre	43
3.6 VI. Industriproduktion og systemudvikling	49
3.7 VII. Samarbejde og ledelse af byggelogistik	51
<b>4 OPERATIONEL STYRING AF BYGGELOGISTIK I PRAKSIS</b>	<b>56</b>
4.1 A. Regler, normer og branchepraksis	59
4.2 B. Programmering og projektering	59
4.3 C. Udbud og aftaler om byggelogistik	59
4.4 D. Justeringer af krav og aftaler samt evaluering efter aflevering	60
4.5 E. Bygningsdele, 3D, gentagelser og lokationer	60
4.6 F. Lokationsstyring af aktiviteter, tid (4D) og aktører	61
4.7 G. Byggepladsindretning (4D), -drift og -lagre	61
4.8 H. Materiel, værktøjer og arbejdsstationer	62
4.9 I. Byggevarebestilling og -levering	62
4.10 J. Nedrivning, transport og genbrug af affald	63
4.11 K. Leverandørlogistik, -lagre og -transporter	63
4.12 L. Økonomi, omkostninger og produktivitet	64
4.13 M. Informationer, data og digitalisering	64
4.14 N. Benchmarking af logistik og miljø	64
<b>5 FORBEDRING AF BYGGELOGISTIK OG KOMPETENCER</b>	<b>68</b>
5.1 Behov for udvikling og forbedring	68

5.2	Bottom-up leadership og kompetenceudvikling for medarbejdere	69
5.2.1	Fagfolks udvikling med små stadige forbedringer	70
5.2.2	Procesudvikling ved samarbejde i arbejdsgrupper	71
5.2.3	Koncepter, vejledninger, instruktioner og videofilm	72
5.3	Dokumentation af effekt på byggerier og bæredygtighed	73
5.3.1	Erfaringer om byggelogistik fra byggerier	74
5.3.2	Benchmarking af produktivitet for bygningsdele	75
5.3.3	Benchmarking af byggelogistik og bæredygtighed	78
5.3.4	Eksempler på benchmarking af bæredygtighed	84
5.4	Ledelses-, virksomheds-, uddannelses- og sektorudvikling	87
5.4.1	Ledelsesudvikling og støtte til bottom-up udvikling	87
5.4.2	Virksomhedsudvikling med medarbejderinvolvering	88
5.4.3	Uddannelse af medarbejdere og ledere	88
5.4.4	Sektorudvikling og -samarbejde om forbedring	89
<b>6</b>	<b>VIDENGRUNDLAG, TEORIER, KRAV OG HISTORIK</b>	<b>92</b>
6.1	Toyota Production System (TPS)	93
6.1.1	Et beskrivende og analytisk sammendrag af TPS-huset	93
6.1.2	TPS' idégrundlag og målsætninger	94
6.1.3	Leverancestyring og Just-in-Time (JIT)	94
6.1.4	Informationer og arbejdsbeskrivelser (Kanban)	95
6.1.5	Maskiner, udstyr og automation (Jidoka)	95
6.1.6	Motivation, ledelse og arbejderne involvering	96
6.1.7	Produktionsprocesser, operationer, kontrol og kunder	96
6.1.8	Stadige forbedringer (Kaizen) i produktionen (Gemba)	98
6.1.9	Omkostningsreduktion og produktionsudjævning	98
6.1.10	Reduktion af spild, omstillingstid, transport og lagre	99
6.1.11	Videnskabelig metode til forbedring (STM)	100
6.2	Produktionsindustriens systemer for procesledelse	101
6.2.1	Lean Production international i Motor Vehicle Program	102
6.2.2	Flaskehalse i proces som begrænser rentabilitet	103
6.2.3	Time-driven activity-based costing (TDABC)	109
6.2.4	Dansk anvendelse af produktivtetsudvikling i industrien	113
6.3	International viden om byggelogisk	118
6.3.1	Last Planner System (LPS)	118
6.3.2	Transformation, strømme og værdier i byggeriet (TFV)	123
6.3.3	Location-based Management System (LBMS)	131
6.3.4	Nordisk viden om tværfaglighed og bæredygtighed	136
6.3.5	Nordisk viden om innovation og benchmarking	138
6.4	Udvikling af Trimmet Byggeri i Danmark	138
6.4.1	Trimmet Byggeri i Lean Construction DK	138
6.4.2	Semiramis om Construction Physics i 2009	147
6.4.3	Det uregerlige projekt og dets ledelse	150
6.5	SBi-forskning i byggeproces og -logistik	153
6.5.1	Generelt om SBi/BUILD forskning i byggeprocessen	153
6.5.2	SBi-publikationer om byggelogistik før 1990	154
6.5.3	SBi-publikationer om byggelogistik i 1990'erne	156
6.5.4	Byggelogistik-projekter med deltagelse af SBi, 2014-21	161
6.6	Myndighedernes regler og vejledninger	170
6.6.1	Bygningsreglement 2018 (BR18) med vejledninger	170
6.6.2	TBST bekendtgørelser	172

6.6.3 Almindelige betingelser i bygge- og anlægsvirksomhed	172
6.6.4 Vejledninger og andet fra myndigheder	173
<b>LITTERATUR</b>	<b>178</b>
Litteratur i vejledningen	178
SBI-publikationer om byggeproces	184
<b>BILAG</b>	<b>190</b>
Bilag A: Terminologi	190
Bilag B: Eksempler på benchmarking	190
Bilag A: Terminologi	191
Bilag B: Eksempler på benchmarking	192
B1: Transport af byggematerialer og jord, Vapnagaard	192
B2: Case Nordea nyt domicil	196

# FORORD

Forskning i bygge-logistik i Danmark har ligget i dvale siden 1990'erne og frem til 2014. Indsatsen dengang skete i forhold til udvikling af Den selvstyrende byggeplads, Samarbejde og Læring på byggepladsen (BygSoL), Trimmet Byggeri og Lean Construction. En udvikling som koblede sig på de 3 store nationale udviklingsprogrammer Proces- og Produktudvikling i Byggeriet (PPB), Projekt Renovering og Projekt Hus. Indsatsen resulterede bl.a. i SBI-anvisning 191 'Introduktion til bygge-logistik' [Clausen et al., 1996] med 2 baggrundsrapporter.

I 2014 satte det daværende SBI nyt liv i forskningen i bygge-logistik med projektet 'Effektiv bygge-logistik i praksis', som blev gennemført i samarbejde med partnerne Teknologisk Institut, Incentive (senere Tetraplan, MOE og Cowi), PKEConsult og Dansk Byggeri. Projektet blev finansielt støttet af Realdania, Grundejernes Investeringsfond (GI) og Trafikstyrelsen (nu TBST) fra 'Puljen til energieffektive transportløsninger'.

Vejledningen er et resultat af projektet og de senest 20 års mest omfattende samling af viden, erfaringer og forslag til forbedring af bygge-logistik i Danmark. Den binder byggepladsproduktion og -ledelse sammen med leverancesystemets strømme af materiel, byggevarer og affald til, på og fra byggepladsen. Vi har samtidig prøvet at forberede den til en kommende interaktiv SBI-anvisning i bygge-logistik, hvorfor vi har gjort plads til guidelines og praktiske eksempler i kapitel 4, som vi gerne vil have sektorens hjælp til at konkretisere.

Til slut vil vi gerne takke Realdania, GI og TBST for den finansielle støtte til projektet og til den løbende sparring i forløbet. Vi vil også gerne takke forfattergruppen og alle de over 200 samarbejdspartnere i følgegruppen for den konstruktive og inspirerende indsats, som de har bidraget med i projektet. En indsats som skabte en konstruktiv, åben og lærende dialog mellem alle grene af byggeriet på de mange velbesøgte workshops, møder og læringsforløb i projektet.

Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet  
Sektionen for Byggeteknik og Proces  
December 2020

*Ruut Peuhkuri*  
Forskningschef





1

# **INTRODUKTION TIL BYGGELOGISTIK**

# 1 INTRODUKTION TIL BYGGELOGISTIK

I introduktionen gives først en indledning med beskrivelse af baggrund, formål og anvendelse samt læsevejledning til vejledningen. Herefter følger et resumé af hver af de 5 hovedkapitler i vejledningen.

Vejledningen skal opfattes som et dynamisk værktøj til forbedring af byggelogistik i praksis, som med tiden kan blive til en ny interaktiv SBI-anvisning med konkrete guidelines og praktiske eksempler fra byggeriet i kapitel 4. Dvs. at vejledningen hele tiden bør udvikles og tilpasse sig de aktuelle udfordringer og muligheder samt målgruppernes skiftende behov. Denne version forsøger at lægge rammerne for denne udvikling og har udfyldt væsentlige dele, men BUILD den efterlyser samtidig bidrag til forbedringer og videreudvikling.

## 1.1 Indledning, formål og anvendelse

I indledningen beskrives baggrund og erfaringsgrundlag for vejledningen. Derefter beskrives vejledningens formål, målgrupper, opbygning og anvendelse, og til sidst gives forslag til, hvor den kan kvalificeres og udvikles i fremtiden.

### Baggrund og erfaringsgrundlag

Det daværende SBI (nu BUILD – Institut for Byggeri, By og Miljø) udgav tilbage i 1996 SBI-anvisning 191 'Introduktion til byggelogistik' [Clausen et al., 1996] med 2 baggrundsrapporter [Clausen, 1996] og [Clausen, 1999]. Det skete i tilknytning til udviklingen af Lean Construction DK og Trimmet Byggeri. Det bidrog senere til en vejledning om logistik rettet mod det støttede byggeri, der blev udgivet af Erhvervs- og Boligstyrelsen [EBST, 2003].

Først i 2014 kom der igen gang i forskningen i byggelogistik i Danmark med projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis' i perioden 2014-20, som bl.a. resulterede i denne vejledning. Logistikprojektet skubbede samtidig 4 andre relaterede projekter i gang i perioden 2017-21. Nærmere om de 5 projekter kan ses i afsnit 6.5.4. Logistikprojektet skabte en bred opbakning til den fælles forståelsesramme, det tværfaglige samarbejde mellem byggeriet og leverandørerne samt til fortsat udvikling og oplæg til en fælles vejledning i byggelogistik.

I bearbejdningen af videngrundlaget til vejledningen og erfaringerne fra logistikprojektet blev det klart, at der var behov for følgende elementer i vejledningen, hvis den skulle have effekt i byggeriet:

- En bearbejdet beskrivelse af et fælles videngrundlag (jf. kapitel 6).
- Fælles principper for udvikling, læring og forbedringer af byggelogistik samt udvikling af personlige kompetencer (jf. oplægget i kapitel 5).
- Fælles principper for dokumentation af udvikling, erfaringer og benchmarking af byggesager (jf. oplægget i kapitel 5).
- En fælles vejledning til de centrale afsnit i byggelogistik for både planlægning, styring og opfølgning, som er målrettet de enkelte aktører, og som er opdelt i en forståelsesramme (jf. kapitel 3) og en operationel styring (jf. kapitel 4).
- En generel beskrivelse af byggeriets organisering og dataplatforme, som byggelogistik kan relatere sig til (jf. kapitel 2).
- Etableres et stående logistikpanel med en bred repræsentation af byggeriets aktører og videnpersoner. Panelet skal løbende kvalificere den fælles vejledning, hjælpeværktøjer

og senere anvisninger, som skal virke som alment teknisk fælleseje, der skaber en bedre byggepraksis.

Projektgruppen, som også er forfattergruppen til vejledningen, lærte gennem projektet at samle enkeltstående udviklingsprojekter og erfaringer til en helhedsforståelse af byggepraksis. De fik også en erkendelse af, at det kræver et langt sejt træk at bringe projektets erfaringer ud i bred anvendelse i byggeriet, og at der mangler en fælles forståelse og bedre praksis på mange delområder. Det gode samarbejde i projektet mellem alle grene af byggeriet, leverandørkæden og uddannelse giver en tro på, at det kan lade sig gøre i praksis.

### **Formål og målgrupper**

Med denne baggrund er formålet med vejledningen:

- At give et fælles videngrundlag og ramme for effektiv, bæredygtig og sikker byggepraksis i praksis, som passer til de enkelte aktørers behov, og som forbedrer byggeriet og de personlige kompetencer i byggepraksis.
- At bidrage til bedre byggepraksis og personlig udvikling støttet af:
  - Træning, læring og udvikling på byggerier og i virksomheder.
  - Uddannelse og læring på skoler og i organisationer mv.
  - Forskning, udvikling og samarbejde i Danmark og internationalt.
- At bidrage til løbende indsamling og bearbejdning af erfaringer fra byggerier med god byggepraksis og anvendelsen af vejledningen i et tværfagligt samarbejde med et bredt udsnit af aktører og videnpersoner.
- At kvalificeres vejledningen løbende efter de enkelte brugere og leverandørers behov.
- At lægge op til, at den med tiden blive anvendt bredt som alment teknisk fælleseje, der binder krav og forventninger sammen med god byggepraksis.
- At fremme udvikling af bedre proces-, ledelses- og innovationspraksis.

Vejledningen retter sig mod følgende målgrupper:

- De, der uddanner og forbedrer byggepraksis og personkompetencer:  
Skoler, organisationer, foreninger og forskere.
- De, der fagligt og ledelsesmæssigt gennemfører byggepraksis:  
Entreprenører, byggeledere, håndværkere og leverandører.
- De, der stiller krav og specifikationer til byggepraksis:  
Brugere, ejere, bygherrer og projekterende samt myndigheder.
- De, der har interesse i og er samarbejdspart om god byggepraksis.

### **Opbygning og anvendelse**

Vejledningen er opbygget i 6 hovedkapitler, som er tilpasset de generelle principper for byggeledelse og samarbejde, men den afviger fra den normale struktur for SBI-anvisninger. Det drejer sig bl.a. om kapitel 5 og kapitel 6, som omhandler udvikling og forbedringer samt fælles videngrundlag og litteratur for byggepraksis. Videngrundlaget i kapitel 6 var nødvendigt, fordi der ikke foreligger et fælles lærebogsmateriale, som kan anvendes af de forskellige aktører. Den eksisterende litteratur har et stærk fokus på teori og management principper. Der er derimod et underskud af dokumenterede praksiserfaringer fra byggerier, og der er kun få vejledninger i praktisk udførelse og ledelse på byggepladsen og i samarbejdet med leverandørerne.

Kapitel 1 'Introduktion til byggelogistik' giver korte introduktioner til hovedkapitlerne 2-6. Dette kapitel er derfor målrettet de læsere, som kun vil have et hurtigt overblik over byggelogistik, og til dem som gerne vil have en introduktion til at komme i gang med resten eller dele af vejledningen.

Kapitel 2 'Byggeriets organisering' og kapitel 3 'Forståelsesramme for byggelogistik' giver den grundlæggende forståelsesramme af byggelogistik. De kan læses af dem, som gerne vil længere ind i forståelsen af byggelogistik, eller som vil holde sig på et overordnet og ledelsesmæssigt niveau. Kapitel 2 giver et overblik over byggeriets generelle principper for organisering, og det giver en generel forståelse af byggerier, processer og dataplatforme. I afsnit 2.5 er vist, hvordan informationer og data om byggeriets processer og produkter kan opdeles i 9 tværgående dataplatforme. De er opdelt og samordnet, så det er muligt at bruge dem generelt og på tværs af byggeriets forskellige processer, produkter og aktørgrupper.

Kapitel 3 opdeler byggelogistik i 7 logistikafsnit, hvor de 6 første logistikafsnit omhandler de 6 faser, som arbejdet kan opdeles i: Krav og specifikation, bygningsdelsafgrænsning, arbejdsudførelse, byggepladsen, leverancelogistik og industriproduktion. I 7. logistikafsnit koordineres de 6 foregående logistikafsnit i forhold til samarbejde og ledelse af byggelogistik, og de kan kobles sammen med de 9 dataplatforme. Kapitel 3 bygger desuden bro til kapitlerne 4 og 5.

Kapitel 4 'Operational styring af byggelogistik' beskriver 14 basis-logistikaktiviteter, der er udvalgt som væsentlige for dem, der i praksis skal gennemføre eller lære om operationel byggelogistik. Ledere og faglærere kan også sættes sig ind i stoffet på det niveau, de har brug for, i forhold til styring af byggelogistik og udvikling af kompetencer. De 14 basis-logistikaktiviteter er ordnet i følgende grupper:

- Organisering af byggelogistik.
- Produktenheder for byggelogistik.
- Processer om byggelogistik.
- Administration af byggelogistik

Kapitel 5 'Forbedring af byggelogistik og kompetencer' og kapitel 6 'Videngrundlag og historik' har til formål at give et fælles videngrundlag og skabe rammer for forbedringer af byggelogistik og kompetencer. Kapitlet henvender sig primært til dem, som ønsker at udvikle og uddanne sig på området, hvilket er en væsentlig opgave for byggeledelsen at understøtte. Samtidig gives der også oplæg til, hvordan bygge- og industrisektoren sammen kan bidrage til at støtte virksomheder og medarbejdere i forbedringer og kompetenceudvikling.

### **Kvalificering af vejledningen**

Et væsentlig formål med vejledningen er at danne en robust vejledningsstruktur, der kan tilpasse sig nye behov, samt at beskrive de områder der er evidens for gennem erfaringerne og videngrundlaget i kapitel 6. Det har derfor ikke været muligt at skrive kapitlerne 4, 5 og 6 færdige i denne udgave af vejledningen, både på grund af manglende erfaringer og omfang af logistikprojektet. Disse dele planlægges udfyldt i senere projekter i samarbejde med centrale aktører og videnpersoner i byggelogistik. Det er et håb, at vejledningen over tid kan blive mere og mere kvalificeret, så den kan få en bred anvendelse i byggeriet som alment teknisk fællesseje. Erfaringer fra logistikprojektet giver tro på, at det er muligt, og de 4 første opfølgingsprojekter er allerede på vej, men en væsentlig forudsætning er:

- At netværket fra logistikprojektet kan blive transformeret og suppleret med flere aktører og videnpersoner til et robust 'Stående panel for byggelogistik'.
- At panelet kan realisere en målsætning om at forbedre byggelogistik og personlig kompetenceudvikling på landsplan, samt at gennemføre en løbende opkvalificering af vejledningen og tilhørende hjælpeværktøjer.

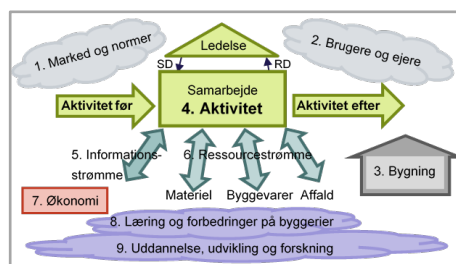
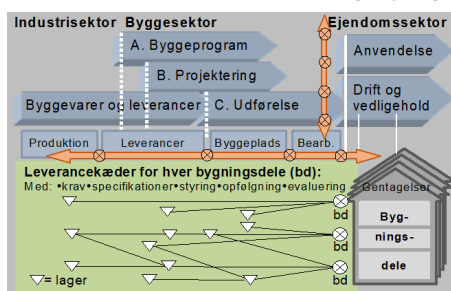
## 1.2 Byggeriets organisering og dataplatforme

Byggeriets organisering i kapitel 2 giver et overblik over de generelle principper for organisering og dataplatforme i byggeriet. Det bygger på den historiske gennemgang af videngrundlaget for byggelogistik i kapitel 6, og den lægger op til den fælles forståelsesramme og ledelse af byggelogistik i kapitel 3.

Overblikket gives i 3 dele om proces, produkt og data. I proces forklares om byggeriets 3 hoveddele (myndigheds-, erhvervs- og videndel) og om erhvervsdelens 3 sektorer (ejendoms-, bygge- og industrisektor). Proces forklares også ud fra fasemodellen, aktører og forskellige organisationsformer. Den forklares også i forhold til aktiviteter, strømme og styring fx som lokationsstyring, der dækker lokaliteter-/gentagelser, aktivitetskæder og takstslag i tidsstyring. Samlet illustreres det i procesmodellen med leverancekæder i figur 5 (se vignet til højre).

I byggelogistik er 'produktet' bygninger, bygningsdele, rum, gentagelser og deres lokationer, der opfattes som færdige produktenheder i byggelogistik, hvortil der leveres og forbruges byggevarer.

Den sidste af de 3 dele er byggedata og -informationer om processer og produkter. Den er beskrevet i 9 dataplatforme om: Marked, brugere, bygning, aktiviteter, informationsstrømme, strømme af fysiske ressourcer (materiel, byggevarer og affald), økonomi, forbedringer og uddannelse. De er illustreret i figur 9 (se vignet til højre).



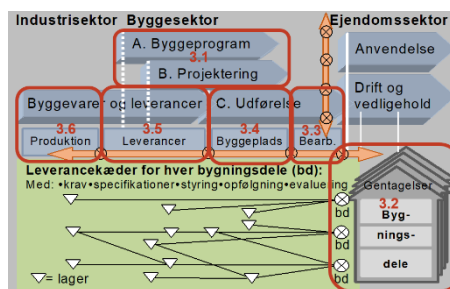
### Anbefalinger til byggeriets organisering

- ❖ Aktører med relation til byggelogistik bør have den nødvendige indsigt i byggeriets processer, herunder fasemodeller, aktørgrupper og lokationsstyring samt kunne forstå den samlede procesmodel.
- ❖ De bør også have nødvendig indsigt i bygningsklassifikation og opdeling i bygningsdele, rum, gentagelser og lokationer herunder afgrænsning af produktenheder anvendt i byggelogistik.
- ❖ De bør også have nødvendig indsigt i de 9 dataplatforme om byggeriets processer og produkter, og hvordan de kan bruges i planlægning, gennemførelse, opfølgning, evaluering, læring, uddannelse og udvikling.

## 1.3 Forståelsesramme og ledelse af byggelogistik

Forståelsesrammen i kapitel 3 bygger på de generelle principper for byggeriets processer og videndeling i kapitel 2, og den bygger bro til den operationelle styring af byggelogistik i praksis i kapitel 4. I forståelsesrammen deles byggelogistik op i følgende 7 logistikafsnit, hvortil der kan knyttes forskellige aktivitets- og leverancekæder målrette de enkelte bygningsdel, som vist i figur 11 (se vignet til højre):

- I. Krav fra byggeprogram og projektering.
- II. Bygningsdele, gentagelser og lokationer.



- III. Udførelse, bearbejdning og arbejdsstationer.
- IV. Byggelogistik på byggepladsen.
- V. Leverandørlogistik og -lagre.
- VI. Industriproduktion og systemudvikling.
- VII. Samarbejde og ledelse af byggelogistik.

I de 2 første logistikafsnit I og II behandles kravene til byggelogistik. De beskrives dels for programmering og projektering og dels for bygning, bygningsdele, gentagelser og lokationer, som er produktenheder i byggelogistik. Det er disse krav, som trækker leverancekederne og procesforløbene for byggelogistik.

I de 4 næste logistikafsnit beskrives indhold, muligheder og praksis i byggelogistik trin for trin baglæns i leverancekedden. Logistikafsnit III er der, hvor håndværkerne og byggesjakkene udfører arbejdet på bygningsdelene samt tildanner og monterer byggevarerne på bygningen. Det er også her, arbejdslagre for byggevarer, værktøjer og affald befinder sig tættest ved den primære arbejdsstation i og ved bygningen. Logistikafsnit III er derfor 'kunde' til hele leverancesystemet, som trækker behovet for leverancer. Herefter følger byggepladsen i logistikafsnit IV, som er byggeriet 'samlebåndsfabrik'. Det trækker leverandørernes leverancer i logistikafsnit V, og industriproduktionen i logistikafsnit VI.

Sidste logistikafsnit VII indeholder samarbejde og ledelse af byggelogistik, og her samordnes og styres de 6 foregående logistikafsnit. Her arbejdes også med organisering af leverancekedder til bygningsdele, og håndtering af lokationsstyring er en anden central opgave. Som en tredje og fjerde central opgave bygges der i kapitel 3 bro til den operationelle styring i kapitel 4, samt til forbedring af byggelogistik og personlige kompetencer i kapitel 5 og kapitel 6.

#### **Anbefalinger til forståelsesrammen**

- ❖ Medarbejdere, som arbejder med byggelogistik på en eller flere af de 7 logistikafsnit, skal have læst vejledningens beskrivelse eller lignende og forstået den, så de har et samlet overblik som rammer for deres arbejde.
- ❖ De skal desuden have kompetence i praksis til at gennemføre deres logistikafsnit i forhold til deres ansvar.
- ❖ De skal desuden løbende træne og udvikle deres kompetence, samt kunne lære den videre.
- ❖ Samarbejde og ledelse af god byggelogistik bør kunne organisere aktivitetskæder i forhold til de 3 dimensioner: Bygningsdele, leveranceforløb samt styringsforløb.
- ❖ De bør desuden kunne håndtere indholdet i de 7 logistikafsnit på et overordnet niveau og koordinere dem indbyrdes i et tværfagligt samarbejde.
- ❖ De bør desuden kunne håndtere hver af de 9 dataplatforme på et overordnet niveau og koordinere dem indbyrdes og i forhold til de 7 logistikafsnit for byggelogistik.
- ❖ De bør desuden kunne håndtere lokationsstyring med planlægning og opfølgning på et overordnet niveau i hele logistikprocessen i et samarbejde med de forskellige aktørgrupper efter deres premisser.
- ❖ De bør desuden kunne håndtere forbedring af byggelogistik og personlige kompetencer, som er nærmere beskrevet i kapitel 5, og som henviser til det historiske videngrundlag i kapitel 6.
- ❖ Man har senere mulighed for at bidrage med forbedringer og supplementter, der kan opkvalificere til alment teknisk fælleseje for byggeriet.

## 1.4 Operationel styring af byggelogistik i praksis

Den operationelle styring af byggelogistik i praksis, som er beskrevet i kapitel 4, indeholder 14 udvalgte basis-logistikaktiviteter. De anvendes i det daglige til realisering af god byggelogistik både i planlægning, udførelse, opfølgning og dokumentation. Man kan også selv vælge andre og supplerende logistikaktiviteter.

De 14 basis-logistikaktiviteter dækker forskellige dele af de 9 logistikafsnit og bidrager til informationer på de 7 dataplatforme. Hvordan er vist i tabel 2 (se vignet til højre). Som vist i efterfølgende oversigt er de ordnet i 4 grupper:

Logistikafsnit:	I. Programering og projektering	II. Bygning og bygningsdele	III. Udførelse og bearbejdning	IV. Byggeplads og lagre	V. Leverancer og lagre	VI. Industriproduktion	VII. Samarbejde og læselse
Dataplatforme:	Afsnit	B CD	CD E	CD	CD G	CD K	CD
1. Marked og normer	AB						
2. Brugere og ejere	B						
3. Bygning og ejerskaber	E	E	E	E	E	E	CD E
4. Aktiviteter, tid og aktører				F	F	F	CD F
5. Informationsstrømme				MN	MN	MN	CD MN
6. Ressourcestrømme			HLJ	HLJ	HU K	HU K	CD HU K
7. Økonomi og produktiv.	L	L	L	L	L	L	CD L
8. Læring og forbedringer							
9. Forskning og uddannelse							

### Organisering af byggelogistik:

- 4.1 A. Regler, normer og branchepraksis.
- 4.2 B. Programmering og projektering.
- 4.3 C. Udbud og aftaler om byggelogistik.
- 4.4 D. Justeringer af krav og aftaler samt evaluering efter aflevering.

### Produktenheder for byggelogistik:

- 4.5 E. Bygningsdele, 3D, gentagelser og lokationer

### Processer om byggelogistik:

- 4.6 F. Lokationsstyring af aktiviteter, tid (4D) og aktører.
- 4.7 G. Byggepladsindretning (4D), -drift og -lagre.
- 4.8 H. Materiel, værktøjer og arbejdsstationer.
- 4.9 I. Byggevarerbestilling og -levering.
- 4.10 J. Nedrivning, transport og genbrug af affald.
- 4.11 K. Leverandørlogistik, -lagre og -transporter.

### Administration af byggelogistik:

- 4.12 L. Økonomi, omkostninger og produktivitet.
- 4.13 M. Informationer, data og digitalisering.
- 4.14 N. Benchmarking af logistik og miljø.

Der er i kapitlet givet forslag til, hvordan en logistikaktivitet kan beskrives, som er anvendt i denne version af vejledningen. Der er dog behov for, at logistikafsnittene beskrives mere operationelt, og at de suppleres med flere praktiske erfaringer, der kan vise deres brede anvendelse i god byggelogistik. På sigt ønskes de udviklet til alment teknisk fælleje, som kan bruges på et stort udsnit af byggerier i Danmark. Det forudsætter, at de udbygges mere operationelt, og at de kvalitetssikres og sendes i høring i et bredt udsnit af branchen.

Det anbefales, at virksomhedsledelsen og byggeledelsen i deres strategi og på byggerier anvender vejledningen gennem hele byggesagen, at fagpersoner og ledere har den nødvendige kompetence, og at de løbende bidrager til forbedring af byggelogistik og kvalificering af basis-logistikaktiviteter.

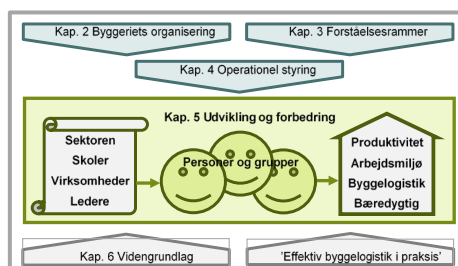
### Anbefalinger til operationel styring

- ❖ Fagpersoner og ledere der arbejder med byggelogistik bør anvende de 14 basis-logistikaktiviteter eller lignende til planlægning, gennemførelse, dokumentation og videndeling af god byggelogistik.
- ❖ Hvis de anvender andre logistikaktiviteter, bør de beskrive dem efter de angivne principper eller lignende, så det giver en fast ramme for styring og udvikling af byggelogistik.
- ❖ De bør være trænet i at bruge dem i praksis, og de bør løbende udvikle deres kompetencer og forbedre byggelogistik i en mere effektiv, bæredygtig og grøn retning.
- ❖ Man kan evt. bidrage med forbedringer og supplementter til kapitlet, så det kan komme til at virke som alment teknisk fælleseje for byggeriet.

## 1.5 Personlige kompetencer og forbedring af bygge-logistik

Vejledningen har sat struktur på, hvordan bygge-logistik kan gennemføres, så man fået et mere stabilt og robust flow af leverancer og udførelse. Vejledningen viser også, hvor der er behov for udvikling og styrkelse af det tværfaglige samarbejde, som der er et stort behov for, efter en stilstand i udviklingen de seneste 20 år. Som noget særligt for denne vejledning er det samlet i kapitel 5, som bygger bro mellem kapitlerne 3 og 4 og kapitel 6.

Det foreslås, at udviklingen behandles i 3 dele: En direkte procesudvikling af fagpersoner og arbejdsgrupper, dokumentation af effekt på byggerier og bæredygtighed, samt forslag til ledelses-, virksomheds-, uddannelses- og sektorudvikling. De 3 dele er illustreret i det gule flet i vignetten til højre, som er fra figur 31. Modellens 3 punkter bruges til at behandle efterfølgende anbefalinger til udvikling. Der bør lægges mange kræfter i det sidste, da det er væsentligt, vanskeligt og tidskrævende at løse.



### Anbefalinger til udvikling

- ❖ Hvordan gennemføres og forbedres uddannelse, læring og træning i bygge-logistik for alle typer af aktører i dag og i fremtiden?
- ❖ Hvordan integreres digitaliseringen i balance med de fysiske arbejdsopgaver i de 14 basis-logistikaktiviteter, og hvordan hænger de sammen?
- ❖ Hvordan færdiggøres de 14 basis-logistikaktiviteter med mere operationelle og illustrative dele, som kan suppleres med instruktioner og videofilm?
- ❖ Hvordan dokumenteres god bygge-logistik og udvikling på byggerier i forhold til produktivitet, arbejdsmiljø, bygge-logistik og bæredygtighed?
- ❖ Hvordan motiveres og udbredes bottom-up leadership, som skaber god flow i produktion, leverance og udvikling i forhold til top-down strategier?

Forslag til procesudvikling er inspireret af Gemba Kaizen, Den selvstyrende byggeplads og BygSol. Under benævnelsen 'Construction Gemba Kaizen' eller 'Bottom-up Leadership in Construction' foreslås den udbredt til alle typer innovative medarbejdere i bygge-logistik. Det foreslås, at udviklingen omfatter: Personlig udvikling med små stadige forbedringer, procesudvikling ved samarbejde i arbejdsgrupper samt udvikling af koncepter, vejledninger, instruktioner og videofilm.

Dokumentation af effekt er vigtig, fordi der kun findes få dokumenterede erfaringer fra byggerier med god bygge-logistik, og fordi udviklingen skal bygge på fakta og ikke alene på hypoteser og visioner. Det foreslås, at der gennemføres egevaluering af bygge-logistik på mange byggerier, og at det sker for hvert lodret tidssnit mellem hovedfaserne eller for hvert logistikafsnit, som vist i vignetten til højre, som er fra tabel 3. Der gives desuden forslag til benchmarking af produktivitet, bygge-logistik og bæredygtighed.

Ledelses-, virksomheds-, uddannelses- og sektorudvikling skal understøtte den direkte procesudvikling af medarbejdere og dokumentation af effekt. For hvert af de 4 områder gives der en liste af forslag, og for sektorudvikling kan fremhæves følgende udviklingsspørgsmål:

Logistikafsnit:	I. Krav i fase A & B	II. Bygningsdel	III. Udførelse	IV. Byggeplads	V. Lev. Logistik	VI. Industri	VII. Ledelse & samarb.	Erfaringer
1. Markedskrav								
2. Brugerkrav								
3. Egenskaber								
4. Aktiviteter								
5. Informatik								
6. Ressourcer:								
• Byggevarer								
• Materiel								
• Afleid								
7. Økonomi								
Erfaringer								i, ii, iii, iv

Bemærkning: i) proceserfaringer, ii) resultater, iii) planer for næste fase og iv) justeringer af foregående evalueringer.



- Hvordan kvalificeres og kvalitetssikres vejledningen nu og i fremtiden, så den kommer til at virke bredt i byggesektoren som alment teknisk fælleseje?
- Hvordan kan erfaringer om god byggelogistik dokumenteres på byggerier og åbent formidles som grundlag for opbygning af en bedre praksis i byggelogistik?
- Hvordan kan anvendelsen af vejledningen og erfaringer i god byggelogistik udbredes til større dele af byggeriet, så det forbedrer produktivitet, arbejdsmiljø, byggelogistik og bæredygtighed på alle typer byggerier?
- Hvordan kan man balancere top-down, bottom-up, push og pull og få et bedre, mere jævnt og robust flow i planlægning, udførelse og udvikling?

## 1.6 Videngrundlag, teorier, krav og historik

I videngrundlaget i kapitel 6 vises resumeer af udvalgte publikationer om produktionslogistik, byggeproces og byggelogistik i et historisk perspektiv, som afsluttes med krav i dansk lovgivning. Herfra kan man udtrække viden, teorier, erfaringer og krav til byggelogistik i praksis.

*Produktindustrien internationalt.* Udgangspunktet er den internationale produktindustri tilbage fra 1950'erne, og hvordan Toyota Production System (TPS) blev praktiseret både som top-down strategier og bottom-up udvikling, og som skabte en kraftig produktivetsforbedring. TPS blev inkluderet som del af et top-down management system kaldet Lean Production, som blev bredt anvendt i produktionsindustrien, og senere suppleret med andre management systemer som fx Time-driven activity-based costing (TDABC).

*Byggeindustrien internationalt.* Den relaterede udvikling af byggeproces og byggelogistik på internationalt niveau tog hurtigt læring af det. Det blev transformeret til Lean Construction og suppleret med fx Last Planner System (LPS), model for Transformation, Flow and Value (TFV) og Location-based Management System (LBMS). Nordiske forskere og førende byggefolk var meget aktive deltagere i denne udvikling, og det blev fx underbygget med modeller for byggelogistik, tværfagligt samarbejde og bæredygtig transport.

*Trimmet Byggeri i Danmark.* I Danmark blev det oversat til Trimmet Byggeri og skabelsen af Lean Construction DK. Her var Sven Bertelsen, Niras frem til sin død den 8/9 2019 en glødende ildsjæl for udbredelse i både bøger og praksis. Lean Construction, men især byggelogistik, har dog endnu ikke fået den store effekt på produktiviteten i dansk byggeri. Udviklingen har været meget styret af en forskningsmæssig tilgang og top-down management strategier. Den Selvstyrende byggeplads, BygSoL og senest bottom-up leadership har kun haft meget ringe plads i udviklingen.

*SBI procesforskning.* I perioden fra 1960-2020 har SBI udgivet omkring 92 procespublikationer, hvoraf langt de fleste er udgivet i de seneste 20 år (5 % i 1960-89, 11 % i 1990-99, 37 % i 2000-09 og 47 % i 2010-20). Af disse udgør byggelogistik kun 4 publikationer, hvoraf den første er fra 1972, og de 3 seneste er fra 1995-99 i tilknytning til SBI-anvisning 191 'Introduktion til byggelogistik'. Først i 2014 kom der fornyet gang i forskning i byggelogistik, som begyndte med projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis', der er baggrund for denne vejledning. Det blev i forløbet inspiration til følgende 4 projekter i 2017-21 (se afsnit 6.5.4):

- 'Construction Supply Chain Management' er et erhvervsphdprojekt hos M T Højgaard.
- 'BLOXHUB Tværfaglig Byggeskole' er et samarbejde med 5 universiteter og skoler og BLOXHUB.
- 'Japan-DK Seminar 'Gemba Kaizen and i-Construction' blev afholdt den 13/9 2019 i København og er rapporteret i SBI 2020:13.
- 'Effektiv styring og håndtering af byggematerialer' er et TI-ledet projekt om udvikling af 4 guidelines, pixihæfter eller YouTube i byggelogistik.

Kapitlet slutter med en oversigt over regler og vejledninger i byggelogistik fra myndigheder. Her står der noget om byggelogistik, byggepladsen og udførelse i bygningsreglementet (BR18) bestemmelse 7, i TBST bekendtgørelser om almene boliger og nedrivning af statsbyggeri samt i almindelige betingelser for bygge- og anlægsvirksomhed (AB18). Desuden findes en vejledning i byggelogistik fra EBST, og bidrag til bæredygtighedsklasser fra byggepladsen i vejledning fra TBST. Disse og kommende krav til byggelogistik fra myndigheder skal man altid inkludere i kravene til byggelogistik på byggerier i Danmark.

**Anbefalinger til videngrundlaget:**

- ❖ Fagfolk, ledere og andre som vil bidrage til forbedring af byggelogistik og personlige kompetencer kan med fordel læse kapitel 6. De kan her danne sig en historisk forståelse for byggelogistik, og de kan evt. selv læse disse og anden aktuel litteratur, som kan bidrage til forbedring og udvikling.
- ❖ Forskere og lærere som vil forske og uddanne i byggelogistik bør tilegne sig den historiske baggrund om byggelogistik i kapitel 6 eller lignende, og de kan evt. supplere den med kritiske bemærkninger og supplementter gennem eget litteraturstudie.
- ❖ Man kan evt. bidrage med forbedringer og supplementter til kapitlet, som kan virke som alment teknisk fælleseje for byggeriet.



2

# **BYGGERIETS ORGANISERING OG DATAPLATFORME**

## 2 BYGGERIETS ORGANISERING OG DATAPLATFORME

Kapitel 2 giver et overblik over byggeriets generelle principper for organisering og dataplatforme, som bygger på den historiske gennemgang af videngrundlaget i kapitel 6. Dette overblik lægger samtidig op til beskrivelsen af den fælles forståelsesramme og ledelse af bygge-logistik i kapitel 3 og de efterfølgende kapitler, som folder beskrivelsen og udviklingen af bygge-logistik ud.

Kapitel 2 er beskrevet i følgende afsnit, hvor der indledes med byggeriets sektorer og fase-modeller og sluttes med en afgrænsning af aktivitetskæder, bygningsdele og dataplatforme:

- 2.1 Byggeriets sektorer og hoveddele.
- 2.2 Byggeriets fase-modeller, aktører og organisering.
- 2.3 Aktiviteter, strømme og lokationsstyring.
- 2.4 Bygningsdele, rum, gentagelser og lokationer.
- 2.5 Dataplatforme om byggeriets processer og produkter.

Byggeriet kan opdeles i 5 sektorer og hoveddele, som omfatter de 2 ydre rammer og de 3 dele i leverance-kæden: Reguleringsdel, videndel, industrisektor, byggesektor og ejendoms-sektor. Byggevarer og færdige bygninger er eksempler på leverancer mellem de tre sektorer i leverance-kæden, som går fra venstre mod højre. I modsat retning kan leverance-kæden beskrives som en krav- og købskæde.

Byggesektoren har i mange år arbejdet efter en serielforståelse af byggefaserne, hvor de enkelte faser gennemføres i rækkefølge uden overlappende led og uden forbindelse til industrisektoren. Fase-modellen er i vejledningen beskrevet som en praksis-model med parallelle faser, som følger dagens praksis i byggeriet. I den er industrisektoren blevet inkluderet, og faserne A, B og C overlapper indbyrdes og i forhold til industri- og ejendomssektoren. Aktør-roller og organisationsformer kan ikke fastlægges generelt, men bør specificeres konkret for hvert byggeri.

Aktiviteter er et centralt element i byggeriets organisering. Aktivitets- og leverance-kæder beskrives i forhold til de enkelte bygningsdele og lokationer, samt i forhold til de vertikale og horisontale procesforløb. Lokationsstyring (LBMS) kan skabe den nødvendige balance i tids- og aktivitetsstyring og mellem pull og push i procesforløb og strømme. LBMS kan kobles på de enkelte bygningsdele, aktiviteter, opgaver og leverance-kæder. Krav, specifikationer, styring og opfølgning kan kobles sammen, så de understøtte stadig optimering og læring.

Det aktuelle byggeri kan opdeles i bygningsdele, som fx omfatter klimaskærmen, tekniske anlæg, funktionsrum og udearealer. De kan kopieres og gentages på forskellige lokationer i byggeriet, som bl.a. tidsstyres i LBMS. Til de enkelte bygningsdele er der leverance-strømme af byggevarer, materiel og affald, og sammen er de centrale fysiske objekter i bygge-logistik.

Forskellige dataplatforme knyttes til aktivitets-, leverance- og bygningsdele, og de bruges både i kravformulering, specifikation, styring, opfølgning og læring. I vejledningen arbejdes med følgende 9 dataplatforme: 1) Marked og normer, 2) Brugere og ejere, 3) Bygninger og kvalitet, 4) Aktiviteter og aktører, 5) Informationer og digitalisering, 6) Ressourcestrømme:

Byggevarer, materiel og affald, 7) Økonomi og produktivitet, 8) Læring og forbedring samt 9) Forskning og uddannelse. De har sammenhæng med 'De syv strømme' i Trimmet Byggeri.

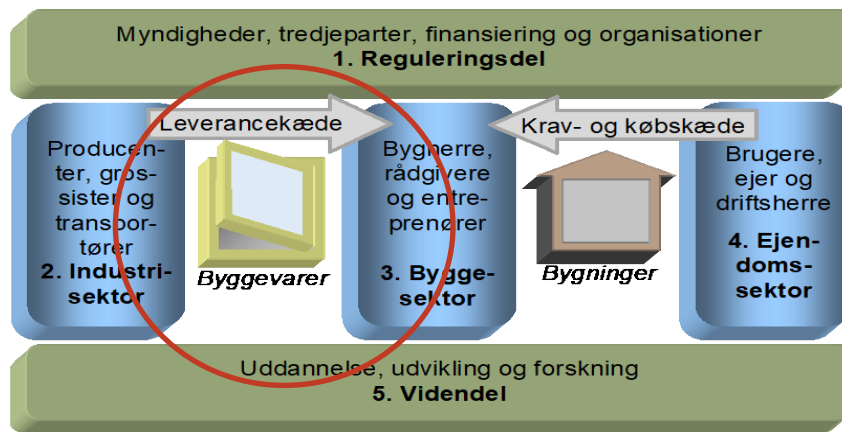
#### **Anbefalinger til byggeriets organisering**

- ❖ Aktører med relation til byggelogistik bør have nødvendig indsigt i byggeriets processer herunder fasemodeller, aktørgrupper og lokationsstyring samt kunne forstå den samlede procesmodel.
- ❖ De bør også have nødvendig indsigt i bygningsklassifikation og opdeling i bygningsdele, rum, gentagelser og lokationer herunder produktenheder til byggelogistik.
- ❖ De bør også have nødvendig indsigt i de 9 dataplatforme om byggeriets processer og produkter, og hvordan de kan bruges i planlægning, gennemførelse, opfølgning, evaluering, læring, uddannelse og udvikling.

## **2.1 Byggeriets sektorer og hoveddele**

Byggeriet kan opdeles i 5 sektorer eller hoveddele, hvor reguleringsdelen og videndelen udgør de 2 ydre rammer, og hvor byggeriets leverancekæde kan deles i: Industrisektoren (inklusive grossister og transportører), byggesektoren og ejendomssektoren. Reguleringsdelen omfatter de regler, normer, krav og vejledninger som myndigheder, tredjeparter, finansiering og organisationer lægger ned om byggeriets leverancekæde. Videndelen omfatter skabelse af viden, færdigheder og kompetencer fx gennem forskning, udvikling og uddannelse, som kan understøtte byggeriet.

I leverancekæden leverer industrisektoren materialer, byggevarer, systemer, værktøjer, maskiner, materiel samt kommunikations- og Edb-udstyr til byggeriet, og de kan leveres af grossister og transportører. Samtidig håndterer de også returgods og affald, som kan genbruges, ombearbejdes eller deponeres. Denne indsats håndteres af producenter, grossister og transportører, som har hver sin rolle i det vidt forgrenede leverancesystem. Andet led i leverancekæden er byggesektoren, som planlægger og udfører det samlede byggeri inden for rammerne af byggeriets regler og normer samt ejernes og brugernes ønsker og forventninger. Arbejdet her håndteres af bygherrer, rådgivere og entreprenører herunder byggeledere, underentreprenører, byggesjak og installatører. De overdrager det færdige byggeri ved en afleveringsforretning til ejendomssektoren, som håndterer byggeriets drift og vedligehold samt dets daglige brug og anvendelse. Ved renovering, transformation og nedrivning fuldføres byggerierne deres livscyklus, og de fysiske objekter føres tilbage til genanvendelse eller deponering, som håndteres af producenterne.



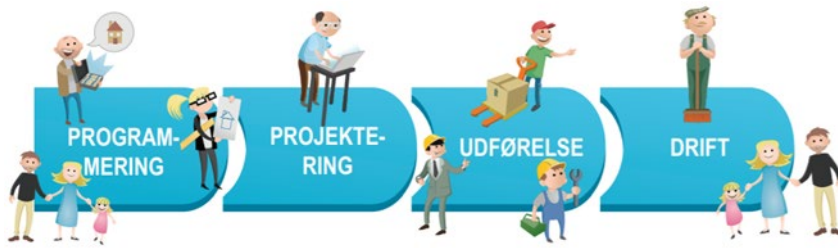
**FIGUR 1.** Byggeriet kan opdeles i 5 sektorer eller hoveddele, hvor reguleringsdelen og videndelen sætter de 2 ydre rammer, og hvor byggeriets leverancekæde kan deles i: Industrisektoren, byggesektoren og ejendomssektoren. Leverancekæden går mod højre, mens krav- og købskæden specificeres fra højre mod venstre. Byggevarer og færdige bygninger er eksempler på leverancer mellem dem. Desuden indeholder det også transformationerne mellem dem. Området for byggeledelse er angivet med rød cirkel.

Leverancekæden, som beskrives fra venstre mod højre, kan også beskrives i modsat retning som en krav- og købskæde, som begynder i ejendomssektoren, går over byggesektoren og slutter i industrisektoren. Se illustration af de fem sektorer og hoveddele i figur 1 og uddybningen heraf fx i publikationerne [Bang et al., 2001], [Sørensen et al., 2001], [Beim et al., 2001] & [Hansen et al., 2001].

## 2.2 Byggeriets fasemodeller, aktører og organisering

Parterne i byggesektoren har i mange år arbejdet efter en seriel forståelse af byggefasernes sammenhæng, hvor de enkelte byggefaser gennemføres i rækkefølge som i en kæde med ikke overlappende led. Det illustreres fx som vist i figur 2, hvor kæden består af følgende 4 faser/led: Byggeprogram, Projektering, Udførelse og Drift [Kock et al., 2011]. Kæden kan også beskrives i følgende 5 faser/led, hvor forslagsfasen skydes ind mellem program- og projekteringsfasen: Programfasen, Forslagsfasen, Projekteringsfasen, Udførelsesfasen og Brugsfasen [ABR18, 2018]. Fasemodellen kan også foldes yderligere ud for de første faser, når fokus er på rådgivning, og hvor den her er sammenstillet med det først eksempel: Byggeprogram (Initiativ/præ-projekt, Ideoplæg, Byggeprogram), Projektering (Dispositionsfor-slag, Projektfor-slag, Udbudsprojekt, Udførelsesprojekt), Udførelse (Gennemførelse af byg-geri) og Drift (Afløring, drift og evaluering) [Bygningsstyrelsen, 2019].

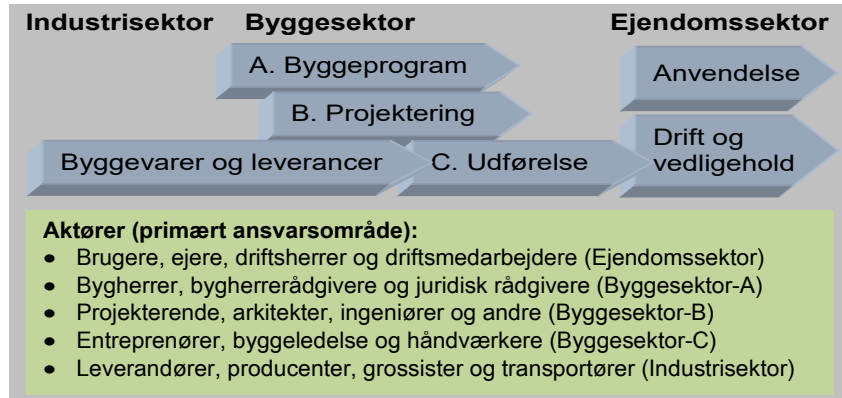
Som det ses heraf skifter navnene lidt, og detaljeringen af kæden er afhængig af behov og fokuspunkt. Desuden ses, at der er en kobling til ejendomssektoren ved fasen 'Drift', mens der ikke er en synlig kobling til industrisektoren. En anden interessant iagttagelse er, at der i den anvendte model for årtier tilbage kun var knyttet én aktør til hver fase som fx: Byggeprogram/byggherren, Projektering/rådgivere og Udførelsen/entreprenører. Der er noget der tyder på, at man dengang har tænkt faserne i forhold til organisering i fagentrepriser.



**FIGUR 2.** Byggeriets fasemodel fra Værdibygs debatoplæg om byggeriets fase-skift [Kock et al., 2011].

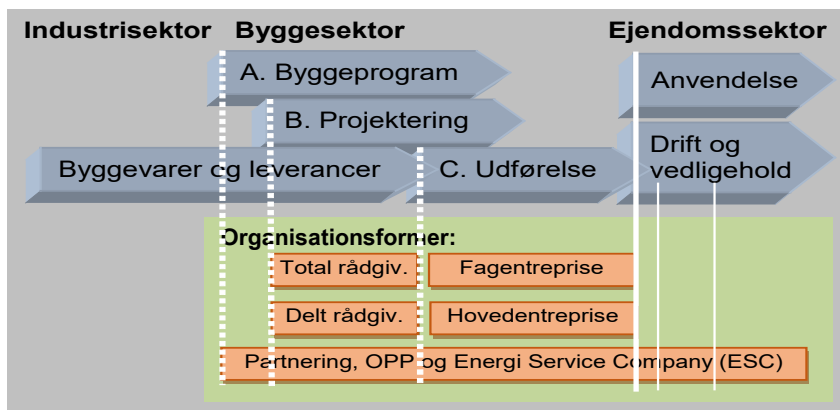
Op gennem årene er aktørerne blevet mere specialiserede, og der er sket en skridning af de involverede aktører i de enkelte faser. Fasemodellen tilpasses efterhånden til flere og flere organisationsformer. Samtidig sker der i praksis en overlapning mellem de enkelte faser, så de nu kan beskrive som løbende parallelt i større dele af byggeriet. I forhold til bygge-logistik ses der desuden et behov for en bedre fasekobling tilbage til industrisektoren, samt en ud-foldning af faserne, som passer til behovene i bygge-logistik.

I forhold til dagens praksis er fasemodellen i vejledningen beskrevet i en parallel praksis-model, som vist øverst i figur 3, hvor industrisektoren er inkluderet, og hvor faserne A, B og C overlapper indbyrdes og i forhold til industri- og ejendomssektoren. Da aktørernes opgaver og ansvar kan skifte fra byggeri til byggeri og specialiseringen samtidig øges, er det ikke muligt i praksis at definere en generel rollefordeling mellem aktørerne, der følger denne praksismodel. Man må i stedet specificere rollefordelingen fra byggeri til byggeri i forhold til de aktuelle behov og valgt organisationsform. Man kan heller ikke definere en generel sammenhæng mellem praksismodellen og valget af organisationsformer, idet dette valg afhænger af forskellige andre faktorer.



**FIGUR 3.** Fasemodellen er vist øverst som en praksismodel udledt fra dagens praksis, som både dækker industri-, bygge- og ejendomssektoren, men som har fokus på byggesektoren. Nederst er vist forskellige typer af aktører, hvis roller ikke kan forhåndsdefineres i forhold til praksismodellen, men bør specificeres efter behov og valgt organisationsform og andet i det aktuelle byggeri.

Se eksempler på organisationsformer i figur 4. I tilknytning hertil foreslås det, at man uafhængig af organisationsform som minimum altid indlægger en projektstatus ved starten af hver af faserne A, B og C, samt ved afleveringsforretningen, 1-års og 5-års eftersyn. Disse 6 lodrette snit er vist i fasemodellen i figur 4, hvorved det er muligt at sammenligne de enkelte organisationsformer. Afhængig af byggeri kan der være behov for at indbygge andre status-snit.



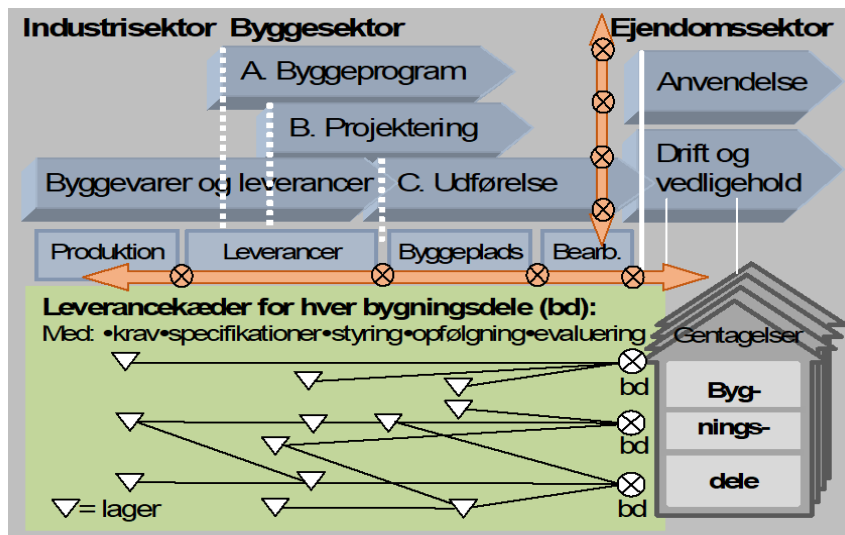
**FIGUR 4.** Fasemodellen er overført fra figur 3 og vist øverst, og nederst er vist eksempler på forskellige organisationsformer. Valget af organisationsform skal ske i forhold til det aktuelle byggeris behov. De 6 lodrette snit vist med stiplede eller fuldtoptrukne hvide linjer, er forslag til, hvornår man for alle organisationsformer som minimum bør udføre en projektstatus. De 3 hvide linjer til højre er henholdsvis afleveringsforretning, 1-års og 5-års eftersyn.

## 2.3 Aktiviteter, strømme og lokationsstyring

Planlægning, leverancer og udførelse gennemføres i aktiviteter, som kan sammenkobles i aktivitetskæder, der beskrives i 2 dimensioner. Den ene dimension indeholder alle de forskellige bygningsdele og rum, som udgør det samlede byggeri i en fysisk forståelse, og som aktørerne udfører. I afsnit 2.4 beskrives afgrænsningen af disse bygningsdele, rum, gentagelser og lokaliteter, og det er der, hvor bearbejdningen af det færdige byggeri foregår. Den anden dimension indeholder procesforløbet med programmering, projektering, produktion, logistik (transport, lagre og byggeplads), bearbejdning samt kontrol af leverancer fra byggevarer frem til en given færdig bygningsdel. Aktivitetskæderne følger strukturen i fasemodellen, og dertil er koblet aktøransvar, som vist i figur 3. Aktiviteter er dermed de centrale elementer i organiseringen af byggerier, som relateres til fasemodellen, aktøransvar, leverancekæder, procesforløb og bearbejdningssteder på bygningsdele.

Med henvisning til bl.a. Just-in-Time (JIT) og Last Planner System (LPS) anbefaler Lean Construction, Trimmet Byggeri og andre (se kapitel 6), at strømme af leverancer trækkes af behovet for bearbejdningen på bygningsdele. Det forudsætter, at leverancesikkerheden kan fastholdes gennem en robust byggelogistik, så manglende leverancer ikke stopper bearbejdningen på bygningsdelene. Det angives også, at man i sin strategi bør stræbe efter at minimere lagre og spild, samt reducerer omkostningerne og forbedre produktiviteten, men at det er svært at opnå i praksis i byggeriet, som man gør det i produktionsindustrien. I byggeriet kan det bl.a. skyldes manglende kompetence i fx JIT og LPS, usikker planlægning, tung kommunikation og ønsker om store lagre, som man erfaringsmæssigt er mere trygge ved. Det kan også skyldes, at disse logistikteorier er udviklet til stationær produktion på fabrikker, mens de er svære at bruge på flytbare produktioner, som er typisk for byggeriet [Lundesjö et al., 2015].





**FIGUR 5.** Leverancekæderne beskrives i 3 dimensioner: Bygningsdele/gentagelser, leveranceforløbet (produktion – bearbejdning) og styringsforløbet (program, projektering, udførelse og aflevering samt evaluering). Der stræbes efter balance mellem pull og push både lodret og vandret (↔) med udgangspunkt i bearbejdningen på de enkelte bygningsdele og med status for hvert ⊗. Lokationsstyring kan være en velegnet metode til at styre tid og aktiviteter og skabe løbende optimering og læring.

Førende rådgivere og entreprenører har de senere år arbejdet med lokationsbaseret tidsplanlægning (Location-based Management System, LBMS) både i planlægning og i den daglige styring i byggesjak og fagentrepriser. Vi kalder det i vejledningen lokationsstyring (LBMS). Den har været brugt i Virtuel Design and Construction (VDC) sammen med andre BIM-værktøjer. Positive erfaringer herfra har været formidlet på workshops og fra byggesager i projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis', se afsnit 6.5.4. Der er noget som tyder på, at lokationsstyring er velegnet til at skabe den ønskede balance mellem pull og push horisontalt i leverancekæden. Samtidig ser det ud til, at lokationsstyring også kan skabe en balance i den vertikale tids- og aktivitetsstyring, fordi sammenhænge i krav, specifikationer, styring, opfølgning og evaluering skaber en løbende optimering og læring.

I lokationsstyring forudsættes, at opgaverne og deres varighed klart beskrives for hver bygningsdel, og at opgaver kopieres til bygningsdele, der udføres med samme opgaver og byggesjak, men som har en anden lokation. Bygningsdelene kan beskrives i hierarkier, som dækker hele byggeriet. Strømme af byggevarer, materiel og affald kan beskrives med transporter og lagre i forskellige leverancekæder mellem råvarer og udførelse på de enkelte bygningsdele og lokation. Hertil knyttes krav, specifikationer, styring, opfølgning og evaluering i projektering og udførelse, som hænger sammen med hvert enkel bygningsdel og leveranceforløbet. Det skaber samtidig gode rammer for en stadig optimering og læring fra lokation til lokation samt til næste byggeri, som byggeparterne bør udnytte. Denne modellering er illustreret i figur 5.

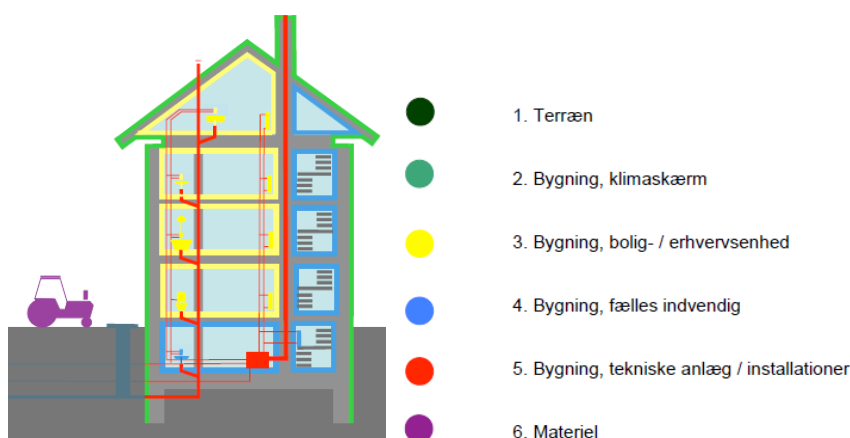
## 2.4 Bygningsdele, rum, gentagelser og lokationer

Bygningsdele og rum indgår i hierarkiet af byggeriers fysiske objekter, som kan klassificeres efter forskellige systemer som fx Bygnings- og Boligregistret (BBR), SfB, Forvaltnings Klassifikation, Cuneco Classification System (CCS) og BIM 7AA (Arkitema, C.F. Møller, Aart, Arkitekt skolen Aarhus, Cubo, Friis & Moltke, Link arkitektur og Schmidt Hammer Lassen Architects).

I BBR arbejdes med 4 niveauer: Ejendom, bygning og bolig- og erhvervsenhed samt etage [BBR, 2018].

I SfB-systemet arbejdes med 8 niveauer for bygningsdele: 1) Bygningsbasis (terræn, fundamenter, terrændæk), 2) Primære bygningsdele (terræn, bygningsdel, ydervægge, indervægge, dæk, trapper, altaner, tage), 3) Kompletterende bygningsdele, 4) Overfladebygningssdele, 5) VVS-anlæg, 6) Elektriske og mekaniske anlæg, 7) Inventar og 8) Øvrige bygningsdele [BYG-ERFA, 2019].

Forvaltnings Klassifikationen viser i tabeller klassifikation af processen, bygninger, egenskaber, økonomi/kontoplan og bygningsdele [LBF, 2015]. I kontoplanen arbejdes med 6 dele som vist i figur 6: 1) Terræn, 2) Bygning, klimaskærm, 3) Bygning, bolig-/erhvervsenhed, 4) Bygning, fælles indvendig, 5) Bygning, tekniske anlæg / installationer og 6) Materiel. For bygningsdele arbejder de med 2 hovedgrupper og flere undergrupper: Bygningsdele i terræn og bygningsdele i bygning. Den sidste hovedgruppe er opdelt i 3 undergrupper: Konstruktion (21 bygningsdele), tekniske anlæg/installationer (15 undergrupper og 35 bygningsdele) og inventar (17 bygningsdele).



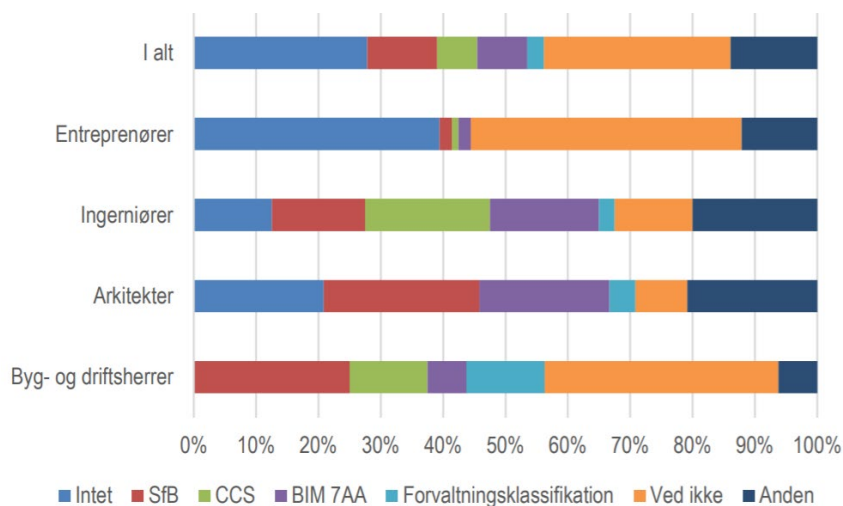
**FIGUR 6.** Forvaltningsklassifikationen opdeler kontoplanen for byggearbejde i 6 dele, som er vist med de forskellige farver i illustrationen [LBF, 2015].

I CCS arbejdes bl.a. med: Rumanvendelse, bygningsværksanvendelse, materiel, aktører, byggevarer og bygningsdele. Bygningsdele er delt i de 3 hovedsystemer: Funktionelle systemer, tekniske systemer og komponenter. De funktionelle systemer består fx af 19 bygningsdele, som her er samlet i 4 områder: Terræn (1 bygningsdel A), Klimaskærm (3 bygningsdele B – D), Installationer (14 bygningsdele E – R) og Indretning (1 bygningsdel S).

I BIM 7AA har man udarbejdet specifikationer for udvalgte bygningsdele, som her er samlet i 4 hovedgrupper:

- Rum: Dør, gulv, inventar, loft og rum.
- Klimaskærm og råhus: Tag, trapper, vinduer, væg, værn, betonbjælke, betondæk, betonsøjle, betonavæg, fundamentet, stålbjælke og stålsøjle.
- Installationer: El-føringsvej, el-komponent, ventilationsføringsvej, ventilationskomponent, VVS-føringsvej og VVS-komponent.
- Landskab: Overflader, beplantning, trappe, støttemur og inventar.

I figur 7 er vist, hvilke klassifikationssystemer, der anvendes i byggeriet i 2018.



**FIGUR 7.** Byggeriets anvendelse af klassifikation efter 4 udvalgte systemer. Procenttal angiver, hvilket klassifikationssystem respondenter i hver faggruppe anvender [Sørensen et al., 2018, Figur 2].

Disse erfaringer er i forhold til vejledningen samlet i følgende klassifikation over fysiske objekter (Se også om blokmodellen [Sørensen et al., 2004]):

Overordnede objekter:

- Ejendom og byggegrund.
- Bygninger og konstruktioner.
- Etager og funktionsenheder, fx bolig- og erhvervsenhed.

Operationelle objekter i bygning og terræn - fælles kaldes de bygningsdele:

- Bygningsdele i klimaskærm og indvendige konstruktioner.
- Tekniske anlæg og fordelingssystemer i bygning.
- Funktionsrum i bygning med apering og inventar.
- Udvendige arealer, installationer og småbygninger i terræn.

Leveranceobjekter:

- Byggevarer og materialer.
- Materiel og udstyr på byggepladsen.
- Affald og anden bortskaffelse.

De 3 første punkter er de overordnede objekter, som viser de store funktionsområder, som ejendomssektoren anvender. De 4 næste punkter er de operationelle objekter for henholdsvis bygninger og udearealer, som udførelsen og bearbejdningen retter sig imod i byggesektoren. Vi kalde dem fælles bygningsdele, som også inkluderer funktionsrum og udearealer. Opdelingen i de 4 punkter er tilpasset forskellige typer af aktørgrupper og bygningsdele, så formidling og læring kan blive præcis. I forhold til deres proces- og datamæssige beskrivelse er der derimod ingen væsentlige forskelle mellem de 4 punkter. De 3 sidste punkter er de leverancer, der tilflyder, forbruges og fjernes fra de operationelle objekter på byggepladsen, og som industrisektoren leverer eller genanvender. Det er de 4 + 3 sidste punkter, som bygge-logistik retter sig imod.

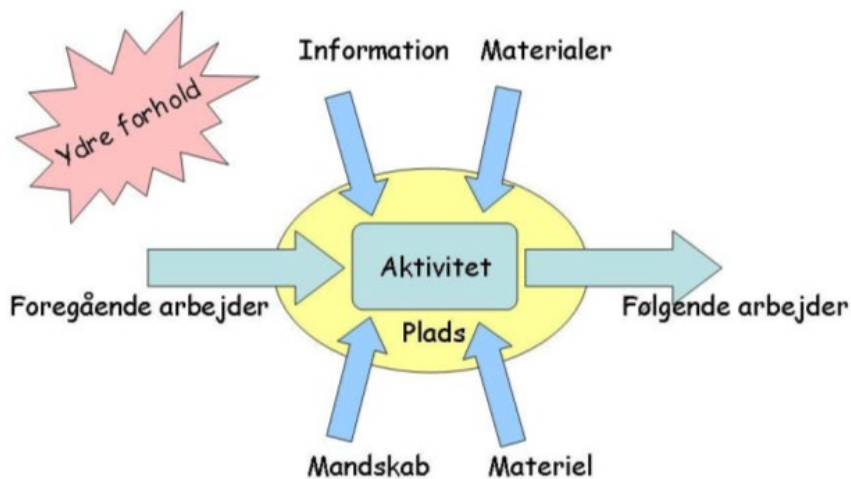
De 4 operationelle fysiske objekter kan som nævnt betegnes som bygningsdele, hvortil planlægning, aktiviteter, processer og leverancerne samt dataplatforme knyttes. Når en given bygningsdel er afgrænset og beskrevet med opgaver, aktører og data, kan den kopieres til andre lignende bygningsdele, som det aktuelle byggesjak udfører på forskellige lokationer gennem hele byggeriet. Disse kan betegnes som bygningsdelsenheder eller produktenheder

på byggeriet, som indgår i en produktionskæde af næsten ens bygningsdele. Dvs. at byggeriet produktionsmæssigt kan organiseres i forskellige bygningsdele med gentagelser i et antal enheder på forskellige lokationer, som byggelogistikken og lokationsstyringen retter sig imod.

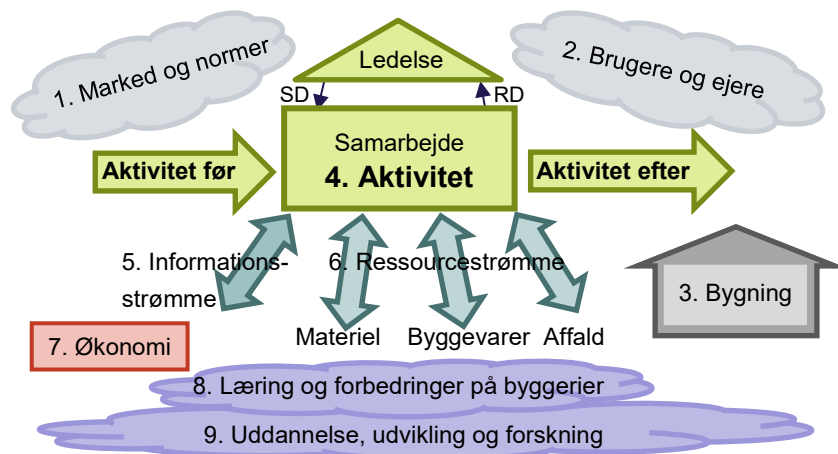
## 2.5 Dataplatforme om byggeriets processer og produkter

Til aktivetskæder og bygningsdele med gentagelser kan tilknyttes forskellige tværgående dataplatforme. I de seneste 40 år har de ofte været beskrevet som de ydre forhold og følgende 6 strømme til og fra en aktivitet: Ydre forhold (Regel-, ejendoms- og videndel), relationen til foregående og efterfølgende aktiviteter samt strømme af informationer, materialer, mandskab og materiel. Denne model kaldes 'De syv strømme' og er anvendt internationalt i Lean Construction og i Danmark i Trimmet Byggeri, som illustreret i figur 8.

I vejledningen er der fra de 7 strømme udtaget væsentlige typer af data, som er transformeret til 9 dataplatforme. De er beskrevet i forhold til strukturen i byggeriets 5 sektorer og fasemodellen i kapitel 2, og de bygger på den historiske udvikling af modeller og teorier, som er vist i kapitel 6. Dataplatformene indgår samtidig i et dokumentationshele, som kan bruges på tværs af byggeriets aktivetskæder og bygningsdele/gentagelser. Anvendelsen er her målrettet byggelogistik i forhold til fx krav, specifikation, styring, dokumentation, benchmarking og erfaringshåndtering, samt forbedringer. Dataplatformene kan fx omfatte data om logistik, produktivitet, miljø og udvikling af bæredygtigt byggeri. Dataplatform 1-3 er om krav til byggelogistik, dataplatform 4-7 er om styring af byggelogistik, mens dataplatform 8-9 er om forbedring af byggelogistik. Se illustration af dataplatformene i figur 9.



**FIGUR 8.** De syv strømme i Lean Construction og Trimmet Byggeri [Koskela, 2000] og [Bertelsen et al., 2009].



**FIGUR 9.** Dataplatformene 1-9 er om krav, aktivitetsstyring (aktiviteter og kæderne af aktiviteter til og fra bygningsdele/gentagelser på byggerier), strømme og økonomi samt forbedring af byggelogistik. Værdierne fastlægges ved indgangen til og ved udgangen af hver aktivitet som specificationsdokumentation (SD) og resultatdokumentation (RD). De bruges i samarbejde, styring og ledelse af aktiviteten på både strategisk, taktisk og operationelt niveau.

### 1. Marked og normer nationalt og lokalt

Det er viden om nationale og lokale love, normer, standarder, regler og krav. Det er viden om den lokale kultur, levevis og daglig praksis, som det aktuelle byggeri er en del af. Det er viden om branchevejledninger og praksis på det aktuelle byggeområde, samt hvordan rammerne er for finansiering af byggeri i lokalområdet. Denne viden har relation til reguleringsdelen i afsnit 2.1.

### 2. Brugere og ejere af byggeriet

Det er viden og data om det aktuelle byggeris kommende brugere, ejere og driftsfolk, hvad deres ønsker, behov og muligheder er, og hvordan de evt. kan samarbejde med byggeparterne under byggeriets tilblivelse. Denne viden har relation til ejendomsdelen i afsnit 2.1.

### 3. Bygning, egenskaber og kvalitetsstyring

Det er viden og data om det aktuelle byggeris færdige bygningsdele, bygninger, udearealer og ejendommen som helhed, som er et resultat af arbejdet i byggeprocessen, og som afleveres til anvendelse, drift og vedligehold i ejendomsdelen. Det er viden og data om byggeriets egenskaber herunder bygningens æstetik, holdbarhed, bæredygtighed og samlede klimaaftryk, og hvordan den overholder Bygningsreglementet. Det er viden og data om kvalitetsstyringen af det aktuelle byggeri gennem hele byggeprocessen og om den samlede kvalitetsdokumentation mellem byggeparterne og ved afleveringsforretningen, 1-års og 5-års eftersyn til ejendomsdelen.

### 4. Aktiviteter, tid, aktører og arbejdsmiljø i processen

Det er viden og data om den samlede proces med planlægning, udførelse og levering samt alle dens aktiviteter og aktører herunder ledelse, styring og samarbejde. Det er viden og data om tidsforløb, aktørkompetencer og arbejdsmiljø samt organisering af den samlede byggeproces. I forhold til bygge-logistik er der særlig fokus på byggepladsen og dens opbygning, drift og nedrivning, samt dens samordning med logistikplanlægning, udførelse og levering.

## 5. Informationsudstyr, -strømme, -koordinering og digitalisering

Det er viden og data om digitalisering, kommunikationsudstyr, software og teknologier. Det er den overordnede viden og data om informationsstrømme, kommunikation, datahåndtering, datalagring og benchmarking ud fra fx tegninger, beskrivelser og beregninger, som beskriver det virtuelle byggeri og dets processer. Det er også koordineringen af viden og data mellem dataplatformene.

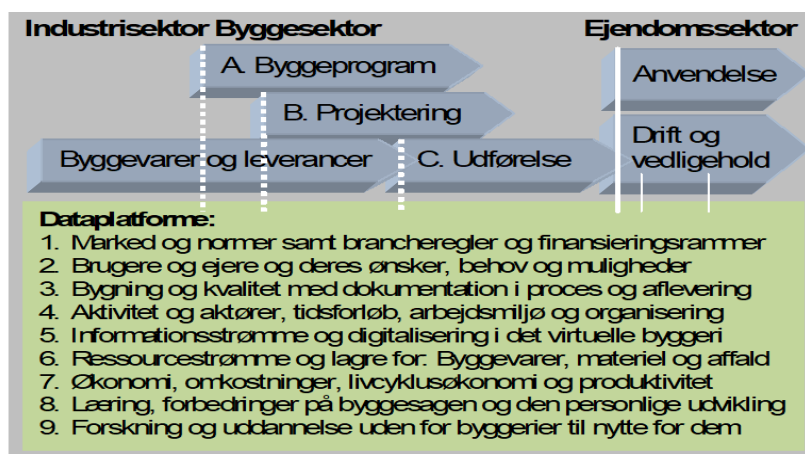
## 6. Fysiske ressourcer og deres strømme.

Er viden og data om de fysiske ressourcer der strømmer mellem industridelen og byggedelen og bliver indbygget i bygværket. I bygge-logistik er det et fokuspunkt i tilknytning til de fysiske transporter og lagre. Det drejer sig specifikt om:

- *Byggevarer og materialer.* Det er viden og data om alle de materialer, byggevarer og byggesystemer som indbygges i det aktuelle byggeri.
- *Materiel og værktøjer.* Det er viden og data om maskiner, kraner, stilladser, skure, værktøjer og andet materiel på byggepladsen, som bruges til at håndtere og bearbejde byggevarer og affald af personer på byggepladsen.
- *Affald og bortskaffelse.* Det er viden og data om nedrivning og bortskaffelse af returvarer, affald og jord til genbrug eller deponering herunder lagring og deponering på byggepladsen i forbindelse med miljøgodkendelsen.

## 7. Økonomi og produktivitet

Det er viden og data om det aktuelle byggeris forskellige omkostningsposter, den samlede økonomi, omkostninger i processen, forventet husleje, totaløkonomi og livcyklusøkonomi. Det er viden og data om dokumentation og forbedring af det aktuelle byggeris produktivitet (arbejds- og totalproduktivitet) og konkurrenceevne på bygge- og ejendomsmarkedet.



**FIGUR 10.** Fasemodellen overført fra figur 3 er vist øverst. Nederst er vist de 9 dataplatforme, som er tværgående i forhold til fasemodellen, aktivitetskæderne og bygningsdele/gentagelser. Aktørroller, afgrænsning af bygningsdele, kobling til dataplatforme og valget af organisationsform specificeres for hvert byggeri.

## 8. Læring og forbedringer

Det er den videnskabelse, som sker på byggepladsen og i leverance-kæder på det aktuelle byggeri, og som kan skabe en forsat forbedring på kommende byggerier og på den personlige kompetence. Det er viden og data om, hvordan der udvikles en lærende byggekultur i praksis, som fagligt og tværfagligt skaber stadige optimeringer, forbedringer og udvikling af

byggeriet. Det er viden og data om, hvordan der bygges bro til uddannelse og forskning i dataplatform 9.

### **9. Forskning og uddannelse**

Det er den videnskabelse, der sker i uddannelse på universiteter, i skoler, i organisationer og i virksomheder uden for det aktuelle byggeri, som giver aktørerne viden, færdigheder og kompetencer, som de kan anvende og videreudvikle på byggerier. Det er den videnskabelse, der sker gennem forskning og udvikling uden for byggerier, der kan nyttiggøres i uddannelse og på byggerier.





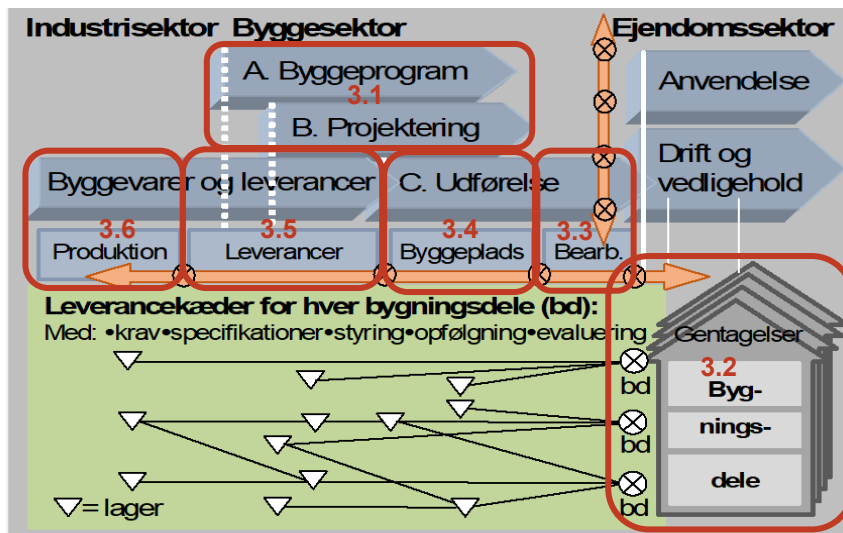
# **FORSTÅELESRAMME FOR ORGANISERING AF BYGGELOGISTIK**

### 3 FORSTÅELESRAMME FOR ORGANISERING AF BYGGELOGISTIK

Forståelsesrammen i dette kapitel bygger på de generelle principper for byggeriets processer og videndeling, som er beskrevet i forgående kapitel, hvor afsnit 2.4 er uddybet i afsnit 0, og hvor afsnit 2.3 er uddybet i afsnittene 3.1, 3.3, 3.4, 3.5 og 3.6. Der refereres desuden til den operationelle styring af god byggelogistik i praksis i kapitel 4 og oplæg til personlig udvikling og forbedring af byggelogistik i kapitel 5, samt det historiske videngrundlag i kapitel 6. Forståelsesrammen beskriver som 6 hovedområderne i byggelogistik, der vises som de 6 første afsnit i dette kapitel 3 (afsnittene 3.1-3.6). I sidste afsnit 3.7 samles de i samarbejde og ledelse af byggelogistik. Herved kommer kapitlet til at bestå af følgende afsnit:

- 3.1 I. Krav fra byggeprogram og projektering.
- 3.2 II. Bygningsdele, gentagelser og lokationer
- 3.3 III. Udførelse, bearbejdning og arbejdsstationer.
- 3.4 IV. Byggelogistik på byggeplads.
- 3.5 V. Leverandørlogistik og lagre.
- 3.6 VI. Industriproduktion og systemudvikling.
- 3.7 VII. Samarbejde og ledelse af byggelogistik.

Forståelsesrammens 6 første logistikafsnit er illustreret i figur 11. I de 2 første logistikafsnit gives et overblik over kravstrukturen i byggeprogram og projektering, samt krav og afgrænsning af bygningsdele og gentagelser på byggerier. Det er disse krav som trækker leverance-kæderne og procesforløbene for byggelogistik. I de næste 4 logistikafsnit beskrives det operationelle indhold i byggelogistik, hvor vi går baglæns i leverancekæden og beskriver muligheder og praksis for byggelogistik målrettet bygningsdele. Det indeholder en beskrivelse af byggelogistikens aktiviteter på byggepladsen og i leverancekæder for byggevarer, materiel og affald mellem industriproduktion og arbejdet på bygningsdelene. Det indeholder også en beskrivelse af muligheder for industriproduktion og systemudvikling, som føder og skubber leverancekæderne. I det 7. og sidste logistikafsnit slutes med en beskrivelse af godt samarbejde og ledelse af byggelogistik, som bygger på de 6 foregående logistikafsnit, og som knytter sig til de efterfølgende kapitler 4, 5 og 6.



**FIGUR 11.** Forståelsesrammen for byggelogistik beskrives i 6 logistikafsnit, som begynder med kravene i program og projektering. Herefter følger logistikafsnittene i leverancekæden baglæns fra bygningsdele og gentagelser til industriproduktion. Forståelsesrammens 6 afsnit er markeret med rød afgrænsning og afsnitsnumret i figuren. De 6 logistikafsnit indgår i samarbejde og ledelse af byggelogistik, som er 7. logistikafsnit i dette kapitel 3.

#### Anbefalinger til forståelsesrammen

Fagfolk og ledere, som vil arbejde med byggelogistik på et enkelt område fx et af de 7 logistikafsnit eller dele af disse, skal i forhold til deres ansvar:

- ❖ Have læst vejledningens beskrivelse eller lignende og forstået den, så de har et samlet overblik som rammerne for deres arbejde.
- ❖ Have en praktisk kompetence i at gennemføre de enkelte logistikopgaver i forhold til deres ansvar.
- ❖ Løbende træne og udvikle deres kompetence samt kunne lære den videre.
- ❖ Have mulighed for at bidrage med forbedringer og supplementer til vejledningen, som kan virke som alment teknisk fællesje for byggeriet.

Fagfolk og ledere, som vil forstå og anvende byggelogistik mere dybt og på mange områder, skal i forhold til deres ansvar selvstændigt kunne:

- ❖ Organisere aktivitetskæder og deres sammenhænge kvalificeret i forhold til dimensionerne: Bygningsdele, leveranceforløb samt styringsforløb.
- ❖ Håndtere indholdet i de 7 logistikafsnit og koordinere dem indbyrdes i et tværfagligt samarbejde og ledelse.
- ❖ Håndtere de 9 dataplatforme og koordinere dem indbyrdes samt i forhold til de 7 logistikafsnit for byggelogistik.
- ❖ Håndtere lokationsstyring med planlægning og opfølgning i hele processen i et samarbejde med de forskellige aktørgrupper på deres premisser.
- ❖ Håndtere forbedring af byggelogistik og personlig udvikling, som beskrevet i kapitel 5 og med henvisning til det historiske videngrundlag i kapitel 6 o.lign.

## 3.1 I. Krav fra byggeprogram og projektering

I dette afsnit gives et overblik over krav i byggeprogramfasen og specifikationer af byggelogistik i projekteringsfasen i hele leverancekæden fra bygningsdel til industriproduktion jf. figur 11. Krav og specifikationer kan også justeres senere under udførelsen samt ved evaluering og aflevering. En indledning til afsnittet er beskrevet i afsnit 2.3. Der henvises desuden til den operationelle styring i afsnittene 4.1, 4.2, 4.3 og 4.4 om henholdsvis regler, byggeprogram og projektering samt udbud af byggelogistik og justeringer er angivet.

Tabel 1. Overblik over krav- og specifikationspunkter for hver logistikindsats, som kan beskrives for hvert af de 4 tidspunkter i processen.

<b>Logistikindsatser:</b>	<b>Tidspunkt:</b>	<b>Program- krav</b>	<b>Projek- tering</b>	<b>Juste- ringer</b>	<b>Eval- ering</b>
<b>Afsnit 0 Bygningsdele:</b>					
<ul style="list-style-type: none"><li>• Afgrænsning af bygningsdele mv.</li></ul>					
<b>Afsnit 3.3 Bearbejdning:</b>					
<ul style="list-style-type: none"><li>• Organisering</li><li>• Klargøring</li><li>• Arbejdsstationer</li><li>• Aflevering</li></ul>					
<b>Afsnit 3.4 Byggeplads:</b>					
<ul style="list-style-type: none"><li>• Arealtyper og funktionsområder</li><li>• Indretning af byggepladsen</li><li>• Drift af byggepladsen</li><li>• Afrigning af byggepladsen</li></ul>					
<b>Afsnit 3.5 Leverancekæde:</b>					
<ul style="list-style-type: none"><li>• Håndtering af leveranceordre</li><li>• Pakning af leverancer til byggeplads</li><li>• Lagre og opbevaring</li><li>• Transporter, levering og returgods</li></ul>					
<b>Afsnit 3.6 Industriproduktion:</b>					
<ul style="list-style-type: none"><li>• Opdeling i leverancetyper</li><li>• Industriproduktion og systemer</li></ul>					

Som vist i tabel 1 kan krav og specifikationer til byggelogistik fx formuleres for hvert af 4 tidspunkter, og indholdet kan beskrives for hver af indsatserne i 5 afsnit.

## 3.2 II. Bygningsdele, gentagelser og lokationer

De enkelte bygningsdele, der bliver resultatet af byggeprocessen, bør trække de forskellige leverancekæder til, på og fra byggeriet, og samlet udgør de hele byggeopgaven. Det er også her, bygherren og bygningsbrugerne ser værdien af byggeprocessen og om resultatet kommer til at stå mål med deres forventninger og krav fra starten. Den første opgave i byggelogistik er derfor at opdele det aktuelle byggeri i forskellige bygningsdele, som kan være grundlaget for planlægning og udførelse af byggelogistik. Se indledende beskrivelse herom i afsnit 2.4. I efterfølgende afsnit 4.5 og 4.6 om operationel styring er beskrevet henholdsvis afgrænsning af bygningsdele og lokationsstyring.

## Opdeling af byggeriet i bygningsdele

Man kan fx opdele byggeriet i følgende forskellige typer af bygningsdele i bygninger og terræn, som har forskellig karakter, men andre opdelinger kan også anvendes:

- Bygningsdele i klimaskærm og indvendige konstruktioner.
- Tekniske anlæg og fordelingsystemer i bygning.
- Funktionsrum med aptering i bygning.
- Udvendige arealer, installationer og småbygninger i terræn.

## Gentagelser og lokationer

Byggeriet kan fx også afgrænses efter, hvilke byggesjak og fagentreprenører, der skal udføre arbejdet på hvilke bygningsdele, og hvordan man kan finde gentagelser og afgrænse dem fysisk, arbejdsmæssigt og lokationsmæssigt (stedet). Hvis det fx drejer sig om renovering af facader i boligblokke kan bygningsdelen fx afgrænses i forhold til facaderenovering, tagrenovering og indvendig renovering af fx badeværelser og afløbssystemer. For facader kan man fx vælge af underdele dem i 4 gentagende bygningsdele, som udføres af forskellige sjak, nemlig havefacader, indgangsfacader, gavlfacader og indvendige arbejder. Hvis vi som eksempel tager havefacaden kan den fx opdeles i et facadesnit for hver opgang, men den kan også yderligere opdeles i en gentagende bygningsdel for hver etage og lejlighed. Hvordan man vælger denne afgrænsning af gentagende bygningsdele, afhænger af det enkelte byggeri og dets organisering. Disse gentagende bygningsdele må hverken være for store eller for små, så man på den ene side ikke taber overblikket, og på den anden side har gode muligheder for at gennemføre en løbende opfølgning og læring.

### Fysiske objekter:

- Ejendom og byggegrund.
- Bygninger og konstruktioner.
- Etager og funktionenheder.
- Bygningsdele i klimaskærm:
  - Vindue og dør
  - Altan
  - Skodde
  - Facade med glas
  - Facade med plader
- Tekniske anlæg i bygning.
- Funktionsrum i bygninger.
- Udearealers dele og rum.
- Byggevarer og materiel.



**FIGUR 12.** Anvendelse af gentagelser på forskellige lokationer i byggelogistik er her vist på en renovering af facader på 4 almene boligbebyggelser på Amager. Et facadeudafsnit for en opgang med 4 etager på havesiden er valgt som gentagende enhed, der udføres af samme byggesjak, og som gentages på i alt 132 facadeudsnit med et taktslag på 3½ dage [Bertelsen, 2010].

På en facaderenovering af 4 forskellige almene boligbebyggelser på Amager, som bestod af 31 boligblokke på 4 etager med i alt 132 indgange, valgte man at opdele byggeriet i 4 typer bygningsdele for hver indgang. Man valgte ikke en underdeling i etager eller lejligheder, idet det blev for detaljeret, men man anvendte dem i detailplanlægningen af hver gentagende bygningsdel. Det gav følgende bygningsdele og gentagelser, hvor der var ét sjak for hver bygningsdel:

- Havefacade for hver indgang med følgende gentagelser: 132.

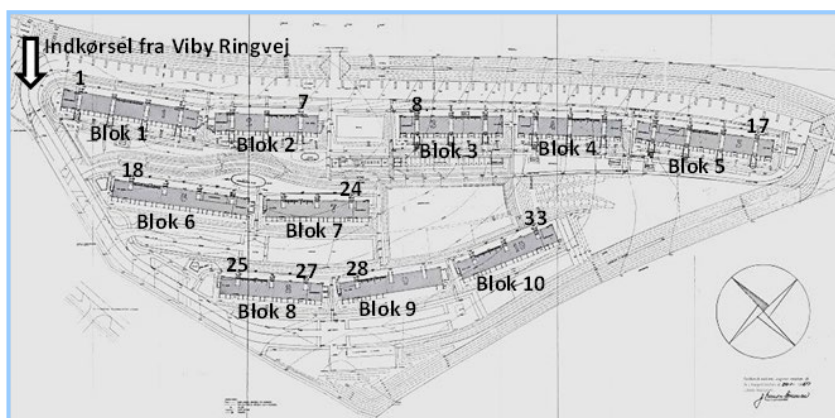
- Indgangsfacade for hver indgang med følgende gentagelser: 132.
- Gavlfacade med følgende gentagelser:  $31 \times 2 = 62$ .
- Indvendig snedkerarbejde med følgende gentagelser: 132 eller 8.110 vindues- og dørlysninger eller 61 vindues- og dørlysninger i gennemsnit per indgang.

I figur 12 er vist et eksempel med afgrænsning og beskrivelse af havefacaden fra en af disse bebyggelser, hvor man valgte et lodret facadeudsnit per opgang med alle fire etager som enhed for gentagelse i byggeprocessen for ét sjak. Sjakket kørte i begyndelsen med et takslag på  $3\frac{1}{2}$  dag, som det tog at udføre ét facadeudsnit per indgang. Det blev sidst i projektet reduceret til  $2\frac{1}{2}$  dag, og det var det samme for alle 4 bygningsdele og sjak. Det samlede timeforbrug for de 4 sjak og bygningsdele blev fra 1. til 4. bebyggelse reduceret med 35 %.



**FIGUR 13.** Indgangsfacade ved renovering af facader, badeværelser, faldstammer og udearealer i almen bebyggelse i Aarhus med 10 boligblokke på 4 etager. Her er hver indgang valgt som gentagelsesenhed for hver af de aktuelle bygningsdele, hvorfor bygningsdelslagret ligger udenfor hvert indgang.

Når indgangen til boligblokkene vælges som fælles enhed for gentagelser for flere bygningsdele kommer lagret af byggevarer, materiel og affald ofte til at ligge lige uden for indgangen. Et eksempel på det ses i figur 13, som er fra renovering af en almen boligbebyggelse i Aarhus, hvor bl.a. både facader, badeværelser og faldstammer samt udearealer blev renoveret. Bebyggelsen i Aarhus består af 2 almene boligafdelinger med 10 boligblokke, 33 opgange og 297 lejemål, hvor de 7 blokke er normalblokke og de 3 blokke er tilgængelighedsblokke. Renoveringen af normalblokkene foregik i følgende rækkefølge for blokke (indgange): 10, 9, 8, 7, 6, 1 og 5 (Indgang nr. 33-25, 24-18, 1-4 og 14-17). Herefter gennemførtes tilgængelighedsblokkene. Se situationsplan med numre på blokke og indgange i figur 14.



**FIGUR 14.** Ved renovering af 2 almene boligafdelinger i Aarhus er indgange valgt som fælles gentagelsesenhed for de forskellige bygningsdele, der renoveres. De 7 normalblokke gennemføres i følgende rækkefølge: Bløk 10, 9, 8, 7, 6, 1 og 5, og herefter gennemføres de 3 tilgængelighedsblokke 2, 3 og 4.

I disse 2 eksempler er vist, hvordan indgange i en bebyggelse af 4 etagers boligblokke er valgt som gentagelsesenhed fælles for flere bygningsdele. Hvis der fx i stedet er tale om parcelhuse og sommerhuse, som kan ligge i klynger på samme lokalitet eller på forskellige lokaliteter, så kan det enkelte hus vælges som fælles gentagelsesenhed for bygningsdele. Tales der derimod om et større forretningskompleks, et stort domicil eller et sygehusbyggeri kan man vælge de enkelte funktionsområder og etager som gentagelsesenheder.

#### **Forslag til fremgangsmåde**

Følgende fremgangsmåde kan foreslås for afgrænsning af bygningsdele, gentagelser og lokationer:

- *Bygningsdel.* Byggeriet opdeles i bygningsdele som fx følger den 4-delte hovedstruktur beskrevet ovenover.
- *Enhed for gentagelse.* Bygningsdele kan desuden opdeles i forhold til, hvilke konkrete byggesjak og fagentreprenører, der udfører arbejdet, og hvor man kan kopiere dem til gentagelser i byggeriet.
- *Lokation for gentagelse.* Hver bygningsdel og gentagelser beskrives, og gentagelsernes lokation fastlægges.

### **3.3 III. Udførelse, bearbejdning og arbejdsstationer**

Dette afsnit er andet afsnit i leverancekæden, når vi går baglæns fra bygningsdele til industriproduktion jf. figur 11. Her arbejdes med bearbejdning af byggevarer på byggepladsen og montering på de enkelte bygningsdele og gentagelser. En indledning til denne aktivitet er beskrevet i afsnit 2.3. I efterfølgende afsnit 4.8 om operationel styring er beskrevet henholdsvis materiel, værktøjer og arbejdsområder. Dette afsnit 3.3 er beskrevet under følgende punkter: Organisering, klargøring, arbejdsstationer og aflevering. Bearbejdningen kan sker på arbejdsstationer forskellige steder på byggepladsen, som enten er faste eller flyttes med fremdriften og skift fra opgang til opgang.

#### **Organisering af udførelsen**

Organisering omfatter opdeling af arbejdet i opgaver på den enkelte bygningsdel, der udføres af de enkelte byggesjak og fagentreprenører, herunder i hvilken rækkefølge de udføres. Det skal desuden bekræfte, om gentagelserne kan gennemføres i den ønskede rækkefølge,

som foreslået i beskrivelse af bygningsdele i afsnit 2.4. Organiseringen resulterer i en organisationsplan med ansvar, og den giver grundlag for, at lokationsstyringen kan gennemføres jf. beskrivelsen i afsnit 4.6.

### Klargøring af arbejdsområder

Klargøring af arbejdsområder til hver bygningsdel omfatter plads til arbejdsstationer, samt plads til byggevarer og affald, og hvordan de modtages, beskyttes og returneres. Desuden omfatter det afmærkning, afspærring og sikring af arbejdsområdet, adgangsveje og arbejdsmiljøet.

I figur 15 er vist eksempel på aktuelle arbejdsområder ved renovering af bygningsdelen badeværelse og faldstammer i almen bebyggelse i Aarhus. For de 7 normalblokke er der i alt 216 gentagelser i forhold til lejligheder og 24 gentagelser i forhold til opgange. Renoveringerne er lidt forskellige fra lejlighed til lejlighed. Lidt mere omfattende renoveringer foregår desuden på de 3 tilgængelighedsblokke med 9 opgange og 81 lejligheder, som man kan overføre store dele af logistikerfaringerne til.

På figur 15 ses i billedet øverst til venstre det afriggede og klargjorte badeværelse, som er et arbejdsområde for denne gentagelse. I billedet øverst til højre ses arbejdsområdet i køkkenet, som ligger op til badeværelset, og hvor installationerne føres i indervæggen mellem de 2 rum. I billedet nederst til venstre ses arbejdsområdet i stuen, hvor dele af stuen er afdækket mod støv og resten bruges som lagerplads og gangarealer. Desuden bruges gangen og trappeopgangen som gangareal, hvilket vil sige, at der til hver af denne type gentagelser er knyttet 4 forskellige arbejdsområder i de aktuelle lejligheder. Nederste billede til højre viser det færdige badeværelse.



**FIGUR 15.** Eksempel på arbejdsområder i tilknytning til renovering af badeværelse og faldstammer i almen bebyggelse i Aarhus. Øverste billede til venstre er det afriggede gamle badeværelse med reparation af betongulv. Øverste billede til højre er køkkenet med nedtagede overskabe, så der er adgang til installationerne. Nederste billede til venstre er lagerpladsen i stuen. Nederste billede til højre er det færdige badeværelse.

### Arbejdsstationer og værktøjer

Arbejdsstationer, er der hvor bearbejdningen og tildannelsen af materialer og byggevarer foregår, og hvor de bliver monteret i bygningsdelen. Det omfatter også hvilke værktøjer, maskiner og materiel skal der være tilstede, og hvordan der er tilslutning til strøm, vand, afløb



og anden forsyning. De kan placeres forskellige steder på byggepladsen herunder tæt ved de aktuelle bygningsdelene, og de kan flyttes i takt med arbejdets fremdrift eller være fast-placeret under hele byggeperioden.

I figur 16 er vist eksempler på forskellige typer af arbejdsstationer på en byggeplads i tilknytning til renovering af almen boligbebyggelse i Aarhus. De 4 eksempler viser forskellige typer af flytbare arbejdsstationer på byggepladsen, hvor den første flyttes ofte og sammen med gentagelsen per indgang, og hvor den sidste er en fast placeret arbejdsstation:

- Arbejdsplatform med plads til bearbejdning af facadebeklædning, som flyttes til næste facadeafsnit i takt med, at arbejdet på det enkelte facadeafsnit og indgange bliver færdige.
- Et skærebord foran indgang, som flyttes i takt med, at arbejdet af de enkelte indgange bliver færdige.
- En betonblandestation placeret mellem 2 boligblokke, som flyttes i takt med, at en gruppe af boligblokke bliver færdig.
- En bukkestation for armeringsjern, som er fastplaceret på fælles lagerplads, og som ikke flyttes.



**FIGUR 16.** Eksempler på forskellige arbejdsstationer på byggeplads til renovering af en almen boligbebyggelse i Aarhus. Her bearbejder byggesjak og fagentreprenører materialer og byggevarer, inden de kan montere dem på den enkelte bygningsdel og gentagelse. I øverste venstre billede er vist flytbar arbejdsplatform til renovering af facadeafsnit. I øverste højre billede er vist flytbart tilskæringsbord foran indgang. I nederste venstre billede er vist flytbar betonblandestation mellem 2 boligblokke. I nederste højre billede er vist fast bukkestation for armeringsjern på fælles lagerplads, som ikke flyttes.

### Aflevering af færdigt arbejde

Aflevering er den sidste af de 4 opgaver om bearbejdning og arbejdsstationer på byggepladsen. Her flyttes arbejdsstationer og lagre til næste gentagelse i takt med byggeriets fremdrift og til sidst afrigges hele byggepladsen. Når en gentagelse afsluttes afleveres den gennem en delaflevering eller en samlet aflevering med tilhørende dokumentation. Der foretages desuden en dokumentation af forløb og erfaringer, som kan overføres til efterfølgende gentagelse.

## 3.4 IV. Byggelogistik på byggepladsen

Dette afsnit er tredje afsnit i leverancekæden, når vi går baglæns fra bygningsdele til industriproduktion jf. figur 11. Her arbejdes med byggelogistik på byggepladsen. En indledning til denne aktivitet er beskrevet i afsnit 2.3, og der henvises til efterfølgende afsnit 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 og 4.10 om operationel styring, hvor lokationsstyring, byggepladsindretning, arbejdsstationer, byggevarer og nedrivning er beskrevet.

Det er en central opgave i byggelogistik, som direkte understøtter arbejdet på de enkelte bygningsdele. Denne indsats kan opdeles i: Indretning af byggepladsen, drift af byggepladsen med flytning af arbejdsstationer og lagre ved skift til nye gentagelser, samt afrigning af byggepladsen ved byggeriets afslutning. Herigennem håndteres leverancer til, på og fra byggepladsen samt deres modtagelse og aflevering, og det bygger på en fælles klassifikation af arealtyper og funktionsområder for byggelogistik på byggepladsen. Indsats er beskrevet efterfølgende under:

- Arealtyper på byggeriet som byggelogistik disponerer over på byggeriet.
- Funktionstyper for byggelogistik knyttet til de enkelte arealtyper.
- Indretning og organisering af byggepladsen.
- Drift af byggepladsen.
- Afrigning af byggepladsen.

### **Arealtyper på byggeriet disponibel for logistikprocessen**

Arealtyper på byggeriet, som byggelogistik kan disponere over, omfatter alle eller dele af bygninger, bygningsdele og udearealer jf. foreslået klassifikation i afsnit 3.2. En opgave bliver derfor at afgrænse og følge op på, hvilke dele af ejendommens arealer, som byggepladsen disponerer over, på hvilke tidspunkter. Arealtyperne kan fx opdeles i:

- Bygninger, opgange, etager, funktionsområder og bygningsdele.
- Veje, parkeringspladser og stier.
- Skure, mindre bygninger og overdækninger på udearealer.
- Beplantede udearealer, legepladser og andre lignende åbne udearealer.

### **Funktionsområder for byggelogistik**

Funktionsområder for byggelogistik kan herefter knyttes til de enkelte arealtyper, og de kan fx opdeles i følgende:

1. Indgange og modtage- og aflæsningsområder for leverancer.
2. Transportveje og parkering herunder interimveje og -parkering.
3. Skure til kontorer, møder og midlertidig genhusning ved renovering.
4. Indhegning, herunder indhegning af flytbare lager- og arbejdsstationer.
5. Faste og flytbare arbejdsstationer og deres indretning.
6. Faste og flytbare lagre og deres indretning fx til:
  - Værktøjer, køretøjer og andet materiel.
  - Byggevarer samt jord og grus.
  - Affald og returgoods herunder forurenede jord i deponi på byggepladsen.

Eksempler på funktionsområder vedrørende de 4 første punkter i ovenstående liste er vist i figur 17. Punkt 5 om arbejdsstationer er vist i figur 16, og punkt 6 om lagre er vist i figur 18.



**FIGUR 17.** Eksempler på funktionsområder for byggelogistik på byggeplads ved renovering af almen boligbebyggelse i Aarhus. I øverste venstre billede er vist aflæsningsområde for vægelementer. I øverste højre billede er vist interimvej og parkeringsareal. I nederste venstre billede er vist skure til genhusning. I nederste højre billede er vist indhegning af lagerområde.



**FIGUR 18.** Eksempler på flytbare lagerområder på byggepladsen ved renovering af almen boligbebyggelse i Aarhus. I øverste venstre billede er vist værktøjsvogn, som flyttes mellem lejlighederne. I øverste højre billede er vist lager af grus. I nederste venstre billede er vist et åbent lager med indpakkede vinduer og døre. I nederste højre billede er vist container til sorteret affald.

### Indretning af byggepladsen

Indretning af byggepladsen omfatter for det første organisering og ansvarsfordeling mellem aktørerne. Hele byggepladsen tegnes og beskrives, hvilket kan ske i 4D modeller med planer for de dynamiske ændringer som følger fremdriften fra gentagelse til gentagelse. Opgaver og ledelsesansvar aftales mellem bygherre, rådgivere, hovedentreprenører, fagentreprenører, byggesjak og de tilknyttede leverandører. Her indrettes også de fælles områder for skure, kontorer, lagre, arbejdsstationer, indgange, varemottagelse, indhegning, tyverisikring af byggepladsen samt ekstern og intern skiltning. Ved store byggerier vil ansvaret for bygge-

pladsen ofte være beskrevet i en selvstændig entreprise, som udbydes til et firma med særlig logistikkompetence. I figur 19 er vist eksempler på fælles funktioner ved indretning af stor byggeplads hentet fra bygning af Nyt Aalborg Universitetshospital (NAU).

### Drift af byggepladsen

Drift af byggepladsen omfatter løbende bestilling, modtagelse og afsendelse af varer, materiel og affald samt lagring af disse. Desuden skal de dynamiske lagre og arbejdsstationer flyttes i takt med fremdrift af byggeriet, og de enkelte gentagelser skal afleveres og dokumenteres. Ved renoveringer af byggerier, som er i drift, kan bygherren stille krav til den løbende dokumentation af fremdriften og beslaglæggelse af veje, stier, parkering og bygninger. Det kan fx ske som en 4D visualiseret dokumentation af, hvilke dele af ejendommen, som er omfattet af byggepladsen, og hvordan ejendommens normale drift påvirkes af byggeriet. Bygherren kan også have behov for formidling og særlig skiltning til beboere og brugere af ejendommen.



**FIGUR 19.** Eksempler på indretning af fælles funktioner ved bygning af Nyt Aalborg Universitetshospital (NAU) i Aalborg Øst. I øverste venstre billede er vist fælles kontorer og møderum. I midterste venstre billede er vist portindgang til byggepladsen. I øverste højre billede er vist fælles skiltning. I nederste venstre billede er vist fælles lagerområde. I nederste højre billede er vist indhegning, som lukker hele byggepladsen af, og hvor der er døgnvagt på.

### Afrigning af byggepladsen

Afrigning af byggepladsen omfatter tømning af byggepladsen og reetablering af udearealer og bygninger, der har været benyttet til byggeplads. Det omfatter desuden aflevering, som ofte indgår i byggeriets samlede aflevering. Det anbefales, at der gennemføres en speciel aflevering af byggepladsen, som muliggør en erfaringsopsamling. På mange renoveringer og nybygninger afleveres byggeriet trinvis, hvor man ligesom bakker ud af byggeriet, så man ikke forstyrrer afsluttede funktionsområder, så de kan sættes tidligt i drift. Det anbefales desuden, at der i forbindelse med afleveringen gennemføres en bearbejdning og dokumentation af erfaringerne, som kan bruges i læring og forbedringer på kommende byggerier.

## 3.5 V. Leverandørlogistik og lagre

Dette afsnit er fjerde afsnit i leverancekæden, når vi går baglæns fra bygningsdele til industriproduktion jf. figur 11. Her arbejdes med byggelogistik i leverancekæden herunder pakning, lagring og transporter mellem industriproduktion og byggeplads. Den indledende beskrivelse er givet i afsnit 2.3, og der henvises til efterfølgende afsnit 4.11 om operationel styring, som omfatter leverandørlogistik, lagre og transporter.

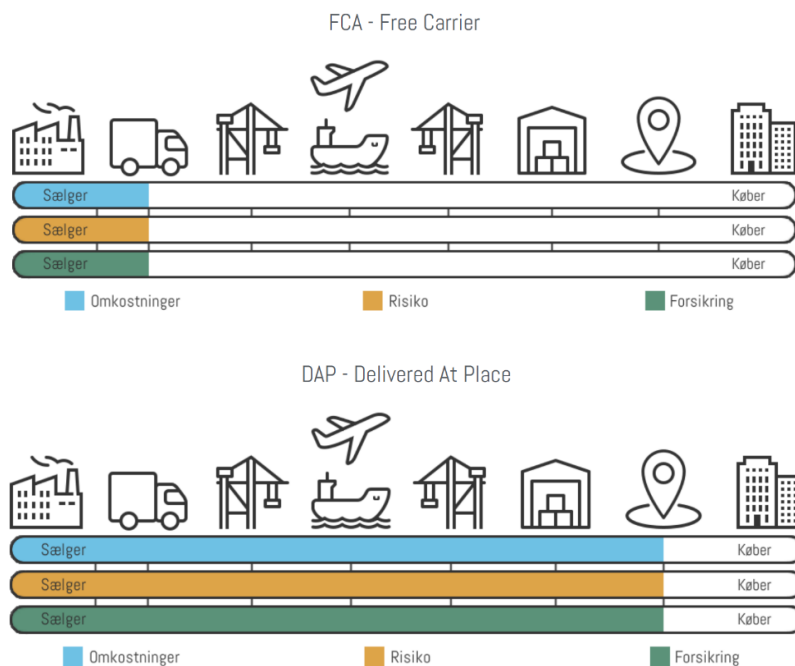
Det understøtter byggelogistikken på byggepladsen og tilpasses behovene i de enkelte bygningsdele og gentagelser. Det er altså her, der bygges bro mellem leverancesystemet og byggepladsen, hvilket er vigtigt for byggelogistikens succes. Man skal her være opmærksom på, at det både er leverancer til og fra byggepladsen af henholdsvis byggevarer, materiel og affald. Affaldsbearbejdning og deponi samt materieludlejning og grossistlagre indgår derfor også i kæden. Det kan også omfatte levering inde på byggepladsen fx til den enkelte gentagelse eller til arbejdsstationer og fælles lagre. Man skal ligeledes være opmærksom på, at leverancekæderne kan være af meget forskellig karakter og længde. Leverancerne kan også have meget forskellig størrelse fra store færdige elementer, færdig beton, grus, forurenet jord til små leverancer af søm, skruer og stikkontakter. Indsatsen er beskrevet efterfølgende under:

- Håndtering af leveranceordre.
- Pakning af leverancer til de enkelte gentagelser eller byggepladsen.
- Lagre og opbevaring.
- Transporter, levering og returgods.

### Håndtering af leveranceordre

Håndtering af leveranceordre er 'papirarbejdet' i tilknytning til de fysiske leverancer. Det omfatter data om bestillinger og fragtaftaler, afkald af ordre til levering, plukning fra lager og læsning, aflevering med følgesedler og fakturering herunder ansvarsfordeling, risiko, forsikring og ejerskab i leverancekæden samt reklamationer. Store dele af dette 'papirarbejde' er digitaliseret hos de enkelte parter, men de er normalt ikke sammenkoblet langs leverancekæden og til byggepladsen, og de enkelte parter kender ikke de andres datapraksis.

Til at regulere dette, findes nationale og internationale aftaler og regler, som parterne kan støtte sig til. Det drejer sig fx om købeloven [Justitsministeriet, Købeloven, 2014], almindelige betingelser [TBST AB18, 2018] og CMR loven [Justitsministeriet, 2015], som gælder for fragtaftaler ved vejtransport af gods mellem andre stater og Danmark. Det kan fx også være de internationale Incoterms, som angiver, hvem der til enhver tid bære risikoen for varer og gods undervejs i transporten mellem sælger og køber. Se princip i Incoterms i figur 20.



**FIGUR 20.** Handel mellem leverandører og byggeparter kan ske efter et standardiseret sæt af internationale handelsbetingelser, som fx Incoterms 2020. Her angives bl.a., hvem der bærer risikoen for varer og gods, og de er anerkendt af myndigheder og domstole verden over. Øverst er vist fri transport (FCA) og nederst levering på stedet (DAP). [Incoterms® 2020, <https://incoterms2020.dk/>]

I denne kæde af dokumenter mellem sælger (1. part), kunde (2. part) og transportør (3. part) er der fx behov for følgende data, som er hentet fra CMR loven, men som også kan bruges ved andre danske transportere:

- Sted og dag for oprettelse af fragtaftale, afsenderens navn og adresse samt transportørs (fragtførers) navn og adresse.
- Sted og dag for godsets overtagelse og bestemmelsesstedet samt modtagerens navn og adresse.
- Betegnelse for godsets art herunder farligt gods og indpakkingsmåde, antallet af kolli, deres særlige mærker og deres numre.
- Godsets bruttovægt eller andet udtryk for dets mængde og volumen.
- Omkostninger i forbindelse med transport, afgifter og andre omkostninger, og hvad afsenderen påtager sig at betale.
- Andre oplysninger som forbud mod omlæsning, godsets værdi, forsikring af godset, tidsfrist for aflevering og transportørens adgang til dokumenter.

Her skal man være opmærksom på, om disse data bliver rigtigt overført ved hvert dataskift i leverancekedden, og om det specifikke leverancested, pakning og leveringsform til den aktuelle bygningsdel og gentagelse er angivet.

[Lagerbeholdning](#) | [Ordrestatus](#) | [Varepartibevægelser](#) | [Online registrering](#) | [Log ud](#)

## Ordrestatus

Ordreferencenummer:

Bookingnummer:   Indleveringer  Udleveringer

Søg dato:

1 - Registereret  
 2 - Klar til håndtering  
 3 - Ekspederet  
 4 - Afsluttet

Hent som Excel fil 

Ordreference	Bookingnummer	Status	Ekspeditionsdato
IOD003022	<a href="#">IOD003022</a>	1 - Registereret,	27-05-2014
IOD003023	<a href="#">IOD003023</a>	1 - Registereret,	27-05-2014
IOD003024	<a href="#">IOD003024</a>	1 - Registereret,	27-05-2014
TEST 27052014	<a href="#">WF317477</a>	1 - Registereret,	27-05-2014
IOD003025	<a href="#">IOD003025</a>	2 - Klar til håndtering	27-05-2014

**FIGUR 21.** Eksempel på ordrestatus fra transportørs weblagerstyring, som er koblet sammen med bl.a. lagerstyring og udleveringsoplysninger. Det muliggør fx track & trace, så kunden kan følge varen. [Danske Fragtmænd A/S]

Til at sikre denne dataoverførsel bruges bl.a. strekkoder på leverancerne. I produktionsindustrien, hos grossisterne og hos transportørerne bruger mange også automatisk leverancegenkendelse kaldet Auto-ID. Det kan fx gøres ved hjælp af radio-frekvens-identifikation (RFID), som består af en lille transportabel radiomodtager og små transmittere fastgjort til varen. Man kan forvente, at automatisk varegenkendelse med tiden også vil vinde indpas på byggepladsen i en tilpasset form, så det letter springen af byggevarer helt ud i det enkelte bygværk.

### Pakning af leverancer

Pakning af leverancer til de enkelte gentagelser og arbejdsstationer eller til fælles leverance til byggepladsen er meget afhængig af leverancetyper. Det er en praksis i byggeriet, at man bestiller store leverancer på én gang til oplagring på byggepladsen, som senere kan fordeles til de enkelte bygningsdele og arbejdsstationer. Det begrundes med mængderabatter, lavere eksterne transportomkostninger og leverancesikkerhed, men det koster også transport og spild på byggepladsen, samt arbejdskraft som man ofte negligerer.



**FIGUR 22.** Forskellig pakning og levering på byggepladsen. Øverste billede til venstre viser pakker, som er leveret i mudret på byggepladsen. Øverste billede til højre viser levering på byggepladsen, som senere skal fordeles på bygningerne. Nederste billede til venstre viser færdige facadeelementer, pakket og mærket klar til montering af Scheldebouw i Holland. Nederste billede til højre viser pakker med indvendig beklædning leveret direkte på tagetage.

Flere i byggeriet arbejder for, at leverancerne pakkes direkte til den enkelte bygningsdel, arbejdsstation og lokation, så intern transport og spild på byggepladsen minimeres. Øget præfabrikationsgrad og elementfabrikation giver desuden mulighed for, at de enkelte elementer kan pakkes, mærkes og leveres direkte til den aktuelle bygningsdel, så de kan monteres i den rigtige rækkefølge uden yderligere transport og lagring på byggepladsen. Se forskellige eksempler på pakning og levering i figur 22.

Pakning af leverancer afhænger derfor af præfabrikationsgraden, byggevarernes størrelse og de muligheder leverandøren tilbyder. Den afhænger også af, om entreprenøren har angivet specifikt leveringssted og tidspunkt på byggepladsen. For store elementer er det også vigtigt at aftale, i hvilken rækkefølge de skal monteres, så de kan pakkes herefter. Erfaringer viser, at disse forskellige ønsker ofte ikke kommer med helt frem til transportørens levering på byggepladsen, hvilket kan gøre det vanskeligt for byggesjakket. Så enighed om pakning og mærkning af byggevarerne med type, omfang, leverancested og rækkefølge samt leveringstid er derfor en fællesopgave at få til at virke for leverandørerne og entreprenørerne. Hvordan det gøres specifikt, afhænger af det aktuelle byggeri, bygningsdel og valg af bearbejdning på byggepladsen i forhold til udbuddet af præfabrikation fra producenten.

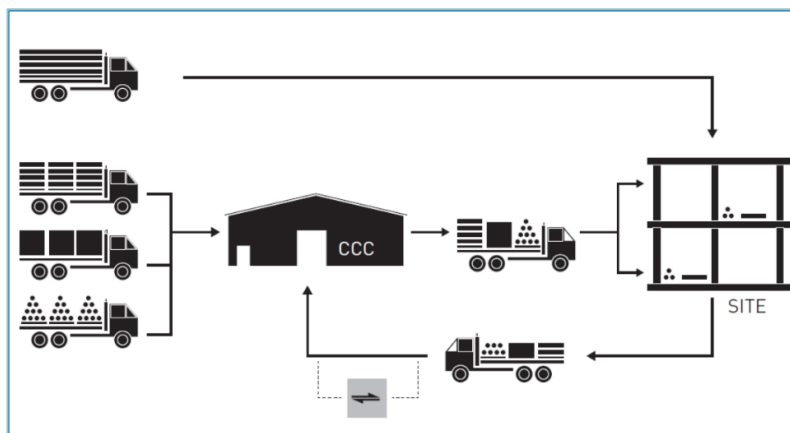
### Lagre og opbevaring i leverancekæden

Lagre og opbevaring kan ske flere steder i leverancekæden fx hos producenten, hos grossisten og i et lagerhotel hos transportøren. Det kan også være et midlertidigt konsolideringscenter i nærheden af byggepladsen, hvor der kan ske en pakning til de enkelte bygningsdele og en omlæsning på mindre køretøjer. Se principskitse for konsolideringscenter nær byggepladsen i figur 23.

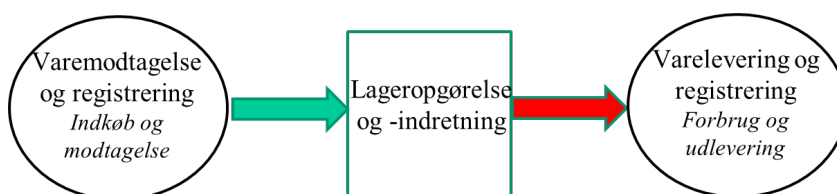
Man bruger ofte parkeringspladser som lagre, når lastbilerne venter på at komme af med gods på byggepladsen. Se eksempler på typer af lagre i figur 25. Til disse lagre er normalt knyttet et lagerstyringsystem, hvor man kan følge lagerbeholdningen ved at registrere vare-



modtagelse, varelevering og spild. Der kan desuden være utilsigtet svind, når man ved lageropgørelse sammenligner disse tal. Se grundprincip for lagerstyring i figur 24. Disse principper kan også anvendes til styring af visse lagre på byggepladsen jf. afsnit 3.4. Det er i dag ikke normal praksis, men kan være et udviklingsområde i fremtiden.



**FIGUR 23.** Principskitse for et konsolideringscenter (Construction Consolidation Centre, CCC) i nærheden af byggepladsen (Site) [Lundesjo, 2011].



**FIGUR 24.** Grundprincip for lagerstyring med varemottagelse, lagerindretning og varelevering samt registrering og opgørelse, hvor spild og svind opgøres.

Flere grossister er ved at supplere deres fysiske butikker med web butikker, hvor byggeriet kan bestille varerne digitalt, så de får dem leveret direkte fra lagret i pakker.

I ovenstående har fokus primært været på lagre af byggevarer, men det kan også omfatte lagre for værktøj, maskiner og materiel til køb og udlejning, samt lagre for nedbrydningsaffald og affaldsjord, som transporteres fra byggepladsen til genanvendelse eller deponi. Dvs. at der i leverancekæden indgår følgende typer af lagre og konsolideringscentre for byggevarer, materiel og affald:

- Producentlagre.
- Grossistlagre.
- Lager til webbutikker.
- Centrale lagerhoteller ofte tilknyttet transportører.
- Interimlagre og konsolideringscentre nær byggepladsen.
- Parkeringspladser på vej til byggepladsen.
- Materiellagre til køb og udlejning.
- Genanvendelseslagre og deponi.



**FIGUR 25.** Forskellige typer af lagre. Øverste billede til venstre er Johannes Fog A/S grossistlager i Herlev. Øverste billede til højre er Danske Fragtmænd A/S lagerhotel i Taastrup. Nederste billede til venstre er interimlager på Ole Rømersvej i Helsingør 4 km fra byggepladsen ved Vapnagaard. Nederste billede til højre er fra parkeringsplads nær byggepladsen ved Aabyhøjgaarden i Aarhus.

### Transporter, levering og returgods

Transporter, levering og returgods omfatter afkald af leverancer, læsning og transport samt aflevering på byggepladsen. Her kan der evt. også være tale om at tage returgods med tilbage til leverandøren. Afkaldet fra byggepladsen skal sikre, at leverancerne sker i takt med behovet på byggepladsen, og her vil det være muligt at justere lidt på den aftalte leverance-tidsplan og pakkelisterne.



**FIGUR 26.** Ved lange transporter kan benyttes jernbane. Eksempel på transport af facadeelement til bygning af Nordeas domicil på Amager. Elementer blev læsset på jernbanevogn nær Scheldebouws fabrik i Holland og kørt til terminalen i Høje Taastrup, hvor de blev omlæsset til lastbiler, der kørte dem ud til byggepladsen.

Transporten foregår mest med lastbiler, men ved længere afstande kan skibs-, jernbane- og flytransport benyttes. På byggeriet af Nordeas domicil på Amager blev facadeelementerne leveret af Scheldebouw i Holland. Her blev jernbanetransport valg fra Holland til terminalen i

Høje Taastrup, hvor facadeelementerne blev omlæsset til lastbiler, som kørte dem den sidste vej til byggepladsen. Se illustrationer heraf i figur 26.

Lastbilernes størrelse, form på lastrummet og aflæsningsudstyr afhænger af det gods de skal transportere - tænk blot på forskellen mellem sættevogne, blokvogne, betonkanoner, containerbiler, lastbiler med kran og små varebiler. Samtidig er der også meget forskel på deres forbrug af brændstof og forurening, som kan indgå i valget af transport.

Afl levering på byggepladsen er der, hvor leverancesystemet og byggepladsen mødes fysisk, og hvor der er behov for at bygge bro mellem de 2 sektorer både på datasiden og det personlige niveau. Erfaringer for byggerier viser, at der er behov for at udbygge dette samarbejde og forståelse for hinandens muligheder og udfordringer. Det skal ske både mellem ledere, men lige så vigtigt er det, at det foregår mellem chaufførerne og byggesjakkene, samt på tværs af de 2 persongrupper.

### 3.6 VI. Industriproduktion og systemudvikling

Dette afsnit er femte afsnit i leverancekæden, når vi går baglæns fra bygningsdele til industriproduktion jf. figur 11, og det er her, selve industriproduktionen foregår. Den indeholder bl.a. præfabrikation, levering direkte til byggepladsen eller til grossister som mellemhandler samt behandling af returgods og affald fra byggepladsen og grossister. Industriproduktion har gennem mange år været en væsentlig drivkraft i udviklingen af byggeriet, hvor håndværksprægede ydelser er flyttet fra byggepladsen til styret industriproduktion. Samtidig er udvikling af præfabrikation, elementer og systemleverancer flyttet fra de projekterende og entreprenører over til producenterne. Man kan frygte, at kendskabet til byggeriets behov og muligheder bliver ringere med tiden, så gabet mellem byggeri og industri øges til ugunst for det færdige byggeri. Her har byggelogistik en særlig rolle at spille med udvikling af det tværfaglige samarbejde til gavn for begge, herunder formidling af deres behov og muligheder.

Denne indsats er her opdelt i følgende:

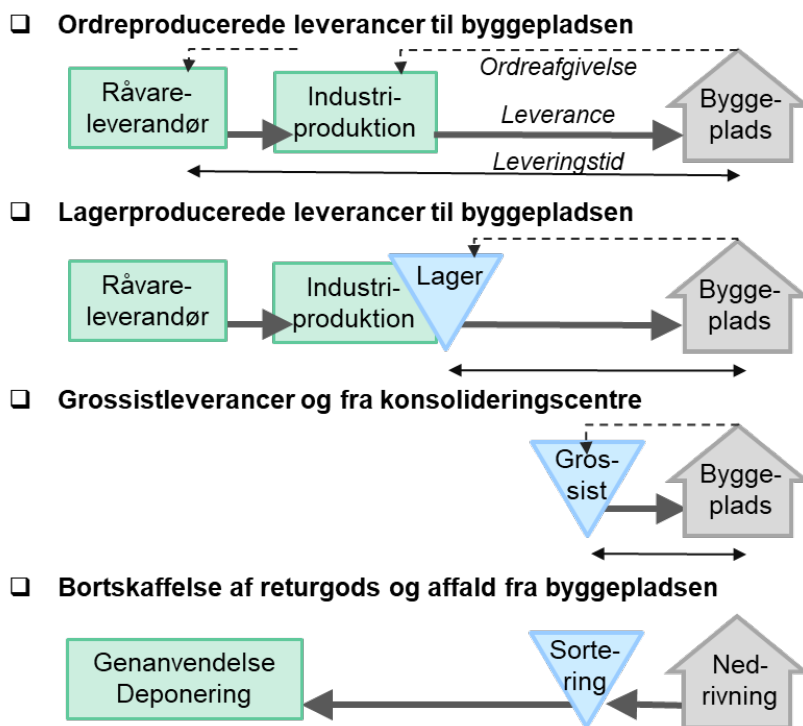
- Opdeling i leverancetyper.
- Industriproduktion med systemudvikling.

#### Opdeling i leverancetyper

Opdeling i leverancetyper sætter rammerne for, hvordan de forskellige leverancekæder og typer af leverancer kan beskrives, håndteres og sammenlignes. Det inkluderer følgende dele: Produktioner (råvare- og industriproduktion), lagre (industri-, grossist- og transportørlager), ordreafgivelse fra kunde til leverandør, den fysiske leverance samt fastlæggelse af leveringstiden. Leverancerne kan desuden beskrives i følgende leverancetyper, som er illustreret i figur 27:

- Ordreproducerede leverancer fra industriproduktionen.
- Lagerproducerede leverancer fra industriproduktionen.
- Grossistleverancer og fra konsolideringscentre til byggeplads.
- Bortskaffelse af returgods og affald fra byggeplads.

De ordreproducerede leverancer er tilpasset direkte til det aktuelle byggeri, og de trækkes af ordreafgivelsen fra byggepladsen, som følges op af en ordreafgivelse fra industriproduktionen til råvareleverandøren. Den samlede leverancetid inkluderer råvareproduktion, industriproduktion og transport mellem disse og frem direkte til byggepladsen. Afhængig af byggevaren og transportmulighederne kan der være behov for at stille byggevaren på lager, som det fx gøres ved betonelementer, så de får tid til at hærde.



**FIGUR 27.** Forskellige leverancetyper fra industriproduktion, grossister og konsolideringscentre til byggepladsen og retur. [Figur: Finn Zoëga, TI Institut]

De lagerproducerede leverancer er standardvarer, som lægges på lager indtil kunden afgiver en ordre, hvorfor ordreafgivelsen er til lagret og forsendelsen sker fra producentlagret i takt med ordreafgivelsen. Leveringstiden er her alene transporten fra producentlagret til byggepladsen. Nogle af disse ordre kan også komme fra grossister, som lægger byggevaren på deres lager.

Ved grossistleverancer sker ordreafgivelsen direkte fra byggeriet til grossisten, og forsendelsen sker fra grossistens lager i takt med ordreafgivelsen. Leveringstiden er her alene transporten fra grossistlagret til byggepladsen. Ved større leverancer kan grossisten vælge alene at stå for ordren og aftale med producenten, at leverancen sker direkte fra producentlagret til byggepladsen. Grossister kan vælge både at have lagre ved deres fysiske butikker og oprette centralagere, hvorfra leverancen kan ske direkte til byggepladsen eller til butikslagrene. På lignende måde kan transportører etablere faste lagerhoteller eller konsolideringscentre nær byggepladsen, hvor leverancerne kan samles og transportomkostningerne minimeres. Denne leverancetype dækker derfor både grossistleverancer, konsolideringscentre og lagervarianter mellem disse.

Den fjerde leverancetype er returgods og affald fra byggepladsen. Affald sendes til genanvendelse i ny produktion eller til deponi efter sortering. Hvis der er tale om ubeskadigede byggevarer sendes det som returgods direkte til producentens lager.

### Industriproduktion med systemudvikling

Industriproduktion med systemudvikling er en vigtig for effektivisering og kvalitetsforbedring af byggeriet, men samtidig kan det også løfte effektiviteten af bygge-logistik. Det sker dels ved direkte ordre- og lagerproducerede leverancer til byggepladsen og dels ved forsat systemudvikling, som også kan omfatte projektering og monteringsarbejde. Et eksempel herpå er projektering, produktion, transport og montering af facadeelementer på Nordeas domicil på Amager, hvor Scheldebouw i Holland har haft ansvar for alle 4 dele. Se eksempel herfra i figur 22, figur 41 og figur 28.



**FIGUR 28.** Produktionshallen hos Scheldebouw, Holland, som leverede facadeelementerne til Nordeas domicil på Amager. I øverste venstre hjørne ses mærkning af element med stregkode, så monteringsjakket fra Scheldebouw helt præcist ved, hvor elementet skal monteres. [Foto: Jens Haldager]

Under industriproduktion med systemudvikling skal vi ikke glemme den voksende industri for nedknusning, oparbejdelse og genanvendelse af nedrivning og affald fra byggepladsen. Det er særlig aktuelt for renoveringsprojekter, hvor en væsentlig del af entreprenørarbejdet på byggepladsen er nedrivning og kildesortering. Her er der behov for et godt samarbejde med disse virksomheder, som kan ombearbejde det kildesorterede affald til genbrug, så det kan indgå direkte i nye byggematerialer eller gennem samarbejde med forskellige byggevareproducenter indgå i deres produktion. Se eksempel på neddeling af jord- og betonaffald til genanvendelse i figur 29.



**FIGUR 29.** Neddeling af jord- og betonaffald. [Foto: Norrecco A/S]

### 3.7 VII. Samarbejde og ledelse af byggelogistik

I dette sidste afsnit i forståelsesrammen samles de 6 foregående afsnit og baggrundsviden i kapitel 2. Der bygges også bro til den operationelle styring, forbedring og baggrundsviden, som er vist i de efterfølgende kapitler 4, 5 og 6. Det gøres i forhold til de overordnede opgaver, der er i det tværfaglige samarbejde og ledelse af byggelogistik (Construction Supply

Chain Management, CSCM), og som er målrettet både medarbejdere, samarbejdspartner og ledere. Dvs. at afsnittet samler styring af byggelogistik fra krav til opfølgning, og det inkluderer også læring, udvikling og forbedring af byggelogistik samt den personlige udvikling. Afsnittet beskrives under følgende overskrifter:

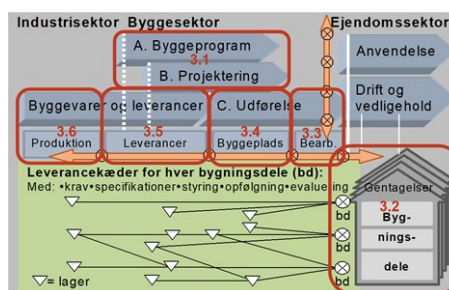
- 7 logistikafsnit i god byggelogistik.
- 9 dataplatforme om god byggelogistik.
- Operationel styring af logistikaktiviteter i praksis.
- Forbedring af byggelogistik og personlig udvikling.

Afsnittet er forsøgt opbygget, så det kan bruges i forskellige organisations- og ledelsesformer fra hierarkisk topstyring til autonom selvorganisering af medarbejderne. Der er dog ikke udarbejdet specifikke vejledninger til de enkelte organisationsformer hverken i dette afsnit eller i kapitlerne 4 og 5, idet det er en opgave for parterne på de enkelte byggerier. Men man kan bruge afsnittet som en checkliste til at specificere de aktuelle aktiviteter, tidsforløb og ansvar mellem parterne. Det skal dog fremhæves, at det er vigtigt at inkludere tværfagligt samarbejde både horisontalt og vertikalt samt motivation, udvikling og læring, og at det skal bygge på gode kompetencer i både byggeteknik og logistik. Det er også vigtigt af kunne balancere top-down push strategier med bottom-up pull praksis og medindflydelse, hvis byggelogistik skal være effektiv, hurtig og sikker samt blive bedre over tid.

## 7 logistikafsnit i god byggelogistik

Samarbejde og ledelse af god byggelogistik forudsætter, at man har et godt kendskab til byggeriets generelle organisering, processer og praksis, som byggelogistik er en del af. I kapitel 2 er den beskrevet i nogle overordnede modeller for byggeriets sektorer, fasemodeller, aktører og organisering. Gennem mange år er aktørerne bliver mere og mere specialiserede, og der er derfor et stigende behov for integration og helhedstænkning, som er en vigtig samarbejds- og ledelsesopgave.

Aktiviteter er centrale elementer i styring af byggeprocesser, og de kan kobles sammen i aktivitetskæder, der kan beskrives i forhold til de 3 dimensioner: Bygningsdele, leveranceforløb fra råvarer til færdig bygning og styringsforløb fra byggeprogram til aflevering og drift. De 2 sidste er vist i figur 11 (vignet til højre) som en vandret og lodret gul pil med både push og pull og med forslag til 4 + 4 statuspunkter. Til denne procesbeskrivelse kan kobles aktører, kompetencer, ansvar, tidsstyring og andre informationer.



Forståelsesrammen deler byggelogistik op i følgende 7 afsnit, som er nærmere beskrevet i afsnittene 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 og 3.7, og som er illustreret i figur 11 dog ekskl. afsnit 3.7:

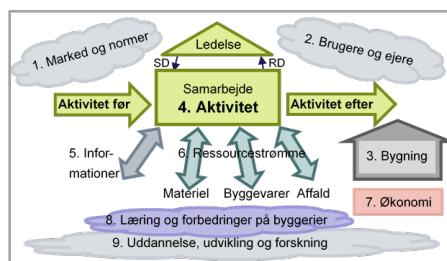
- I. Krav fra byggeprogram og projektering.
- II. Bygningsdele, gentagelser og lokationer.
- III. Bearbejdning og arbejdsstationer.
- IV. Byggelogistik på byggepladsen.
- V. Leverandørlogistik og lagre.
- VI. Industriproduktion og systemudvikling.
- VII. Samarbejde og ledelse (administration og koordinering af afsnit I.-VI.).

## 9 dataplatforme om god byggelogistik

I den moderne og digitaliserede styring af byggeprocesser er der meget fokus på faseovergange og strømme mellem aktiviteter for at øge produktionshastigheden. Her er lokationsstyring et meget velegnet og effektivt værktøj. Andre foretrækker fx Gant diagrammer og netværksplanlægning, da de er gammelkendte værktøjer. Det udtrykkes både fra forskere og førende praktikere, at man bør overgå til lokationsstyring både i udførelsen og i bygge-logistik på byggepladsen og i leverancekæden. En udfordring er dog, at man først skal lære at bruge værktøjet analogt og digitalt i praksis, og at man bør bruge det koordineret mellem projekterende, byggeledere, leverandører og håndværkere. Først når det er på plads, kan lokationsstyring være enkelt, hurtigt og meget illustrativt at bruge. Samtidig giver den gode muligheder for forbedringer, hvis den bruges til en styret optimering, læring og udvikling.

Som nævnt er aktiviteter og aktivitetskæder et central element i styring af byggeprocessen, og ud over tid og sted i lokationsstyring indgår også andre parametre i styringen, videnopbygningen og datahåndteringen. Samlet kan de beskrives i en dataplatform for aktiviteter og aktører, som er gennemgående for alle aktiviteter i hele byggeprocessen herunder også bygge-logistik.

Til en aktivitet kan også knyttes andre dataplatforme, som også er gennemgående i alle forløb, så de danner en matrix med de 7 afsnit i god bygge-logistik. Samlet drejer det sig om 9 forskellige dataplatforme, som er beskrevet i afsnit 2.5 og illustreret i figur 9 (vignet til højre). De er efterfølgende samlet under krav, styring og forbedringer:



### Krav

- 1. Marked og normer.
- 2. Brugere og ejere.
- 3. Bygninger og egenskaber.

### Styring

- 4. Aktiviteter og aktører samt ledelse, dokumentation (SD og RD), tidsstyring og med strømme fra og til andre aktiviteter.
- 5. Informationsstrømme og digitalisering med beskrivelse af det virtuelle byggeri og dets processer.
- 6. Ressourcestrømme af de fysiske objekter: Materiel, byggevarer og affald.
- 7. Økonomi og produktivitet.

### Forbedringer:

- 8. Læring og forbedringer af byggeriet og leveranceforløbet samt den personlige udvikling.
- 9. Forskning og uddannelse gennemført i vidensystemet, af organisationer og i virksomheder uden for det fysiske byggeri.

## Operationel styring af logistikaktiviteter i praksis

Operationel styring af bygge-logistik i praksis omfatter 14 basis logistikaktiviteter (A, B, C, ...N), som er beskrevet i afsnittene 4.1-4.14. Dertil kan man selv lægge supplerende logistikaktiviteter, hvis man har særlige behov på de enkelte byggerier. Hver aktivitet kan dække flere dele af de 7 afsnit og de 9 dataplatforme for bygge-logistik, og de kan defineres i forhold til 7 x 9 matrixen og deres underliggende karakteristika. Hvordan de defineres specifikt, angives for hver af de 14 logistikaktiviteter i kapitel 4. De 14 basis logistikaktiviteter er følgende:

### Organisering:

- A. Regler, normer og branchepraksis.
- B. Programmering og projektering.

- C. Udbud og aftaler om byggelogistik.
- D. Justeringer af krav og evaluering.

*Byggeprodukt:*

- E. Bygningsdele, 3D og gentagelser.

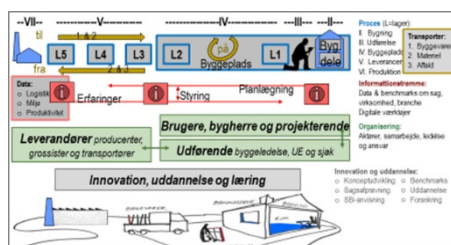
*Proces:*

- F. Lokationsstyring, -plan og -opfølgning.
- G. Byggepladsindretning og lagre.
- H. Materiel, værktøjer og arbejdsstationer.
- I. Byggevarebestilling og -modtagelse.
- J. Nedrivning, affald og genbrug.
- K. Leverandørlogistik, lagre og transporter.

*Administration:*

- L. Økonomi og produktivitet.
- M. Informationer, data og digitalisering.
- N. Benchmarking af logistik og miljø.

Logistikaktiviteter bruges i den daglige byggelogistik, men man skal først have tilegnet sig en grundforståelse for byggeriets organisering og dataplatforme efter kapitel 2 og for forståelsesrammen for byggelogistik efter kapitel 3. I projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis' har figur 41 (se vignet til højre) været brugt som fælles arbejdsmodel for udvikling af byggelogistik. Denne figur er udviklet med afsæt i figur 11 og figur 9.



I hver logistikaktivitet beskrives fremgangsmåden for planlægning, gennemførelse, de ressourcer der benyttes, resultater og afleveringen samt dokumentation og indsamlede erfaringer. Beskrivelsen er målrettet de aktuelle aktører og deres ansvarsforhold, og der kan til de enkelte opgaver udarbejdes forslag til instruktion og eksempler på instruktionsvideoer. Beskrivelsen er pt. ikke gjort færdig, fordi det kræver flere eksempler på, at den kan bruges i en bred praksis til gennemførelse af god byggelogistik. Samtidig skal beskrivelsen også være dokumenteret og sendt i offentlig høring bredt i byggeriet, så det kan betegnes som alment teknisk fællesej. Sidst, men ikke mindst bør den suppleres med specifikke instruktioner og videoklip, som kan vise, hvordan god praksis gennemføres i planlægning, udførelse, på byggepladsen og i leverancekæden.

**Forbedring af byggelogistik og personlig udvikling**

Forbedring af byggelogistik og personlig udvikling er en vigtig opgave i samarbejde og ledelse, og den kan fx indeholde tværfagligt samarbejde, bottom-up leadership og de bløde værdier i personlig udvikling. Det er nærmere beskrevet i kapitlerne 5, og det historiske videngrundlag kan læses i kapitel 6.



The background of the page is filled with a pattern of thin, dark blue, wavy lines that create a sense of movement and depth. These lines are arranged in concentric, slightly irregular curves that flow across the entire page.

4

# **OPERATIONEL STYRING AF BYGGELOGISTIK I PRAKSIS**

## 4 OPERATIONEL STYRING AF BYGGELOGISTIK I PRAKSIS

Den operationelle styring af byggelogistik i praksis indeholder 14 udvalgte basis-logistikaktiviteter, som i det daglige anvendes til realisering af god byggelogistik både i planlægning, udførelse, opfølgning og dokumentation. De indeholder ikke aktiviteter i tilknytning til den personlige udvikling af kompetencer samt forbedringer af byggelogistik på byggesager og i sektoren, som beskrives i efterfølgende kapitel 5. De 14 basis-logistikaktiviteter er udvalgt med baggrund i litteraturen i kapitel 6 samt erfaringer fra gennemførelsen af projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis', se afsnit 6.5.4.

### Forbedring af beskrivelsen

I denne version af vejledningen er de 14 basis-logistikaktiviteter endnu ikke beskrevet tilstrækkeligt operationelt og illustrativt, fordi der mangler praktiske erfaringer med at vise deres brede anvendelse i god byggelogistik. De ønskes på sigt udviklet til alment teknisk fælle-eje, som kan bruges på et stort udsnit af byggerier i Danmark. Det forudsætter, at de udbygges mere operationelt, at de kvalitetssikres og har været sendt i høring i et bredt udsnit af branchen.

Dette arbejde er sat i gang i et TI-projekt med udvikling af 4 læringsværktøjer til materialehåndtering, som gennemføres i 2019-21. Disse læringsværktøjer skal også kunne virke som instruktioner i form af pixi-bøger eller videofilm. Se nærmere herom i afsnit 6.5.4. De 4 læringsværktøjer er nu ved at blive udvalgt blandt følgende kandidater, som har relation til henholdsvis logistikaktivitet K, K, K, F, I og J:

- Grossistlogistik af store leverancepakker leveret direkte på arbejdsstationer.
- Modtagelse af straksordre, lagerstyring og levering af små pakkøløsninger.
- Leverandørdatablade om byggevarens egenskaber og indbygning.
- Lokationsstyring i et samarbejde mellem byggeledelse og byggesjak.
- Totalentreprenørens opfølgning på leveranceplaner for byggevarer.
- Sortering, håndtering og transport af returgods fra byggepladsen.

### Oversigt over de 14 basis-logistikaktiviteter

Basis-logistikaktiviteterne dækker forskellige dele af de 7 logistikafsnit (se kapitel 32, figur 11 og figur 41) og de 9 dataplatforme for byggelogistik (se afsnit 2.5 og figur 9). De er afgrænset i forhold til en 7 x 9 matrix, som er vist i tabel 2, og de specifikke afgrænsninger er beskrevet i den enkelte logistikaktivitet.

**TABEL 2.** De enkelte basis-logistikaktiviteter (A-N) er her afgrænset i forhold til de 7 afsnit og de 9 dataplatforme for byggelogistik.

Logistikafsnit:	I. Program- mering og pro- jektering	II. Byg- ning og byg- nings- dele	III. Ud- førelse og be- arbejd- ning	IV. Bygge- plads og lagre	V. Le- veran- cer og lagre	VI. In- dus- tri- pro- duk- tion	VII. Sam- arbejde og le- delse
Dataplatforme:							
1. Marked og normer	AB						CD AB
2. Brugere og ejere	B						CD B
3. Bygning og egenskaber	E	E	E	E	E	E	CD E
4. Aktiviteter, tid og aktører			F	F	F	F	CD F
5. Informationsstrømme			MN	MN	MN	MN	CD MN
6. Ressourcestrømme			HIJ	HIJ	HIJ K	HIJ K	CD HIJ K
7. Økonomi og produktiv.	L	L	L	L	L	L	CD L
8. Læring og forbedringer							
9. Forskning og uddannelse							

Tabellenote: Dataplatformene 8 og 9 om udviklinger af kompetencer og forbedring byggelogistik beskrives i kapitel 5.

Som det fremgår af den efterfølgende oversigt kan de 14 basis-logistikaktiviteter ordnes i 4 grupper:

*Organisering af byggelogistik:*

- 4.1 A. Regler, normer og branchepraksis.
- 4.2 B. Programmering og projektering.
- 4.3 C. Udbud og aftaler om byggelogistik.
- 4.4 D. Justeringer af krav og aftaler samt evaluering efter aflevering.

*Byggeproduktenheder for byggelogistik:*

- 4.5 E. Bygningsdele, 3D, gentagelser og lokationer.

*Processer om byggelogistik:*

- 4.6 F. Lokationsstyring af aktiviteter, tid (4D) og aktører.
- 4.7 G. Byggepladsindretning (4D), -drift og -lagre.
- 4.8 H. Materiel, værktøjer og arbejdsstationer.
- 4.9 I. Byggevarebestilling og -levering.
- 4.10 J. Nedrivning, transport og genbrug af affald.
- 4.11 K. Leverandørlogistik, -lagre og -transporter.

*Administration af byggelogistik:*

- 4.12 L. Økonomi, omkostninger og produktivitet.
- 4.13 M. Informationer, data og digitalisering.
- 4.14 N. Benchmarking af logistik og miljø.

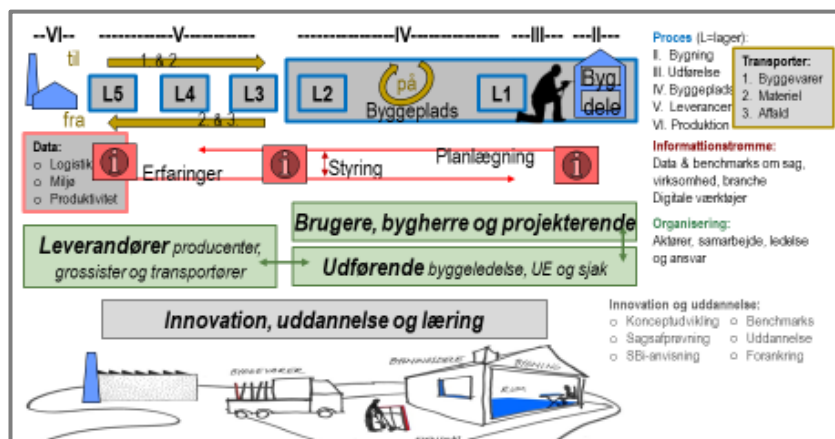
**Beskrivelse af logistikaktivitet**

Det foreslås, at hver logistikaktivitet beskrives efter følgende forslag:

- Hvad handler aktiviteten om?
- Hvilke dele af de 7 afsnit for byggelogistik er dækket?
- Hvilke typer data og informationer håndteres i forhold til de 9 dataplatforme?
- Hvilke henvisninger og erfaringer bygger vejledningen på?
- Hvilke delaktiviteter og opgaver foreslås aktiviteten gennemført efter, og hvordan er de nærmere beskrevet i forhold til god praksis for de forskellige aktørgrupper?
- Hvilke vejledninger, instruktioner og videoer ol. er tilknyttet aktiviteten, og hvordan er de nærmere beskrevet og optaget i forhold til god praksis for de forskellige aktørgrupper?

Man kan selv tilføje supplerende logistikaktiviteter til de 14 basis-logistikaktiviteter, hvis man har særlige behov. Man kan også bruge de 14 basis-logistikaktiviteter som grundlag for at udvikle og beskrive sine helt egne logistikaktiviteter. Om man vælger den ene eller anden

form anbefales, at man tydeligt beskriver de enkelte logistikaktiviteter i forhold til god logistikpraksis, og at man træner kompetencer og udvikling af byggelogistik i forhold hertil. Det foreslås, at beskrivelsen foregår efter vejledningens principper.



**FIGUR 30.** Fælles arbejdsmodel for byggelogistik, som har været anvendt gennem projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis' (se afsnit 6.4), og som har brugt figur 11 og figur 9 som forlæg. Figuren er delt i 3 lag: Det blå og gule lag, som er leverancekæden med transportere, ressourcestrømme og lagre; det røde lag, som er informationsstrømme og data; og det grønne og grå lag, som er organisering og innovation. Nederst er vist en håndskitse af byggelogistik fra fabrik til hus, hvor de lodrette snit passer sammen med tre 3 lag ovenover.

### Anvendelse af beskrivelsen

Det anbefales, at virksomhedsledelsen og byggeledelsen i deres strategi og på byggerier beslutter:

- At anvende vejledningen gennem hele byggeprojektet.
- At medarbejdere og ledere har den nødvendige kompetence for at gennemføre god byggelogistik efter basisaktiviteterne.
- At man anvender arbejdsmodellen i figur 30 og de bagvedliggende modeller i figur 11 og figur 9 eller lignede, som ramme for indsatsen.
- At man løbende bidrager til forbedring af byggelogistik jf. kapitel 5 ved følgende indsats:
  - At udvikle medarbejderne og ledernes kompetencer efter vejledningen.
  - At man foretager en løbende udvikling og forbedring af byggelogistikken på byggeriet med baggrund i de enkelte logistikaktiviteter.
  - At man med sine erfaringer bidrager til, at vejledningen løbende bliver forbedret ud fra erfaringer fra praktiske byggerier.

### Anbefalinger til operationel styring

- ❖ Fagpersoner og ledere der arbejder med byggelogistik, bør anvende de 14 basis-logistikaktiviteter e.l. til planlægning, gennemførelse, dokumentation og videndeling af god byggelogistik.
- ❖ Hvis de anvender andre logistikaktiviteter, bør de beskrives efter de angivne principper e.l., så det danner en fælles ramme for styring og udvikling af byggelogistik.
- ❖ De bør være trænet i at bruge dem i praksis, og de bør løbende udvikle deres kompetencer og forbedre byggelogistik i en mere effektiv, bæredygtig og grøn retning.
- ❖ De kan evt. bidrage med forbedringer og supplementere til kapitlet, der kan virke som alment teknisk fællesseje for byggeriet.

## 4.1 A. Regler, normer og branchepraksis

I offentlige regler, standarder og vejledninger samt i fælles normer og branchepraksis sættes nogle ydre rammer for målsætninger og indhold i byggepolitik, som man skal holde sig indenfor. Aktiviteten gennemføres som en del af programmeringen, men den kan også suppleres gennem hele projektførelsen, hvis ny viden dukker op i de andre afsnit af byggepolitik. Denne opfølgning er nærmere beskrevet i afsnit 4.4. Den indeholder primært informationer og data om marked og normer på landsplan og på lokalområdet, men der kan heri findes specifikke krav til øvrige dataplatforme. Se nærmere om bygningsreglementet, bekendtgørelser, almene betingelser og vejledninger fra myndigheder i afsnit 6.6.

Det foreslås, at aktiviteten gennemføres i følgende opgaver, hvor der udtrages rammer og krav til de enkelte afsnit og dataplatforme for byggepolitik:

- Myndighedernes regler og vejledninger på landsplan gennemgås.
- Normer for god byggepraksis og uddannelse gennemgås.
- Lokalområdets krav og normer for byggepolitik gennemgås.
- Rapportering af disse rammer og krav så de kan bruge i forløbet.
- Justeringer til programmeringen i efterfølgende afsnit ses i afsnit 4.4.

## 4.2 B. Programmering og projektering

I 'programmering og projektering' samles henholdsvis krav til byggepolitik og design-specifikationer af bygninger, byggeprocessen og byggepolitik med målsætninger for byggepolitik. Den kan suppleres gennem hele projektførelsen, hvis nye behov for projektering dukker op i de andre afsnit af byggepolitik. Denne opfølgning er nærmere beskrevet i afsnit 4.4. Aktiviteten dækker hele afsnit I. 'Program og projektering', som sætter rammer, krav og specifikationer for de øvrige afsnit i byggepolitik. Den indeholder informationer og data om ejer-, bruger- og driftskrav under byggeprocessen, og den sætter rammer, krav, specifikationer og målsætninger for de øvrige dataplatforme. Se nærmere om indholdet i kapitel 2 og i afsnit 3.10, og om videngrundlaget i kapitel 6, hvor der findes et historisk baggrundsmateriale.

Det foreslås, at aktiviteten gennemføres i følgende opgaver, hvor der udtrages rammer, krav og specifikationer til de enkelte afsnit og dataplatforme for byggepolitik:

- Regler, normer og branchepraksis indhentes fra afsnit 4.1.
- Ejer-, bruger-, bygherre- og driftskrav under byggeprocessen gennemgås.
- Programmeringen gennemføres og byggeprogram udarbejdes.
- Projektering med hoved-, detail- og myndighedsprojekt udarbejdes.
- Udbud, tilbud og aftaler om projektering og entrepriser ses i afsnit 4.3.
- Justeringer til projekteringen i efterfølgende afsnit ses i afsnit 4.4.

## 4.3 C. Udbud og aftaler om byggepolitik

I 'udbud og aftaler' samles alle typer aftaler om projektering, udførelse og leverancer om byggepolitik, som både dækker udbud, tilbud, granskning og aftaler, mens senere tillæg og justeringer heraf samles op i afsnit 4.4. Aktiviteten dækker alle afsnit af byggepolitik. Den indeholder informationer og data om dataplatformene 3-9 under afsnit VII. Se nærmere om indholdet i eksempler fra udbudsprocessen i projektet 'Effektiv byggepolitik i praksis' i afsnit 6.5.4.

Det foreslås, at aktiviteten gennemføres i følgende opgaver, hvor der udtrages specifikationer og målsætninger til de enkelte afsnit og dataplatforme for byggepolitik:

- Projekteringsudbud, -tilbud og -aftaler gennemføres og godkendes.
- Fag-, hoved-, total- eller andre entrepriseudbud, -tilbud og -aftaler gennemføres og godkendes.
- Projektgranskning af den aktuelle entrepriseform gennemføres.
- Leverandørudbud, -tilbud og -aftaler gennemføres og godkendes. De evalueres først i forbindelse med aflevering jf. afsnit 4.4.
- Evaluering og rapportering af programmering, projektering og udbudsprocessen gennemføres umiddelbart efter entrepriseudbuddet, og den bør have en struktur, som er egnet til evaluering og aflevering jf. afsnit 4.4.

#### **4.4 D. Justeringer af krav og aftaler samt evaluering efter aflevering**

I 'justeringer af krav og aftaler samt evaluering efter aflevering' samles der op på krav-, specifikations- og aftaleprocessen gennem udførelsesprocessen og efter afleveringen af byggeriet. Aktiviteten dækker alle afsnit af bygge-logistik. Den indeholder informationer og data om dataplatformene 3-9 under afsnit VII.

Det foreslås, at aktiviteten gennemføres i følgende opgaver, hvor der uddrages specifikationer og målsætninger til de enkelte afsnit og dataplatforme for bygge-logistik:

- Programmering: Justering af krav i forløbet.
- Projektering: Justering af specifikationer i forløbet.
- Aftaler: Justering af aftaler i forløbet.
- Leverandøraftaler: Evaluering af aftaleprocessen, mens evaluering efter afleveringen gennemføres i næste opgave.
- Evaluering ud fra afleveringserfaringer af programmering, projektering og aftaler.

#### **4.5 E. Bygningsdele, 3D, gentagelser og lokationer**

I 'bygningsdele, 3D, gentagelser og lokationer' arbejdes med den fysiske afgrænsning af byggeriet i bygningsdele, som kan beskrives digitalt i 3D, og hvordan de kan samles i gentagelser med geografisk lokalisering. Det betegnes som produktenheden i bygge-logistik, og er det, der trækker en god, effektiv og bæredygtig bygge-logistik. Aktiviteten dækker specifikt afsnit II, som er sidste led i leverance-kæden. Den dækker specifikt dataplatform 3, som de andre dataplatforme er koblet op på. Se nærmere om indholdet i afsnittene 2.5 og 3.2 .

Det foreslås, at aktiviteten gennemføres i følgende opgaver, som dækker alle led i styringen af den fysiske produktenhed i bygge-logistik:

- Bygningsdelene afgrænses som en fysisk opdeling af hele byggeriet, og de kan med fordel beskrives digitalt i en 3D-model i BIM eller VDC.
- Specifikation og målsætninger fastlægges med input fra aktivitet A-D i forhold til omfang og egenskaber.
- Gentagelser uddrages af bygningsdele, der udføres af samme byggesjak og med næsten samme operation og leverance. Lokationer fastlægges på dem.
- Udførelse af bygningsdelen og dens gentagelser beskrives i lokationsstyringen i aktivitet F jf. afsnit 4.6.
- Bygningsdelen og dens gentagelser beskrives som færdig ved afleveringen (evt. også ved 1- og 5-års eftersyn), og den evalueres i forhold til specifikation og målsætninger.

## 4.6 F. Lokationsstyring af aktiviteter, tid (4D) og aktører

Lokationsplanlægning, -styring og -opfølgning kaldes kort lokationsstyring, på engelsk 'Location Based Management System' (LBMS). Lokationsstyring arbejder med de enkelte aktiviteter, aktivitetskæder, tidsforløb (4D), aktører, samarbejde og ledelse. Den er koblet på produktenheder (bygningsdele og deres lokationer), og den er det centrale omdrejningspunkt for byggeplanlægning, hvortil der desuden kan kobles strømme og økonomi. Aktiviteten dækker afsnit III.-VII. i forhold til dataplatform 4, og den kobler lokationsstyringen i udførelsen/bearbejdning sammen med byggepladsen og leverancesystemets lokationsstyring. Se nærmere herom i afsnit 2.3, og udvalgt litteratur om LBMS kan læses afsnittene 6.3.3 og 6.5.2.

Det foreslås, at aktiviteten gennemføres i følgende opgaver, som dækker alle led i aktivitets- og tidsstyring i byggeplanlægning, og som udføres af kvalificerede aktører:

- Aktiviteterne afgrænses og aktivitetskæder beskrives i forhold til de enkelte bygningsdele, gentagelser, lokationer og byggesjak.
- De enkelte aktiviteter beskrives i forhold til arbejdsoperationer, opgaver og rækkefølge, samt deres relationer til før- og efteraktiviteter og strømme.
- Lokationsplan udarbejdes og justeres om nødvendigt i forløbet. Den støttes med fordel af digitalt værktøj med cyklogram i 4D-model, og den tilpasses til de enkelte aktørgruppers behov.
- Lokationsstyring af processen under gennemførelse med operationelle- og ledelsesjusteringer i forløbet. Der opsamles løbende realiserede data og informationer i cyklogrammet.
- Opfølgning og evaluering af forløbet ved sammenligning mellem specifikationer, målsætninger, lokationsplan og resultatdata fra lokationsstyringen, hvorfra der udledes erfaringer til forbedring af byggeplanlægning og personlig udvikling.

## 4.7 G. Byggepladsindretning (4D), -drift og -lagre

Byggepladsen er byggeriets 'samlebåndsfabrik' omkring udførelsen på byggeriet, dog med den forskel, at produktenheder (bygningsdele og gentagelser) ikke bevæger sig rundt på 'samlebåndet' mellem de enkelte arbejdsstationer. Der er derimod arbejdsstationerne og fagfolkene, der flytter sig fra bygningsdel til bygningsdel. I byggepladsindretning og lagre arbejdes bl.a. med etablering, drift og afrigning af byggepladsen. Den kan fx omfatte transportveje, varemottagelse, indretning af arbejdsstationer med værktøjer, afgrænsning af arbejdsområder med arbejdslagre og arbejdsstationer, personalekure samt lagerområder til byggevarer, materiel og affald. Aktiviteten dækker alle dele i styringen af afsnit IV i byggeplanlægning, og den dækker alle dataplatforme i tilknytning hertil. Indretning og løbende ændring af byggepladsen kan med fordel beskrives i en dynamisk 4D-model med brug af lokationsstyring. Den kan også omfatte et interim konsolideringscenter udenfor, men i nærheden af byggepladsen, hvis der ikke er tilstrækkelig lagerplads på byggepladsen. Det skal her aftales, om det ansvarsmæssigt er en del af byggepladsen, og om det styres af entreprenører eller leverandører. Se nærmere herom i afsnit 3.4.

Det foreslås, at aktiviteten gennemføres i følgende opgaver, som dækker alle led i byggepladsstyring, og som udføres af kvalificerede aktører:

- Planlægning med krav til indretning og drift af byggepladsen gerne støttet af dynamisk 4D-model af byggepladsen.
- Etablering af byggepladsen med indhegning, veje, skure, arbejdsstationer og lagre mv.

- Drift og flytning af byggepladsen i forhold til indhegning, veje, skure, arbejdsstationer og lagre mv.
- Eksternt interim konsolideringscenter. Hvis det etableres, anbefales det, at det driftes med lagerstyring efter behovene i logistikaktiviteterne H, I og J.
- Håndtering af materiel, byggevarer og affald herunder forskellige typer lagre på byggepladsen. Arbejdet gennemføres i logistikaktiviteterne H, I og J. Vedrørende lagerstyring henvises til generelle principper i logistikaktivitet K.
- Leverandørlagre på byggepladsen. Her omsættes erfaringer fra logistikaktivitet K.
- Afrigning af byggepladsen.
- Opfølgning og evaluering af forløbet ved sammenligning mellem krav, planer, driftsdata og afrigningsdata, hvorfra der udledes erfaringer til forbedring af bygge-logistik og personlig udvikling.

## 4.8 H. Materiel, værktøjer og arbejdsstationer

Arbejdet med håndtering af materiel, værktøjer og arbejdsstationer omfatter planlægning, bestilling, transporter til, på og fra byggepladsen samt informations- og dataindsamling i forløbet med evaluering ved afslutning af i byggeriet. Aktiviteten dækker logistikaktivitet III.-VII, og der anvendes primært dataplatform 5.

Det foreslås, at aktiviteten gennemføres i følgende opgaver, der dækker alle led i materielhåndteringen, og som udføres af kvalificerede aktører:

- Planlægning af håndtering af materiel på byggepladsen med leverandøraftaler, så transporter på byggepladsen foregår 'just-in-time', og værktøjer er tilgængelige 'just-in-time' på de enkelte arbejdsstationer.
- Bestilling og afkald af materiel til byggepladsen med angivelse af leveringsted og evt. krav til flytning af dem i byggeperioden.
- Modtagelse, drift, anvendelse og vedligehold af materiel på byggepladsen.
- Lager og lagerstyring. Der kan hentes erfaringer fra dataplatform K, som omsættes til denne logistikaktivitet.
- Opfølgning og evaluering af forløbet ved sammenligning mellem krav, planer, realisering og opfølgning, hvorfra der udledes erfaringer til forbedring af bygge-logistik og personlig udvikling.

## 4.9 I. Byggevarebestilling og -levering

Arbejdet med håndtering af byggevarebestillinger og -levering omfatter planlægning, bestilling, transporter til, på og fra byggepladsen samt informations- og dataindsamling i forløbet med evaluering til slut i byggeriet. Aktiviteten dækker logistikaktivitet III.-VII, og der anvendes primært dataplatform 5.

Det foreslås, at aktiviteten gennemføres i følgende opgaver, som dækker alle led i byggevarehåndteringen, og som udføres af kvalificerede aktører:

- Planlægning af håndtering af byggevarer til og på byggepladsen med leverandøraftaler, så de fleste er tilgængelige 'just-in-time' på de enkelte arbejdsstationer med minimum flytning på byggepladsen.
- Bestilling og afkald af byggevarer til byggepladsen med angivelse af leveringsted, hvor hovedparten er til de aktuelle arbejdsstationer.
- Modtagelse af byggevarer på byggepladsen eller interimt konsolideringscenter.
- Lager og lagerstyring på byggepladsen eller interimt konsolideringscenter. Der kan hentes erfaringer fra dataplatform K, som transformeres til denne logistikaktivitet.



- Opfølgning og evaluering af forløbet ved sammenligning mellem krav, planer, realisering og opfølgning, hvorfra der udledes erfaringer til forbedring af byggelogistik og personlig udvikling.

## 4.10 J. Nedrivning, transport og genbrug af affald

Arbejdet med håndtering af affald omfatter planlægning, nedrivning, sortering, miljøkontrol, transporter på og fra byggepladsen, samt informations- og dataindsamling i forløbet med evaluering til slut i byggeriet. Aktiviteten dækker logistikaktivitet III.-VII, og der anvendes primært dataplatform 5.

Det foreslås, at aktiviteten gennemføres i følgende opgaver, som dækker alle led i affaldshåndteringen, og som udføres af kvalificerede aktører:

- Planlægning af håndtering af affald på og fra byggepladsen med leverandøraftaler, så stor andel er egnet til genbrug, og forurening og flytning på byggepladsen begrænses.
- Nedrivning og sortering af byggeaffald fra byggeriet.
- Lager og lagerstyring med miljøovervågning på byggepladsen, så forurening og flytning på byggepladsen begrænses.
- Bestilling og afkald af affaldstransporter fra byggepladsen med angivelse af afhentningssted og aftale om genbrug.
- Opfølgning og evaluering af forløbet ved sammenligning mellem krav, planer, realisering og opfølgning, hvorfra der udledes erfaringer til forbedring af byggelogistik og personlig udvikling.

## 4.11 K. Leverandørlogistik, -lagre og -transporter

Leverandørlogistik, -lagre og -transporter omfatter logistik mellem industriproduktion, byggeplads, genbrugsfirma og affaldsdeponering, som udføres af producent, affaldsbehandlere, grossist eller transportør. Det inkluderer materiel, byggevarer og affald samt styring af deres individuelle lagre og konsolideringscentre. Aktiviteten dækker logistikafsnit V., VI. og VII., og den anvender primært dataplatform K.

Det foreslås, at aktiviteten gennemføres i følgende opgaver, som dækker alle led i leverandørlogistikken, og som udføres af kvalificerede aktører:

- Lager og lagerstyring af leverandørlagre herunder interimt konsolideringscenter styret af leverandører. Erfaringer herfra transformeres desuden til logistikaktivitet H, I og J, hvor leverandøren fx kan virke som rådgiver eller direkte være ansvarlig for byggepladslagre.
- Planlægning af leverandørlogistik til og fra byggepladsen efter aftale med entreprenør, så de fleste gennemføres 'just-in-time' og med minimum flytning på byggepladsen.
- Modtagelse af afkald og pakning af leverance med stor del direkte leveret på de aktuelle arbejdsstationer, og således, at store elementer kan aflæses i rigtig rækkefølge til arbejdsstationen.
- Levering og aflæsning med levering af leverancedokumentation til byggepladsen, herunder evt. med løft direkte til den aktuelle arbejdsstation i bygningen.
- Opfølgning og evaluering af forløbet ved sammenligning mellem krav, planer, realisering og opfølgning, hvorfra der udledes erfaringer til forbedring af byggelogistik og personlig udvikling.

## 4.12 L. Økonomi, omkostninger og produktivitet

Økonomi, omkostninger og produktivitet for byggelogistik ses i forhold til byggesagens samlede økonomi, så det giver et godt grundlag for styring, optimering og udvikling af byggelogistik. Aktiviteten dækker alle logistikafsnit, og den anvender primært dataplatform 7. Vedrørende benchmarking af produktivitet anbefales, at der både arbejdes med arbejds- og totalproduktivitet for hvert logistikafsnit og samlet for byggeriet. Om produktivitet henvises til bilag B og projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis' i afsnit 6.5.4, hvor der også vises erfaring om benchmarking af logistik og miljø, som anvendes i logistikaktivitet N.

Det foreslås, at aktiviteten gennemføres i følgende opgaver, som dækker alle led i økonomistyring, og som udføres af kvalificerede aktører:

- Planlægning af økonomistyring med omkostningsbudget for byggelogistik udarbejdes.
- Løbende indsamling af økonomi- og omkostningsdata under byggeriet gennemføres herunder timeforbruget for de enkelte medarbejdergrupper, som kan sammenlignes med data fra lokationsstyringen i logistikaktivitet F.
- Afsluttende regnskab ved afleveringen af byggeriet med sammenligning af budget og løbende regnskabsdata samt med benchmarks.
- Der udarbejdes et særligt regnskab for planlagt og realiseret produktivitet samt gennemførte forbedringer af arbejds- og totalproduktivitet, og det sammenlignes med benchmarks.
- Opfølgning og evaluering af forløbet ved sammenligning mellem krav, planer, realisering og opfølgning, hvorfra der udledes erfaringer til forbedring af byggelogistik og personlige udvikling.
- Grønt regnskab gennemføres i logistikaktivitet N.

## 4.13 M. Informationer, data og digitalisering

Informationer, data og digitalisering herunder koordinering med de øvrige logistikaktiviteter med primært fokus på byggelogistik, men det kan også omfatte relation til andre typer informationer på byggesagen. Aktiviteten dækker primært logistikafsnittene III.-VII., og den anvender primært dataplatform 5. Benchmarking i forhold til dataplatform 5 behandles i logistikaktivitet N.

Det foreslås, at aktiviteten gennemføres i følgende opgaver, som dækker alle led i styring af informatik, og som udføres af kvalificerede aktører:

- Planlægning og aftaler om ansvarsfordeling og indhold i styring af informatik på byggeriet med særlig vægt på byggelogistik.
- Løbende indsamling af data, koordinering med øvrige logistikaktiviteter samt sikring af hardware, software og data.
- Indsamling af informationer, data og erfaringer om informatik og digitalisering ved byggeriets aflevering og 1- og 5-års eftersyn.
- Opfølgning og evaluering af forløbet ved sammenligning af krav, planer, realisering og opfølgning, hvorfra der udledes erfaringer til forbedring af byggelogistik og personlig udvikling.

## 4.14 N. Benchmarking af logistik og miljø

Benchmarking af logistik og miljø samler og koordinerer byggesagens informationer og data om disse områder, og sammenligner dem med benchmarks på andre af virksomhedens

byggesager og generelt på landsplan. Der foretages også benchmarking af produktivitet, men det behandles i logistikaktivitet L. Aktiviteten dækker primært logistikafsnittene III.-VII., og den anvender primært dataplatform 5. Informatik i forhold til dataplatform 5 behandles i logistikaktivitet M.

Det foreslås, at aktiviteten gennemføres i følgende opgaver, som dækker alle led i styring af informatik, og som udføres af kvalificerede aktører:

- Planlægning og aftaler om ansvarsfordeling og indhold i håndtering af benchmarking med særlig vægt på bygge Logistik.
- Løbende indsamling af informationer, data, koordinering med øvrige logistikaktiviteter samt kvalitetssikring af benchmarks.
- Indsamling af informationer, data og erfaringer om benchmarking om logistik og miljø ved byggeriets aflevering og 1- og 5-års eftersyn.
- Opfølgning og evaluering af forløbet ved sammenligning mellem krav, planer, realisering og opfølgning, hvorfra der udledes erfaringer til forbedring af bygge Logistik og personlig udvikling.



The background of the page is filled with a pattern of thin, dark blue, wavy lines that create a sense of movement and depth. These lines are arranged in concentric, flowing patterns that curve across the page.

5

# **FORBEDRING AF BYGGELOGISTIK OG KOMPETENCER**

# 5 FORBEDRING AF BYGGELOGISTIK OG KOMPETENCER

Kapitlet opsamler behovet for udvikling og forbedringer fra kapitlerne 2, 3 og 4, hvor rammerne er lagt for forståelse og gennemførelse af god byggelogistik i praksis. Kapitlet bruger kapitel 6 herunder erfaringer fra projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis' som videngrundlag. I dette kapitel 5 beskrives først behovet for udvikling og forbedring. Derefter følger 3 væsentlige udviklingsområder med den persondrevne udvikling i centrum. Den støttes af ledelses- og sektorudvikling, og effekten kan dokumenteres på fx kompetencer, byggerier og bæredygtighed. Samlet beskrives kapitlet i følgende afsnit:

- 5.1 Behov for udvikling og forbedring.
- 5.2 Bottom-up leadership og kompetenceudvikling for medarbejdere.
- 5.3 Dokumentation af effekt på byggerier og bæredygtighed.
- 5.4 Ledelses-, virksomheds-, uddannelses- og sektorudvikling.

## 5.1 Behov for udvikling og forbedring

Det historiske videngrundlag i kapitel 6 viser, at man gennem de seneste 20 år kun har arbejdet lidt med tværfaglig udvikling af byggelogistik i Danmark. I 2014-20 satte projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis' fornyet gang i udviklingen (se afsnit 6.5.4). Projektet har erfaret følgende behov for forbedring af byggelogistik i fremtiden:

- At udviklingssamarbejdet i projektet mellem byggeriets parter og leverandørerne var meget givende og konstruktivt, og at det lover godt for den fremtidige udvikling og forbedring.
- At der er behov for uddannelse i byggelogistik for alle typer aktører på skoler og i organisationer, og at der er behov for specifik læring og træning i praksis i virksomheder og på byggerier.
- At digitaliseringen er et nødvendigt hjælpemiddel, og at der er behov for at den tilpasses behovene i byggelogistik på byggepladsen, i leverancekæden og i forhold til horisontal og vertikal tværfagligt samarbejde og udvikling.
- At kun få af aktørerne kan eller har tid til at dokumentere fx produktivitet, arbejdsmiljø, byggelogistik og bæredygtighed, samt hvordan de forbedrer disse egenskaber gennem udvikling, uddannelse og læring.
- At det er svært at udbrede og forankre erfaringer fra forskning, udvikling og uddannelse som ny og bedre praksis i byggelogistik. Det formodes, at det fx kan skyldes modstand mod forandring og egen læring, eller at aktørerne ikke får eller tager ansvar for forandringen. Det kan også skyldes, at vi forklarer forbedringerne som top-down teorier og management strategier, eller at vi ikke forklarer forbedringerne ud fra aktørernes behov, muligheder og motivation. Alt i alt er det en meget væsentlig udfordring af finde løsninger på, som også anden procesudvikling har haft svært ved at håndtere.

Videngrundlaget og projektet har givet et godt grundlag til at skrive kapitlerne 2 og 3, samt til at vælge og konkretisere principperne for de 14 basis-logistikaktiviteter i kapitel 4. Derimod mangler et bredt grundlag af dokumenterede praktiske eksempler på god byggelogistik, før disse aktiviteter kan beskrives mere operationelt og illustrativt samt betegnes som alment

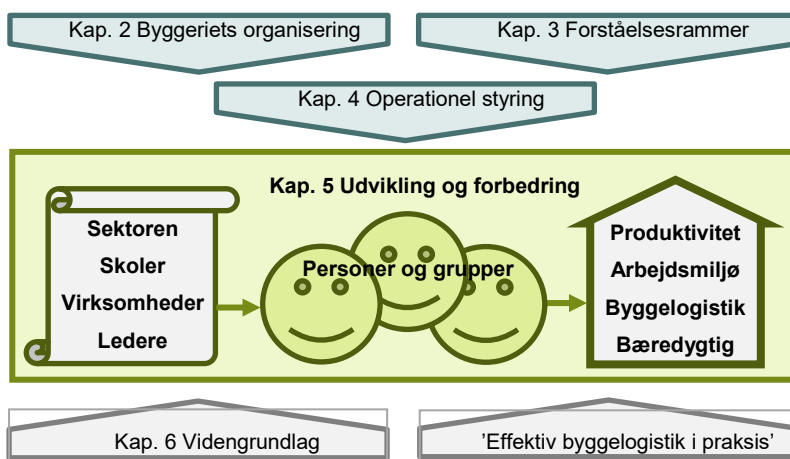
teknisk fælleseje. Vejledningens struktur, beskrivelser og udviklingsprincip samt aktørenes motivation for udvikling og samarbejde giver et godt grundlag for fremtidige forbedringer.

### Anbefalinger til udvikling

Det foreslås, at udviklingen behandler følgende spørgsmål, at figur 31 bruges som model, og at der særligt lægges kræfter i det sidste spørgsmål, da det er væsentligt og tidskrævende at løse og bør trække de øvrige spørgsmål:

- ❖ Hvordan gennemføres uddannelse, læring og træning i byggelogistik for alle typer af aktører i dag og i fremtiden?
- ❖ Hvordan integreres digitaliseringen i balance med de fysiske arbejdsopgaver i de 14 basis-logistikaktiviteter, samt hvordan udvikles de sammen?
- ❖ Hvordan færdiggøres de 14 basis-logistikaktiviteter med mere operationelle og illustrative dele, som kan underbygges med instruktioner og videofilm?
- ❖ Hvordan dokumenteres god byggelogistik og udvikling på byggerier i forhold til parametrene produktivitet, arbejdsmiljø, byggelogistik og bæredygtighed?
- ❖ Hvordan motiveres, udbredes og praktiseres bottom-up leadership, som skaber god flow i produktion, leverancer og udvikling i god balance med top-down strategier og ledelse?

I denne version af vejledningen er kapitlerne 4 og 5 endnu ikke tilstrækkeligt operationelt og illustrativt, da det ikke var muligt inden for rammerne af projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis'. Men de er givet en struktur, som efterfølgende kan udbygges og konkretiseres i de enkelte afsnit, så de bedre kan støtte den nødvendige udvikling af byggelogistik.



**FIGUR 31.** Kapitel 5 har personer og grupper i centrum for procesudviklingen. De støttes af ledelses-, virksomheds-, uddannelses- og sektorudvikling, og resultater og effekter kan fx 'måles' på de 4 parametre på byggerier. Kapitel 5 samler op på udviklingsbehovene fra kapitlerne 2, 3 og 4, og det bygger på viden og erfaringer fra kapitel 6 og projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis'.

## 5.2 Bottom-up leadership og kompetenceudvikling for medarbejdere

Fagfolks og arbejdsgruppers egen styring af det daglige arbejde, personlig udvikling, træning gennem gentagelser og forbedring af samarbejdet i arbejdsgrupper er ofte en glemt procesudvikling. Denne form for selvledelse kan give hurtig effekt på byggeriet, hvis den får lov til at virke på egne premisser eller bliver understøttet af ledelsen. Den overskygges dog ofte af top-down strategier, nye teknologiske udviklinger og teoretisk byggeforskning, som

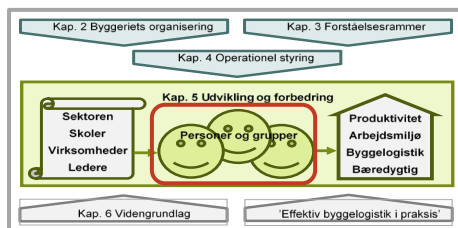
tager lang tid at få målbare effekter af på byggerier. Eksempler og modeller fra kapitel 6 antyder, at en faglig selvledelse gennemført i balance med top-down strategier, nye teknologier og åben ledelse kan give hurtigere og større effekt af udviklings- og uddannelsesinitiativer. Håndteret på den rette måde i bygge-logistik kan det føre til et mere jævnt og robust flow i arbejdet, leverancer og aflevering, som den enkelte håndværker oplever som bedre akkorder, arbejdsmiljø og kvalitet.

Håndværkerne opfattes ofte som nederst i organisation- og udviklingshierarkiet, men i vejledningen er de forsøgt sat forrest, fordi det er her, forbedringerne realiseres, og fordi den interne værdi- og leverancekæde bør trækkes af dem. En tilgang, som bl.a. er inspireret af Gemba Kaizen jf. afsnit 6.1 og 'Den selvstyrende byggeplads' og BygSol [Sørensen et al., 2001], [Elsborg et al., 2004], [Bertelsen, 2005] og [Bertelsen, 2010a]. Disse betragtninger kan også gælde for den enkelte medarbejder hos leverandørerne, teknikeren i byggeledelsen og arkitekten i projekteringen. Denne ledelses- og samarbejdsform kan fx benævnes 'Construction Gemba Kaizen' eller 'Bottom-up Leadership in Construction', som det er foreslået i 'Japan-DK Seminar 2019 in Copenhagen' i afsnit 6.5.4.

I bottom-up leadership skabes gentagende små forbedringer i processen af innovative fagpersoner, og deres samarbejde i arbejdsgrupper kan også styrke motivation for udvikling, der kan give bedre bygge-logistik for små investeringer. Det kræver dialog og aftaler mellem de enkelte medarbejdere, grupper og ledelsen om valg af udviklingsområde og forventede resultater samt praktisk træning i udvikling, læring og forbedring.

I dette afsnit 5.2 skrives først om fagfolks- og dernæst om arbejdsgrupper udvikling af kompetencer, samarbejde og processer i god bygge-logistik, som fx kan forbedre produktivitet, arbejdsmiljø, bygge-logistik og bæredygtighed. Til sidst skrives om, hvordan koncepter, vejledninger, instruktioner og videofilm kan støtte optimeringer og forbedringer. Afsnittet er vist med rød ring i vignetten til højre fra figur 31, og det er efterfølgende beskrevet under overskrifterne:

- 5.2.1 Fagfolks udvikling med små stadige forbedringer.
- 5.2.2 Procesudvikling ved samarbejde i arbejdsgrupper.
- 5.2.3 Koncepter, vejledninger, instruktioner og videofilm.



### 5.2.1 Fagfolks udvikling med små stadige forbedringer

Man kan få en forståelse for denne type udvikling i uddannelse på skoler eller som undervisning i virksomheden, men det kan også ske ved selvstudier, brug af e-læring og instruktionsvideoer. Det er dog først gennem praktisk anvendelse og træning på byggerier, hvor man selv tager ansvar for gennemførelse, udvikling og forbedring, at man virkelig hæver sin kompetence og kan forbedre bygge-logistik i praksis. Her vil sidemandsoplæring, mesterlæring og mentorordning være en god støtte, som kan accelerere læringen. Det centrale er dog, at man skal hoppe ud i selve udviklings- og læringsprocessen og komme i gang med at skabe små stadige forbedringer på konkrete byggerier. Det kan fx gøres i følgende trin:

- Fastlæg udfordringer og målsætninger.
- Indhent opbakning og se muligheder for forbedringen.
- Gennemfør udviklings-, lærings- og forbedringsprocessen.
- Dokumenter resultater og erfaringer fra forløbet.

*Udfordringer og målsætninger.* Man bygger sin personlige udvikling oven på sin grunduddannelse og tager udgangspunkt i sin aktuelle eller ny arbejdsfunktion. Man sætter sig mål



for sin kompetenceudvikling og forbedring af sine arbejdsprocesser, samarbejde og resultater, men man kan også fastlægge ønsker for en ny arbejdsfunktion. Mange vil have glæde af at skrive det ned, og aftale det med arbejdskollegaer og nærmeste leder, mens andre ikke ønsker at dele det med nogen. Ens egne behov og ønsker kan også suppleres med undersøgelse af, hvor der er behov og udfordringer i virksomheden og i byggeriet, som man har mulighed for at udfylde med bedre kompetencer. Man kan med fordel sætte sig nogle langsigtede og nogle kortsigtede mål, hvor de kortsigtede mål kan realiseres som små hurtige forbedringer frem mod de langsigtede mål. Mange bliver motiveret af at løse et problem i deres arbejde, som de hurtigt og med lidt indsats kan få gevinst af, mens andre ønsker store målsætninger.

*Opbakning og muligheder.* Man kan også sondere, hvilken opbakning eller modstand der er fra omgivelsen til problemerne og deres løsning. Selv om man umiddelbart har en løsning, kan det være en fordel lige at vurdere, om der er alternative løsninger. Man kan også vurdere, hvor nemt den enkelte løsning er at gennemføre, og hvad de koster i tid og penge, samt hvilken effekt man kan opnå i bedste og i værste tilfælde.

*Udvikling og forbedringsproces.* Selve udviklingen kan gennemføres efter forskellige metoder, men vigtigst er det, at man selv føler tryk ved at bruge metoden, og at den giver resultat. Fra videngrundlaget i kapitel 6 kan fx hentes følgende metoder, men der findes også mange andre metoder, som man kan finde på nettet:

- Gemba Kaizen med de 5 'hvorfor' i TPS - afsnit 6.1.8.
- Videnskabelig metode til forbedring (STM) - afsnit 6.1.11.
- Flaskehalsproblemer 'The Theory of Constraints' (TOC) - afsnit 6.2.2.
- Integreret produktivitetsudvikling – afsnit 6.2.4.

*Resultater og erfaringer.* Som sidste trin i udviklings-, lærings- og forbedringscirklen samles resultater og erfaringer, og man reflekterer over dem i forhold til målsætningerne. Samtidig kan man også finde nye problemstillinger, som man nu kan tage fat på, og man kan vurdere, om der er muligheder for at forbedre udviklingsmetoden.

*Faldgruber i udviklingen.* Fastlæg realistiske mål og tidsplan, som udfordrer ens kompetence. For høje og for lave mål er lige dårligt. Man bliver ofte fokuseret på en given løsning og blive blind over for naboløsninger, som er nemmere og bedre. Mange bliver også bidt af teknologiske løsninger og store og universale løsninger, hvor man ofte burde holde sig til de nemme, nære og hurtige løsninger med hurtig og tydelig effekt. Man kommer ofte på nye ideer undervejs, som man forfølger og dermed taber de oprindelige udfordringer af sigte. Det kan godt være en mulighed, men prøv at vurdere dem realistisk. Omgivelserne vil ofte komme med andre ideer eller prøver at skyde løsningen ned. Tag det som en udfordring og inspiration, der kan bruges til at gøre løsningen bedre. Men hold snuden i sporet og arbejd både med udviklingen, læringen, anvendelsen og formidlingen af resultatet.

## **5.2.2 Procesudvikling ved samarbejde i arbejdsgrupper**

I byggeriet arbejder man ofte sammen i faglige eller tværfaglige arbejdsgrupper hos både entreprenører, rådgivere og leverandører. Der kan også arbejdes sammen på og mellem forskellige ledelsesniveauer. Ligesom for den faglige udvikling, er det også vigtigt, at der i de enkelte grupper sker en udvikling af små stadige forbedringer af processen, hvor effekten er hurtig og synlig. Samarbejdet kan også omfatte udvikling af de sociale relationer.

Det vanskelige for udviklingen i grupper er at finde ud af, hvem der tager ansvaret for den, og i hvilken grad de enkelte kan motiveres og involveres. Ansvaret kan tages af virksomhedens ledelse, eller ledelsen kan lægge ansvaret i gruppen, og de kan hjælpe gruppen i gang. Ansvaret kan også tages af gruppen selv ved en eller flere personer, der tager føringen og trækker de andre med sig.

I nogle tilfælde er der modstandere heraf eller personer i gruppen, som decideret saboterer samarbejdet eller taler dårligt om kollegaerne af forskellige grunde. Disse negative holdninger skal løses først fx med ledelsens hjælp, inden man kan komme i gang med gruppeudviklingen. Når det er løst, kan man aftale ansvar, involvering, og hvordan motivation håndteres med ledelse og i gruppen. Her henvises til erfaringer på håndværkerniveau fra bl.a. 'Den selvstyrende byggeplads' og BygSOL. Her siges bl.a., at en udbredt involvering og ansvar i gruppen vil være at foretrække, men at det også er svært at praktisere, fastholde og videreudvikle over længere tid.

I virksomheden er der en opgave med at få overført erfaringer med god udviklingspraksis og byggegistik fra én gruppe til en anden, så de fleste af deres grupper og medarbejdere arbejder med optimering, udvikling og forbedringer. Her spiller ledelsesholdningen og medarbejdernes involvering og samspil med ledelsen en væsentlig rolle for succes. En mere vanskelig opgave på byggepladser er at skabe en udvikling i tværfaglige grupper på tværs af firmaer og mellem ledere i forskellige firmaer på byggepladsen. I forvejen kæmper de med at få det normale samarbejde og den daglige drift af byggeprocessen ind i en god gænge. De ved, at når projektet er færdigt, går de hver til sit.

Det er her nemt at få lagt planer og få det aftalt. Erfaringer viser, at det vanskelige er at få realiseret udviklingen, og forsætte den gennem hele byggeriet samt især at overføre den til det næste byggeri. Samtidig mangler der undervisning og vejledning både på medarbejder- og ledelsesniveau, så man kan bygge udvikling af byggegistik på en fælles byggekultur. Der mangler også dokumentation og formidling af erfaringer, der kan overføres til nye byggerier.

### 5.2.3 Koncepter, vejledninger, instruktioner og videofilm

Den personlige udvikling og udviklingen i faglige og tværfaglige arbejds- og ledelsesgrupper kan have gavn og støtte af at anvende eller selv udvikle koncepter, vejledninger og instruktionsvideoer. Vi forsøger her at skelne mellem de tre ord, som er forskellige typer, der kan defineres som følger:

- Koncepter er en samling af ideer, udkast eller generelle beskrivelser af et produkt, et projekt eller en proces.
- Vejledninger er skriftlige beskrivelse af råd, fremgangsmåder, retningslinjer ol. til processer, aktiviteter og opgaveforløb. Det kan også være en verbal, mundtlig eller visuel vejledning af nogen.
- Instruktionsfilm er instruktioner på film, video eller som YouTube af en given proces, aktivitet eller opgaveforløb, som fx kan bruges til formidling og fastholdelse af god praksis.

I byggegistik bruges de primært til beskrivelse af processer, aktivitet, opgaveforløb eller udviklings- eller læringsforløb. Med reference til forståelsesrammens 6 første afsnit jf. figur 11 kan man fx udvikle følgende beskrivelser:

1. Bygningsdele, gentagelser og lokationer
  - Opdeling af bygninger i bygningsdele, gentagelser og lokationer.
2. Bearbejdning og arbejdsstationer
  - Etablering, drift og flytning af faste og dynamiske arbejdsstationer på byggepladsen.
  - Planlægning og opfølgning på lokationsstyring per gentagelser.
  - Samling af byggevarer i leverancepakker og levering per gentagelser.
  - Aflevering, dokumentation og erfaringer om byggegistik per gentagelse.
3. Byggegistik på byggeplads
  - Indretning, drift og afrigning af byggepladsen.
  - Indretning, drift og afrigning af faste og dynamiske lagre på byggepladsen.
  - Etablering og drift af kraner, lifte og kørende materiel.

- Modtagelse af gods på byggepladsen.
  - Lokationsplanlægning af byggepladsen.
  - Håndtering af affald på byggepladsen.
  - Indretning og drift af kontorer, kantine og andre skure på byggepladsen.
  - Skiltning, afmærkning og indhegning af arbejdsområder.
  - Aflevering, dokumentation og erfaringer fra drift af byggepladsen.
4. Byggelogistik i leverancekæden
- Pakning af byggevarer og udstyr til given lokation og gentagelse.
  - Drift og lagerstyring af leverandørlagre uden for byggepladsen.
  - Ordrehåndtering i leverancekæden.
5. Industriproduktion og systemudvikling
- Planlægning af systemleverancer sammen med byggeriet.
  - Mærkning samt monterings- og driftsvejledninger.
6. Krav fra byggeprogram og projektering
- Krav til byggelogistik fra bygherre, ejer og brugere.
  - Specifikation af byggelogistik i projektering.
  - Udbud af entrepriser og ydelser til byggelogistik.
  - Overvågning af byggelogistik gennem udførelsen til afleveringen.

Når der er opnået erfaringer med udarbejdelse og anvendelse af flere koncepter, vejledninger og instruktionsfilm til byggelogistik, kan der også beskrives en vejledning til udarbejdelse af dem.

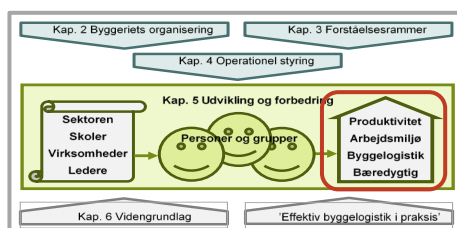
## 5.3 Dokumentation af effekt på byggerier og bæredygtighed

I udviklingsprojektet 'Effektiv byggelogistik i praksis' i 2014-20 (afsnit 6.5.4) har man erfaret, at man i byggelogistik har haft svært ved at håndtere:

- Erfaringer fra de enkelt byggerier som videndeles til de næste byggerier.
- Benchmarking af byggelogistik og produktivitet mellem flere byggerier.
- Dokumentation af bæredygtighed og klimavenlig byggelogistik.

Hvis erfaringerne med dokumentation af god byggelogistik havde været mere udbredt, var de blevet beskrevet i vejledningens kapitel 4. Det er i stedet valgt at beskrive udviklingsmuligheder i dette kapitel 5, men på sigt, når disse erfaringer er opnået, kan dokumentation indgå i kapitel 4 og vejledningen kan opgraderes til en SBI-anvisning. Det er også valgt at placere det umiddelbart efter kompetenceudvikling af medarbejdere og arbejdsgrupper i afsnit 5.2, fordi det er vigtigt at også de kan være med til at formidle dokumenterede forbedringer. Se vignet til højre af figur 31 med rød ring om dette afsnit 5.3. Dokumentation af erfaringer er efterfølgende beskrevet under overskrifterne:

- 5.3.1 Erfaringer om byggelogistik fra byggerier.
- 5.3.2 Benchmarking af produktivitet for bygningsdele.
- 5.3.3 Benchmarking af byggelogistik og bæredygtighed.
- 5.3.4 Eksempler på benchmarking af bæredygtighed.



### 5.3.1 Erfaringer om byggelogistik fra byggerier

Indsamling af erfaring om byggelogistik fra de enkelte byggerier er et godt grundlag for udvikling og forbedring af byggelogistik generelt i sektoren. Herfra kan erfaringerne brede sig til kommende byggerier, til læring i virksomheder og til uddannelse på skoler. Erfaringerne kan indgå i benchmarking, hvor man sammenligner med andre byggerier.

Som nævnt i indledningen er det en generel udfordring for byggeriets parter at indsamle, beskrive og analysere erfaringer fra byggerier. Selv hvis der udarbejdes en vejledning i egevaluering og rapportering af byggelogistik i byggerier, er det noget, byggeparterne skal trænes i for at blive kvalificeret [Bertelsen et al., 2021]. Med baggrund heri og i figur 9 og figur 11 er der her givet et forslag til tidspunkter og temaer for egevaluering af byggelogistik på byggerier.

*Tidspunkter* for egevalueringen foreslås at følge hovedfaserne i byggeriet og afsnittene for byggelogistik, som de er vist i figur 11. De foreslås gennemført ved hver af de lodrette tidssnit, når en ny fase begynder. I figur 11 er der givet eksempler herpå, og for hver af disse kan fx gives:

- i. Et sammendrag af proceserfaringer, som er indsamlet løbende i den foregående fase/delfase.
- ii. Dokumentation af resultatet af den foregående fase/delfase.
- iii. Beskrivelse af planer og mål med den kommende fase/delfase
- iv. Da faser/delfaser ofte løber parallelle og er overlappende, er der også behov for, at der i efterfølgende faser/delfaser gives en status for justeringer og tilføjelser til foregående faser/delfasers evalueringer.

Forslag til lodrette tidssnit hver gang en ny fase/delfase begynder:

- *Viden*. Indsamlet viden, erfaringer og rammer for byggeriet som optakt til programfasen, samt beskrivelse af planer for programfasen.
- *Fase A*. Indsamlede proceserfaringer og resultater fra programfasen, når projekteringsfasen begynder samt planer for projekteringsfasen.
- *Fase B*. Indsamlede proceserfaringer og resultater fra projekteringsfasen, når udførelsesfasen begynder samt planer for udførelsesfasen.
- *Fase C*. Indsamlede proceserfaringer og resultater fra udførelsesfasen på følgende tidspunkter: Ved afleveringen, ved 1-års eftersyn og ved 5-års eftersyn. I fase C kan i relation til byggelogistik desuden indsamles specifikke planer, proceserfaringer og resultater. Det kan fx ske i forhold til hvert af de 6 logistikafsnit vist i figur 11.
- *Erfaringer*. Beskrivelse af tværgående erfaringer for fase A, B og C og planer for drift og anvendelse med relation fx til vejledninger og instruktioner.

*Temaer* for egevaluering kan hentes direkte fra dataplatformene i afsnit 2.5, og de kan behandles på tværs af de forskellige tidssnit:

1. Krav fra markedet og normer.
2. Krav fra brugere og ejere.
3. Bygninger, egenskaber og kvalitetsstyring.
4. Aktiviteter og aktører.
5. Informatik og digitalisering.
6. Ressourcestrømme:
  - Byggevarer og materialer.
  - Materiel og værktøjer.
  - Affald og bortskaffelse.
7. Økonomi og produktivitet.

**TABEL 3.** Forslag til egevaluering af byggelogistik for hvert lodret tidssnit mellem hovedfaserne og for hvert logistikafsnit. Evalueringen kan også ske på tværs for hvert tema. I sidste koldonne og række sammendrages erfaringerne. I hver felt beskrives: i, ii, iii & vi.

Logistikafsnit:	I. Krav i fase A & B	II. Bygningsdel	III. Udførelse	IV. Byggeplads	V. Leverance logistik	VI. Industriel	VII. Ledelse & samarb.	Erfaringer
1. Markedskrav 2. Brugerkrav 3. Egenskaber								
4. Aktiviteter 5. Informatik 6. Ressourcer: • Byggevarer • Materiel • Affald 7. Økonomi								
<b>Erfaringer</b>								i, ii, iii, iv

i) proceserfaringer; ii) resultater; iii) planer for næste fase; iv) justeringer til foregående evalueringer.

I tabel 3 er givet et overblik over egevaluering af byggelogistik, hvor der i kolonnerne er vist forslag til de lodrette tidssnit, og hvor rækker viser de enkelte evalueringstemaer, som er hentet fra afsnit 2.5. Egeevalueringen kan gennemføres af byggeriets enkelte parter. Hvis man har behov herfor, kan den suppleres med en uvildig tredje parts evaluering. I hvert felt i tabel 3 kan fx beskrives: i) Proceserfaringer, ii) Resultater, iii) Planer for næste fase og iv) Justeringer til foregående evalueringer. Erfaringer fra foregående byggerier kan indgå som viden til kommende byggerier, læring i virksomheder og uddannelse på skoler. Evalueringen bør indgå i aftaler mellem parterne og nærmere beskrives for hvert byggeri herunder, hvilket også inkluderer rapportering.

### 5.3.2 Benchmarking af produktivitet for bygningsdele

Benchmarking er en sammenligning fx mellem flere byggerier, bygningsdele, aktører og virksomheder. Sammenligningen kan fx ske på forskellige egenskaber, parametre og værdier, som for byggelogistik primært har relation til de nævnte informationer og data i dataplatformene i afsnit 2.5. I benchmarking kan der indsættes forskellige referencepunkter på, hvad der er 'dårligt', 'normalt' og 'godt' byggeri, arbejde og virksomhedsdrift. Disse referencepunkter kan være fastlagt i love, normer og offentlige standarder, som fx i Bygningsreglementet. De kan også suppleres med krav fra de enkelte aktører, og de kan fx sammenlignes i forhold til en fordeling på landsplan eller internationalt.

I det efterfølgende er givet et eksempel på en kort vejledning i benchmarking af *enhedsomkostninger* og *produktivitet*, som er suppleret med eksempler fra byggerier, og som man kan bruge til planlægning af sin egen benchmarking.

#### Enhedsomkostninger

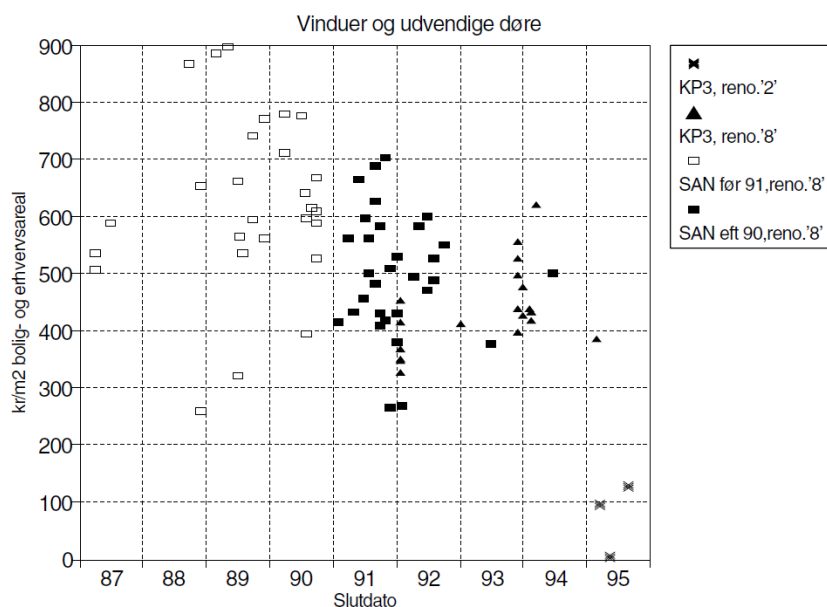
Enhedsomkostninger er de samlede omkostninger på en given bygningsdel, fællesomkostning eller lignende, hvor enheden kan være specificeret i type og mængde som fx m<sup>2</sup> facadeareal. Se eksempel på enheder i en benchmarking af 88 byfornyelsessager i København i tabel 4. I tabel 5 og figur 41 er vist eksempel på enhedsomkostninger for reparation og udskiftning til nye vinduer i 81 ud af de 88 byfornyelsessager for perioden 1987-95. Udskiftningen af nye vinduer i 78 af byfornyelsessagerne over de 3 tidsperioder viser en gennemsnitlig omkostningsreduktion på 8 % per år.

**TABEL 4.** Eksempel på enheder ved benchmarking mellem 88 byfornyelsessager i København, hvor fordelingen af enhedsomkostninger er bestemt for forskellige typer af bygningsdele, fællesomkostninger, typer af renovering, arbejdsomfang og tidsperioder [Bertelsen, 1999].

Udgiftsposter	Bygningsdele
Håndværkerudgifter	Udvendige: Tag, facade, vinduer og fundamenter Indvendige: Etagedæk, trapper, værelser, bad og køkken Installationer: Varme, vand, afløb, el og ventilation Fælles: Byggeplads og diverse
Teknisk rådgivning	
Administration	
Finansiering	

**TABEL 5.** Eksempel på benchmarking af enhedsomkostninger til reparation eller udskiftning med nye vinduer i 81 ud af de 88 byfornyelsessager i København. Arbejdet er udført i forhold til 2 forskellige lovgivninger og 3 forskellige tidsperioder [Bertelsen, 1999]. Udgifterne kan også være angivet i kr./m<sup>2</sup> vinduesareal og antal vinduer, men det er ikke angivet i rapporten.

Renoveringstype	Antal sager		Udgifter per m <sup>2</sup> bolig (std.afv.)
1. Reparationer, lov C, år 1992-95	3	3 %	76 kr./m <sup>2</sup>
2. Nye vinduer, lov C, år 1992-95	20	23 %	436 kr./m <sup>2</sup> (17 %)
3. Nye vinduer, lov B, år 1991-94	31	35 %	500 kr./m <sup>2</sup> (21 %)
4. Nye vinduer, lov A, år 1987-90	27	31 %	624 kr./m <sup>2</sup> (25 %)
I alt for 81 sager	81	92 %	510 kr./m <sup>2</sup> (32 %)
Ingen renovering eller atypisk	7	8 %	



**FIGUR 32.** Omkostninger ved reparation af gamle vinduer (reno. '2') og udskiftning med nye vinduer (reno. '8') i 81 ud af de 88 byfornyelsessager i København. Arbejdet er fordelt efter 2 forskellige lovgivninger (KP3 og SAN) og 3 forskellige tidsperioder (1987-90, 1991-94 og 1992-95) [Bertelsen, 1999].

### Produktivitet

Produktivitet er et udtryk for ressourceindsatsen i forhold til den værdi, byggeprocessen skaber på det færdige byggeri, eller specifikt for hver enkelt bygningsdel. Den kan udtrykkes som arbejdskraftproduktiviteten (timeproduktiviteten), der er værditilvæksten per arbejdstime, eller som bruttofaktorproduktiviteten, der er værditilvæksten ud fra den samlede ressourceindsats. Begrebet bruges meget i nationalregnskabet til at beregne, hvor effektive de enkelte sektorer eller virksomhedskategorier er i forhold til andre. Værdien bestemmes af

byggeriets løbende priser på forskellige typer byggerier, og man sætter dataene ind i en statistisk indeksmodel.

Produktivitetsmålninger bruges også i store produktionsvirksomheder til at optimere deres produktion. I byggeriet taler man primært om timeproduktiviteten for bygningsarbejderne i et samlet nationalt perspektiv, hvor byggeriet sammenlignes med andre sektorer. Hos rådgivere og entreprenører og på de enkelte byggerier bruges produktiviteten kun sjældent til at optimere byggeprocessen.

En af årsagerne kan være, at de enkelte byggerier er forskellige, og at man har svært ved at sammenligne dem på egenskaber, kvaliteter og den samlede værdi. En anden årsag kan være, at byggeriet ikke har en god praksis for at gennemføre produktivitetsmålninger og bruge dem til optimering af byggeprocesser. Der er dog gennemført flere analyser, hvorfra de generelle principper kan hentes. Fx er den foreslåede produktivetsmodel for byggerier i figur 41 hentet fra [Bertelsen, 1999], [Nielsen et al., 2010] og [Bertelsen, 2010].

$$\text{Produktivitet} \approx \frac{\begin{matrix} \square \text{ Produktionsværdier} \square \\ \square \text{ Ressourceindsatser} \square \end{matrix}}{\begin{matrix} \square \text{ Omfang og mængde} \square \\ \square \text{ Standard og kvalitet} \square \\ \square \text{ Leveringsværdier} \square \\ \square \text{ Timeforbrug} \square \\ \square \text{ Byggevarer} \square \\ \square \text{ Driftsmidler} \square \end{matrix}}$$

**FIGUR 33.** Forslag til produktivetsmodel for byggerier [Bertelsen, 1999], [Nielsen et al., 2010] og [Bertelsen, 2010].

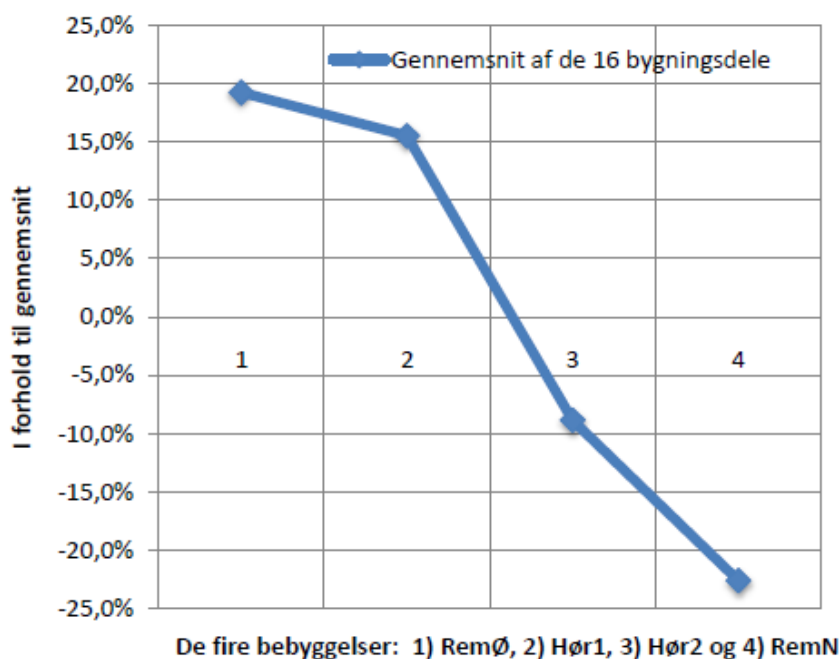
**TABEL 6.** Eksempel på omfang af enheder ved facaderenovering af 4 almene boligbebyggelser på Amager [Bertelsen, 2010]. Se foto af facade i figur 12. For hver af de 4 bygningsdele (facader, vinduer, aptering og lysninger) er der 4 forskellige undertyper.

Bygningsdel	Enheder	RemØ	Hørg1	Hørg2	RemN	I alt
Bygninger	Styk	15	7	4	5	31
Opgange	Styk	56	29	25	22	132
Facader	m <sup>2</sup>	16.367	9.336	7.344	6.964	40.010
Vinduer og døre	Styk	4.376	1.541	1.032	1.161	8.110
Udv. apteringer*	Styk	1.181	722	627	556	3.086
Indv. lysninger**	Styk	4.376	1.541	1.032	1.161	8.110

\* Udvendige apteringer er fx franske altaner, altaner og skodder.

\*\* Indvendige lysninger blev udført af snedkersjak efter det udvendige facadearbejde.

Et eksempel på måling af produktivitet på et konkret byggeri ses i facaderenovering på 4 almene boligbebyggelser Remisevænget Øst, Hørgården 1, Hørgården 2 og Remisevænget Nord på Amager, som blev renoveret i perioden 2003-10 [Bertelsen, 2010].



**FIGUR 34.** Eksempel på gennemsnitligt timeforbrug til montering af bygningsdele ved facaderenovering af 4 almene boligbebyggelser på Amager [Bertelsen, 2010]. Det ses, at der er en tydelige forbedring af byggesjakkernes timeproduktivitet fra første bebyggelse til fjerde bebyggelse på 35,3 %.

**TABEL 7.** Eksempel på gennemsnitligt timeforbrug til montering af hver af de 4 bygningsdele ved facaderenovering af 4 almene boligbebyggelser på Amager [Bertelsen, 2010]. Det ses, at der er en tydelige forbedring af timeproduktiviteten mellem de 4 bebyggelser, som er udført i den viste rækkefølge.

Bygningsdel	Enheder	RemØ	Hørg1	Hørg2	RemN	G.snit
Facader	Timer/m <sup>2</sup>	2,17	2,20	1,71	1,53	1,90
Vinduer og døre	Timer/styk	2,00	1,76	1,70	1,26	1,68
Udv. apteringer*	Timer/styk	3,16	2,42	1,88	1,88	2,33
Indv. lysninger**	Timer/styk	3,20	2,64	1,35	1,30	2,12

\* Udvendige apteringer er fx franske altaner, altaner og skodder.

\*\* Indvendige lysninger blev udført af snekkersjak efter det udvendige facadearbejde.

G.snit er gennemsnit af de fire boligbebyggelser.

### 5.3.3 Benchmarking af byggelogistik og bæredygtighed

Erfaringer til dette afsnit er hentet fra projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis' primært fra byggerierne Vapnagaard, Helsingør og Nordea Domicil, Amager og specifik fra bilag B og arbejdsrapporter i afsnit 6.5.4:

- [2015 Nordea Domicil analyse af råhus v Nielsen](#)
- [2016 Benchmarking logistik miljø v Henriques](#)

#### Baggrundsviden, teorier og modeller for dataindsamling og analyser

Benchmarking af logistik-, transport- og miljødata er del af optimeringen, analyser og udviklingen af byggelogistik. Det kræver, at der ligger en klar benchmarkingmetode, og at det i praksis er muligt at finde velegnede målepunkter for denne proces.

Den røde tråd for målepunkterne har været at identificere dem, så de er genfindelige og genkendelige i alle typer af byggerier. Samtidig skal det være let af få adgang til data og muligheder for at indrapportere dem. I projektet er diskuteret en opstilling af mulige målepunkter, og de metoder der ligger bag disse. Forslaget er, at man skal fokusere på parametrene tid og kilometer, idet det er her, de mest oplagte forbedringer vil kunne identificeres.



Metoden læner sig op af den fælles arbejdsmodel for byggelogistik i figur 30, hvor transporten til, på og fra byggepladsen sker mellem 5 typer af lagre herunder lager 3 (L3), som er et eksternt konsolideringscenter. Eksterne konsolideringscentre er foreslået som noget nyt for byggeriet, idet de kan bidrage til at gøre byggelogistik bedre og mere effektiv.

Derudover har fokus været på leverancer til de enkelte bygningsdele, hvorpå man kan registrere og måle kilometer og tidsforbrug. Bygningsdele er valgt som en væsentlig byggeproduktenhed, som er nem at sammenligne fra byggeri til byggeri, selvom der kan være forskel i den bagvedliggende leverancekæde og byggelogistik. Det foreslås, at man især udvælger de bygningsdele, som har en vis volumen i byggeprocessen og som gentages procesmæssigt gennem byggeriet. I valget af bygningsdele skal det sikres, at der er mulighed for at gennemføre målinger og benchmarking, og at de kan bruges til at vurdere en udvikling såvel inden for det enkelte byggeri som på tværs af flere byggerier. For det sidste gælder dog, at der ofte vil være tale om forskellige processer selvom bygningsdelene er de samme. Dette kan forringe denne tværgående sammenligningsmulighed, men det kan også udnyttes til at se forskelle, så man kan finde frem til nye, bedre og billigere metoder.

Disse forskelligheder er dog i en større sammenhæng ikke af afgørende betydning for udvikling. Det helt afgørende er derimod at få indlejret tankesættet om byggelogistik, målinger og benchmarking efter de samme grundprincipper i et robust system i forhold til fremtidens byggerier. I den forbindelse kan måling og benchmarking tjene 2 hovedformål:

- Man kan demonstrere mulighederne for at finde områder for måling af effekter af byggelogistiske optimerings- og udviklingstiltag.
- Man kan gennem en række byggerier samle data, der kan godtgøre, hvor de største gevinster kan hentes, og om der er sker en løbende forbedring.

Bag begge de nævnte formål gemmer sig en mere dybtgående søgen efter, hvordan byggelogistiske tiltag kan finde vej fra tænkerne bag skrivebordet til praktikerne hos bygherrer, rådgivere, entreprenører og leverandører. Det kan også være i omvendt rækkefølge fra praktikere til tænkerne og til uddannelse. Men det centrale er, at bedre byggelogistik trænger mere og mere ind i de forskellige planlægnings-, leverance- og udførelsesprocesser. Hele dette idégrundlag med principper for benchmarking og målinger på bygningsdele må nødvendigvis være centralt her. Med centralt forstås, at man skal forstå de teoretiske og metodiske sider af byggelogistik, transport og lagerstyring som en del af byggeprocessen. Man skal også kunne omsætte dem til en operationel værktøjskasse, der kan anvendes i processen.

Vores baggrundsviden omkring målepunkter i den byggelogistisk kæde er begrænset. Det er naturligvis ikke det bedste udgangspunkt for udvikling, kunne man sige, men det er noget, vi deler med mange andre brancher. Eller sagt med andre ord: Ligeså positivt tanker om byggelogistik er blevet modtaget i den brede kreds af aktører i byggeriet, ligeså tynd er deres viden om benchmarking i praksis. Det gælder både, når fokus er på selve logistikken, men også når fokus er på målingerne. Nok endda mere på sidstnævnte end på førstnævnte.

Udviklingen af byggelogistik i danske byggerier i retning mod en højere grad af industrialisering har været beskeden. Det fremgår klart, at meget har været båret af erfaringer og i nogen grad uddannelse. Erfaringer fra bl.a. Teknologisk Institut omkring kurser i logistik har heller ikke været specielt positive. Der har heller ikke på forhånd været stor interesse for eller indsigt i området. Det sås bl.a. i interviews af rådgivere som optakt til projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis'.

Erfaringerne fra eksempelvis England og Sverige hjalp med at give nogle indikationer på en række indsatsområder, men dog uden præcist at indikere, hvor og hvad man bør måle. Set i et større perspektiv er det formentlig også langt vigtigere at få indlejret tanker om

grøn byggelogistik i hele byggeprocessen end at finde nogle konkrete målepunkter. Omvendt er målepunkterne naturligvis udtryk for de konkrete nedslagspunkter, der på en mere håndgribelig måde kan vise, at tingene rent faktisk udvikler sig, og at udviklingen har en positiv effekt.

Et helt afgørende element i tilknytning til målinger og benchmarking er også at vise, at de forventelige besparelser kan mere end dække ekstraomkostningerne i planlægnings- og udførelsesdelen af byggeprocessen. Man bør derfor i hele processen se byggelogistik, herunder transport og lagerstyring, som en serviceydelse, der indgår som underleverance til byggeriet. En leverance, der på mange måder er usynlig, idet den 'bare' sikrer, at materialer kommer til og fra pladsen på det rigtige tidspunkt. Hvorvidt metoder, transportløsninger, materiel mm. er korrekt, er som hovedregel ikke et fokus i byggeprocessen. Men i takt med en voksende erkendelse af, at omkostningerne ved transport til og fra byggepladsen er stigende (også selvom de er skjult for køberne), vokser belastningen af infrastrukturen, og det forøger tidsforbrug og miljøpåvirkning, hvilket skaber en voksende interesse for at se på disse forhold.

Oplevelsen er som hovedregel dog den, at man fra byggeriets side 'bare' skærper kravene til leverandørerne, men at man ikke konkret forholder sig til mulighederne for at indtænke leverandørlogistikken i byggeprocessen.

### **Hvorfor indgår byggelogistik ikke i byggeriets planlægning**

Som optakt til projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis' er der undersøgt en række projekter, der havde haft fokus på sammenhængene mellem byggeri og den ganske betydelige transport, som er knyttet hertil. I forbindelse med Trængselskommissionens afrapportering i 2013 blev der gennemført en række undersøgelser, hvor fokus bl.a. var på de mulige gevinster ved en bedre byggelogistik.

Det klassiske eksempel på opnåede forbedringer ved byggelogistik kendes fx fra det engelske byggelogistikprojekt WRAP's afrapporteringer [WRAP UK, 2017]. I rapporteringen fra One Hyde Park har man fx anvendt et konsolideringscenter. Herigennem har man opnået:

- 66 % reduktion af bilture til byggeriet.
- Markante reduktioner i CO<sub>2</sub> udslip.
- At 93 % af materialerne ankommer til konsolideringscenteret til tiden.
- At 100 % af materialerne ankommer til byggepladsen til tiden.
- At 100 % af materialerne ankommer i den rigtige mængde og tilstand.
- At 97 % af affaldet på byggepladsen blev genanvendt.

Med afsæt i erfaringer af denne karakter og lignende fra Sverige [Friblick, 2000] er det muligt at danne sig et billede af, hvor de store udfordringer og muligheder findes. Med afsæt i disse og efterfølgende erfaringer kan man naturligvis undre sig over, at tiltag af denne type ikke er blevet mere udbredt. Den vigtigste og mest sandsynlige forklaring er nok, at der er tale om tiltag, som ligger uden for den traditionelle byggesfære, og derfor som udgangspunkt påfører byggeriets parter ekstra arbejde og udfordringer. Dette forhold blev tydeligt bekræftet i 2013 i optaktssamtalerne til projektet med bl.a. rådgivere inden for byggeriet, hvor den positive respons var meget begrænset. Opfattelsen var tydeligt, at der var tale om nytteløse og til dels ligegyldige tiltag, som ingen ville betale for.

### **Hvad er benchmarking og hvordan**

Benchmarking er et sammenligning, der i dag fx anvendes inden for teknologi og økonomi. Ordet stammer fra engelsk og er fx brugt inden for snedkerverdenen. Når en snedker har brug for et bestemt fast mål, vil han ofte lave et hak (mark) i sin høvlebænk (bench) for at angive målet. Det kaldes derfor et benchmark.

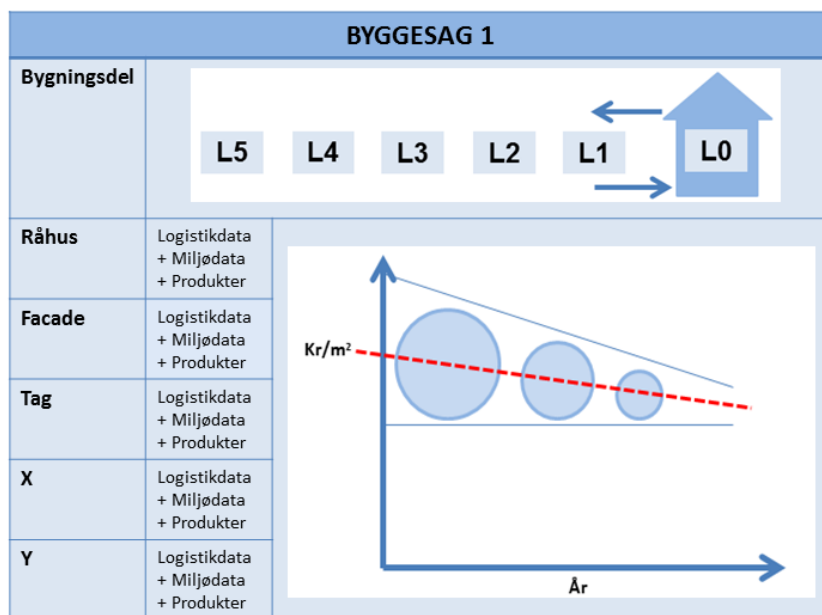
Oversat til byggelogistik betyder benchmark en række målepunkter baseret på forskellige typer af data, herunder både kvantitative og kvalitative, som beskriver en proces eller et produkt. I denne sammenhæng drejer det sig om transport og logistik i relation til byggeri. Beskrivelsen kan også dække andre processer i byggerier, hvor disse analyser kan udpege forbedringer.

I den ideelle verden er målepunkterne kvantitative og kan opgøres i form af tid, kilometre, omkostninger mv. I den virkelige verden vil det ofte være nødvendigt at supplere disse målinger med mere kvalitative analyser, da data ikke altid er tilgængelige.

Denne lidt smertelige erkendelsesproces har også præget udviklingen af byggelogistik. Ønsker om at gennemføre mange kvantitative målinger er ofte blevet sat i relief af virkeligheden, der ikke har budt på sammenlignelige kvantitative målinger. Virkeligheden har derimod været præget af en langt større kvalitativ lydhørhed i forhold til problemstillingen end forventet. Fx har der på workshops været ualmindelig stor interesse for problemstillingen og vilje til at løfte den videre, både teoretisk og praktisk. Samtidig har det også vist sig, at det at indtænke effektiv og grøn byggelogistik i praksis hos bygherrer, rådgivere, entreprenører og leverandørerne for de fleste stadig er noget, der ligger et stykke ude i fremtiden.

Ved nærmere eftertanke er dette måske ikke så overraskende. Det understreger, at den indsats, der skal til at løfte området, skal løftes af mange parter, såvel på et strategisk som på et mere operationelt og praktisk niveau. Der er med andre ord behov for at kæde håndens og åndens arbejde sammen, og sammenkædningen kan bl.a. sikres ved en række uddannelses- og træningstiltag. Det kan fx ske i forhold til følgende arbejdsområder:

- Udbudskrav, tilbud og aftaler om god benchmarking, evaluering, måling og benchmarking.
- Logistikprocesser, målepunkter og benchmarking afdækkes, afgrænses og konkretiseres på aktuelle byggerier og leverancer i forhold til typer og mængder.
- Benchmarking og måling af de nuværende processer før ændring af logistikprocessen: Her indsamles og bearbejdes konkrete logistikdata fra det samlede byggeri og fra udvalgte bygningsdele og leveranceprocesser, og parterne praksistræner det.
- Praksis i god benchmarking og evaluering på byggepladsen og hos leverandører gennemføres efter guidelines til de konkrete byggerier. Den skal også formidles og trænes og til slut afleveres som bidrag til ny vejledning.
- Benchmarking og måling af den forbedrede proces efter ændring af logistikprocessen. For anden gang og som efter-måling indsamles og bearbejdes konkrete logistikdata, og de formidles, drøftes og indsamles af parterne.
- Slutevaluering ved interview, målinger og erfaringer fra før- og efter-benchmarking, og der udarbejdes forslag til forbedringer og udvikling.
- Perspektivering ud fra byggeriernes erfaringer, som kan bidrage til forbedring af produktivitet og reduktion af miljø- og infrastrukturebelastninger både på byggeri-, virksomheds- og sektorniveau.



**FIGUR 35.** Benchmarking er illustreret som et samspil mellem typer af lagre i x-aksen (L0-L5) i forhold til en række udvalgte bygningsdele på y-aksen, som indgår i byggeprocessen. Ved at analysere strukturer i sammenligning med indhentning af erfaringer er der mulighed for løbende at finde forbedringer og effektivisering. Dette illustreres i figuren med den faldende kvadratmeterpris.

Set i forhold til praksis må man forvente, at man nok skal forholde sig til et mindre antal byggerier og bygningsdele end ønskeligt. Samtidig skal målingerne kunne vurderes generelt med baggrund i før- og efter-målinger, hvor den sidste sker efter indførelse af ny og bedre bygge-logistik.

I tillæg til byggevarer og materialer er der i bygge-logistik også behov for, at man kan håndtere materiel og værktøjer samt affald og jord. Hvor det sidste både drejer sig om store volumener, deponering på byggepladsen og store transportafstande samt løbende ændringer. Her vil der være behov for særlig optimering, nye løsninger og bedre adfærd.

I praksis foreslås, at der udarbejdes en generel benchmarkingsmetode, der fx tager afsæt i de såkaldte SMART kriterier [Gudmundsson et al., 2015]. SMART står for: Specific, Measurable, Attainable, Relevant and Timely. Dvs. at målinger skal kunne udføres på en sådan måde, at resultaterne kan opgøres: Specifikt, Måleligt, Opnåeligt, Relevant og til Tiden. Ved overordnet at anvende dette princip, får man en tilgang, der er intuitivt forståelig og robust. Desuden kan de nævnte indikatorer anvendes til at underbygge yderligere analyser, der i mere detaljeret form kommer rundt om de ovennævnte måleværktøjer. Disse analyser kan indeholde elementer i forhold til logistikprocessens lagre (L0-L5) og typer af bygningsdele, som der er illustreret i figur 35.

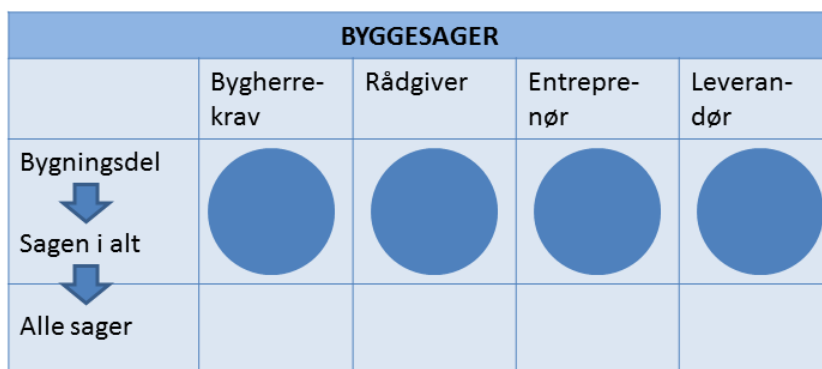
Samlet set må man forvente, at tid, økonomi og energiforbrug må anses for at være de afgørende faktorer, når man skal vurdere grøn bygge-logistik for en given leveranceløsning.

### Perspektiver på lokalt og nationalt niveau og om bæredygtighed

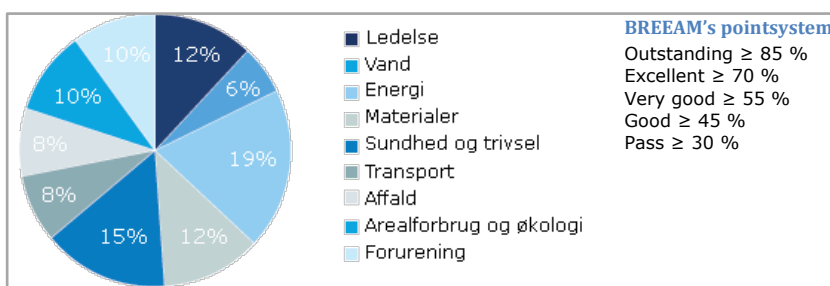
Udbredelsen af benchmarking, evaluering og ikke mindst effektmålinger fra enkelte byggesager til et lokalt og nationalt niveau findes ikke i dag. Så hvis det skal være med til at drive udviklingen, skal det tilrettelægges og udvikles. Det vurderes, at de byggerier, som i dag kan være egnede til at indgå i en senere benchmarking af bygge-logistik, kun repræsenterer en ubetydelig del af byggesektoren. Hvis de skal bruges som spydspids for denne udvikling, skal man sørge for, at de kan repræsentere forskellige bygningstyper, størrelser, lokaliteter

og logistikudvikling. Herved opnår man en god forståelse for udviklingsmuligheder og udfordringer til trods for et ret beskedent antal byggerier, og indsats og effekt kan efterfølgende omregnes til et samlet lokalt og nationalt niveau. Denne effektomregning skal naturligvis tages med et vist forbehold, men blot det at gøre sådan, vil løfte byggeogistik et markant skridt fremad. Den vigtigste begrundelse for at presse på for en udvikling af byggeogistik er, at netop bygge- og anlægssektoren i transportmæssig sammenhæng fylder meget. Samtidig er det stadig en sektor med en væsentlig grad af dansk kontrol, hvorfor muligheden for at influere på udviklingen er stor.

I den fremdige udviklingsproces skal byggeriets- og transportsektorens aktører selvfølgelig inddrages tidligt, og aktiveres både i planlægning, udvikling og realisering af benchmarking. Det skal også sikres, at resultaterne bliver udbredt på den bedst mulige måde. Denne proces illustreres i figur 36, som viser aktørernes indsats på bygningsdele på x-aksen, og på y-aksen vises opbygning af viden fra bygningsdel, til byggerier og samlet på mange byggerier. Jo mere viden og erfaringer der videregives fra et byggeri til et andet, desto højere bliver det samlede videnniveau. Og med et højere videnniveau kan projekterne organiseres mere optimalt, også på logistikside.



**FIGUR 36.** Målinger og benchmarking sker på de enkelte bygningsdele for hver aktør og logistikafsnit og det samles for hvert byggeri. Hvis det gentages for mange byggerier, skaber det lidt efter lidt et godt grundlag for benchmarking af effekter på logistik, bæredygtighed og økonomi, som kan dække hele landet eller et større lokal- eller indsatsområde.



**FIGUR 37.** Eksempel på BREEAM-certificering.

Man kan også få inspiration fra internationale LEED- og BREEAM-certificering af bæredygtighed, som både kan bruges på nybygning og renovering. Se eksempel på BREEAM-certificering i figur 41. I Danmark kan fx henvises til Building Council Denmark (DK-GBC) <https://www.dk-gbc.dk/>. Se nærmere om det i arbejdsrapport [2016 Benchmarking logistik miljø v Henriques](#) i afsnit 6.5.4.

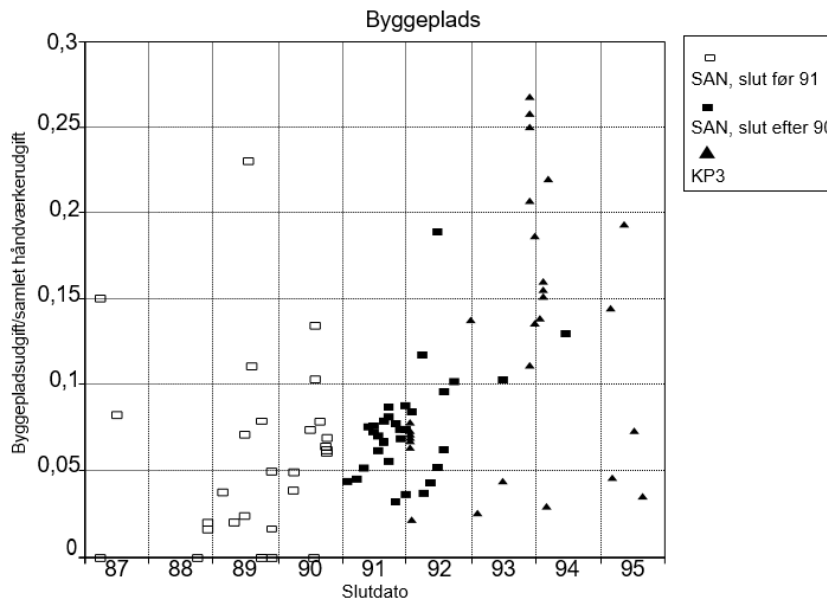
### 5.3.4 Eksempler på benchmarking af bæredygtighed

Byggelogistik omfatter de 7 logistikafsnit, herunder byggepladsen og leverancekæden, som er beskrevet i afsnit 3.4 og afsnit 3.5 ved følgende punkter:

- Byggelogistik på byggepladsen:
  - Arealtyper på byggeriet disponibel for logistikprocessen.
  - Funktionsområder for byggelogistik knyttet til de enkelte arealtyper.
  - Indretning og organisering af byggepladsen.
  - Drift af byggepladsen og fremdrift af den dynamiske del.
  - Afrigning af byggepladsen.
- Byggelogistik i leverancekæden:
  - Håndtering af leveranceordre.
  - Pakning af leverancer til bygningsdele eller byggepladsen fælles.
  - Lagre, opbevaring og lagerstyring i leverancekæden.
  - Transporter, leveringer og returgods.

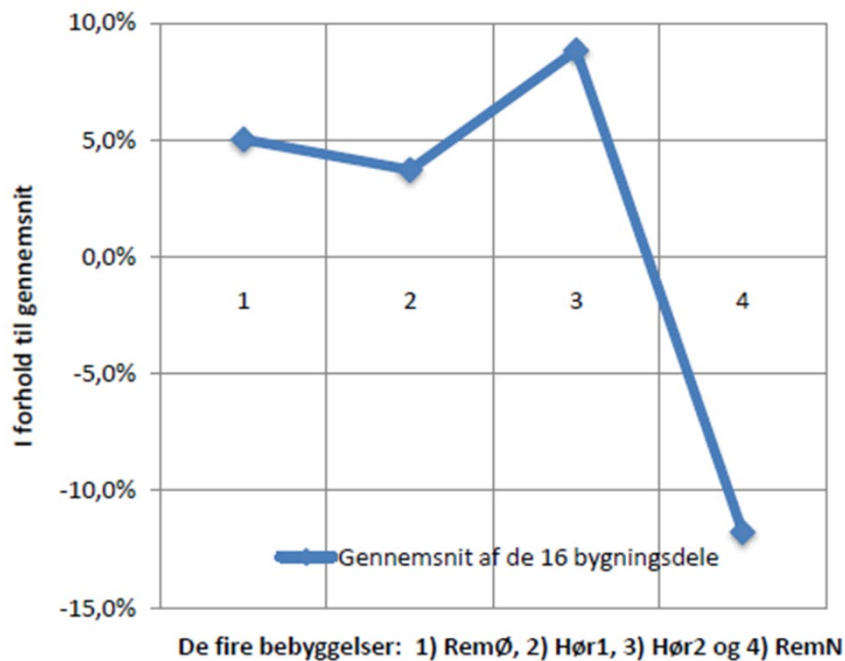
Byggeparterne har primært fokus på byggepladsen og i mindre grad på leverancekæden. Samtidig håndteres mange af de specifikke leverancer af de enkelte fagentreprenører, mens man på store byggesager forsøger at planlægge og styre den samlede byggelogistik som et samlet leverancesystem. Det er dog vanskeligt at få adgang til byggeriets logistikdata og især til data på tværs af aktører, som kan bruges til benchmarking. Det skyldes bl.a., at der ikke er praksis for det hos de fleste entreprenører, eller fordi leverancedelen og byggedelen ikke har praksis for at udveksle erfaringsdata og benchmarking ud fra en fælles model.

Ved benchmarking af byggepladsen er det normalt, at man normerer data i forhold til de samlede entreprenøromkostninger. Ved analyse af 88 byfornyelsessager [Bertelsen, 1999] er dette nøgletal fastlagt for alle 88 sager. Som det ses af figur 38 er andelen af byggepladsomkostninger stigende i den 9 årige periode. For de tre tidsperioder (1987-90, 1991-94 og 1992-95) er gennemsnittet henholdsvis: 5,8 %, 7,4 % og 12,1 %. Dækningsbidraget er inkluderet heri. Samtidig ses det, at der er stor spredning mellem de enkelte sager for hver tidsperiode, og standardafvigelsen er fastlagt til henholdsvis 5,3 %, 3,1 % og 7,5 %. I analysen begrundes stigningen med, at ændringer i principperne for kontering, at der er forskel mellem udgiftsposterne i de 2 lovgivninger, at byggepladsen faktureres ved byggeriets start, hvorved det giver entreprenøren en bedre likviditet, samt at de offentlige krav til byggepladsens indretning er steget. Omkostninger til byggelogistik i leverancekæden kan i denne analyse ikke adskilles fra de enkelte bygningsdelsomkostninger.



**FIGUR 38.** Eksempel på fordelingen af byggepladsomkostninger fra analyse af 88 byfornyelsessager i København [Bertelsen, 1999]. Dataene er vist for 2 forskellige lovgivninger (SAN og KP3) og 3 forskellige tidsperioder (1987-90, 1991-94 og 1992-95). Som det ses, stiger omkostningsandelen til byggepladsen gennem de 9 år, og spredningen mellem de enkelte byggerier er meget stor.

Et andet eksempel er fra facaderenovering af fire almene bebyggelser på Amager i 2003-10 [Bertelsen, 2010]. Her er den gennemsnitlige omkostning til byggepladsen inklusive omkostninger til platforme og stilladser fastlagt til 17,4 % inklusive dækningsbidrag (13,6 % eksklusive dækningsbidrag). Samtidig er forskellen mellem de fire bebyggelser vist i figur 41, hvor det ses, at der sker et væsentligt fald ved fjerde renovering. Der gives ikke nogen umiddelbar forklaring på dette fald, med mindre det har årsag i, at man i den sidste sag afrigger byggepladsen for alle fire bebyggelser. Men man ville så tro den sidste bebyggelse ville være dyrere.



**FIGUR 39.** Eksempel på forskellen mellem omkostningerne til byggepladsen inklusive platforme og stilladser ved facaderenovering af 4 almene bebyggelser på Amager [Bertelsen, 2010]. Umiddelbart kunne faldet for RemN ikke forklares.

#### **Erfaringer fra projektet 'Effektiv byggeledelse i praksis':**

Erfaringer fra byggesagen Vapnagaard i Helsingør og Nordea Domicil på Amager kan ses i afsnit 6.5.4 herunder henvisninger til aktuelle arbejdsrapporter samt bilag B. De kan sammenbringes til følgende generelle erfaringer fra projektet 'Effektiv byggeledelse i praksis':

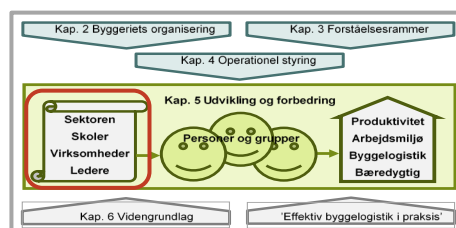
- Bevidst brug af byggeledelse kan hjælpe med til at gøre byggeprocessen mere energivenlig, og at reducere de trafikale belastninger.
- Bedre byggeledelse kan være med til at reducere transportomkostninger og desuden sikre mindre spild og brækage.
- Bedre byggeledelse kan sikre bedre sammenhæng mellem indgående og udgående strømme og derigennem kombinere leverancer af byggematerialer og bortkørsel af jord eller affald.
- Bedre byggeledelse kan være et skridt mod at gentænke byggeprocessen og gøre den mere rationel.
- Bedre byggeledelse kan understøtte tanker om et industrialiseret byggeri ved at opsamle viden og data samt sikre, at disse bliver genbrugt fra det ene byggeri til det næste.
- Bedre byggeledelse kan være med til bredt at støtte en udvikling af byggeprocesserne og sammenkæde viden og discipliner fra forskellige verdener og udvikle partnerskaber mellem forskellige sektorer.



## 5.4 Ledelses-, virksomheds-, uddannelses- og sektorudvikling

Som der er redegjort for i afsnit 5.1, har byggeriet behov for udvikling af byggelogistik over en bred front, hvis det skal være mere konkurrencedygtigt og bidrage til løsning af samfundets udfordringer på produktivitet, miljø og trængsel. Vejledningen har i kapitlerne 2, 3 og 4 sat struktur på byggelogistik i forhold til de øvrige byggeprocesser, og hvordan man i byggelogistik kan håndtere 7 logistikafsnit, 9 dataplatforme og 14 basis-logistikaktiviteter. Vejledningen har også sat struktur på udvikling og forbedring af byggelogistik i kapitel 5. I de 2 foregående afsnit er der i afsnit 5.2 arbejdet direkte med procesudvikling, og i afsnit 5.3 er der arbejdet med dokumentation af effekt. Dette afsnit 5.4 slutter kapitel 5 af med en beskrivelse af ledelses- og sektorudviklingen. I vignetten til højre fra figur 31 er afsnittet vist med rød ring om, og det er efterfølgende beskrevet under overskrifterne:

- 5.4.1 Ledelsesudvikling og støtte til bottom-up udvikling.
- 5.4.2 Virksomhedsudvikling med medarbejderinvolvering.
- 5.4.3 Uddannelse af medarbejdere og ledere.
- 5.4.4 Sektorudvikling og -samarbejde om forbedring.



### 5.4.1 Ledelsesudvikling og støtte til bottom-up udvikling

Det foreslås, at der i ledelse af byggelogistik inkluderes en støtte til den direkte procesudvikling gennemført af innovative medarbejdere og samarbejde i arbejdsgrupper. Hvordan de kan arbejde med direkte procesudvikling er beskrevet i afsnit 5.2, og hvordan fagfolk og ledelsen kan arbejde med dokumentation af effekt på byggerier og bæredygtighed er beskrevet i afsnit 5.3. Den direkte procesudvikling er inspireret af Gemba Kaizen, 'Den selvstyrende byggeplads' og BygSoL. Det foreslås, at man i fremtiden sætter nyt og opdateret fokus på dette felt fx under navnene 'Construction Gemba Kaizen' eller 'Bottom-up Leadership in Construction'. Denne form for innovativ 'græsrods' lederskab og samarbejde har til formål at levere mange, hurtige og nødvendige forbedringer i byggeriet i forhold til den grønne, bæredygtige og produktive dagsorden.

For at understøtte det og bedre byggelogistik, foreslås, at der også foregår en ledelsesudvikling, man kan blive uddannet i, og som lederne i fremtiden bør praktisere og træne i for at opnå god byggelogistik. Hvordan dette kan foregå konkret er der pt. ikke tilstrækkeligt grundlag og konsensus om, så det kan beskrives specifikt. Der vil derfor her alene blive givet følgende forslag, som kan være til inspiration for den fremtidige udvikling:

- Lederne skal kunne uddelegere procesudvikling og -forbedringer til medarbejdere og arbejdsgrupper og give dem ro til at skabe et robust flow for udvikling og byggelogistik.
- De skal kunne motivere og støtte dem i udviklingsforløbet, herunder medvirke som side-mandslærere og mentorer for dem eller udpege en anden.
- De skal kunne støtte dem i evaluering og dokumentation af resultater og videreformidling til kollegaer og kommende byggerier.
- De skal sørge for virksomhedens opbakning og opfølgning på udviklingen herunder med de hjælpemidler og data, som medarbejderne har behov for.

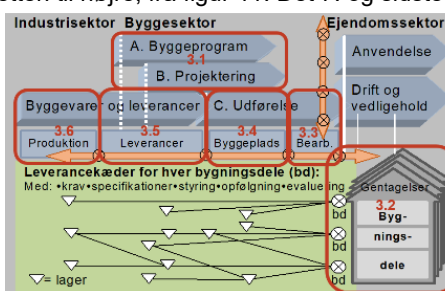
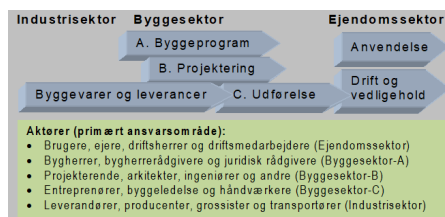
- De skal sørge for ekstern videndeling og formidling i samarbejde med medarbejderne, herunder tilbud om uddannelse og læring til medarbejderne.
- De skal inspirere andre til at gennemføre lignende procesudviklinger, så denne nytænkning involverer flere og flere medarbejdere og byggerier.

## 5.4.2 Virksomhedsudvikling med medarbejderinvolvering

I projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis' (afsnit 6.5.4) har disse forhold været drøftet med forskellige aktørgrupper i byggeprocessen, som fx brugere, bygherrer, rådgivere, entreprenører, grossister og transportører jf. vignetten til højre, fra figur 3.

Det er bl.a. sket i forhold til de 7 logistikafsnit i byggelogistik, hvor de 6 første er vist i vignetten til højre, fra figur 11. Det 7. og sidste logistikafsnit omhandler samarbejde og ledelse af byggelogistik, og i afsnit 3.7 er alle 7 logistikafsnit beskrevet under overskrifterne:

- I. Krav fra byggeprogram og projektering.
- II. Bygningsdele, gentagelser og lokationer.
- III. Bearbejdning og arbejdsstationer.
- IV. Byggelogistik på byggepladsen.
- V. Leverandørlogistik og lagre.
- VI. Industriproduktion og systemudvikling.
- VII. Samarbejde og ledelse (administration og koordinering af afsnit I.-VI).



For at understøtte den direkte procesudvikling i afsnit 5.2, dokumentation af effekt i afsnit 5.3 og ledelsesudvikling i afsnit 5.4.1 foreslås, at den enkelte virksomhed bidrager med følgende til udvikling af byggelogistik :

- Udarbejder strategi for udvikling af byggelogistik, herunder hvilke opgaver og ansvar den enkelte medarbejder og leder samt virksomhedsledelsen har.
- Opfølgning og justering af de enkelte udviklingsopgaver i samarbejde med aktuelle medarbejdere og ledere og i forhold til strategi og udviklingsmål.
- Udbredelse af erfaringerne til andre medarbejdere og ledere i virksomheden, så flere og flere medarbejdere, ledere og byggerier anvender dem.
- Samarbejde med andre virksomheder, videninstitutioner og sektoren som helhed om udvikling af bedre byggelogistik.

## 5.4.3 Uddannelse af medarbejdere og ledere

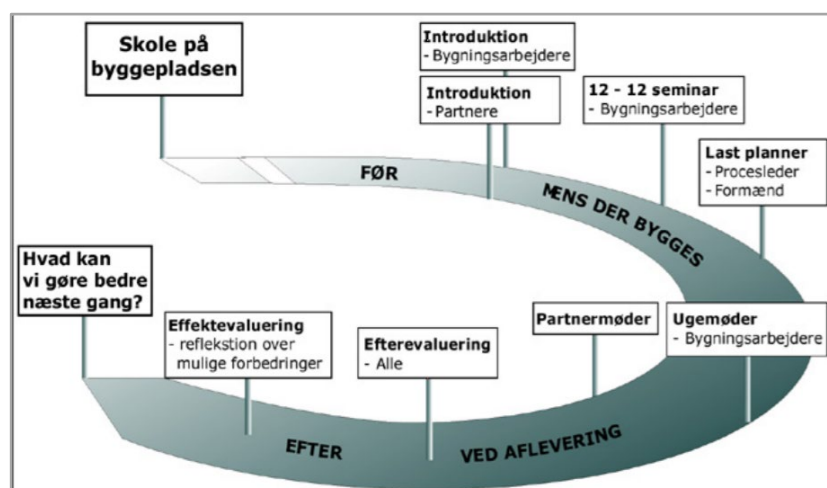
Byggeriets skoler og efteruddannelse har i begrænset omfang et sammenhængende tilbud af uddannelse i byggelogistik. Samtidig gives efteruddannelse mest som små og spredte kurser og forelæsninger fx i erhvervsuddannelsen og konstruktøruddannelsen, og i mindre grad i andre bachelor- og kandidatuddannelser. Der findes ingen certificeret leder- eller teknikkuddannelse og heller ikke en læreruddannelse i byggelogistik tilpasset de enkelte uddannelsesniveauer.

I projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis' (afsnit 6.5.4) er udviklet og afprøvet følgende kurser med tilhørende undervisningsmateriale:

- Et AMU-kursus i 'Byggelogistik i praksis'.
- Et modul i byggelogistik i byggeledelse på bygningskonstruktør- og byggekoordinatoruddannelsen.
- En række korte kurser på byggepladsen i byggelogistik.

Der henvises her til figur 40, [Dam, 2015] og [Arbejdsrapport [2015 Uddannelse læring af prøvning v Davidsen&Dam](#) afsnit 6.5.4]. Denne udvikling er sket i et samarbejde med erhvervsskoler, konstruktørskoler, organisationer og virksomheder, som har ønsket at arbejde videre med uddannelsesinitiativerne. For videreudvikling af bygge-logistik er det væsentligt, at disse uddannelsesinitiativer fortsættes og videreudvikles. Det foreslås derfor, at skolerne kan bidrage med følgende uddannelsesinitiativer inden for bygge-logistik:

- Moduler og opgaver i bygge-logistik med undervisningsmateriale, som er tilpasset de enkelte fagområder i erhvervsuddannelsen.
- Udbredelse af udbuddet af AMU-kurset i bygge-logistik, som gerne må tilpasses behovene på byggepladsen, så det også kan danne grundlaget for direkte procesudvikling, som foreslået i afsnit 5.2.
- Videreudvikling af bygge-logistik modul med opgaver og projekter, som del af byggeledelse i bygningskonstruktør- og byggekoordinatoruddannelsen.
- Uddannelse og træning i tværfagligt samarbejde i bygge-logistik på byggepladsen med udviklingsopgaver fra aktuelle byggerier.
- Forslag til etablering af en fælles lærer- og overbygningsuddannelse for specialister i bygge-logistik, herunder udvikling af fælles undervisningsmateriale, som kan supplere vejledningens afsnit 6.



**FIGUR 40.** Figur og noter fra byggepladsmøde i skolen på byggepladsen i kurset om 'Samarbejde og Læring i byggeriet (BygSol)'. Figuren har underteksten 'Byggepladsmødet er den centrale nyskabelse i den fremtidige byggeproces'. [Kilde: Teknologisk Institut, [www.bygsol.dk](http://www.bygsol.dk)]

#### 5.4.4 Sektorudvikling og -samarbejde om forbedring

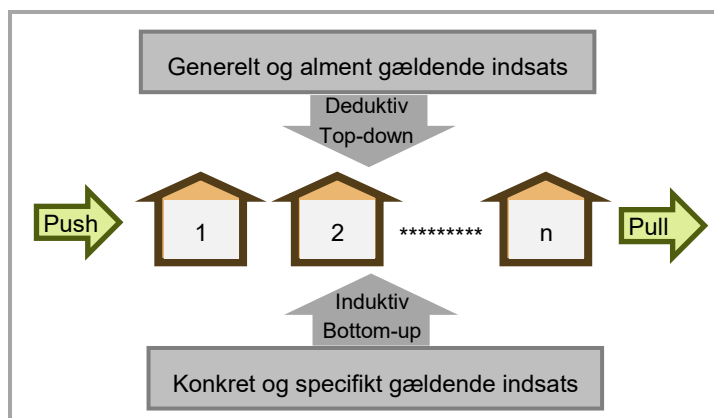
Dette afsnit afslutter afsnit 5.4 med forslag til, hvordan alle parter på sektorniveau kan samarbejde om udvikling og forbedring af bygge-logistik på sigt. Dette samarbejde kan opfattes som en forlængelse af projektet 'Effektiv bygge-logistik i praksis' og denne vejledning, som har prøvet at favne helheden af udfordringer for bygge-logistik.

Det er erfaret og vist i litteraturen, at der ofte er underskud af bottom-up bidrag fra praksis i forhold til top-down bidrag fra ledelse, rådgivning og forskning. Samtidig viser logistikteorier, at et jævnt flow skabes bedst ved pull, men i praksis er det også en reaktion på, at der mangler balance i push og pull. Udviklingsmæssigt er erfaringerne, at der ofte er et overskud af push af viden imod et svagere pull efter viden. Det er derfor blevet en læresætning for vejledningen, at der bør stræbes efter balance mellem top-down og bottom-up lodret og

mellem push og pull vandret, både i forhold til organisering, gennemførelse og udvikling af bygge-logistik. Det er forsøgt illustreret i figur 41.

For at udvikle bygge-logistik i fremtiden foreslås, at byggeriets aktører, samarbejdsparter og videnssystemet samarbejder om:

- Hvordan kvalificeres og kvalitetssikres vejledningen nu og i fremtiden, så den kommer til at virke bredt i byggesektoren som alment teknisk fælleseje?
- Hvordan kan erfaringer om god bygge-logistik dokumenteres på byggerier og åbent for-midles som grundlag for opbygning af en bedre praksis?
- Hvordan kan anvendelse af vejledningen og erfaringer i god bygge-logistik udbredes til større dele af byggeriet, så det forbedrer produktivitet, arbejdsmiljø, bygge-logistik og bæ- redygtighed på alle typer byggerier?
- Hvordan kan man balancere top-down, bottom-up, push og pull og få et bedre, mere jævnt og robust flow i planlægning, gennemførelse og udvikling af bygge-logistik?



**FIGUR 41.** I organisering, gennemførelse og udvikling af bygge-logistik forsøges skabt balance mellem top-down og bottom-up lodret og push og pull vandret, og der er ofte mangel på bottom-up og pull.

# **VIDENGRUNDLAG, TEORIER, KRAV OG HISTORIK**

## 6 VIDENGRUNDLAG, TEORIER, KRAV OG HISTORIK

I videngrundlaget vises resumeer af udvalgte publikationer, hvorfra viden, teorier, erfaringer og krav til processer og logistik er uddraget i et historisk perspektiv under følgende overskrifter:

- 6.1 Toyota Production System (TPS).
- 6.2 Produktionsindustriens systemer for procesledelse.
- 6.3 International viden om byggelogisk.
- 6.4 Udvikling af Trimmet Byggeri i Danmark.
- 6.5 SBI-forskning i byggeproces og -logistik.
- 6.6 Myndighedernes regler og vejledninger.

Der er taget udgangspunkt i forskellige motivations-, samarbejds- og ledelsesprincipper fra Toyota Production System (TPS) som bl.a. rummer JIT, Jidoka, Gemba, Kanban og Kaizen. TPS bygget ovenpå foregående industrialisering, og det har efterfølgende været til stor inspiration for produktions- og logistikforståelsen verden over under navnet Lean Production. Økonomistyringen har lagt sine lag til udviklingen fx i form af Time-Driven Activity-Based Costing (TDABC). Den danske produktionsindustri har været del af denne udvikling.

Den internationale byggeindustri har suppleret denne udvikling med egne tilpasninger i form af Last Planner System (LPS), Transformation-Flow-Value (TFV) teorier, Lean Construction, Trimmet Byggeri og byggelogistik. Der er her også arbejdet med udvikling af tværfagligt samarbejde, bæredygtig transport, innovation, produktivitet, og hvordan man balancerer 'top-down' og 'bottom-up' samt 'push' og 'pull' processer og udvikling.

Byggeriet i Danmark har aktivt fulgt med denne udvikling. Det ses fx i SBI-publikationer fra 70'erne og 25 år frem. Herefter har det været et hul, hvor anden procesforskning har været i fokus. De seneste 25 år har procesudviklingen i Danmark primært haft fokus på forbedring af produktiviteten, samarbejdet og digitaliseringen. Samtidig har Sven Bertelsen og Lean Construction DK gjort en stor indsats for at udbrede kendskabet til Trimmet Byggeri, Last Planner System (LPS) og Lean Construction i Danmark. Først i 2014 kom der igen gang i forskningen af byggelogistik i Danmark ved projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis', som denne vejledning er et resultat af.

Til sidst i kapitlet er samlet udvalgte danske regler, normer og fælleseje om byggelogistik, som er en central ydre ramme for byggelogistik i Danmark.

### Anbefalinger til videngrundlaget

- ❖ Medarbejdere, ledere og andre som vil bidrage til forbedring af byggelogistik og udvikling af logistikkompetencer kan med fordel læse kapitel 6. De kan her danne sig en første historisk forståelse for byggelogistik, og de kan evt. selv læse disse og anden aktuel litteratur, som hænger sammen med deres bidrag til forbedring og udvikling.
- ❖ Forskere og lærere som vil forske og uddanne i byggelogistik bør tilegne sig den historiske baggrund om byggelogistik i kapitel 6, og de kan evt. supplere den med kritiske bemærkninger og supplementter gennem egne litteraturstudier.
- ❖ Man kan evt. bidrage med forbedringer og supplementter til kapitlet, som kan virke som alment teknisk fælleseje for byggeriet.

## 6.1 Toyota Production System (TPS)

Beskrivelsen i dette afsnit sætter fokus på opbygningen og indholdet i Toyota Production System (TPS), og den bygger på beskrivelser af de to forfattere Taiishi Ohno [Ohno, 1988] og Shigeo Shingo [Shingo, 1987 & Shingo, 1988], som var de to centrale figurer i denne udvikling. Beskrivelsen følger i store træk strukturen i TPS-huset, som er nærmere forklaret i næste afsnit.

Taiishi Ohno [Ohno, 1988] blev som 31 årig ansat på Toyota bilfabrik i 1943, og han var direktør i perioden 1954-75. Før 1943 var han ansat på Toyoda vævefabrikker. Ohno har en praktisk produktionsoperatør tilgang til hans beskrivelse, som balanceres med overordnet ledelse af firmaet.

Beskrivelsen af den relaterede videnskabelige metode til forbedring (The Scientific Thinking Mechanism, STM) samt filosofien om ingen-lager-produktion (Non-Stock Production) bygger på Shigeo Shingo [Shingo, 1987 & Shingo, 1988]. Han var under anden verdenskrig ansat som tekniker på Taiwanese Railways, i 1945 begyndte han som konsulent i Japan Management Association, og i 1958 stiftede han Institute for Management Improvement, hvor han arbejdede som underviser og konsulent for mange japanske firmaer herunder for Toyota med udvikling af TPS. Shingo har udviklet Poka-Yoka og Zero Quality Control (ZQC) systemerne til total fjernelse af fejl, samt SMED (Single-Minute Exchange of Dies) som skærer omstillingstiden ned på produktionslinjen. Shin-go har en videnskabelig og konsulentmæssig tilgang til sit arbejde. Samlet beskrives det i følgende afsnit:

- 6.1.1 Et beskrivende og analytisk sammendrag af TPS-huset.
- 6.1.2 TPS' idégrundlag og målsætninger.
- 6.1.3 Leverancestyring og Just-in-Time (JIT).
- 6.1.4 Informationer og arbejdsbeskrivelser (Kanban).
- 6.1.5 Maskiner, udstyr og automation (Jidoka).
- 6.1.6 Motivation, ledelse og arbejdernes involvering.
- 6.1.7 Produktionsprocesser, operationer, kontrol og kunder.
- 6.1.8 Stadige forbedringer (Kaizen) i produktionen (Gemba).
- 6.1.9 Omkostningsreduktion og produktionsudjævning.
- 6.1.10 Reduktion af spild, omstillingstid, transport og lagre.
- 6.1.11 Videnskabelig metode til forbedring (STM).

### 6.1.1 Et beskrivende og analytisk sammendrag af TPS-huset

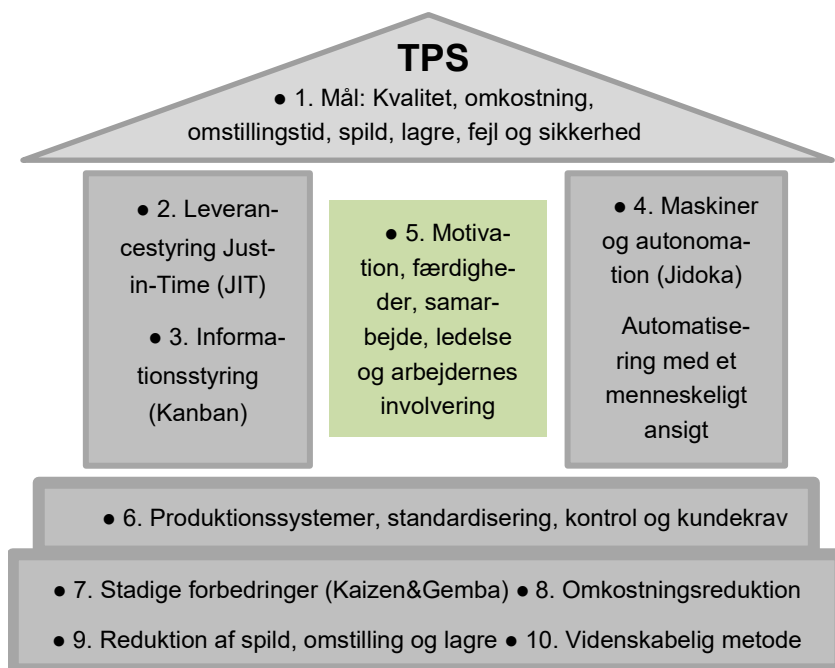
Shingo skriver om TPS-litteraturen, at den kan opdeles i tre grupper, men at det alene er publikationer på 3. niveau, som kan kommunikere den rette forståelse af styrker og svagheder ved TPS:

- Journalistiske publikationer som har til formål at informere offentligheden.
- Beskrivende publikationer om praktisk produktionserfaring og observationer.
- Analytiske publikationer som beskriver koncepterne i produktion og ledelse.

De to japanske forfattere Ohno og Shingo's livslange erfaring med udviklingen er i det efterfølgende sammendraget både i forhold til niveau 2 og 3, og den er efterfølgende vist under følgende overskrifter, som følger strukturen på det viste eksempel af TPS-huset i figur 42:

1. TPS' idégrundlag og målsætninger.
2. Leverancestyring og Just-in-Time (JIT).
3. Informationsstyring og arbejdsbeskrivelser (Kanban).
4. Maskiner, udstyr og automation (Jidoka).
5. Motivation, samarbejde, ledelse og arbejdernes involvering.
6. Produktionsprocesser, operationer, kontrol og kundekrav.

- 7. Stadige forbedringer på stedet (Kaizen & Gemba).
- 8. Omkostningsreduktion og produktionsudjævning.
- 9. Reduktion af spild, omstillingstid, transport og lagre.
- 10. Videnskabelig metode til forbedring (STM).



**FIGUR 42.** Toyota Production System (TPS) her illustreret som TPS-huset, som findes i mange varianter. Taget er målet (1), de to søjler er leverancer, information og maskiner (2, 3 og 4), mens det grønne rum i midten er menneskene (5). Fundamentets øverste del er produktionsprocessen og operationer (7), mens den nederste del er udvikling og forbedringer (6, 7, 8, 9 og 10).

### 6.1.2 TPS' idégrundlag og målsætninger

Det var amerikanerne som genererede de nye ledelsesteknikker som total kvalitetsstyring (Total Quality Control, TQC) og industriteknik/produktionsdesign (Industrial Engineering, IE), men det var japanerne der transformererede dem til praksis, ifølge Ohno. Han erfarede på Toyada's vævefabrikker, at før 2. verdenskrig skulle der 9 japanere, 3 europæere eller 1 amerikaner til at væve den samme mængde stof. Efter 2. verdenskrig sagde Toyota's formand Kiichiro derfor: "Vi skal indhente Amerika på 3 år".

I den tidlige fase af Toyota Production System (TPS) var idégrundlaget, at eliminere spild, at reducere omkostninger, at forbedre produktiviteten 10 gange, og at det skulle understøttes af: Just-in-Time og Automation (automatisering med en menneskelig tilgang). Shingo's indtryk var, at Vesten kun ser produktionen ude fra og gennemfører overfladiske forbedringer, og at man ikke forstår de underliggende koncepter og ikke kan udføre de dybere religgende forbedringer.

### 6.1.3 Leverancestyring og Just-in-Time (JIT)

Den første søjle i TPS er Just-in-Time (JIT), og det betyder, at de rigtige materialer og dele når frem til samlebåndet til rette tid og i den mængde, i forhold til behovet. Hvis det kan opnås, kan firmaet afskaffe lagre. I praksis er det en ideal tilstand, fordi den er svær at praktisere. For at nå disse mål anvendtes sund-fornufts-ideer i JIT. I JIT tænkes produktionen baglæns fra det færdige produkt, og hvert led i leverancekæden er forbundet og synkroniseret. I JIT er Kanban brugt som middel til løbende informationer om produktionen, som er



koblet til det enkelte produkt. Herved bliver ledelsesindsatsen også reduceret. Ved at udvikle JIT efter erfaringer fra amerikanske supermarkeder, hvor lagrene var synlige i butikken for kunderne, blev lagrene i JIT gjort mere visuelle, så man kunne se, hvad man havde brugt, og hvad der var tilbage.

#### **6.1.4 Informationer og arbejdsbeskrivelser (Kanban)**

Den vigtigste kilde til information er produktionsplanen, og det er vigtigt, at den er opbygget fra produktionsgulvet, og at man holder fast i det på ledelsesniveau. Den anden kilde er udarbejdelse af arbejdsbeskrivelser på arbejdskort, som beskriver procedurerne ved hver arbejdsstation, og som inkluderer den visuelle kontrol. Den viser også arbejdskombinationen af materialer, arbejde og maskiner samt elementerne: Cyklustiden/gentagelser/takten, arbejdssekvenser og standardlagre for materialer og udstyr til maskinerne. Det svære er at skrive arbejdsbeskrivelser, idet de bedst skrives af erfarne operatører under produktionen, men de skal kunne forstås og bruges af alle. Beskrivelserne skal desuden understøttes af træning og samarbejde med de andre operatører.

Kanban er fundamentet i TPS produktionsmetode, som bringer informationer om logistik, transformations- og produktionsinformationer sammen i forhold til de enkelte operatører, produktionslinjer og leverandører samt vertikalt i ledelsessystemet. Kanban kan derfor trække leverancerne til produktionen og vise spild, defekter og forebygge nedbrud, hvorfor man kan sige, at Kanban styrer TPS. Kanban var vanskelig at implementere i ledelsen, og den forudsatte, at produktionen først kunne praktisere en udjævnet produktionsstrøm. Kanban blev først implementeret i Toyota i 1962, og det gav stor vækst til Toyota. De 6 Kanban regler, som skal læres og trænes, er:

- Samler produktionsordren for hvert produkt.
- Udjævn produktionen.
- Finjustere produktionen
- 100 % defektfrie produkter.
- Reducer antal Kanban'er.
- Produktion udenfor Kanban.

Digitaliseringen af Kanban kan bruges til at håndtere de store datamængder, og det kaldes e-Kanban. Man kan ikke i et skridt gå fra landbrugstænkning til digitalisering, men man kan bruge industrialiseringstænkningen som mellemlidende til digitaltænkningen.

#### **6.1.5 Maskiner, udstyr og autonomation (Jidoka)**

Autonomation (Jidoka) er den anden søjle i TPS, som er automatisering med et menneskeligt ansigt, og som på japansk kaldes Jidoka. Selvom maskinerne kører automatisk, så kan der ske uheld, og de kan stoppe. Der er derfor på alle maskiner i produktionen opsat en knap, som kan stoppe maskinen, dele af produktionslinjen eller hele produktionslinjen, hvis operatøren ser defekte produkter. Det giver samtidig en anden forståelse af ledelse. Operatøren er kun nødvendig ved maskinen, når den stopper eller ikke kører rigtigt. En operatør kan derfor godt håndtere flere maskiner samtidig. I tillæg hertil bliver reparationer også synlige for ledelsen, så de bliver tilskyndet til at igangsætte udvikling og reducere omkostninger, herunder også at øge sikkerheden. Man kan sige, at det giver maskinen en menneskelig intelligens, og at man får en indbygget kvalitet i produktionen (Built-in-Quality).

Det var den industrielle revolution i England i 1700-tallet, som startede specialisering af arbejde, hvor arbejdet blev simplere, mere konkret og mekaniseret. Arbejdernes opgave blev at overvåge én, og senere flere maskiner og senere igen maskiner med flere funktioner. Shingo mener, at man her overser en vigtig menneskelig funktion nemlig, at mennesker kan spotte unormale funktioner og forudsige fejl og stop. Det er den tanke, som kan føres videre til autonomation.

Igennem industrialiseringen er arbejderne gået fra timeløn til styk-aflønning (akkorder i byggeriet), som motiverer dem til at arbejde mere effektivt. Men efter flere produktivetsforbedringscykler, som øgede stykantallet, men ikke lønnen, så tabte de interesse for effektivisering og begyndte at modarbejde den, ved solidariske arbejd-langsomt-aktioner.

I den relaterede teoriudvikling glemte teoretikerne helt relationen mellem de menneskelige bevægelser og arbejdsstillinger. Kun få i Vesten forstod, hvordan man kunne gennemføre de daglige forbedringer med total involvering af mennesker i udvikling af fremstillings og produktions teknologi, men Shingo mener, det har stor betydning for produktivetsudviklingen.

### **6.1.6 Motivation, ledelse og arbejderne involvering**

Denne autonomation spiller derfor op til betydningen af at motivere arbejderne. Allerede i årene 1927-32 viste eksperimenter af Hawthorne på Western Electric's fabrikker i USA, at der var et sammenhæng mellem det fysiske arbejdsmiljø og produktivitet. Man forventede, at et bedre arbejdsmiljø ville forbedre produktivitet, hvilket blev bekræftet, men der kom også en produktivetsstigning, når arbejderne igen vendte tilbage til deres normale arbejdsmiljø. Alle ændringer, hvor arbejderne var involverede i udviklingen, viste produktivetsstigninger. Også i kontrolgruppen, som ingen ændringer fik, steg produktivitet.

Senere analyserede Mayo [Mayo, 1945] det nærmere, og det blev kaldt Hawthorne-effekten eller  $\gamma$ -teorien (Ypsilon-teorien) om arbejderne menneskelige natur og medvirken i udvikling. Det interessante er, at vestens industri ikke dengang indarbejdede det i deres ledelses- og produktionskoncepter. I modsætning hertil har Japan, som resultat er manglende naturressourcer, set det som den eneste ressource til at sikre national velstand og personlig lykke, hvorfor arbejderne involvering i IE-baseret udvikling af produktionen er nødvendig (IE, Industrial Engineering).

Individuelle færdigheder og samarbejde (teamwork), hvor operatøren trivst flyttes over til at kunne operere autوماتede maskiner, forbinder de to TPS søjler: Just-in-Time og Autonomation. Fx kan Autonomation opfattes som den individuelle færdighed og Just-in-Time kan opfattes som samarbejdet. Ligesom i sport gennemføres produktion i teamsamarbejde, hvor den enkelte skal lære og træne i at tilpasse sig de fælles mål og processer samt i at videregive stafetten til næste produktionsled.

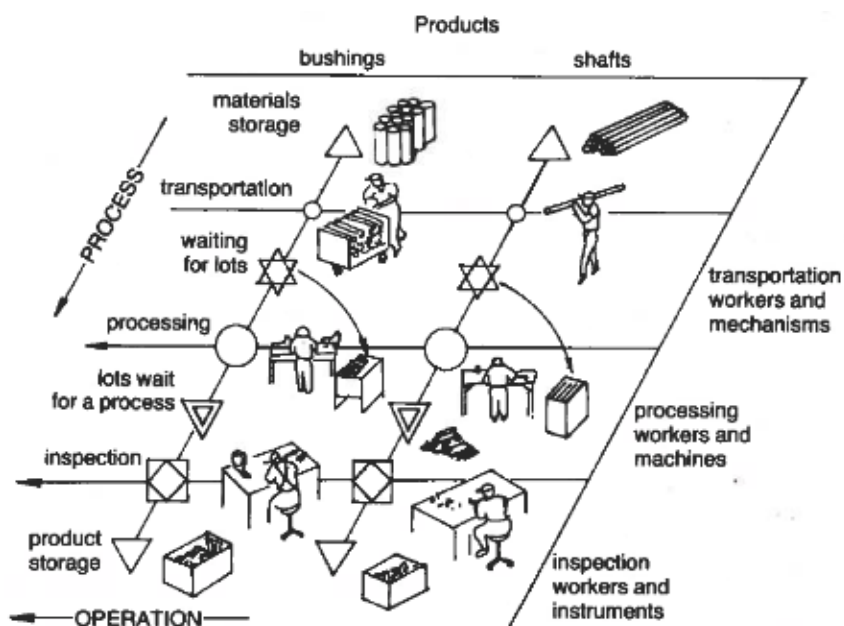
Som baggrund herfor skal der laves standardprocedurer, som er tilpasset den enkelte operatør både for normale og anormale situationer, og ledelsen kan give specifikke instruktioner til operatøren for at komme fra anormal til normal tilstand igen. Her vil visuel kontrol og synlig ledelse hjælpe med at synliggøre produktionssvagheder, og hvor ledelsen samordner: Design/teknik, finansiering, produktion, salg/marketing og personale samt leverancer. Derfor skal der være synergi mellem de to faktorer samarbejde og ledelse, og der kan arbejdes fra individuelle til gruppe aktiviteter.

### **6.1.7 Produktionsprocesser, operationer, kontrol og kunder**

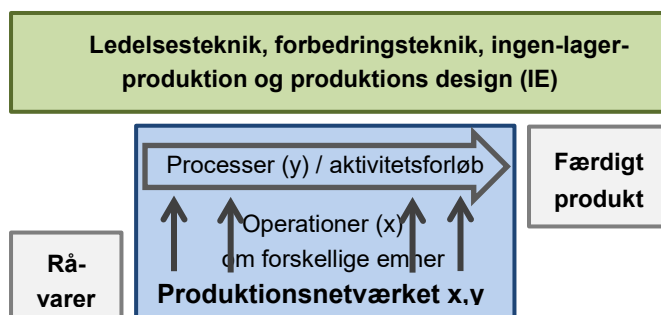
I amerikansk produktion fra råmateriale til færdigt produkt refererer processerne til analyser af store produktionssystemer, mens operationerne refererer til analyser af små enheder. I den japanske forståelse opfattes processer og operationer som to forskellige dimensioner i et produktionsnetværk, hvor processer er forædling af et givet emne fra råmateriale til færdigt produkt inklusive kontrol, transport og lagring, og hvor operationer er de bearbejdnings mennesker og maskiner udfører på forskellige emner (NHB kommentar: Operationer kan i byggelogistik sammenlignes med bygningsdele og gentagelser, som benævnes produktenheder). Dette netværk er ifølge Shingo det samme for store som for små produktionssystemer. Forbedringerne skal passe specifikt til de enkelte processer og operationer. Produktionsteknologien omhandler ifølge Shingo desuden: Ledelsesteknik, forbedringsteknik, ingen-

lager-produktion og produktionsdesign (IE, Industrial Engineering). Omkring den ligger fx kvalitetsstyring, transportforbedringer og synkronisering af enhedernes flytning.

Ifølge Shingo mangler Vesten desuden at inkludere kontrolfunktionen i deres ledelsesfilosofi, som består af: Plan, kontrol og check, og hvor udførelsen ligger uden for kontrolfunktionen. Der skal dog altid tages udgangspunkt i kundernes krav, som fx lægger vægt på, at produktet har en god brugsfunktion og ikke går i stykker. Det sande krav ses først, når man fremstiller et produkt, som hovedmålgruppen virkelig ønsker og køber. Det er også vigtigt, at forløbet af leveringen til kunden passer med forløbet af produktion, da et korte leveringsforløb til kunden er en konkurrenceparameter.



**FIGUR 43.** Produktionsnetværket fra TPS, som er opdelt i processer og operationer, og som ifølge Shingo er uafhængig af produktionsenhedens størrelse, hvilket amerikanerne ikke mener. [Shingo, 1987, Figure 11. The Structure of Production]



**FIGUR 44.** I den japanske produktionsforståelse er processer (y) / aktivitetsforløb for et givet emne fra råvarer til færdigt produkt, mens operationer (x) er om de forskellige emner, der bearbejdes af mennesker og maskiner. Dette kan samles i et x-y-produktionsnetværk, som både kan bruges i store og små produktioner. I figuren er produktionsnetværket vist omvendt i forhold til figur 43, hvor Shingo viser det færdige produkt i venstre nederste hjørne [Shingo, 1988].

Hvad sker der så med produktivitet i nedgangstider og ved stor produktdifferentiering. Det, der særligt fik fokus på TPS, skriver Ohno, var Toyotas håndtering af oliekrisen i 70'erne, hvor produktionen blev reduceret kraftigt, men hvor Toyota led mindre end andre firmaer.

Her blev også ting synlige i TPS, som ikke kunne ses i opgangstider. Problemet i nedgangstider var, at der var tilknyttet et fast antal personer til produktioner, som ikke blev nedjusteret i forhold til den mindre produktionsvolumen. Løsningen var at reducere antallet af arbejdere, ændring af produktionsplanen, udvikling af kortere omstillingstider og uddannelse af multifaglige operatører. Toyota kunne herved fortsat producere billigt med profit, men nu ved mindre salg af biler, og samtidig hævede de produktiviteten. TPS viste sig at være et meget elastisk system, som både kunne tilpasses produktionen i opgangs- og nedgangstider.

### 6.1.8 Stadige forbedringer (Kaizen) i produktionen (Gemba)

Ændring af processen er ikke let, da hvert fag havde sit fagarbejde og hver mand sin maskine, og arbejderne var modstander af én mand til mange maskiner i flere processer. Ifølge Ohno var det dog lettere i Japan end i Vesten, hvor man havde funktionsorienterede fagforeninger, mens fagforeningerne i Japan var mere vertikalt orienteret. Selvom Ohno i 1947 var ung, valgte han ikke at presse for hårdt, men valgte at være tålmodig og lade operatørerne vise sig vejen og bruge deres brede færdigheder. Det kalder Ohno fabrikationsfærdigheder eller deltagelse i opbygning af det totale produktionssystem. Med baggrund i behov og muligheder søgte man i TPS de praktiske løsninger. Når der opstod et problem stillede man i TPS spørgsmålet 'hvorfor' fem gange, for at komme ind til roden af problemet.

Det var ikke nemt, og set tilbage, skriver Ohno, blev TPS bygget mest på en praktisk forbedringsmetode eller evolution frem for en videnskabelig metode. Produktionen er dog meget baseret på fakta, og i TPS opfattes data som meget vigtige i ændringen af processen, når et problem opstår, og de 5 'hvorfor' er stilles for at løse problemet. Dette er den videnskabelige del af TPS. I TPS forsøges også at udtrække forbedringer af overskydende produktion.

### 6.1.9 Omkostningsreduktion og produktionsudjævning

Rationalisering og omkostningsreduktion er målet i TPS, fordi vi taler om produktion, ledelse og forretning, så skabes profit i TPS alene ved reduktion af omkostninger. Derfor er princippet for reduktion af omkostninger udtrykt gennem ligningen:

$$\text{Pris} - \text{Profit} = \text{Omkostning},$$

Som er det mest basale princip i TPS. Hvis vi i stedet sætter:

$$\text{Salgsprisen} = \text{Profit} + \text{Omkostninger},$$

så bliver kunden ansvarlig for alle omkostninger, skriver Ohno. Der er derfor stor risiko for, at de vil afvise produktet, og at virksomheden ikke vil kunne overleve på dagens markedsplads og konkurrencesamfund. I TPS ses økonomi i forhold til reduktion af mandetimer og omkostninger.

Produktionsudjævning blev også brugt for at udnytte ressourcerne bedre, idet det er den anden regel i Kanban. Det skyldes, at TPS er bundet til en synkronisering ikke bare af egen produktion, men også til firmaer og produktioner uden for Toyota, men her var der risiko for negative cykler. For at forhindre det, startede man med en produktionsudjævning i den første procesdel, hvor bilerne blev samlet og fortsatte baglæns langs produktionslinjen. For hvert procesafsnit, og samlet sænkede man spidsbelastninger og hævede lav-belastninger på linjen, så produktionsstrømmens overflade blev udjævnet, blød og uden fluktuationer. Det skete før oliekrisen, hvor produktionen steg kraftigt samtidig med, at der var stor produktdiverteriering. Op gennem oliekrisen i 70'erne viste TPS sine kvaliteter i omstillingen til lavere produktionsmængder.

### 6.1.10 Reduktion af spild, omstillingstid, transport og lagre

Hvis spild skal elimineres for at øge effektiviteten og nedbringe omkostninger, skal man:

- Kun producere de ting man skal bruge.
- Kun bruge minimum arbejdskraft til det.
- Se efter rationalisering og spild i alle operationer, grupper, produktionslinjer og hele fabrikken.

Den sande rationalisering er, når alle spild er fjernet i ligningen:

$$\text{Aktuel produktionskapacitet} = \text{arbejde} + \text{spild}.$$

I TPS er det første skridt at identificere spild i fx: Overproduktion, ventetid, transporter, egen proces, lager, transport og defekte produkter. Arbejdstiden kan fx deles i:

- Spild.
- Ikke værdiskabende arbejde.
- Værdiskabende arbejde, hvor nettoarbejdet er forskellen mellem de to andre.

Her vil anvendelse af statistisk kvalitetskontrol (Statistical Quality Control, SQC) være et værktøj. Shingo anbefaler, at den udbygges med nul fejls kontrol (Zero Quality Control, ZQC), reduktion af transport til nul, præ-automatisering (mandetimer flyttes til maskiner) og drastisk reduktion af opstillingstiden samt at reducere eller helt fjerne fejl.

Forskellen mellem produktionssystemer i Vesten og Japan er, at Vesten betragter lagre som et nødvendigt onde for at produktionen kan køre glat, mens strategien i Japan er vendt 180 grader, hvor alle faktorer som nødvendiggør lagre ønskes elimineret. Shingo skriver, at amerikanerne arbejder med styrede lagre, hvor emnerne venter længe, eller midlertidige lagre, hvor emnerne venter kort tid. I modsætning hertil sætter Shingo fokus på forsinkelser af to typer: Procesforsinkelser, som standser alle produktionsenheder, eller enkelttemneforsinkelse, hvor et enkelt emne forsinkes de andre emner pga. manglende synkronisering af den samlede produktionsenhed. Enkeltemneforsinkelse vil forsvinde, når der i en produktionsenhed kun er et emne. Hans erkendelse er blevet, at forsinkelser skal klassificeres efter deres natur i stedet for efter den tid de tager. Shingo foreslår derfor som løsning:

- At omstillingstiden fra en ordre til den næste reduceres kraftigt.
- At der produceres små serier, som passer til de enkelte ordrer.

Denne forbedring gennemføres ved at bruge SMED (Single-Minute Exchange of Dies), hvor man prøver at reducere omstillingstiden fra et produkt til næste så meget som muligt. Omstillingstiden kan fx opgøres i en ydre og en indre omstillingstid, hvor den ydre er, imens produktionen fortsat kører, og den indre er, hvor produktionen stopper. Opgaven er at flytte indre omstillingstid til ydre omstillingstid, samt at man løbende reducerer omstillingstiden. Forbedringerne kan fx gennemføres i tre trin:

- Basis koncept.
- Skærpe konceptet.
- Implementering af systemet.

Her skal vi huske, at gå bagom selve forbedringsteknikken, for at finde den basale løsning, samt huske på, at søge i stadig højere systemniveauer, som også skal udvikles.

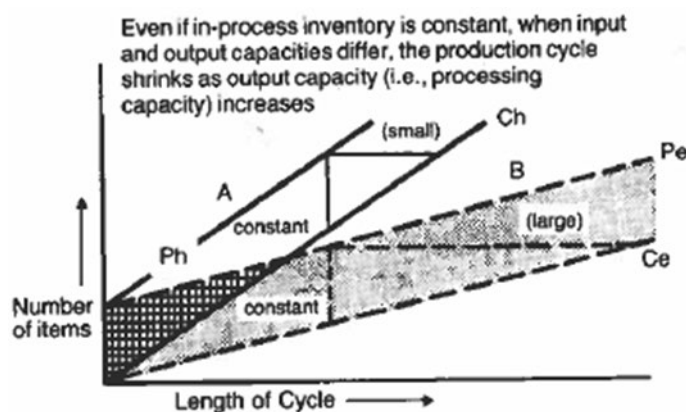
Forskellen mellem Vesten og Japan ses også i deres forskellige måde at betragte transport på. Hvor man i Vesten ofte alene sætter fokus på forbedring af selve transportmidlet, forsøger man i Japan at reducere eller helt fjerne transport som den bedste vej til at forbedre produktionsopsætningen.

Man skal altså lave produkter, som kan sælges og ikke tilbringer sin tid på lagret. Det gør, at produktionsenhederne skal være så små som mulige, hvorfor 'tandhjulene' for salg,

produktion, levering og råvarer skal passe nøje sammen uden mellemliggende 'tandhjul' for lagre. Udviklingen af ingen-lager-produktion kan fx gennemføres i trinene, når man skifter fra sælgers til købers marked:

- Salgs- og produktionscirklerne skal passe sammen.
- Lagre bliver tolereret som et nødvendigt onde.
- Lagre vil vokse.
- Masseproduktion og massemarketing vil udvikle sig.
- Diversitet på produkter vil blive et ønske hos kunderne.
- Markedet vil endelig skifte over fra et sælgers til et købers marked.

Men hvordan håndteres lagre så ved svingninger i købers marked? Der anvendes ofte en forkert teori, som siger, at udsving i økonomi og færdigprodukt lagre er omvendt proportionelle. Hvis man derimod sørger for, at efterspørgsel efter varer er parallel med produktionen af varer, så vil de to flowkurver være parallelle og følges op og ned, når markedets behov svinger, som vist i figur 45. Dette er ikke nemt at forstå, men samtidig er der også et gab mellem sprog og tænkning imellem landene fx i Vesten og Japan. En rigtig forbedring kan ikke kun være en imitation, men betinger, at man har fået en erkendelse af det underliggende koncept.



**FIGUR 45.** Akkumuleret produktflowkurve for produktion (P) og salg (C), hvor x-aksen er produktionsdage og y-aksen er antal emner eller produktionens volumen. Den lodrette afstand er lagret ( $P - C = \text{Lager}$ ), mens den vandrette afstand mellem  $P - C$  er produktionslængden. I 'ingen-lager-produktion' ønskes produktionen trukket af salget, hvorved de to linjer bliver parallelle. Når produktionen i tilfælde B er lille er længden af en produktionsenhed lang, og når produktion og salg i tilfælde A stiger vil produktionscyklus blive lille, men lagret vil fortsat være konstant. Kilde [Shingo, 1988] figur 2-4 side 53.

### 6.1.11 Videnskabelig metode til forbedring (STM)

Shingo's videnskabelige metode til forbedring af produktion (Scientific Thinking Mechanism for Improvement - STM) er delt i fem trin:

- Trin 0: En bedre måde at tænke.
- Trin 1: Identifikation af problemer.
- Trin 2: Grundkoncept for forbedring.
- Trin 3: Planlægning af forbedring.
- Trin 4: Overfører planer til virkelighed.

Gennem egnede metoder skal man først fastlægge status quo for områder, så skal der opstilles klare mål, og folk skal motiveres. Shingo skriver, at det er mere produktivt, hvis man opstiller klare mål og fremmer motivationen frem for kun at fortælle folk, at de skal arbejde bedre. Der kan bruges metoder og værktøjer til at fastlægge standarder, og man bør forstå,

at rationalisering på de enkelte steder, kun er et middel til at opnå virkelige forbedringer for hele produktionen. Man kan fx klassificere ideer og observationer, forsøge at undgå overlappende klasser, lave relationer mellem de enkelte ting, og bruge en analytisk metode.

I trin 1 om identifikationen af problemer kan fx bruge følgende:

- Aldrig accepter status quo.
- Find problemer, som du ikke tror eksisterer.
- Forstå at arbejde er mere end folk i bevægelse.
- At erkende og tænke er ikke det samme.

I trin 2 om grundkonceptet deles det i følgende dele:

- Forstå status quo, herunder hvad du forstår og ikke forstår.
- Forfølg målene og at fjerne spild fx gennem fokuseret tænkning og se efter multiple og højere ordens mål.

I trin 3 om planlægning af forbedringer kan der fx bruges brainstorming, kritik og valg af forslag som kan bruges, og sæt forslagene sammen til forbedringsforslag, som kan realiseres.

I trin 4 om transformation af plan til praksis bør man før alt andet forsøge at gennemføre forbedringen og tænke på, at der er en positiv energi i at handle, men man skal huske at differentiere i forhold til aktører.

Forbedringen forudsætter, at man forstår, at man kan få folk motiveret og kan formulere budskabet klart, og gerne med afgrænsede debatter, men hvor konklusionen vises først. Shingo skriver desuden, at der er en induktiv og en deduktiv vej, hvor den induktive er eksempel-vejen, som bruges i dagligdagen til at forklare sammenhænge på en enkelt, men tit ulogisk måde. Shingo vil gerne, at man i STM bruger den deduktive vej, hvor man viser fejl og behov for forbedring i praksis i produktionen. Som Shingo skriver, så giver det folk en bedre forståelse og hurtigere beslutning. I STM er det også vigtigt at udfordre vaner.

## 6.2 Produktionsindustriens systemer for procesledelse

I dette afsnit er først beskrevet, hvordan erfaringerne fra TPS er blevet transformeret gennem et stor internationalt udviklingsprogram til andre bilfabrikanter i USA, Vesteuropa og Asien i form af Lean Production. Herefter er beskrevet, hvordan Goldratt i sin bog 'The Goal' har omsat denne komplicerede nytænkning i en novelleform, der har sat fokus på praksis, ledelse og jagten på et højere mål for udviklingen. Denne fortælleform er senere blevet anvendt i udviklingen af Lean Construction DK. Dernæst præsenteres en økonomisk model for tids- og aktivitetsstyring målrettet hele virksomheden kaldet TDABC, som forfatterne mener er et godt supplement til Lean Production. Både Goldratt og forfatterne til TDABC har taget deres udgangspunkt i udvikling af softwareprogrammer. Kapitlet slutter med en transformation af de internationale erfaringer til integreret produktivitsudvikling i den danske produktionsindustri. Dvs. at kapitlet transformerer produktionserfaringer fra Japan og én bilfabrikant som det er vist i kapitel 6.1 til mange internationale virksomheder, produktioner og afdelinger samt til softwareudvikling og økonomistyring. Afsnittet slutter med en transformering af disse erfaringer til produktivitsudvikling i dansk produktionsindustrien. Samlet beskrives det i følgende afsnit:

- 6.2.1 Lean Production international i Motor Vehicle Program.
- 6.2.2 Flaskehalse i proces som begrænser rentabilitet.
- 6.2.3 Time-driven activity-based costing (TDABC).
- 6.2.4 Dansk anvendelse af produktivitsudvikling i industri.

### 6.2.1 Lean Production international i Motor Vehicle Program

I dette afsnit beskrives, hvordan erfaringer fra TPS spredes fra Toyota til andre bilfabrikanter i USA, Vest Europa og Asien og videreudvikles i et stort internationalt udviklingsprogram til Lean Production i et samarbejde mellem forskere og bilfabrikanter. Beskrivelsen bygger primært på professorerne Womack, Roos og Jones fra USA og England [Womack et al, 1990; 1991; 1996; 2007] og professorerne Morgan og Liker fra USA [Morgan et al, 2006].

I 1985 blev der, med afsæt i Massachusetts Institute of Technology (MIT), etableret the International Motor Vehicle Program (IMVP), som havde til formål gennem detaljerede studier at forstå den nye japanske teknik i TPS, som de efterfølgende kaldte 'Lean Production'. Parterne følte, det var en mere konstruktiv vej for vesten frem for at hæve toldbarriererne, som kunne være vestens modstykke over for Japans stigende vækst i bilindustrien. IMVP kunne samtidig også være svaret på regeringernes bekymring for, hvordan de kunne revitalisere deres bilindustrier. Man blev derfor enige om at samle midler til et stort internationalt udviklingsprogram. I IMVP arbejdede man som et stort internationalt team af forskere, rådgivere, produktionsfolk og ledere fra USA, Vest Europa og Asien. De arbejdede uafhængigt og blev støttet med 5 mio. \$ (75 mio. DKK i dagens værdi) af 36 organisationer fra bilindustrien, underleverandører og myndigheder fra de tre regioner.

Erfaringerne herfra er bl.a. beskrevet af forskningsdirektør Womack, professor Roos og professor Jones fra USA og England i 'The Machine that Changed the World', som blev udgivet i 1990 [Womack et al, 1990] og revideret i 2007 med deres læring siden 1990 [Womack et al, 2007]. Det er forfatternes opfattelse, at Lean Produktion er universel og kan anvendes alle steder. De har derfor sat fokus på omhyggeligt at forklare logikken og teknikken bag Lean Produktion, så man undgår misforståelser og kan skelne mellem den japanske original og de universale ideer og fordele. Lean og TPS tankerne er også samlet i 'Lean Thinking' fra 1996 [Womack et al, 1996], og i 'The Toyota Production Development System' af de to amerikanske professorer Morgan og Liker [Morgan et al, 2006].

#### Transformationen fra masse til Lean Produktion

Womack, Jones og Roos [Womack et al, 2007] forklarer, hvor lean kommer fra, og hvordan lean fungerer og spredes over hele kloden, og de sammenligner lean med håndværks- og masseproduktion. Håndværksproduktion bruger højt kvalificerede håndværkere og enkle værktøjer for at fremstille en enhed ad gangen, tilpasset kundens ønsker. Masseproduktion bruger specialiserede produktdesignere til standarddesign og uuddannede eller semiuddannede arbejdere, som styrer dyre maskiner til ét produktionsformål, og som sprøjter et meget stort antal standardprodukter ud. Ved masseproduktion får kunderne produkterne til lav pris, mens de fleste arbejdere finder arbejdet kedeligt og uinspirerende.

I modsætning hertil, forbinder lean fordelene ved håndværks- og masseproduktion, hvor de undgår dyr og kedelig produktion. Lean bruger tværfaglige arbejdere på alle niveauer og fleksible og automatiserede maskiner til produktion af store produktmængder med meget stor variation. Det blev kaldt 'lean', fordi der bruges mindre af al ting i forhold til masseproduktion. Forskellen mellem masseproduktion og Lean Produktion vises bedst ved, at målet i masseproduktion er, at det blot skal være 'godt nok', som bliver til et givent antal fejl og lagerstørrelser, som er acceptable. I modsætning hertil har lean eksplicit fokus på perfektion, hvor man løbende reducerer omkostninger, fejl, lagre og endeløse produktvariationer.

Lean ændrer derfor tænkningen om, hvordan man arbejder og tænker produktion, og hvordan man forstår den professionelle karriere. I lean presser man ansvaret langt ned ad den organisatoriske stige, man arbejder i teams frem for i et rigtigt hierarki, og man får frihed til at kontrollere sit eget arbejde, men kan også mærke stress og nervøsitet for at lave dyre fejl. De ansatte skal trives i dette udfordrende miljø, hvorfor ledelsen må udvikle deres kompetencer og værdsætte deres mange eksperter.



Forfatterne udtrykker måske bedst forskellen mellem de to forretningssystemer - masseproduktion og Lean Produktion i citatet [Womack et al, 2007]:

*"Vi har vist de vigtige forskelle mellem det hjernedøde pres i masseproduktion og de kreative udfordringer ved fortsatte forbedringer i Lean Produktion".*

Elementer i lean:

- Lean i produktion.
- Lean i produktudvikling.
- Lean i leverancestyring.
- Lean i kunderelation.
- Lean som et totalt koncept.
- Udbredelse af lean og barrierer for lean og forslag til deres overvindelse.

### **Produktudvikling ud fra Toyota Produktion System (TPS)**

Morgan og Liker skriver i deres forord følgende [Morgan et al, 2006]:

*"The Toyota system developed products that cost much less time with many fewer hours of engineering, products that cost much less to manufacturer and that had many fewer defects as reported by customers. (Not surprisingly, these products also sold at considerable higher prices within a given segment of the auto market.) This product development system consistently created more value with less time and effort, the very definition of lean."*

Oversat til dansk:

*"Toyota's system udviklede produkter, som kostede meget mindre tid og mange færre ingeniørtimer, hvor produkterne kostede meget mindre at fremstille, og som havde mange færre fejl rapporteret af kunderne. (Ikke overraskende solgtes disse produkter også til betydelig højere priser inden for et givet segment på bilmarkedet.) Dette produktudviklingssystem skabte konsekvent mere værdi med brug af mindre tid og kræfter, hvilket er selve definitionen af lean."*

Morgan og Liker fører dermed Toyota Produktion System (TPS) over i et system for produktudvikling, hvor Ohno [Ohno, 1988] og Shingo [Shingo 1987 og 1988] lagde vægt på udvikling af fremstilling, og hvor udvikling af produktet blev et resultat af deres arbejde. Womack o.a. [Womack, 2007] tog udgangspunkt i TPS, hvorfra de introducerede Lean Produktion, og de gjorde det til et generelt ledelsesværktøj i virksomheder og på tværs af brancher. Fx beskrev de i 'The Machine that Changed the World' [Womack, 2007] kun fremstillingen i ét kapitel, mens de i de andre kapitler lagde vægt på udbredelse af lean fra fremstilling til fx marketing, levering, økonomi og produktudvikling.

### **6.2.2 Flaskehalse i proces som begrænser rentabilitet**

I dette afsnit beskrives israeleren dr. Goldratts søgning efter et højere mål for udviklingen. I hans bogen 'The Goal' prøver han at belyse problemstillingerne på en anden måde ved at bruge en novelleform til at filosofere over stadige forbedringer, begrænsninger og flaskehalsproblemer for at nå målet om rentabilitet. Den sidste udgave af bogen [Goldratt et al, 2013] er desuden suppleret med to artikler, hvor han reflekterer over sine erfaringer.

#### **Goldratt og bogen 'The Goal'**

Dr. Eliyahu M. Goldratt (1947-2011) var redaktør, forfatter, videnskabsmand, filosof og virksomhedsleder, og han publicerede sin første udgave af novellen 'The Goal' om stadige forbedringer og flaskehalsproblemer i produktion i 1984. Anden, tredje og fjerde udgave blev

publiceret i 1986, 1992 og 2004, og samlet er de solgt i 8 mio. eksemplarer. Efter sin død i 2011 blev der publiceret en speciel udgave i 2013 [Goldratt et al, 2013], som blev suppleret med artiklerne:

- My Saga to Improve Production by Eliyahu M. Goldratt.
- Standing on the Shoulders of Giants Production – concept versus production applications by Eliyahu M. Goldratt, 2008.

I hans seneste år var han besat af en søgen efter den Hellige Gral for en fælles videnskab om ledelse, og det gennemsyrede også hans tænkning og udvikling af *'The Goal'* gennem årene. *'The Goal'* er skrevet som en novelle om hovedpersonen Alex Rogo, der er en jaget produktionsleder, som forsøger at redde sin fabrik, der hastigt bevæger sig i retning mod afgrunden. Novellen indeholder budskaber for virksomhedsledere, og den beskriver de underliggende ideer bag *'The Theory of Constraints'* (TOC), som Goldratt har udviklet. På dansk er det *'Teorien om begrænsninger'* fx som følge af flaskehalsproblemer i produktionen, som begrænser stadige forbedringer og målet om rentabilitet. Det er primært de to artikler, som ligger bag det efterfølgende sammendrag.

### **Artiklen: Min saga om forbedring af produktion (Engelsk: My Saga to Improve Production)**

Goldratt's artikel handler om hans erfaringer fra 80'erne og frem til 2011 med udvikling af *'The Theory of Constraints'* (TOC), og hvor svært det havde været, at få fabrikkerne til at implementere TOC og opnå forbedringer i produktionen.

Goldratt var i starten af 80'erne formand og medejer af et hurtigt voksende softwarefirma, som leverede softwarepakker om produktionsplanlægning til produktionsvirksomheder, der blev understøttet af en uddannelsespakke fra softwarefirmaet. Som han skriver, var softwarepakken meget revolutionerende, og den passede godt ind i tiden. Mange købte den, men det var ikke tusinde af virksomheder, hvorfor de syntes, at salgsfremgangen var skuffende. Han fik så en idé til novellen kaldet *'The Goal'*, som på en alternativ måde introducerer de grundlæggende principper for softwarepakken og uddannelsen. Overraskende for Goldratt fik de fabrikker, som alene læste novellen *'The Goal'* et bedre resultat, end de kunder, som havde investeret i softwarepakken og uddannelsen.

Det tog Goldratt noget tid at finde følgende simple svar på denne problemstilling: Produktionsfolkene brugte primært deres kræfter på uddannelse og installation af software, hvilket fjernede deres fokus fra de nødvendige ændringer i deres produktion, målinger og procedurer. De fleste læsere sagde dog, at de var enige i novellens budskab, men de kaldte det normal sund fornuft. På trods af det implementerede de ikke TOC, men de fortsatte med at ignorere begrænsningerne, fortsatte med at implementere det, de i forvejen kendte til, og fortsatte med at træffe beslutninger alene ud fra produktomkostningerne.

Som svar på denne problemstilling opstillede Goldratt følgende korte liste over udfordringer, som forhindrede TOC i at blive aktiveret:

- Udfordring 1: Manglende evne til at sprede budskabet i virksomheden.
- Udfordring 2: Manglende evne til at transformere det de havde lært fra bogen til anvendelige procedurer på deres fabrik.
- Udfordring 3: Manglende evne til at overtale beslutningstagere til at tillade ændringer af nogle af målingerne, hvilket var tydeligst i store virksomheder.

En undtagelse herfra er dog virksomheder, som ledes af karismatiske og analytiske ledere, idet de ikke blev blokeret af forhindringer, men selv fx udformede deres procedurer og skabte dynamiske og udviklende arbejdsgrupper.

Denne erkendelse medførte, at Goldratt kort efter udformede et nyt koncept for logistikprocedurer, som han kaldte *'The Drum-Buffer-Rope'* (DBR) eller *'Buffer-Management'*. Dette

koncept kan sammenlignes med 'Kanban' i TPS. I DBR sammenlignes produktionen med en række soldater, som marcherer i takt, hvor taktslaget gives af trommen, der er synkroniseret med den langsomste soldat. Rebet forbinder soldaterne, så alle følger den langsomste soldat, som er flaskehalsen. Rebets længe giver den buffer og begrænsning, der er mellem de enkelte soldater i kolonnen.

Goldratt skriver, at det hermed blev meget lettere at undervise i TOC, og samtidig krævede det kun én dags undervisning. DBR faldt i god jord hos brugerne, hvorfor DBR også blev inkluderet i bogen 'The Race'. Langt hen ad vejen løste det udfordring 2 og 3.

Gennem et computerspil forsøgte Goldratt herefter at løse udfordring 1 om at sprede budskabet i virksomheden. Det er et uddannelsesspil, som træner folk i at udvikle de nødvendige procedurer. Her erkendte han, at procedurerne burde have været udgangspunktet for bogen, hvorfor han inkluderede disse erfaringer i en ny udgave, som omfatter følgende 5-trins procedure for TOC:

- Trin 1: Identificere flaskehalsene i produktionssystemet.
- Trin 2: Beslutte hvordan disse flaskehalse kan reduceres.
- Trin 3: Tilpasse alle andre forhold til disse beslutninger.
- Trin 4: Hæve løsningen op til løsning af systemets flaskehalse.
- Trin 5: Hvis én flaskehals er blevet løst, så startes der igen med trin 1.

Denne procedure løste samtidig to andre funktioner med nødlidende logistikproblemer i organisationen, nemlig projektledelse og transport. Samtidig gav det også nogle bedre muligheder i softwarepakken, som nu blev løst uden sofistikerede matematiske algoritmer. Det bevirkede også, at denne procedure nu blev opfattet mere som en teori kaldt 'The Theory for Constraints' (TOC). Han kunne samtidig se, at med disse forbedringer af produktionen, så bevægede flaskehalsproblemerne sig uden for produktionsområdet til ikke fysiske områder.

For de ikke fysiske områder havde man dog ikke procedurer, som man umiddelbart kunne afdække, forstå og behandle begrænsningerne efter. Det bevirkede, at forbedringerne og produktionen stagnerede, og arbejdsstyrkens andel steg. Det blev derfor indlysende for ledelsen at gennemføre besparelser i arbejdsstyrken, hvilket kom til at virke som en straf af de arbejdere, der havde bidraget til de realiserede forbedringer.

Det førte til, at Goldratt nu primært valgte at fokusere på fabrikker, hvor produktionen kunne fordobles uden at løsningerne bevægede sig uden for produktionsområdet. Det var samtidigt også klart, at den foregående indsats havde haft fokus på specifikke sager og ikke var en generisk løsningsmodel. Opgaven blev nu, at udvikle en mere generisk tankegang, som kunne dække forskellige funktionsområder, som fx marketing og de menneskelige relationer i virksomheden. Hermed blev ledelsens muligheder fjernet for at straffe folk med fyringer for deres forbedringer. I udviklingen af TOC kunne der nu lægges mere vægt på at overvinde de tre udfordringer med implementering i produktionen.

Udfordring 1 var i første omgang løst med bogen, men det var ikke effektivt nok, hvorfor den blev suppleret med en film om bogens indhold. Det var dog en misforståelse, da forklaringerne i bogen var blandede, og procedurerne ikke var vist. Det blev ændret, så filmen blev en mere balanceret, opdateret og rørende uddannelsesfilm.

Udfordring 2 var i første omgang blevet løst med en 2-dages produktionsworkshop, der blev udbygget med et computerspil. Det blev siden drejet til et selvstående system, hvor DBR blev inkluderet, og som kunne bruges til sidemandsoplæring. Efter Goldratt's mening, kan de med dette, selv udarbejde procedurer.

Udfordring 3 løstes med tiden med hjælp for TQM og JIT, så ledelsen fik en anden forståelse. Uventet blev det støttet af ledelsen af regnskab, idet de i deres professionelle tilgang brugte mange af de samme principper som i TQM, især hvis håndteringen af knappe ressourcer også kunne inkluderes og forbedres.

Goldratt fremhæver til sidst i artiklen, at det sværeste er at overvinde modstanden mod forandring, og at nøglen her er styring af dynamikken og samspillet mellem folk med forskellig baggrundsviden og forståelse for TOC. Han skriver, at man kan dele modstanden op i følgende fem lag, som skal skrælles af før forandringerne kan realiseres:

- Man tror ikke problemet kan løses internt, men skal løses af andre udenfor.
- Man tror ikke den foreslåede løsning vil få det ønskede resultat.
- Man tror løsningen vil give en negativ effekt, hvorfor man siger: Ja, men!
- Man tror ikke løsningen kan implementeres.
- Man tror ikke de andre vil samarbejde om løsningen.

Goldratt mener, at de to første lag nok kan skrælles af ved hjælp af selvuddannelsen, mens det er lidt sværere med de tre sidste lag. Goldratt slutter med at skrive, at dette arbejde er tidskrævende, og at det er forskelligt fra sag til sag, men at han måske ikke har nok viden om det, men at det er der andre der har.

### **Artiklen: Stående på skulderne af gigantiske produktioner**

#### **(Engelsk: 'Standing on the Shoulders of Giants Production')**

Som indledning til artiklen skriver redaktøren, at en af Goldratt's overbevisninger var, at mål ikke skal defineres i absolutte termer, men de skal vise os vejen frem mod stadige forbedringer. Hans overbevisning er også, at hvis man vil have et gennembrud i forandringsprocessen, så er der behov for en dyb forståelse af omgivelsernes behov og muligheder. Det er det, Goldratt vil vise i den 24 sider artikel, som starter med at fastlægge stedet for TPS og en forklaring af den historiske baggrund. På de 2 sidste sider slutter han med at give en resultatkonklusion for implementeringen af DBR i Hitachi Tool Engineering Ltd.

Lean Produktion er blevet populær pga. Toyota's succes, som bygger på TPS, skriver Goldratt, og det er nu deres opgave at føre Toyota-DNA'et videre i næste generation. Interessant er det dog, at mindre end 20 % af den japanske produktionsindustri har implementeret Lean, mens andre som har prøvet, er gået tilbage til traditionel produktionsstyring. Årsagen skyldes ikke seriøse forsøg og mangel på viden, idet Toyota har lagt alt information om TPS åbent frem, og de har endda inviteret konkurrenter til at besøge deres fabrikker. Goldratt mener, at den manglende anvendelse af TPS skyldes forskellige produktionsmiljøer, idet TPS er udviklet specifikt til Toyota.

Historisk set, er udviklingen sket i følgende trin, som alle forsøger at udjævne og forbedrede produktionsflowet, så man kan producere flere produktenheder:

- Specialiserede arbejdsstationer på samlebånd: Ford forbedrede produktgennemløbet på samlebånd ved en balancering af flowet med bedre operationer samt begrænsning af lagerpladsen ved arbejdsstationerne. Målet var, at arbejderne skulle arbejdede 100 % af tiden.
- Flere operationer for hver arbejdsstation: Ohno byggede videre på det, men mindre produktionsvolumen hos Toyota gjorde, at én produktionslinje ikke kunne reserveres til ét produkt. Ohno ønskede at løse det ved, at hver arbejdsstation kunne håndtere flere operationer for forskellige komponenter til forskellige produkter. Hertil designede han Kanban, hvor han med samme lagerplads mellem arbejdsstationerne fandt lagerplads til flere varer i mindre mængder i flere containere. I Kanban sendte han et Kanban-kort tilbage i leverancekæden og trak nye leverancer frem, når containerne var tømte.
- Flere og hurtigere skift mellem operationer. Dette krævede flere skift mellem forskellige operationer og produkter ved hver arbejdsstation. Ohno satte derfor fokus på at nedbringe omskiftningstiden, hvilket var imod normal praksis, hvor man normalt ville søge efter den mest økonomiske batchstørrelse. Det lykkedes for Toyota at bringe den ned på få minutter.

- Hurtigere udvikling og fjernelse af forhindringer. Ohno indså, at der var alt for mange forhold, som skulle udvikles og forbedres i den omfattende forandring, han havde sat i gang. Hans metode var her gradvist at reducere antallet af containere og deres antal af varer indtil produktionsflowet blev forstyrret. Når det skete, brugte han sin '5-Hvorfor-metode?' til at udpege årsagen til forstyrrelsen. De blev herefter fjernet, før man kunne fortsætte med reduktionerne. Herved fandt han de vigtigste forbedringsområder, idet han hele tiden satte fokus på forbedringer af flowet og ikke som normalt på reduktion af omkostningerne.
- Fjerne fejl som kan forstyrre flowet. Ohno satte også fokus på at fjerne alle fejl, som ville kunne forstyrre det jævne og hurtige flow. Det var ikke for at skabe besparelser, han gjorde det, men alene for at forbedre flowet. Han brugte heller ikke tid på at forhandle lavere leverancepriser eller at presse arbejdernes løn som middel til at reducere omkostningerne. Samlet blev slutresultatet alligevel, at stykomkostningerne per produktenhed faldt.

Ohno forklarede også, at der er stor forskel mellem et koncept og anvendelse af det, hvor konceptet er generisk, og hvor anvendelsen er en transformation af konceptet til et specifikt område og anvendelse. Goldratt skriver, at det er vist, er denne transformation ikke er triviel, men vanskelig, omfattende og vigtig at gennemføre. Den tager også lang tid, og den kræver stabile omgivelser fx i forhold til:

- At produktet har et langt liv og omgivelserne for produktionen er stabile.
- At kravene til produktet er stabilt.
- At ordretilgangen og trækket på ressourcer er stabilt.

Goldratt forsøger herefter på 9 sider at forklare, hvordan TPS vil kunne virke i mindre stabile miljøer end Toyota's. Han anbefaler fx at bruge et koncept, som anvender et tidsbaseret forløb langs leverancekæden som grundlag, idet det er robust, og fordi det sætter gode rammer for det samlede arbejde og ikke alene mellem to arbejdsstationer. Det er dog vanskeligt at fastsætte styringsparametrene for frigivelse af materiale i god tid for hver ordre. Her kunne en computerberegning af den forventede tidsplan måske være en mulighed, men de seneste 10 år har vist (årene 1998-2018), at mange PC-programmer har forsøgt det uden held, fordi det viste sig, at beregningerne ikke konvergerede.

Goldratt spørger så, hvad er det rette tidsinterval for just-in-time, når vi ikke forventer en given batchstørrelse? Han svarer, at normalt bruges kun 10 % af tiden på en batch i produktionen, og at en batch fx skal være på mindst 10 enheder. Han foreslår også, at man fx deler bufferstørrelsen op i grøn, gul og rød, som udgør helholdsvis mindre end 1/3, mellem 1/3 og 2/3 eller større end 2/3 af buffertiden. Rød er der, hvor ledelsen hurtigt skal gøre noget. Ford og Ohno fastslår, at konstante aktiviteter for alle ressourcer og tider ikke giver en effektiv produktion, mens det modsatte er mere rigtigt, og at man skal undgå lokal effektivisering (suboptimering). Normalt vil det være tidspilde at forsøge at optimere mere på det, sluttede Goldratt.

Goldratt skriver til sidst om erfaringerne med udviklingen i Hitachi Toll Engineering Ltd., som fremstiller 20.000 forskellige skæreværktøjer, og hvor kunderne hele tiden presser dem til at udvikle nye på kortere og kortere tid. De startede i 2000 med at implementere DBR på én fabrik, hvor de reducerede gennemløbstiden til det halve, og de afleverede 20 % flere produkter med den samme arbejdsstyrke. I 2003 havde de implementeret DBR på alle deres 4 fabrikker, og samlet havde de øget deres salg med 20 % og profitten var steget fra 7-22 % fra 2002-2007.

Goldratt slutter: Disse erfaringer kan dog ikke direkte overføres til projektorienterede miljøer, hvor håndteringstiden er meget lang, og hvor kunden ofte presser produktionen til at

love en gennemløbstid på kun 2-3 gange længere end håndteringstiden. Det giver selvfølgelig en dårlig performance.

### Overblik over Goldratt's erfaringer

Resumeet af Goldratt's artikler er efterfølgende samlet i tabel 8 og tabel 9 for at give et overblik over, hvad hans erfaringer har centreret sig omkring. I tabel 8 er hans fokus vist i forhold til typen af virksomhedsfunktioner (afdelinger) og typen af ledelsesstile. I tabel 9 er hans fokus vist i forhold til hans forskellige virkemidler til forandringsprocessen samt deres sammenhæng med udfordringer og effekter på virksomheden.

**TABEL 8.** Goldratt's indsats i forhold til forskellige typer af virksomhedsfunktioner og lederstile. Goldratt mener, at det er lettest at starte i nederste venstre hjørne. Det var også det han gjorde.

Ledelsesstile	Lukket ledelse*			
	Neutral ledelse*			
	Karismatisk ledelse	XX	x	
		Produktion** med stort forbedringspotentiale	Produktion** med lille forbedringspotentiale	Ikke fysiske funktioner***
Virksomhedsfunktioner og -afdelinger				

\* Er ikke skrevet direkte af Goldratt, men tilføjet af NHB. Det kan omfatte medarbejdernes holdning.

\*\* Produktion kan også inkludere projektledelse og transport.

\*\*\* Det kan fx være funktioner som marketing, personale og samarbejde.

**TABEL 9.** Goldratt's virkemidler vist i den rækkefølge de er introduceret i artiklerne (1-7), og de er set i forhold til de udfordringer og effekter de har på virksomheden (A-E).

Virkemidler	1. Softwarepakke				x	
	2. Uddannelse*		x			
	3. Novelle	x				
	4. Taktslag jf. DBR**		x	x		
	5. Computerspil	x	x			
	6. Procedure i 5 trin		x			
	7. Film om TOC	x				
	8. TQM og JIT				x	
	9. Regnskabspraksis				x	
		A. For-	B. Pro-	C. For-	D. Pro-	E.
		mid-	cedu-	bedrin-	duk-	Pro-
		ling* <sup>A</sup>	rer* <sup>B</sup>	ger* <sup>C</sup>	tion* <sup>D</sup>	dukt* <sup>E</sup>
Udfordringer og effekt i virksomheden						

\* Sammen med computerspil og film kan det gøres som selvlæring og sidemandsoplæring, skriver Goldratt.

\*\* DBR er Drum-Buffer-Rope-konceptet for logistikprocedurer, som ligner Kanban fra TPS.

<sup>A</sup> Udbredelse af viden om TOC til alle i virksomheden.

<sup>B</sup> Ændring af gamle procedurer i virksomheden til nye i overensstemmelse med TOC og DBR.

<sup>C</sup> Ledelsens og medarbejdernes modstand mod forandringer. NB: Goldratt mener, at det vigtigste er at fjerne modstanden og styrke dynamikken og samspillet mellem personer med forskellig viden og forståelse.

<sup>D</sup> Produktion skal være i primær fokus. Goldratt's erfaringer viser, at implementering af software, uddannelse og andre udviklingstiltag ofte får så meget fokus, at fokus fjernes fra produktionen, målinger og procedurer.

<sup>E</sup> Forbedring af produktet og rentabiliteten af produktionen, så prisen kan sænkes og overskuddet øges. Dette forhold behandlede Goldratt i starten som et vigtigt mål, men han fulgte ikke op på det senere i artiklerne.

Goldratt mener, at den vigtigste og sværeste indsats er at fjerne modstanden mod forandring, samt at styrke dynamikken og samspillet mellem personer i virksomheden, som kan have forskellig baggrundsviden og forståelse af TOC.

### 6.2.3 Time-driven activity-based costing (TDABC)

I dette afsnit beskrives en økonomisk model for udvikling af virksomheder, der er en dansk oversættelse [Kaplan et al, 2004] af en engelsksproget lærebog. Den er skrevet af de to amerikanske økonomer, hvor Anderson er stifter af konsulent- og softwarefirma og pioner i udviklingen af TDABC, og hvor Kaplan er professor ved Harvard Business School. De har samordnet modellen med andre økonomiske modeller. Beskrivelse er vist under følgende overskrifter:

- Baggrund for udvikling af Time-Driven Activity-Based Costing.
- Udviklingen af og elementerne i TDABC-modellen.
- Estimering af kapacitetsomkostningssatser (1)
- Estimering af procestider og tidsligningen (2)
- Hvad-nu-hvis-analyser, fast track-profitmodel og styrkelse af Lean mv.

#### Baggrund for udvikling af Time-Driven Activity-Based Costing

Til styring af en bedre økonomisk udvikling i virksomheder har mange brugt Activity-Based Costing (ABC) (aktivitetsbaseret omkostningsstyring) fra dens udvikling i 80'erne. I ABC fokuseres på at måle og styre omkostningerne til virksomhedernes kapacitetsressourcer. I Danmark har ABC dog være i konkurrence med den klassiske danske økonomistyringstradition fra 60'erne, og ABC har ikke fået den samme udbredelse i Danmark som i resten af verden. Samtidig opfattes ABC kompliceret, og den kan nemt skabe store og uoverskuelige modeller med urealistiske krav til datagrundlaget.

Det gjorde Anderson og Kaplan op med, da de i 2004 lancerede metoden Time-Driven Activity-Based Costing (TDABC) i en artikel i Harvard Business Review [Kaplan et al, 2004]. Senere i 2007 udgav de den engelsksprogede lærebog med samme titel, som i 2008 blev oversat til dansk [Kaplan et al, 2008], og som i det efterfølgende er resuméret. Bogen redegør for teorien om TDABC, som integrerer ABC med Kaplans model 'Balanced Scorecard', der beskriver hvordan virksomhederne skaber værdi for kunder og aktionærer, og Andersons tidslogaritmer, der er inkluderet i en model for omkostninger og lønsomhed med produktion og levering. Senere er TDABC udbygget med nye innovative applikationer, og i bogens anden del gives eksempler på dens brug i casestudier.

Professor Per Nikolaj Bukh, Aalborg Universitet skriver følgende om modellen i bogens forord:

*"Time-driven ABC vil være et godt alternativ til ABC, idet den mere enkle og intuitive fremgangsmåde vil gøre det lettere at indføre omkostningsmodellerne uden en massiv konsulentindsats. Den er også egnet til de virksomheder, der i disse år indfører Lean i produktionen og de administrative processer. Hvis man tager skridtet fuldt ud og organiserer virksomheder omkring værdistrømme, vil det betyde, at økonomistyringsmodellerne skal re-designes."*

#### Udviklingen af og elementerne i TDABC-modellen

I forhold til ABC forenkler TDABC omkostningsberegningerne og fjerner behovet for at interviewe medarbejderne for at fastlægge omkostningerne til alle aktiviteter i afdeling eller procesenhed, som skal henføres til de enkelte omkostningsobjekter. I en kundeserviceafdeling er omkostningsobjekterne fx ordrer, produkter og kunder.

$$(1) \text{ Kapacitetsomkostningssatsen (Kos) = } \frac{\text{Samtlige omkostninger til ressourcerne}}{\text{Ressourcekapaciteten i procesenheden (Rk)}}$$

$$(2) \text{ Efterspurgt ressourcekapacitet (Erk) = } Et_a \times Ae_a + Et_b \times Ae_b + \dots + Et_n \times Ae_n$$

$$(3) \text{ Uudnyttet kapacitet = } Rk - Erk$$

$$(4) \text{ Samlet omkostning = } Erk \times Kos$$

Hvor: Kapacitetsomkostningssatsen er 'Kos'; Ressourcekapaciteten i procesenheden er 'Rk'; Efterspurgt ressourcekapacitet er 'Erk' og kaldets også tidsligningen; Omkostningsobjekterne er a, b, c, ...n; Enhedstiden er 'Et', som vurderes; og Antal enheder er 'Ae', som sammentælles.

I TDABC anvendes mængden af tid som primær cost driver, og man henfører ressourceomkostningerne direkte til omkostningsobjekterne ved at bruge de to ukomplicerede estimater:

- (1) Kapacitetsomkostningssatsen er de samlede omkostninger ved at levere en ressourcekapacitet i fx mandetimer, og den beregnes som forholdet mellem samtlige omkostninger til ressourcerne og procesenhedens samlede kapacitet i mandetimer.
- (2) Tidsligningen er efterspørgslen efter ressourcekapacitet i mandetimer, og den estimeres for hvert omkostningsobjekt ved at gange enhedstiden og antal enheder.
- (3) Den uudnyttede kapacitet kan herefter beregnes som forskellen mellem Ressourcekapaciteten og Efterspurgt ressourcekapacitet.
- (4) Den samlede omkostning kan herefter beregnes ved at gange tidsligningen med kapacitetsomkostningssatsen

#### *Eksempel på beregning af TDABC*

Som eksempel, ses på en kundeserviceafdeling, hvor den primære ressource er mandetimer, og hvor omkostningsobjekterne er ordrer, produkter og kunder.

I den aktuelle kundeserviceafdeling er de samlede omkostninger 567.000 \$/kvarartal, som dækker over omkostninger til personale, informationsteknologi og lokaler, og det antages, at de ikke ændres ved varierende arbejde. Ressourcekapaciteten beregnes til 756.500 min / kvartal for 28 medarbejdere, der arbejder 60 dage pr. kvartal a 7,5 time pr. dag. Af disse bruges omkring 75 min om dagen til pauser, træning og uddannelse, og det beregnes til 126.000 min /kvartal. Det giver en praktisk ressourcekapacitet på 630.000 min/kvartal, og kapacitetsomkostningssatsen kan beregnes til 0,9 \$/min jf. ligning (1).

Herefter kan man gå i gang med at beregne tidsligningen og den efterspurgte ressourcekapacitet efter ligning (2). Det kræver, at medarbejderne eller TDABC-teamet vurderer det gennemsnitlige tidsforbrug til behandling af de tre kunderelaterede aktiviteter i afdelingen: Kundeordrer, kundeforespørgsler og klager samt kreditkontrol. I det viste eksempel er de tre enhedstider estimeret til henholdsvis 8, 44 og 50 min, og antallet er enheder er optalt til henholdsvis 49.000, 1.400 og 2.500 enheder. Dvs. at den efterspurgte ressourcekapacitet jf. tidsligningen (2) kan beregnes til 578.600 min / kvartal ( $578.600 = 8 \times 49.000 + 44 \times 1.400 + 50 \times 2.500$ ), og den uudnyttede kapacitet kan beregnes til 51.400 min / kvartal ( $51.400 = 630.000 - 578.600$ ) eller 8 % ( $0,08 = 51.400 / 630.000$ ).

Forfatterne foreslår, at TDABC kan implementeres i følgende faser:

- Fase I: Forberedelse med opstilling af målsætninger og handlingsplan.
- Fase II: Analyse med estimering af kapacitetssatser, tidsligninger og model.
- Fase III: Pilotprojekt med data indsat i software og validering af model.
- Fase IV: Udrulning med roller, formidling, afdelingsmodel og evaluering.



### **Estimering af kapacitetsomkostningssatser (1)**

Kapacitetsomkostningssatserne i en afdeling eller anden procesenhed er fx ressourceomkostningerne til ordrer, produkter og kunder, som beregnes som et forhold mellem omkostninger og ressourcekapaciteten i afdelingen. Omkostningerne er summen af alle de omkostninger, der knytter sig til en afdeling som fx medarbejdere, supervision, indirekte arbejde, udstyr og teknologi, kvadratmeteromkostninger og andre indirekte ressource, samt støtte- og stabsfunktioner i virksomheden efter afdelingens træk på disse. Hvis de ændres, justeres de i beregningen. Forfatterne skriver: *"Målet med at allokere omkostninger til støttefunktioner bør være at afspejle den økonomiske virkelighed, og det bør ikke være bestemt af, hvad der er mest bekvemt."*

Ressourcekapaciteten måles som mængden af timer medarbejderne har til rådighed til at udføre arbejdet i afdelingen fratrukket pauser, træning og uddannelse o.l. I automatiserede afdelinger bestemmes tempoet ofte af udstyrets kapacitet, og i sådanne situationer måles den praktiske kapacitet som mængden af maskintid, som fratrækkes ikke-produktionstid, hvor udstyret er nede.

Forfatterne mener, at beregninger på afdelingsniveau er den simpleste og hurtigste måde at konstruere en TDABC-model på. Det holder dog kun stik, hvis de tilførte ressourcer er omtrent de samme for hver aktivitet og transaktion, og de forudsætning brister også, hvis der trækkes på forskellige ressourcer. Er det virkeligheden, så bør der arbejdes med to eller flere omkostningssatser i den pågældende procesenhed.

Den praktiske kapacitet kan enten estimeres arbitrært eller analytisk, hvor parametrene i det sidste tilfælde skal være baseret på de faktiske arbejdsdage og gennemsnitlige mængde af tid. Følgende variable skal man dog være opmærksom på, og de kræver særlig tænkning for at sikre, at udgifter og kapacitet ikke fordeles generelt ud, men allokeres til de aktiviteter de relaterer sig til:

- Springvis variabilitet ved anskaffelse af kapacitet.
- Sæson- og spidsbelastningskapacitet.
- Kapacitet der styrker servicekvaliteten.
- Allokering af omkostningerne til udnyttet kapacitet.

Forfatterne anbefaler, at man ikke kan bruge de faktiske data fra den forrige periode fra bogholderisystemet, idet de kan variere fra periode til periode. De ser hellere, at man finder et stabilt niveau, og at man bruger variationerne til at evaluere afdelingerne og ledelsens performance.

### **Estimering af procestider og tidsligningen (2)**

I bogen anvendes mængden af tid som primær cost driver, men ved analyser af fx køretøjskapacitet og datalagringskapacitet kan man også anvende volumen og vægt samt Gigabytes som kapacitetsmål. Som det skrives i bogen: *"Metoden er nem at standardisere til anvendelse på andre ressourcer."*

De moderne økonomistyringssystemer indsamler og lagrer normalt transformationsdata om forskellige ordrekarakteristika, og omkostningerne til kapacitetsudnyttelsen kan normalt beregnes automatisk. Forfatterne skriver også, at forsknings-, markedsførings- og salgsafdelinger også er blevet mere systematiske og bedre til at dokumentere. De konkluderer desuden, at ny teknologi, strømlinede processer og nye systemer har skabt en god platform, som TDABC kan basere sig på.

Estimeringen af tidsforbruget er centralt for TDABC, og de fleste virksomheder besidder denne målekompetence. Da den heller ikke kræver særlig præcision, volder den normalt ikke problemer. Målingen kan fx ske gennem direkte observationer med stopur, ved at vurdere tiden for behandling af fx 100 ens transaktioner og finde gennemsnittet, ved at interviewe medarbejderne, eller ved at bruge eksisterende datakort og tidsestimater. TDABC-

teamet kan fx bede medarbejderne om at estimere den konkrete tid det tager at udføre en given operation, og det er normalt nemmere for dem end at notere procentandelen for hver standardaktivitet. Forfatterne angiver, at man blot skal tilstræbe, at resultaterne er tilnærmelsesvis rigtige.

Ved beregning af tidsligningen jf. formel (2) anbefaler forfatterne, at man kun inkluderer de væsentligste aktiviteter og ikke går ned og estimerer på underliggende aktivitet, idet man nemt taber overblikket og arbejdet bliver mere omfattende. De siger også, at modellen vokser lineært med detaljeringen af virkeligheden, og at aktivitetstiderne normalt er stabile gennem flere perioder. Man kan efterfølgende trin for trin indføre nødvendige variationer fx mellem medarbejderne, hvis det er nødvendigt. De siger også, at der ikke går informationer tabt ved at udføre beregningerne på ordre- og transaktionsniveauer.

Forfatterne anbefaler pga. erfaringer, at tidsligningen estimeres som følger:

- Begynd med de mest omkostningskrævende processer.
- Definer igangsætning, omfang og afslutning af processer.
- Identificer de vigtigste tidsmæssige drivere.
- Anvend først tilgængelige driver-variable.
- Begynd simpelt. Afdelingsomkostningerne kan fx direkte henføres til transaktioner, produkter og kunder i forhold til deres træk på aktiviteter.
- Engager medarbejderne i valideringen af modellen.

Afdelingen eller andre procesenheder forbindes med hver sit sæt af tidsligninger og omkostninger, og ved ændringer af processen opdateres de. Forfatterne foreslår, at der udpeges en operationel ejer for hver tidsligning, så de løbende ajourføres.

### **Hvad-nu-hvis-analyser, fast track-profitmodel og styrkelse af Lean mv.**

#### *Hvad-nu-hvis-analyser*

Forfatterne foreslår, at man bruger 'Hvad-nu-hvis-analyser' til at forudsige ressourcebehovet, så virksomheden løbende kan tilpasse behovet hos produkter og kunder. Man gør samtidig opmærksom på, at man ikke skal arbejde med for stor en andel af faste omkostninger, og at variable omkostninger bør opfatte alle omkostninger, som ledelsen kan ændre på og tilpasse til behovet, og at det er vigtigt, at de hele tiden gør det.

Når TDABC-modellen har stimuleret lederteamet til at undersøge forskellige former for tiltag, kan de bruge hvad-nu-hvis-analyser til udføre simple og billige sammenligninger af forskellige løsningsforslag.

#### *Fast track-profilmodel*

Med fusion- og virksomhedsoverdragelser kan man også bruge TDABC, som del af due diligence-processen, idet man konstruerer en simpel TDABC-model kaldet 'Fast track-profilmodellen'. Den bruges inden for et kort tidsvindue, hvor man kun har et begrænset adgang til data, og hvor man gerne hurtigt vil finde muligheder for at vende udviklingen i virksomheden i en positiv retning. I korte træk gennemføres den i følgende trin:

- At opstille model, indlæse data og køre model, hvor man fastlægger nuværende værdiansættelse og planlægger forbedringer.
- At sondere mulighederne for opkøbsvirksomheder i forhold til tiltrækningskraft og profiloverensstemmelse med baggrund i beregnet profitforbedringseffekt.
- At igangsætte investeringsstrategien ved at rejse kapital, fremme operationelle ændringer og skabe interesse hos centrale stakeholdere.
- At implementere strategien og høste frugterne ved at fremskynde og dokumenter forbedringerne og optrappe exit-mulighederne for investeringsafkast.

#### *Styrkelse af Lean Management, Supply Chain Management og benchmarking*

Tre andre applikationer til forbedring af forretningsprocessen i TDABC retter sig mod Lean Management, Supply Chain Management og benchmarking.

I Lean Management overføres erfaringer fra Toyota og Lean Production til hele virksomheden herunder til kunderelationer i Lean Consumption og Lean Provision. Efter man har uddannet og trænet lean teamet fx i en 'black belt training', som omfatter Lean Six Sigma, kan man gå i gang med de tre faser: Identifikation af spild, identifikation af løsninger og implementering af løsninger set fx i forhold til værdistrømskort. Lean dokumenterer proceskvalitet, procescyklustider og spild, mens TDABC forklarer komplekse processer og sætter proceskapacitet, omkostninger og ressourcebesparelser på processen og går på tværs af virksomheden. Den supplerer derfor Lean Management, og begge baserer sig på proceskort.

I Supply Chain Management forsøger man også at optimere processer, der involverer eksterne partnere som leverandører og kunder. En af de største barrierer er at indhente valide data fra dem. Hvis det lykkes, er de ofte upræcise. Forfatterne anbefaler, at man begynder med at plote bruttoomsætning og driftsoverskud for alle partnere ind i et diagram, og at man fokuserer på store omsætninger med profitunderskud, hvor det er lettest at forbedre overskuddet.

Benchmarking bruges til at sammenligne nuværende processer med tilsvarende interne og eksterne forretningsenheders performance. Har man sammenlignelige driftssteder kan TDABC-modellen bruges til at sammenligne forskellige procesomkostningsdata og identificere forskelle. Det får særlig virkning, når flere virksomheder anvender TDABC, hvilket fx kan styres af en brancheforening eller et selvstændigt organ.

#### **6.2.4 Dansk anvendelse af produktivitetsudvikling i industrien**

I dette afsnit beskrives en dansk anvendelse af udviklingstendenser i den internationale produktionsindustri. De tre danske forskere fra Aalborg Universitet og Danmarks Tekniske Universitet, Dam, Riis og Thorsteinson viser i en lærebog [Dam et al, 1994] en fremgangsmåde for integreret produktivitetsudvikling målrettede produktionsvirksomheder. Den efterfølgende beskrivelse er vist under følgende overskrifter:

- Integration og produktivitet.
- Modeller for integreret produktivitetsudvikling.
- Virksomhedskulturer, miljøer og styringsniveauer.
- Identifikation af faktorer som påvirker produktionsresultatet.

Baggrunden for lærebogen var et dansk projekt vedrørende udvikling af uddannelsesmateriale og kurser i integreret produktivitetsudvikling, som blev støttet af Undervisningsministeriet gennem lov 271 om udvikling af efteruddannelse. Erfaringerne herfra blev samlet og udgivet i 1994 i en dansksproget lærebog og et produktivitetsleksikon til PC [Dam et al, 1994], som kan bruges i Danmark.

Indholdet i lærebogen er stort set struktureret efter faserne i den anviste fremgangsmåde til integreret produktivitetsudvikling, og forfatterne har valgt at beskrive de konkrete metoder og teknikker. Man har derimod ikke beskrevet de bagvedliggende velkendte produktionsmetoder, hvorfor det stiller visse krav til læseren om indsigt i disse. For at råde bod på det, har de i supplement til lærebogen udarbejdet et produktivitetsleksikon, som kortfattet beskriver hvert af de anvendte begreber og metoder. Lærebogen rummer følgende kapitler:

- 1. Behovet for integreret produktivitetsudvikling.
- 2. Fremgangsmåde ved integreret produktivitetsudvikling.
- 3. Fase 1: Problemformulering, indledende beskrivelse.
- 4. Fase 2: Omfang af integration.
- 5. Fase 3: Systematisk identifikation af produktivitetsfaktorer.
- 6. Fase 4: Analyse af sammenhæng mellem produktivitetsfaktorer.
- 7. Fase 5: Udvikling af mulige løsningsforslag.

- 8. Fase 6: Konsekvensestimering, valg af løsningsprincip.
- 9. Fase 7-10: Detailudformning af løsninger.
- 10. Fase 11: Indføring af løsninger.
- 11. Fase 12: Opgørelse af resultatet, produktivetsmålinger.

### **Integration og produktivitet**

Behovet for udvikling af produktivitet begrundes i konkurrence, hvor virksomheden vil styrke sin afsætning af produkter og serviceydelser på et frit marked. De kan enten være nye eller bedre end konkurrentens og med samme ressourceforbrug eller kapitalindsats, eller de kan være de samme som konkurrentens, men med lavere ressourceforbrug og kapitalindsats, eller det kan være en kombination af disse. Det er ofte produktionen som er i fokus, men andre niveauer og funktioner i virksomheden bør også inddrages, da det fx kan få indflydelse på salg, økonomi og udvikling. En integreret produktivitet må derfor frembringes ved en indsats på flere fronter i virksomheden.

Produktivitet er et mål for resultatet i forhold til brug af ressourcer og indsats (ligning 1) ved produktion af produkter og serviceydelser, hvorfor de skal være klart afgrænsede og beskrevne. Nøgletal for produktivitet kan benyttes på det enkelte produkt samlet og på forskellige niveauer i virksomheden, men de kan også bruges på brancheniveau og på nationalt niveau. De er mest enkle at håndtere, hvis det kun drejer sig om én indsats og ét resultat som fx antal mandetimer og mængden af jord, når man graver et hul. Ved én indsats og flere resultater kan produktivetsnøgletallet fx udtrykkes som arbejdsproduktiviteten (ligning 2a), materialeproduktivitet (ligning 2b) eller kapitalproduktivitet (ligning 2c). Indsatsen kan også inkludere alle disse, samt planlægning, uddannelse og udvikling, og det kan omregnes til en økonomisk produktivitet (ligning 3). I andre sammenhænge er det kaldt 'Total produktivitet'.

$$(1) \quad \text{Produktivitet} = \text{Produktionsresultat} / \text{Ressourceindsats}.$$

$$(2a) \quad \text{Arbejdsproduktivitet} = \text{Resultat} / \text{Arbejdsindsats}.$$

$$(2b) \quad \text{Materialeproduktivitet} = \text{Resultat} / \text{Vareforbrug}.$$

$$(2c) \quad \text{Kapitalproduktivitet} = \text{Resultat} / \text{Anlægsinvestering}.$$

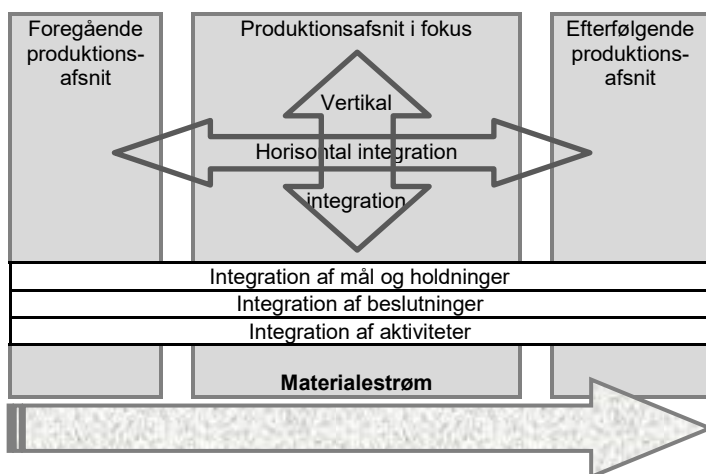
$$(3) \quad \text{Økonomisk produktivitet} = \text{Resultatet} / (\text{Arbejde} + \text{Varer} + \text{Anlæg}).$$

### **Modeller for integreret produktivetsudvikling**

I lærebogen vises tre modeller, som kan benyttes for et afgrænset område i virksomheden, og som har fokus på et produktionsafsnit samt det foregående og efterfølgende produktionsafsnit. Integrationen kan dække hele eller dele af produktionsafsnittet (partiel integration), og den kan koordineres med materialestrømmen, hvilket kaldes model 1. I model 2 deles integrationen i en horisontal koordinering med materialestrømmen og en vertikal koordinering med de forskellige ledelsesniveauer i produktionsafsnittet. Den horisontale koordinering kan også indeholde andre forhold som fx planer, disponering og kvalitet. I model 3 håndteres udviklingen af produktivitet, som en integration på følgende områder i forholdt til materialestrømme:

- Integrere mål og holdninger.
- Integrere beslutninger.
- Integrere planer og dispositioner.
- Integrere aktiviteter.

### Model for integreret produktivetsanalyse



**FIGUR 46.** Model 2 for horisontal og vertikal integreret produktivetsanalyse, som er koordineret i forhold til materialestrømme, men aktivitetskæderne kan også koordineres i forhold til materiel- og informationsstrømme. [Dam et al., 1994, figur 1.3 & 1.4 side 12]

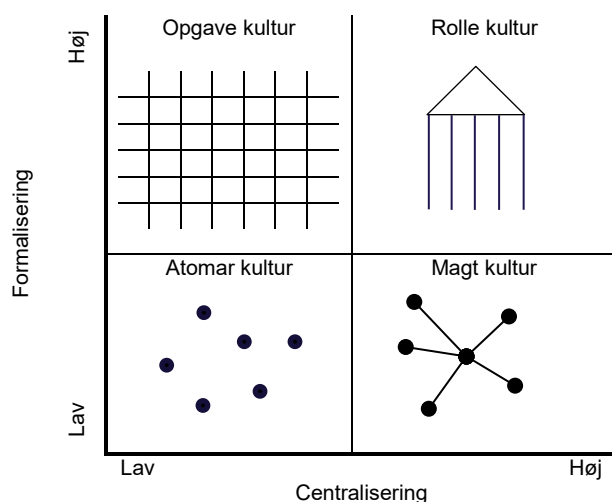
Substansen af integrationen kan være mere eller mindre specifik, og aktivitetskæderne kan, ud over materiale- og varestrømme, koordineres i forhold til materiel- og varestrømme med forståelse for maskinudnyttelse samt informationsstrømme. Se model 2 i figur 46.

### Virksomhedskulturer, miljøer og styringsniveauer

Ved valg af fremgangsmåde danner virksomhedskulturen og lokalmiljøet en vigtig ramme for, hvordan udviklingen kan foregå. I lærebogen henvises til Harrisons klassifikation af virksomhedskulturer i følgende fire typer [Harrion et al., 1992], som også er vist i figur 47:

- **Magtkulturer** findes hyppigt i iværksættervirksomheder opbygget af en enkelt person, der er lederen, og som har et net af funktionelle ledere og specialister omkring sig. Der er få regler og procedurer, og de har en høj grad af centralisering og lav grad af formalisering.
- **Rollekulturer** arbejder ud fra logiske og rationelle overvejelser, og de har en høj grad af centralisering og formalisering.
- **Opgavekulturer** er orienteret mod de forskellige jobfunktioner fx i en netværksstruktur, og de har en lav grad af centralisering og høj grad af formalisering.
- **Atomare** kulturer fokuserer på den enkelte person, og strukturen i organisationen er ofte svag, og ledelse er vanskelig. De har en lav grad af centralisering og formalisering.

## Virksomhedskulturer



**FIGUR 47.** Fire typer af virksomhedskulturer som sætter rammer for, hvordan produktivtetsudviklingen kan analyseres og gennemføres [Dam et al, 1994, figur 1.6 side 16].

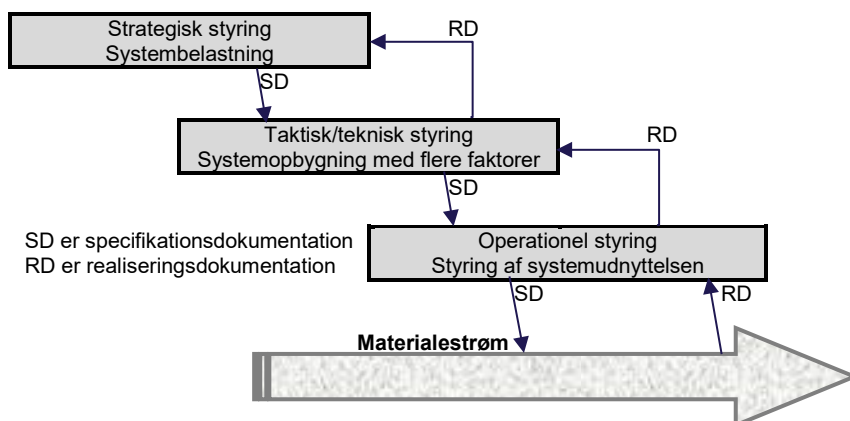
Det er også vigtigt at vurdere de partnere, som deltager i produktivtetsudviklingen. Ud over den producerende afdeling kan virksomhedens øvrige funktionsområder involveres sammen med virksomhedens nære omgivelser og samarbejdspartner, og man kan inkludere få eller mange typer opgaver i udviklingen.

I lærebogen angives, at man kan arbejde på forskellige styringsniveauer som fx strategisk, taktisk/teknisk og operationelt niveau, som det er vist i figur 41. Hver af disse arbejder inden for forskellige tidshorisonter i udvikling, hvor de operationelle er de korteste og de strategiske er de længste. Man skal også være opmærksom på, at der findes forskellige typer handlingskæder i virksomheden med hvert deres delsystem, som skal koordineres. Det drejer sig fx om ledelsessystemet, informationssystemet, det sociale system, det økonomiske system, det merkantile system og produktionssystemet.

Ved indføring af de udviklede løsninger i virksomheden fremhæver forfatterne følgende billeder, som kan bruges i planlægning af indføringen:

- **Forretningsbilledet** som fokuserer på de opnåede forbedringer og forventede resultater som fx øget produktivitet og kundetilfredshed.
- **Det tekniske billede** som fokuserer på de tekniske forhold ved indføring, og i hvilken grad de giver de ønskede resultater samt usikkerhederne.
- **Det organisatoriske billede** som fokuserer på samspillet mellem medarbejderne og graden af forståelse for resultatet og viljen til gennemførelse.
- **Det politiske billede** som fokuserer på interessemodsætninger i og uden for virksomheden om indføringen og de udviklede løsninger.

### Styringsniveauer i logistikstyringen



**FIGUR 48.** Forskellige styringsniveauer af materialestrømme i logistik, hvor man øverst arbejder med lange tidshorisonter, og nederst arbejder med korte tidshorisonter [Dam et al, 1994, figur 4.3, side 78].

### Identifikation af faktorer som påvirker produktionsresultatet

Det er herefter vigtigt at få identificeret de væsentligste faktorer, som kan påvirke produktivitetens resultat, hvilke fx kan dreje sig om:

- Direkte arbejdstimer.
- Indirekte arbejdstimer.
- Administration i timer og kr.
- Råvarernes mængde, kvalitet og pris.
- Lagrenes størrelse og omkostning.
- Maskiner og anlægsanskaffelse og omkostninger til fornyelse.
- Antal fejl ved 1.000 emner.
- Antal stop i produktionen.

Til hver faktor kan der sættes et produktivitetsmål og en produktivitetfaktor, og de kan lokaliseres i forhold til leverance- og handlingskæder og de enkelte aktiviteter, og der kan regnes på de indirekte og de direkte omkostninger. Lokaliseringen kan fx ses i forhold til en handlingskæde, som kan løbe gennem de 5 aktivitetsområder langs leverancekæden:

- Forsyningsaktiviteter.
- Anlægsaktiviteter.
- Driftsstyringsaktiviteter.
- Transport- og håndteringsaktiviteter.
- Produktionsaktiviteter.

Der kan også laves en sammenhængsanalyse mellem de enkelte produktivitetfaktorer med styrker og årsager, som det er vist i figur 41. I diagrammet kan tegnes en sammenhæng mellem faktorerne, som har højeste grad af sammenhæng (A-sammenhæng), og hvor antal af streger ('elastikker') viser styrken af sammenhængene. Dernæst kan tegnes sammenhænge for næsthøjeste grad af sammenhænge (E-sammenhænge) og deres styrke, og herefter tilsvarende for I- og O-sammenhænge.





- Last Planner System er styring i produktionsenheder og arbejdsstrømme mellem dem.
- Fokus er på designdelen eksklusive arkitektoniske kriterier.
- Produktivitetsforbedringer:
  - Effekt måles på arbejdsprocesser i produktionsenheder.
  - Fokus flyttes til troværdighed for arbejdsstrømme mellem enheder.

Ballard mener, at koncepterne i den traditionelle projektledelse ikke har evnet at løse byggeriets vanskelige problemer, og at dens opgave primært er at opdele projekter i uafhængige dele i forhold til kontrakter, ledelse, ansvar og styring efter mål, budget og tidsplan. Erfaringer viser, at den ikke er robust, og ofte at hele strukturen bryder sammen. Han mener også, at den traditionelle model bør integrere konverterings-, strømnings- og værdimodeller samt produktudvikling i virksomheden, idet produktionsprocesser kan forstås som:

- 1) Konvertering af input til output gennem en serie af aktiviteter.
- 2) Strøm af informationer og viden tilknyttet kontrol, transport og venten.
- 3) Værdigenerering som proces der definerer og opfylder kundekrav.

### **Produktionsstyring og projektstyring**

Ballard definerer produktion som både projektering og udførelse, og at byggeri er en særlig type af produktion. Han skriver desuden, at Koskela's teori om produktion er den mest anvendte teori i byggeriet. Ballard definerer desuden styring (Engelsk: Control), som handlinger der skal sikre overholdelse af planer, eller som skal gennemføre ændringer af planer og læring af erfaringer. I produktionsindustrien virker den i forbindelse med regulering af arbejdsstrømme på to måder: Push og pull eller feedforward og feedback.

I byggeriet er man organiseret i projekter, og produktionsteorier og praksis er kraftigt influeret af projektledelsens koncepter og teknikker. Projektledelse indeholder ledelse af formål, tid, omkostninger, kvalitet, mandskabsressourcer, formidling og levering, og den har normalt fokus på transformationer og konverteringer i processer og aktiviteter, mens den ikke har fokus på strømme og værdigenerering. Det medfører, at fokus i styring af projekter, er på måling af fremdrift og at udføre korrigerende handlinger. Disse koncepter i styring af projekter er meget forskellige fra produktionsstyring. Her har man fokus på handlinger, som overholder planer og i modsat fald revurderes planerne. Man opfatter produktion som en strøm af materialer og informationer mellem specialister, der arbejder for at skabe værdier for kunder og interessenter.

Projektstyring i byggeriet skal derimod levere informationer til projektteamet og deltagerne, som de kan bruge til at identificere og korrigere problemområder, og samtidig kontrollere omkostninger og tidsplaner. Formålet for dem er at finde negative afvigelser fra målsætningen, så korrigerende handlinger kan gennemføres. I traditionel projektstyring er tid og ressourcer (arbejdstimer, materialer, udstyr og informationer) objekter for styringen, som planlægges og kontrolleres. Man måler fremgang ved kontrolpunkter op imod det planlagte, men man måler ikke produktivitet, når arbejdet er færdiggjort. En nøgleopgave i den traditionelle projektstyring er at nedbryde arbejdsstrukturer (Work Breakdown Structure, WBS) i dele eller i arbejdsplaner, der kan måles og styres, og som der kan skrives kontrakt på. Her ved bliver korrigerende handlinger i projektstyring et rapporteringssystem for omkostninger og tid.

Den tidligere anvendelse af koncepter i produktionsstyring i byggeriet er en transformation af produktionsmodeller i forskellige beslutningsfunktioner, hvor man definerede forskellige niveauer som: Hovedtidsplan, klargøringstidsplan pr. 6. uge og tildelings- og opgavetidsplan i tilknytning til udførelsen.

Koskela citeres for at skrive følgende ud fra et casestudie, da han mener, at traditionel projekteringsledelse er ukvalificeret til at skabe kvalitetsopgaver:

*”Den primære styring har til opgave at opfylde de angivne data. I stedet er projekteringsopgaverne ikke planlagt, men er overladt til projekteringssteamets egen styring. Der er ingen effektiv opfølgning på aftalte aktiviteter, og kun dele af resultatet er tilgængeligt. Det virker ofte som om, at parterne kommer uforberedte til møder, og projekteringsbeslutninger er ofte taget improviseret, og de huskes ofte ikke på næste møde.”*

På hans casestudie er bl.a. gennemført følgende forbedringsaktiviteter: Fortsat detaljering af tidsplan, dokumentation af behov for input-informationer, eksplicite aftaler om opgaveplan for kommende uger, opfølgning på, at opgaverne er færdige og identifikation af årsager til manglende færdiggørelse. I evalueringen svarede deltagerne positivt på fire ud af fem spørgsmål om effekten af forbedringsaktiviteten på data, beslutninger, metodegevinst og fremtidig anvendelse. Derimod svarede de negativt på det femte spørgsmål: *”Kan arbejderne arbejde efter de anviste metoder?”*

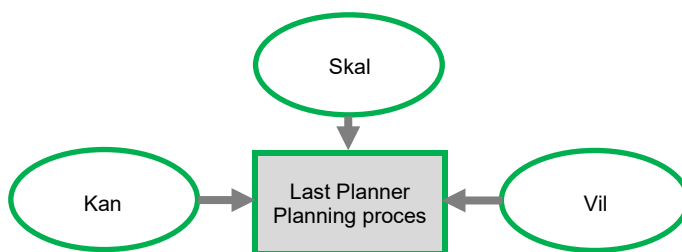
### **Last Planner System og traditionel produktionsstyring**

I modsætning hertil foreslår Koskela [Koskela, 1999] følgende designkriterier for en produktionsstyring, som han mener passede til Last Planner System:

- For det første skal opgaverne være sunde i forhold til forudsætningerne.
- For det andet skal gennemførelsen måles og evalueres fx ud fra PPC.
- For det tredje skal årsagerne til manglerne undersøges og fjernes.
- For det fjerde skal der være en buffer, som er sund for hvert byggesjak.
- For det femte skal en fremsynet planlægning, fx 3-4 uger før, forberede, at de kommende opgaver er gjort klar.

I tilknytning hertil har andre foreslået nogle specifikke retningslinjer og kriterier for et effektiv design af produktionsstyringssystemet.

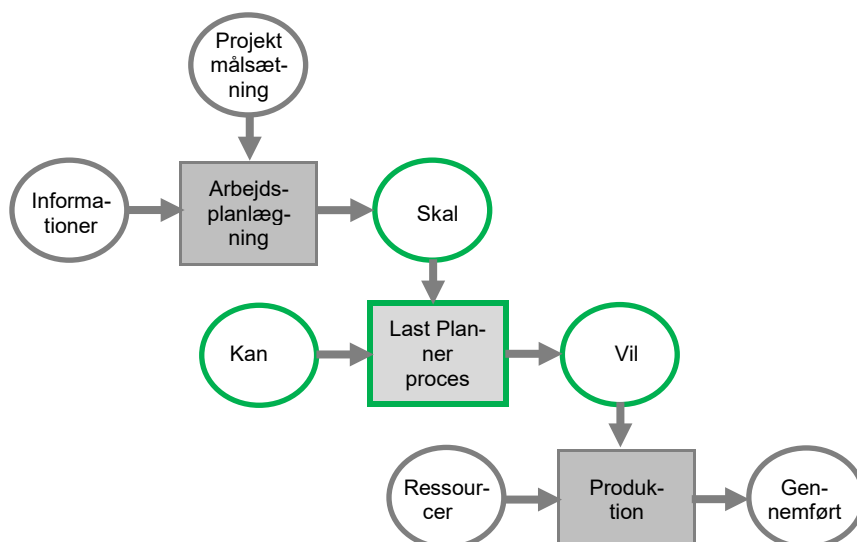
### **Opgaver i Last Planner System proces**



**FIGUR 50.** Organiseringen af opgaver i planlægningsprocessen i Last Planner [Ballard, 2000, side 36].

Ballard har desuden beskrevet baggrund og historien bag udviklingen af Last Planner System. Her fremhæver han bl.a. 'skal-kan-vil-gjort' princippet (Engelsk: Should-Can-Will-Did), som er vist i figur 41, og nødvendigheden af kommunikation fra Last Planner System til projekteringssteamet og til byggesjakket. I evalueringen af Last Planner System er der somme tider ikke forskel mellem 'Skal' og 'Kan', og man oplever, at rådgivere opfatter, at det er deres job af lægge pres på de underordnede.

## Last Planner System



**FIGUR 51.** I Last Planner Systemet kiler Last Planner processen (indrammet med grøn) sig som en pull proces ind i den traditionelle produktionsstyring, som er en push proces [Ballard, 2000, side 49].

I Last Planner System skiftes fokus fra produktionsstyring til styring af arbejdsstrømme, og hvordan de to kan knyttes sammen. Den primære funktion i Last Planner System er proaktiv for at få arbejdet til at flyde bedst muligt gennem produktionsenheden, så man opnår den ønskede sekvens og hastighed. Den første opgave er gradvist at lave bedre opgaver til arbejderne med stadig læring og korrigerende handlinger. PPC er den standard, som styringen i produktionsenheden måles op imod, hvor PPC er antal af færdiggodkendte aktiviteter divideret med antal af planlagte aktiviteter. PPC er også et godt værktøj til at finde årsager til afvigelser.

I planlægningen er det vigtigt at kunne forudsige processen, og det vil være en fordel, hvis teamet sammen kan udarbejde en fasetidsplan, som kan koordinere de kommende aktiviteter. Her vil den traditionelle produktionsstyring være et push, mens Last Planner System lægger op til et pull af materialer og informationer. Vigtigt er det også, at belastning og kapacitet i arbejdsstrømmen er balanceret, hvilket kan ske ved at justere af hver af dem eller begge, så balance igen opnås.

Last Planner System tilføjes altså til den traditionelle produktionsstyring, hvor 'Skal' bliver transformeret over til 'Kan', og hvorfra ugeplanerne kan blive udarbejdet, som er et aftalegrundlag for at nå 'Vil' for formænd og sjak.

### Casestudier i afhandlingen

Last Planner System har primært været anvendt på byggepladsen og ikke i design- og projekteringsprocessen, og implementeringen har primært resulteret i bedre troværdighed for arbejdsstrømmen, hvor PPC er blevet hævet til 65-70 %. Ballard skriver, at det er intuitivt indlysende, at hvis arbejdsstrømmen bliver mere troværdig og forudsigelig, så vil det reducere omkostningerne eller varigheden af projektet. Denne påvirkning er større i udførelsesend i projekteringsfasen. Hvis entreprenørerne kan sørge for at modtage projekteringsinformationer på forhånd, der koordinerer strømme af mandskab, udstyr, materialer, informationer og forarbejder, så vil projektet forløbe mere glat og effektivt. Studiet er om ingeniørmæssig ledelse og ikke om videnteorier, hvorfor Ballard som introduktion til casestudiet beskriver videngrundlaget om ingeniørmæssig ledelse. Han drøfter desuden forskellige forskningsstrategier og vælger her casestudier.

Formålet med casestudiet er:

- At etablere mere effektive metoder for produktionsstyring generelt.
- At etablere mere specifikke teknikker til projektering af produktionsteknikker.

Forskningsspørgsmålet er:

- 1) Hvad kan gøres ved hjælp af værktøjer for at gennemføre og forbedre Last Planner System i produktionsstyring, som kan forbedre planlægningens troværdighed til over 70 % PPC?
- 2) Hvordan kan Last Planner System blive en succesfuldt anvendt projekteringsproces, som kan forbedre planlægningens troværdighed?

Han beskriver herefter forskningsmetoden sammen med dataindsamling, dataanalyse og evaluering samt de fem casestudier, som beskrives i 5 kapitler på 45 sider under følgende overskrifter:

- Projektbeskrivelse og implementering af Last Planner System.
- PPC og årsager.
- For nogle af casene beskrives også:
  - Begrænsningsanalyse og klargøring.
  - Projekteringsprocessen og bidrag til processtyring.
  - Evaluering af implementeringen af Last Planner System.
- Observationer.
- Læring.

Casestudierne blev gennemført i 1998-99 på følgende cases:

- Opførelse af en ny laboratoriebygning på Stanford Universitet.
- Projektering, bygning og drift af en serie af store amfiteatre i USA.
- Råhusentreprenør som arbejder med bygning af facade- og tagsystemer.
- Renovering af fire gamle kemibygninger på Rice Universitet i Texas.
- Entreprenør som er ved at omdanne sig til en lean organisation bl.a. med test på et projekt for en bioteknisk virksomhed i Californien.

### **Konklusion af casestudier**

Første forskningsspørgsmål:

- Planlægningens troværdighed blev forbedret efter uddannelse og involvering af parterne i Last Planner System.
- Det registrerede PPC-niveau var markant bedre en oprindeligt målt, idet den gik fra 70 % over 76 % til 90 % på sidste case.

Andet forskningsspørgsmål:

- Udviklingssagen foreslår, men efterviser ikke, at Last Planner System kan anvendes effektivt i styring af projekteringen, men erfaringer har muliggjort en bedre tilpasning til projekteringsprocessen.
- Det vigtigste bidrag fra casestudiet er måske klarlæggelsen af naturen i projekteringsprocessen og konsekvenserne for ledelsen. Som følge heraf er en model for definition af aktiviteter blevet udviklet (Engelsk: Activity Definition Model, ADM), se figur 52.

Forslag til fremtidig forskning:

- Forslag til modificering af Last Planner System fx i forhold til projekteringsprocessen.
- Bedre retningslinjer for styring af projekteringsopgaver, hvor man bruger ADM.

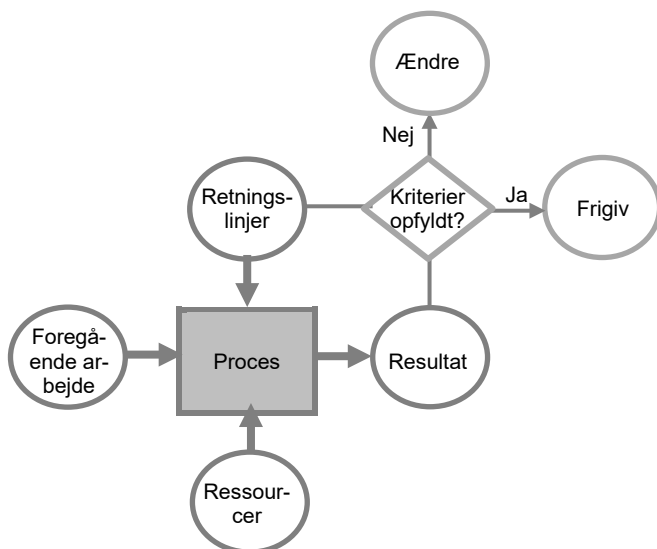
Fælles leverandør- og kundegaver:

- Aftaler mellem kunder og leverandører er kritisk for Last Planner System, og self-evaluering og fælles inspektion for leverandører og kunder skal udvikles som koncept for interproces-inspektion.

- Leverandører skal sikre sig, at han/hun forstår kundernes behov, og det bør overvejes, om leverandør og kunde skal have fælles ansvar for færdiggørelsen af opgaver.
- Der mangler pull respons fra kunder, idet de fleste signaler er push, og leverandøren kan derfor tro, at parametre i udførelsen, hvor der ikke er push, ikke er vigtige.

Til slut i konklusionen har Ballard opstillet tabeller med årsagskategorier og analyser, der kan bruges som grundlag for kommende forskningsprojekter.

#### Activity Definition Model



**FIGUR 52.** Activity Definition Model (ADM) er udviklet i casestudier til Last Planner System, idet det viste sig, at svage retningslinjer gav afvigelse i projekteringsprocessen [Ballard, 2000, side 119].

### 6.3.2 Transformation, strømme og værdier i byggeriet (TFV)

Lauri Koskela startede som anvendt forsker på VTT i Finland og har op gennem 90'erne bidraget til udvikling af Lean Construction bl.a. i samarbejde med Glenn Ballard og Greg Howell, som angivet i delkapitel 6.3.1. Udgangspunktet har bl.a. være TPS og Lean Production, som er beskrevet i kapitel 6.1 og 6.2. Han har haft fokus på udvikling af ny teori om bygge- og projektledelse (Construction and Project Management), hvor han integrerer og transformerer de tre koncepter fra produktion til byggeriet: Transformationer gennem aktiviteter (Transformation, T), strømme gennem produktionen (Flow, F) og værdiskabelse med opfyldelse af kundeønsker (Value, V).

Koskela samlede i 2000 sin forskning fra 90'erne (Se fx [Koskela, 1992], [Koskela, 1993] og [Koskela, 1999]) i sin doktorafhandling fra VVT [Koskela, 2000], hvor han ønsker at svare på spørgsmålene:

- Er det muligt at formulere en teori om produktion?
- Kan en sådan teori bidrage til vores forståelse og føre til forbedring af udførelsen, når den anvendes i byggeriet?

I hans doktorafhandling er det primære grundlag beskrevet for denne konklusion, som efterfølgende er nærmere resumeret.

I den første del af afhandlingen analyserer han TFV-konceptets tre dele deduktivt med relation til fabriksproduktion. I den sidste del prøver han at transformere disse erfaringer gennem fire trin til en TFV-teori for byggeriet.

Koskela konkluderer, at strømnings- og værdibetragtningen er et supplement til transformationstænkningen i produktion, og at han som den første har prøvet at integrere dem på en balanceret måde i produktionen. Dette passer godt sammen med ingeniøraktiviteter, men

strømningsbetragtningen har mange misforstået eller glemt i TPS's procesforståelse. Han har også vist, at byggeriet har samme fokus på transformation gennem aktiviteter som produktionsindustrien, og at en ny TFV-konceptualiseret teori kan håndtere byggeriets problemer, skabe ny forbedring i byggeriet og løse nogle af dets særheder. Han anbefaler TFV anvendt både i projektering, projektstyring og forbedring af produktionssystemet.

Det har dog ikke været muligt for ham til fulde at evaluere metodens anvendelighed bl.a. med baggrund i 8 casestudier. Han anbefaler derfor, at supplerende forskning bør raffinere og teste metoden, men at metoden i praksis er bedre end andre rivaliserende metoder. Der kan fx forskes i: Fælles produktionsteori, byggeledelse med procesledelse og innovation samt udvikling af byggepraksis og metoder i TFV-principper. Desuden foreslå Koskela, at man lægger mere udviklingskraft i:

- Industrialisering med fjernelse af byggeriet særheder.
- Løser byggeriets kroniske problem med sikkerhed.
- Informationsprocessen bør flytte fokus fra teknologi til anvendes og effekt.
- Reduktion af variationer i produktionen gennem bedre procesledelse.
- Udvikling af bæredygtigt byggeri.
- Værktøjer og metoder til bedre overføring af TFV-konceptet til praksis.

Han konkluderer, at han har formuleret en ny produktionsteori, og hvis den anvendes i byggeriet, kan den give en bedre forståelse for området og voldsomme forbedring af byggeriets effektivitet.

### **Videnskabelighed og produktionsteorier i forhold til praksis**

Koskela opfatter teorier som det modsatte af praksis, og som hypotetiske spekulationer hvor der ikke bruges fakta fra eksperimenter, samt som generelle principper for enhver videnskab. Han ligger mest vægt på det sidste punkt. Teoriens funktion er at kunne forklare og forudsige, og den skal kunne svare på spørgsmålene: Hvad, hvordan, hvorfor og hvem?

Der er mange lighedspunkter mellem videnskabs- og produktionsteorier fx at man søger efter forbedringer. En videnskabelig teori lægges frem for en videnskabelig komité til bedømmelse, mens en produktionsteori primært kommer af konkurrence mellem firmaer og spredes i professionelle grupper. Produktionsteorier kan enten udvikles som top-down eller bottom-up i de tre lag: Koncept, principper og metoder. Erfaringerne viser, skriver Koskela, at teorier er svære at eftervise i praksis, og fakta er, at de mest anvendte teorier aldrig er blev vurderet videnskabeligt, men det er normalt ikke vigtigt for industrien.

Produktionsteorier har den samme funktion som teorier generelt, idet de skal forklare, forudsige, give retning for forbedring og teste deres validitet. I supplement hertil, kan de også være et værktøj til: Beslutning, styring, læring og transformation af innovation til andre områder. Produktionsteorier består normalt af følgende tre fænomener: Produktudvikling, ordrelevering og egnet produktion, som alle retter sig mod kunden. Desuden indeholder den tre generiske aktiviteter: Design, styring og forbedring af produktionssystemet.

Koskela skriver, at det ikke er svært at definere målene for produktionsledelse, som er: At frembringe det forventede produkt, produktets karakteristika som fx minimering af omkostning, samt mål der er rettet mod kundens behov. Desuden skriver han, at der er følgende tre niveauer af teorier: Universelle koncepter, produktionsklassifikation samt design/styring/forbedringsprincipper. Koskela har i sin afhandling mest fokus på det første niveau, idet han skriver, at der har været mest forskning og teoridannelse på de to sidste niveauer.

Koskela skriver, at de seneste år har vist følgende tre anvendelige teorier, men uheldigvis repræsenterer de forskellige ledelsesprincipper, produktionskulturer og koncepter i forhold til TFV:

- Den generaliserede Walrasian produktionsmodel indeholder i sin seneste version følgende indfaldsvinkler: Arbejds-, ressource- og beslutningsstrømme, hvor den primært har fokus på enkeltproduktproduktion og dekomponering af produkter og ressourcer.
- Den fabrik-fysisk-model for produktion gennemføres i et objektorienteret netværk af processer, hvor emner strømmer igennem, og hvor der arbejdes med reduktion af variationer og styringsstrategier.
- Produktrealiseringsmodellen har til formål at udvikle en fælles teori for hele design- og fremstillingsprocessen, hvor der arbejdes med reduktion af kvalitetstab.

### **T-koncept om transformationer gennem aktiviteter i produktion**

Koskela skriver, at transformationskoncepter har domineret den største del af det seneste århundrede, og at den har spredt sig i industrien gennem praktiske metoder frem for at bruge en samlet teori. I T-konceptet transformeres et sæt af ressourcer som input gennem aktiviteter i produktionen og sendes videre som output til de næste aktiviteter. Hertil kan produktionen dekomponeres i mere og mere detaljerede delprocesser og aktiviteter. Kerneopgaven er at minimere omkostningerne både i delprocesser og samlet for produktionen.

Ledelsesmæssigt prøver man at isolere produktionen fra omgivelserne gennem psykiske og organisatoriske buffere. I forhold til værdi sammenlignes output værdien med omkostningen til input. Produktionsorganiseringen deles i design, styring og forbedring. Samlet mener Koskela, at det er overraskende, at den ikke har været præsenteret som en samlet teori, og at videnskaben ikke har eftervist dens effekt.

### **F-koncept om strømme gennem produktionen i produktion**

Strømningsmodellen udfordrede først i 80'erne transformationsmodellen. Det teoretiske rationale byggede på JIT (Just-in-time) og Shingo's indsigt siden 1945, som er beskrevet i kapitel 6.1. Han hævder, at der mellem aktiviteter og transformationer er en ny dimension, som ikke fanges af transformationer, og som omhandler strømme af materialer mellem aktiviteterne. Strømme kan fx omfatte transport, lagring/venten og kontrol ind og mellem de værdiskabende aktiviteter, men disse strømme opfattes normalt som ikke-værdiskabende aktiviteter. Ønsket med F-konceptet er at reducere ikke-værdiskabende aktiviteter, der betegnes som spild, samt at reducere gennemløbstiden og variationen. Desuden arbejdes for at simplificere processen, og øge dens fleksibilitet og gennemsigtighed.

I supplement hertil deler Shingo produktionen i processer og operationer, som har hver sin akse, siger Koskela. Processer er strømmen fra en arbejder til en anden, hvor materialer gradvist bliver til færdige produkter, og hvor operationer er de forskellige trin og opgaver, som arbejderne udfører på forskellige produkter (Se figur 43). Koskela skriver, at man har været forvirret over de to koncepter, eller også har man glemt denne opdeling, idet den i praksis ikke anvendes i vesten. Koskela forklarer desuden, hvordan F-konceptet kan bruges i design, styring og forbedring af processen fx i forhold til Kaizen, samt hvordan det er udbredt. F-konceptet afviser ikke T-konceptet, men bruger det alene, når det er nødvendigt.

### **V-koncept om værdiskabelse og kundeønsker i produktion**

Samtidig med udfordringen af T-konceptet fra F-konceptet, så udfordrede V-konceptet også T-konceptet. Koskela citerer Drucker [Drucker, 1989] for at skrive:

*"Det mest enkeltstående forhold som bør huskes ved enhver entreprise er, at resultatet af processen alene eksisterer i outputtet eller resultatet. Resultatet af en forretning er en tilfreds kunde. Internt i en entreprise er der kun omkostninger."*

V-konceptet er udtrykt i krav fra kunden til leverandøren/producenten, og i modsat retning er det at skabe værdier gennem produktion og service fra leverandøren/producenten til kunden. Det er vigtigt, at værdigenereringen hos leverandøren/producenten er åben, og at man finde frem til de delsystemer, som skaber mest værdi. De undersystemer der arbejdes med i leverandørens/producentens produktion er: Design af produktet med specifikationer i forhold til kundeønsker, ordremodtagelse samt produktion med data til styring af transformationer. I design er det vigtigt, at alle udtrykte og ikke udtrykte kundekrav bliver indsamlet, og at de er transformerede til og tilgængelige i alle faser af produktionsprocessen. Det er også vigtigt, at værdierne er tilgængelige for kunden. Koskela slutter med at skrive, hvordan V-konceptet omsættes til design, styring og forbedringer i produktionen, samt hvordan konceptet udbredes til virksomheder. Han siger også, at V-konceptet bygger på en introduktion til industriel praksis, og at den videnskabelige forståelse endnu er fragmentarisk, men at en forskning er begyndt.

### **Integration af et TFV-koncept til produktion i produktion**

Frem til 2000 var de tre koncepter T, F og V ikke beskrevet og anvendt i en balanceret sammenhæng. Koskela mener, at produktionsledelsen ønsker, at de tre koncepter skal integreres og balanceres, idet de ikke er konkurrerende, men kompatible teorier.

Det første han gør, er at konceptualisere de tre synsvinkler i forhold til aktivitets- (T), strømnings- (F) og værdiledelse (V), samt beskrive dem i forhold til: Produktionskoncepter, primære principper, metoder og bidrag til praksis. Dernæst forklarer han, hvordan produktionsmål kan nås, hvordan teorien kan bidrage til forudsigelser og forskning, hvordan dens validitet kan testes, samt hvordan erfaringer kan overføres til andre produktionsområder. Han beskriver herefter, hvordan der kan balanceres mellem niveauerne i design af produktionsystemet, hvordan de kan integreres parvis, og hvordan de kan bidrage til en bedre forståelse.

Han prøver herfra at udvikle to hypoteser for ledelse ved induktion, som han skriver, men han gennemfører nok mere en deduktiv bevisførelse ud fra: Historien, teorisammenligning, skabelse af den ny forståelse og forbedring af udførelsen. Koskela konkluderer, at han har vist, at hans model går dybere ned i produktionen, den forklarer og forudsiger opfyldelsen af centrale produktionsmål, og at den giver en retning for forskning og praktiske eksperimenter.

### **Produktudvikling og design set fra procesledelsen i produktion**

Koskela spørger, om TFV-konceptet også er brugbart i produktudvikling og design, og han angiver, at videnskaben kun har bidraget lidt til udvikling af designpraksis, og at design har bedre relation til kunderne end produktionen. Han beskriver herefter design i forhold til transformation (T), strømning (F) og værdier (V), hvor han overfører erfaringerne fra produktion. Herefter integrerer han TFV-konceptet i design, hvor han angiver forskellene i forhold til: Designkoncept, primære principper, metoder, bidrag til praksis. Han konkluderer, at TFV-konceptet anvendt på design har mange lighedspunkter med dens anvendelse i produktionen.

### **Tilpasning af TFV-teorien til teori, praksis og cases i byggeriet**

Som skrevet i indledningen omhandler den første del af afhandlingen en deduktiv analyse af TFV-konceptet i forhold til fabriksproduktion, hvilket er resumeret ovenover. I den sidste del prøver han, som refereres efterfølgende, at overføre disse erfaringer til en TFV-teori for byggeriet, og det gør han gennem følgende fire trin: Byggeriets udvikling i teori, praksis og cases, årsagerne til byggeriets udførelsesproblemer, tolkning af byggeriet i forholdt i TFV-teorien samt læring fra implementering af dele af TFV-teorien i casestudier.

Om udviklingen af byggeriet beskriver han først den historiske udvikling af byggeriet, og hvilke problemer byggeriet har i USA, England og de nordiske lande (Finland, Norge og



Sverige). Han konkluderer, at byggeriet i industrialiserede lande er plaget af problemer med fx høje omkostninger, lav produktivitetsvækst og dårlig kvalitet. Ledelse og organisering har fået skylden for det, og stigende markedskrav, materialevariationer, kortere leveringstider og teknologiudvikling har forøget dette pres.

Disse udfordringer har ført til forskellige udviklingsinitiativer fra myndigheder, industrien og forskning. Det har været initiativer som: Industrialisering, mekanisering, ændringer af kontrakter, nye organisationstyper, samarbejde, digitalisering, kvalitet og kunderelateret udvikling samt i nogle tilfælde også Lean Production og videnskabelig ledelse.

Teorier om byggeledelse har med tiden fået forskningsfokus, hvor der bl.a. arbejdes med åbne systemer. I uddannelsen arbejdes primært med projektplanlægning og økonomiske analyser. Samtidig viser erfaringerne, at årsagen til byggeriets problemer har været manglende brug af projektledelsesmetoder.

Der har samtidig været kritik, som bl.a. er rettet mod afhængigheden af informationssystemer, at organisationer er delt i formel og uformel ledelse samt manglende planlægning, og at projektstyring er brandslukning. Koskela fremhæver også byggeriets mange særheder i forhold til produktionsindustriens ageren, og han viser en lang liste, som er sammendraget fra forskellige forfattere. Det drejer sig fx om: Komplexitet, startomkostninger, lang produktionsstid, manglende mobilitet, lang driftstid, lille grad af standardisering, hårdt arbejdsmiljø, decentrale beslutningsprocesser, organisatoriske lock-in, stor udskiftning af arbejdere og lokalisering på skiftende arbejdssteder, samt at producenten ikke har kontrol over hele processen.

### **Casestudier bag analyser af årsager, TFV-teori og læring i byggeriet**

Koskela har brugt følgende 8 casestudier til analyse af henholdsvis: 1) Årsager til byggeriets udførelsesproblemer, 2) Fortolkning af TFV-teorien i byggeriet og 3) Læring fra implementering af dele af TFV-teorien i byggeriet:

- Sekisui Chemical er den 4. eller 5. største fabrikant af præfabrikerede huse i Japan, som leverer ca. 35.000 huse om året fra seks fabrikker i Japan.
- Skanska er svensk og en af Europas største entreprenørvirksomheder.
- Arcona er en svensk projektledelsesorganisation med 60 ansatte.
- Doyle Wilson leverer huse til selvbyg i Texas, og de bygger over 400 huse om året.
- T40-projektet er et studie af australske firmaer ledet af Fletcher Construction Australia, som ikke anvender et koncept, men som stiller forslag til et koncept.
- Plano 100 er et koncept for etageboliger i Sao Paulo i Brasilien ved Rossi Residencial.
- BAA er et eksempel på kundedrevet forbedring i byggeriet, som leveres af British Airport Authority (BAA), der ejer og driver syv lufthavne i England.
- TDIndustries (TDI) i Texas installerer og servicere VVS-systemer og har ca. 1.000 ansatte.

### **Årsager til udførelsesproblemer i byggeriet**

I forhold til byggeriets udførelsesproblemer beskriver Koskela sammenhængene mellem: Hvilken grad af spild og værditab der er i byggeriet, hvilke faktorer der forårsager spild og værditab, og hvad årsagen er til det?

Han strukturerer sin analyse med baggrund i egne casestudier (se foregående afsnit om casestudier), forskning i spild og værditab samt empirisk forskning (se foregående afsnit om tilpasning af TFV-teori til byggeriet). I casestudierne indsamledes data, data analyseres, hypoteser udformes, og det sammenlignes med forskning.

Som et resultat af forskningsstudiet fremhæver han følgende:

- At spild er affødt af dårlig kvalitet, manglende bygbarhed, dårlig materialestyring, materialspild, ikke produktivt arbejde, suboptimalt arbejde og manglende sikkerhed.

- At værditab er affødt af ikke opnåede budget- og tidsmål, ikke opnåelse af den bedste funktionelle udførelse samt lurende fejl som senere kan føre til omfattende vedligeholdelse.

Specielt for logistik nævner han for Finland, at købsprisen er det styrende kriterie for valg af materialer, og at man bruger lagre som buffere imod udsving i leverancerne. Det samme gælder for valget af underentreprenører, som vælges efter laveste pris, og at de blot smides sammen og får fortalt, at de selv skal løse problemerne. Problemer er der også med kontrollen, som alene foregår som projektkontrol internt i udførelsen.

Koskela opdeler i sin diskussion udførelsesproblemerne i byggeriet i følgende:

- Manglende kapacitet og motivation hos den enkelte.
- Manglende implementering af kendte principper, metoder, værktøjer osv.
- Mangler i det teoretiske fundament herunder principper og metoder.
- Strukturelle og systemiske mangler i projektet.
- Særheder for byggeriet som fx decentralisering af beslutninger og uformel koordinering samt særlige tekno-økonomiske karakteristika for byggeriet.
- Usikkerheder og interne afhængigheder fører til uformel ledelse og interne kriser.

Han konkluderer, at årsager til de store spild og værditab i byggeriet skyldes: At byggeriet bygger på T-koncepter, at ledelsen er kontraproduktiv, og at de afviser at bruge F- og V-koncepter.

### **Fortolkning af den samlede TFV-teori anvendt i byggeriet**

Koskela sætter meget fokus på at fjerne byggeriets særheder, og han deler analysen i følgende tre kategorier, som han analyserer i forhold til egne casestudier og forskning mht. T-, F- og V-konceptet:

- Projektet som én-af-en-type produktion (Prototype produktion), hvor produktudvikling blive del af produktionen, og hvor usikkerhed og kompleksitet også er kritisk for kunder.
- Byggepladsen er nødvendig for at kunne forsyne udførelsen, der mangler beskyttelse mod vejrlig, der er særlige lokale forhold, og der mangler den nødvendige plads.
- En midlertidig organisation, vanskeligheder med at opbygge en ny infrastruktur for produktionen, og arbejdsstationer der flytter rundt på byggepladsen.

#### *T-konceptet.*

Vedrørende byggeriets særheder set i forhold til T-konceptet så fremhæver han særligt levering af arbejde fra kunden eller hovedentreprenøren samt produktionskontrol udført af hovedentreprenøren. Praktisk udvikling ser ud til at understøtte brugen af T-konceptet i byggeriet, og ser man på produktionskontrollen, så overlades meget til underentreprenørerne. Når arbejdet dekomponeres til en arbejdsdag forklares udførelsen bedst med F-konceptet. Hvad angår usikkerhed og indbyrdes afhængighed så spiller det lige så meget ind i projekteringen som det gør i udførelsen. Her mener Koskela, at F-konceptet og V-konceptet er nødvendige.

#### *F-konceptet.*

Byggeriets særheder har en dramatisk indflydelse på F-konceptet, idet byggepladsproduktion i sin natur er en processtrøm, og det viser sig også i den midlertidige organisering. Koskela skriver, at byggeri er af monteringsstypen, hvor forskellige materialer er forbundet med slutproduktet. I modsætning til fabriksproduktion er det arbejdsstationerne som flytter, idet bygningen er immobil. Samtidig kan flere arbejdssteams arbejde på samme bygningsdel, hvilket kan give kø i strømmen af teams, men problemet afhænger også af teamets størrelse og arbejdsopgavens omfang. Han illustrerer variationernes betydning for fejlfri produktion, idet han beregner sandsynligheden for ingen-fejl til 0,70 i en produktion med 7 operationer, hvor hver har en afvigelse på 0,05, idet han bruger formlen:

$$\text{Fejlsandsynligheden} = 0,70 = (1,00 - 0,05)^7.$$

Han sammenligner herefter de to produktioner i forhold til: Materialestrømme, aktiviteter, flytning af projektets lokalitet og flytning af arbejdsstationer i byggeprocessen, samt store variationer fra mange forskellige kilder. Materialestrømmen er også af meget forskellig karakter, fx flytning af sand i forhold til flytning af højtekniske færdige elevatorer. Herved får logistikken stor indflydelse på arbejdet på byggepladsen. Koskela skitserer her sammenhæng mellem produktionstid og kompleksitet, og foreslår en fælles takt for de enkelte opgaver, som vil kunne reduceres ved brug af præfabrikation. Han nævner dog ikke noget om lokationsbaseret planlægning, og at forbedringer af selve arbejdsprocessen også kan reducere buffertiden.

Han slutter på dette område med at forklare, hvordan man kan planlægge og styre informationsstrømme i projektering. Det kan fx gøres ved hjælp af en projekterings strukturmatrix (Design Structure Matrix, DSM), hvor opgaverne er organiseret i kronlogisk orden i rækker og kolonner, og hvorefter man markerer input-relationer fra en opgave til en anden. Herefter reorganiserer man opgavernes rækkefølge, så der ikke er relationer over diagonalen i matrixen, og man samler de enkelte ægte indbyrdes afhængige kredsløb i grupper. Man har nu grundlaget for den rette planlægningsrækkefølge af opgaver i projekteringen.

Erfaringer fra casestudiet viser overraskende, skriver Koskela, at projekteringen også er domineret af et monteringsprincip. Metoden er dog ikke færdigudviklet og krævet afprøvning på et godt software. Han skriver også, at der er faktorer som presser projektering væk fra den optimale sekvens, og at følgende vil influere på struktureringen: Andelen af byggepladsopgaver, præfabrikeringsgraden og godkendelsesprocessen for dokumenter og opgaver. Han forklarer også, at halvdelen af forstyrrelserne kommer fra organiseringen af projekteringen, at en stor andel af usikkerheden kommer fra halvhjertet indsats og ledelse, og at opgaver uden for sekvenserne bidrager til lav produktivitet. Han benyttede Last Planner metoden til at styre opgaverne efter, og fandt to effekter af metoden: Projektering blev gjort gennemsigtig, og PPC for projekteringsledelse muliggør benchmarking af forløbet.

#### *V-konceptet.*

Vedrørende byggeriets særheder i forhold til V-konceptet er det klart, at de er dårligt udviklet i byggeriet, hvorfor en mere detaljeret analyse må henvises til fremtidig forskning. Koskela angiver dog følgende fire karakteristika for en analyse:

- Behov for en kundedreven proces hvor der systematisk indsamles krav, og at man forstår at programmering og projektering er to forskellige processer. Ofte vil arkitekter presse på for at komme til at tegne inden programmeringen er afsluttet og kundeønsker er fastlagt, og nogle kunder ønsker ikke de realiserede værdier målt.
- Gruppering af forskellige typer af kunder er nødvendig pga. det ofte store antal, samt at fremtidige kundegrupper ofte er svære at konkretisere, da byggeriet har en lang levetid. Man inkluderer derfor ofte myndigheder og byggeregler, men ofte lægger man mest vægt på de funktionelle krav og mindre på æstetik og udtryk.
- Den midlertidige organisering fremmer ikke samarbejdet, idet den reducerer effektiviteten og tilføjer flere opgaver. Det svækker også stadige forbedringer, krav om strømningsforståelse og tværfaglig optimering.
- Byggeriets prototype-natur umuliggør udarbejdelse af en testbygning, som man kunne vurdere realiseringen af kravene på.

Koskela nævner også, at T- og F-koncepterne sandsynligvis har betydning for værdiudviklingen, og at casestudierne indeholder anekdoter om denne effekt. Han nævner også, at der har været forsøg på at afbøde vanskelighederne både i forhold til projektering, styring og forbedring af produktionssystemet.

### Læring fra implementering af dele af TFV-teorien i byggeriet

TFV-teorien er i sin helhed ikke blevet implementeret i byggeriet, men i et lille antal er nogle vigtige dele implementeret i casestudierne, og man er nået så langt som produktionsindustrien var for år tilbage. I de fleste tilfælde er også F- og V-principperne blevet brugt, og i de fleste cases er alle tre koncepter blevet anvendt i en beskeden modenhedsgrad, dog med undtagen af Sekisui casen som er kommet langt.

Koskela har fremlagt 3 par af hypoteser, hvor følgende er blevet eftervist jf. efterfølgende:

- Metoden der ligger bag TFV-konceptet er nødvendig for at gennemføre en effektiv byggeledelse.
- Det er nødvendigt, at TFV-principperne i udførelsen er implementeret i projektering, styring og forbedring af produktionssystemet.
- Byggeriets særheder bidrager til spild og værditab, og det er nødvendigt at eliminere eller reducere dem og/eller at dæmpe deres effekt på styring og forbedringer.

#### *T-konceptet i forhold til TFV-konceptet.*

I alle casene er TFV-koncepterne blev praktisk implementeret og har givet tydelige forbedringer af produktivitet, omkostninger, varigheder, kvalitet og andre forhold. Den oprindelige delvise implementering af T-konceptet har medført problemer, men samtidig har selv de indledende forsøg med at introducere F- og V-koncepter bidraget til betydelige gevinster. I forhold til F- og V-konceptet bidrager følgende karakteristika til økonomiske gevinster:

- Ledelse af strømme: Tværfagligt udviklet projekt, system for stadige forbedringer og systematiske præstationsmålinger.
- Værdiledelse: Aktivt projekt, viden og forretningsledelse, ingeniør- og projektstatusrapporter til ledelsen og ikke kun til produktionen samt udvikling af interne ressourcer så projektet er klar til detailprojektering.

Det konkluderes herfra at hypotese 1 er accepteret.

#### *Struktureret i forhold til lagdelt implementering.*

I 6 ud af de 8 casestudier er der gennemført en udvikling af alle tre niveauer (projektering, styring og forbedring), undtagen er Skanska og TDIndustier, hvor fokus alle var på styring og forbedring.

Det har længe været kendt, at projektering og udførelse (Design-Build, DB) har været adskilt i byggeriet, og at man har brugt en proces med projekter-udbud-udførelse (Design-Bid-Build, DBB). Byggetiden er kortere, så der er mere tid til planlægning, og leveringstiden er kortere i DB, mens det kun har givet minimale forbedringer i almindelighed. Samtidig er stigningen i omkostninger og usikkerheden i planlægningen minimal, når man skifter fra DBB til DB.

Det konkluderes herfra at hypotese 2 er accepteret.

#### *Eliminering i forhold til byggeriets særheder.*

Forsøg på eliminering eller reduktion af særheder i byggeriet gav følgende interessante observationer:

- I de fleste cases er særhederne blevet elimineret eller reduceret, og det skyldes at særhederne kan henføres til manglende implementering.
- I to cases (Skanska og TDIndustries), hvor implementeringen har været succesfuld, er særhederne næsten helt fjernet.
- At præstationen kan blive forbedret uden at eliminere særheder, men man taber ikke ved at eliminere særheder.

Det konkluderes herfra at hypotese 3 er accepteret, og der tilføjes, at særhederne både skal håndteres i projektering, styring og forbedring, og at de sjældent kan elimineres totalt, men at det også har sin pris.

Man kan også opfatte industrialisering af byggeri som et resultat af eliminering af særheder i byggeriet, og her beskriver Koskela forskellige fordele og ulemper. Det har i praksis været årsagen til den svage industrialisering i byggeriet.

#### *Samlet konklusion på læringen.*

Koskela indrømmer samlet for hele denne læring, at validiteten af casestudiet er svagt, men samtidig siger han, at på dette niveau af modeludviklingen har formålet ikke været at fremlægge et endeligt bevis, men alene at fremlægge initiale beviser for koncepternes muligheder, så progressive firmaer kan beslutte om de vil implementere dem. Han mener desuden, at casestudierne understøtter følgende konklusioner:

- Det er vist, at TFV-koncepterne også er effektive i byggeriet.
- En god implementering i udførelsen er en central faktor.
- Håndteringen af byggeriets særheder har et tvetydigt resultat, som kræver mere forskning for at blive afklaret.
- Praksis og metoder baseret på TFV-konceptet er i et tidligt modningsstade, som kræver mere udvikling til praktisk anvendelse baseret på et højere teoriniveau.
- Der er evidens for, at principperne kan bruges generisk i bredere forstand af kunder, entreprenører, underentreprenører og projekterende.

### **6.3.3 Location-based Management System (LBMS)**

Olli Seppänen, Finland, Ballard, England, Andersson, Sverige/Danmark og mange andre har gennem de seneste 15 år analyseret brugen af tidsplanlægningssystemet Location-Based Management System (LBMS) i sammenligning med andre tidsplanlægningssystemer. Se også om cyklogram som arbejdsplan i SBI-anvisning 91 [SBI, 1972] i afsnit 6.5.2.

#### **Andersson og Christensens konklusion af 3 danske boligprojekter fra 2007**

LBMS er i [Andersson et al, 2007] anvendt på 3 danske boligprojekter i 2006 i samarbejde med 3 danske entreprenører, hvor IT-værktøjet, Control™, er blevet testet. Metoden er testet som et brugbart alternativ i forhold til netværksmetoden Critical Path Method (CPM), der har været den dominerende metode siden sidst i 50'erne. Selvom LBMS har haft en lang historie og er velfunderet teoretisk, så har metoden ikke haft den store interesse i den danske byggesektor. Det angives, at en årsag kan være, at der har manglet et brugervenligt IT-værktøj, og at der kun er begrænset viden om metodens anvendelse i praksis. Formålet med afprøvningen har været at vurdere resultatet af metoden og værktøjet på byggepladsen i forhold til tidsplan, arbejdsflow og projektkontrol.

Ved brug af LBMS bliver det muligt at visualisere om aktiviteterne danner et jævnt og harmonisk flow og ressourceforbrug. Centrale elementer i metoden er:

- Identifikation af projektets lokaliteter eller arbejdsområder, dannelse af projektets hierarkiske lokalitetsstruktur (projektet, etager, lejligheder, rum) samt udpegning af gentagelser og materialeressourcer. Udearealer, bygninger og opgange nævnes også som lokaliteter. Produktionsmetoden har også betydning for afgrænsning af lokaliteter. Det anbefales: At lokaliteterne dækker hele projektet, afgrænsningen skal være tydelig, og en lokalitet må kun indgå én gang i lokalitets-hierarkiet.
- Aktivitetskoblinger beskrives ud fra fire forskellige koblinger mellem afslutning og start mellem 2 aktiviteter, samt tilføjelse af en ny binding om aktivitetens lokalitet. Man definerer 5 niveauer af bindinger mellem aktiviteter: På samme lokalitetsniveau, på forskellige lokalitetsniveauer, interne aktivitetsbindinger, lokalitetsslæk og forskellige lokaliteter.

- Produktionsflow er aktiviteter der flyder gennem projektet, og dette flow kan optimeres ved at balancere og synkronisere de enkelte aktiviteter. Det kan fx gøres ved at øge hastigheden, fjerne 'lokalitets-huller' og skabe kontinuitet.
- Råderumszoner er afstanden mellem 2 aktivitetskæder i flow-linje diagrammet samt den tidsmæssige (rådetid) og fysiske plads for sjakkene.

I de 3 afprøvninger er forbedringsmulighederne drøftet med byggeledelsen og CPM-planen er overført til LBMS-metoden, og resultatet er præsenteret på delområderne: Indkøb/leverancer, produktionsplanlægning, kvalitetsstyring og betalingsstyring. Der er vist erfaringer med at kopiere CPM-plan, forbedret version af LBMS-plan, forbedret overblik over tidsplan, etablering af arbejds- og ressourceflow, planlægning af indkøb og leverancer samt forbedret projektkontrol.

Byggeledelsen fremhæver 3 fordele ved LBMS, som passer godt med resultater fra tidligere studier:

- Forbedret overblik over tidsplan via flow-linje diagrammet og en bedre kommunikation med underentreprenører og andre.
- Understøtter et kontinuert arbejdsflow og ressourcer, og man undgår overlap og uudnyttede arbejdsområder.
- Bedre mulighed for at kontrollere arbejdet på de enkelte lokaliteter.

Som vanskeligheder nævnes i rapportens konklusion: Behov for introduktion og oplæring i metoden og anvendelsen af softwaret. Der mangler også et sammenhængende og standardiseret informationssystem, som kan lette anvendelse af LBMS-software.

### **Kenley og Seppänens lærebog om planlægning og styring fra 2010**

LBMS er i [Kenley et al, 2010] beskrevet på 536 sider som en lærebog i fem sektioner om: Introduktion, planlægning, styring, ledelsessystem og casestudier. De skriver i indledningen, at LBMS bruger opgaver i stedet for aktiviteter og sætter fokus på deres bevægelse gennem lokationer. De sammenligner lokationsbaseret planlægning med aktivitetsbaseret planlægning og skriver, at det er svært at styre et projekt bestående af diskontinuerte aktiviteter. Det der driver brugen af LBMS er ønsket om en effektiv styring af ressourcer.

Man er blevet meget inspireret af bygningen af the Empire State Building i New York i 1930-31. Professor Karol Adamiecki født i Russia i 1884 opfattes som faderen til LBMS.

Forfatterne mener, at med støtte fra BIM/teknologi vil LBMS snart få en dominerende rolle, og en af dem sagde til Vico Software: *"LBMS is the way the world plans to build!"* I indledningen laver de en relation til Lean Construction og Last Planner.

*Sektionen om planlægning.* I planlægningen brydes byggeriet ned i lokationer. Hver af lokationshierarkierne har forskellige formål, og der arbejdes med højeste, mellemste og laveste niveau af lokationer. Dernæst fastlægges kvantiteterne/mængderne for LBMS, som er den interne logik af opgaver, der skal udføres på en given lokalitet før den er færdig. Det er dog begrænset, hvor mange data man kan håndtere manuelt, men ved brug af moderne software som fx Vico Software's Control kan mange flere data håndteres. Herefter fastlægges varigheden ud fra forbrug af ressourcer og produktionsdata. Det samlede antal arbejdstimer for hver lokation kan fx beskrives ved ligningen:

$$h_j^T = \sum_{i=1}^{i=n} (Q_{i,j} \times R^{C_{i,j}})$$

Hvor:

$h_j^T$  = Total antal timer for lokation j.

$Q_{i,j}$  = Mængden af opgave i, lokation j.

$R_{i,j}^C$  = Timeforbruget for opgave i, lokation j.

Pengestrømme og produktionsomkostninger kan analyseres og bygger på historiske erfaringsdata, der kobles på de enkelte opgaver, timeforbrug og ressourceforbrug. Arbejdskraftomkostningerne kan deles i: Arbejdstimer, personlig spildtid, bevæge sig rundt på byggepladsen og flytning af materialer og udstyr. Dertil skal lægges overhead.

Herefter beskrives risici i planlægning herunder usikkerheder i produktion, ressourcer, mængder, lokationer og kvaliteter, samt model og metoder til at styre dem. Der beskrives også sammenhæng til leverancer og brug af pull-planlægning, logistik beslutninger, leveranceplaner, lagre og håndtering, samt relationen til planlægning af kvalitet, sikkerhed, produktivitet og læring.

Planlægningssektionen slutter med en beskrivelse af metoder til planlægning, hvor planlægningsprocessen deles op i følgende 10 trin: Lokationsstruktur, arbejdsmængder, opgaver, varighedsoptimering, produktionsevaluering, omkostningsoptimering, omkostninger i planlægning, pengestrømsoptimering, godkendt plan og pull-leveranceplan. Derefter gives guidelines for lokationsstruktur, arbejdsmængder og arbejdsopgaver. Til lokationsstrukturen er givet følgende 7 guidelines:

- De hierarkiske niveauer skal have en global mening i projektet.
- Lokationer skal være klart defineret fysisk.
- Hvis muligt, defineres lodrette snit i projektet på højeste hierarkiniveau.
- Det samme LBMS skal anvendes for alle eller de fleste handlinger.
- Planlæg grupper af samme type rum til færdiggørelse.
- Håndter også store åbne rum.
- Laveste niveau af lokationer skal være så små, at man kan fjerne specifikke buffere og komprimere tidsplanen.

Til arbejdsmængder er givet følgende 4 guidelines:

- Det skal være muligt at estimere ressourceforbrug for opgave og lokation.
- Alt arbejde for hver afgrænset opgave skal udføres af samme team.
- Detaljeringen skal være tilstrækkelig til at vise alle opgaver med mængder.
- Mængderne skal lokaliseres i forhold til det krævede arbejdsflow.

Til arbejdsopgaver er givet følgende 5 guidelines:

- En arbejdsopgave skal kræve de samme kompetencer.
- Aktuel opgave skal have samme eksterne afhængighed til andre opgaver.
- Detaljeringsniveauet skal være styret af de tilgængelige informationer.
- Anvend håndterbare og afgrænsede opgaver der ikke influeres af andre.
- Alle arbejdsopgaver behøver ikke at blive planlagt i hovedtidsplan.

*Sektionen om styring.* I sektionen om styring er de 4 normale principper for styring anvendt: Basislinje, nuværende, faktisk og prognose. Med baggrund i afvigelser tages der aktion på at forebygge sammenblanding af opgaver og projektforsinkelser. Dertil kan tilføjes følgende 5 elementer: Revideret lokationsstruktur, løbende opgørelse af arbejdsmængde, detaljerede opgaver, afgrænsningsdata og bløde afhængigheder. For at afhjælpe sammenblanding af opgaver og ujævnt flow kan man fx ændre: Antal ressourcer, arbejdstiden per dag, lokationssekvenser, opdele opgaver, tekniske afhængigheder og startdato. Tidsstyringen kan gennemføres efter kortere og kortere planer i fx en procesplan, en periodeplan (look-ahead plan) og en ugeplan.

På samme måde følges omkostninger og risici også i forhold til de forskellige budgetter og milepæle, som kan justeres løbende og sammenlignes med prognoserne. Det gøres

også for leverancekæder, kvalitet, kommunikation og læring. Processtyring kan fx inkludere følgende metoder, hvor man kan lære fra afvigelse, fejl og møde- og ledelsesrapporter:

- Evaluering af nuværende status.
- Nøjagtig planlægning af implementering.
- Prognoser for procesforløb.
- Planlægning af styringsaktiviteter.
- Prioritering af opgaver.
- Sikring af produktionsforudsætninger.
- Udførelse af planer med god kommunikation og aftaler.

*Sektion om ledelsessystem.* I sektionen om ledelsessystemet defineres LBMS som integreret i ledelsessystemer, der involverer alle dele af byggeriet fra projektering til aflevering. De forenes gennem deres tilknytning til de enkelte lokationer, og de indeholder følgende typer af data:

- Bygningsdele, elementer, undersystemer og komponenter.
- Planlagte og aktuelle mængder af bygningsdele.
- Produktion og samling af byggesystemer.
- Planlagte og aktuelle materialeomkostninger.
- Det samlede byggesystems omkostninger.

Opgaver indeholder følgende typer af data:

- Produktions- og forbrugsdata for medarbejdere og ressourcer.
- Planlagte og aktuelle forbrug af ressourcer for opgaver.
- Arbejdsstyrkens planlagte og aktuelle antal og arbejdspræstationer.
- Afgrænsning af logistik som hører til opgaven.
- Forudsætninger for produktion herunder leverancer og materiel.
- Aktuell opgavepræstation som grundlag for prognoser for næste projekt.

Dette kobles sammen med følgende principper fra Lean: Værdi, værdistrømme, strømme/flow, pull og perfektion. I sektionen følges herefter op på principperne fra planlægning og styring som dele af LBMS, og der gives forslag til, hvordan LBMS kan implementeres i praksis. Her forklares, at udviklingen af LBMS kan dække både en metodisk og en teknologisk udvikling, og denne udvikling kan gå igennem 3 trin for udvikling af både produktionskulturen og planlægningsmetoderne. Det foreslås desuden, at den praktiske implementering på byggepladsen håndteres simpelt. Som første trin foreslås, at det sker som om intet er ændret uden nogle supplerende rapporter, og at man i næste trin kan involvere projektledelsen og bruge nogle foreslåede tricks for at forbedre effekten. Her nævnes de 3 cases fra [Andersson et al., 2007], men ikke noget konkret om fremgangsmåde, udbredelseshastighed og effekt. Sidst i sektionen forklares, hvordan planlægning og styring kan anvendes på lineære infrastrukturprojekter, som indeholder lange forløb af kontinuerte sekvenser.

*Sektion om cases.* I femte sektion beskrives kort afprøvning af forskellige sider af LBMS på 11 forskellige cases, men der gives ikke en fælles konklusion om effekten for disse afprøvninger.

### **Seppänen, Ballard og Pesonen om LBMS og Last Planner System i 2010**

LBMS er i [Seppänen et al., 2010] belyst i forhold til Last Planner System (LPS), og deres spørgsmål er, om LBMS styring kan integreres i LPS, og om pull-planlægning kan integreres i LBMS, så det bidrager til øget produktivitet og faldende spild og variation. De giver forslag til dette gennem præ-udbud af hovedtidsplan, pull-planlægning, periodeplaner og ugeplaner,

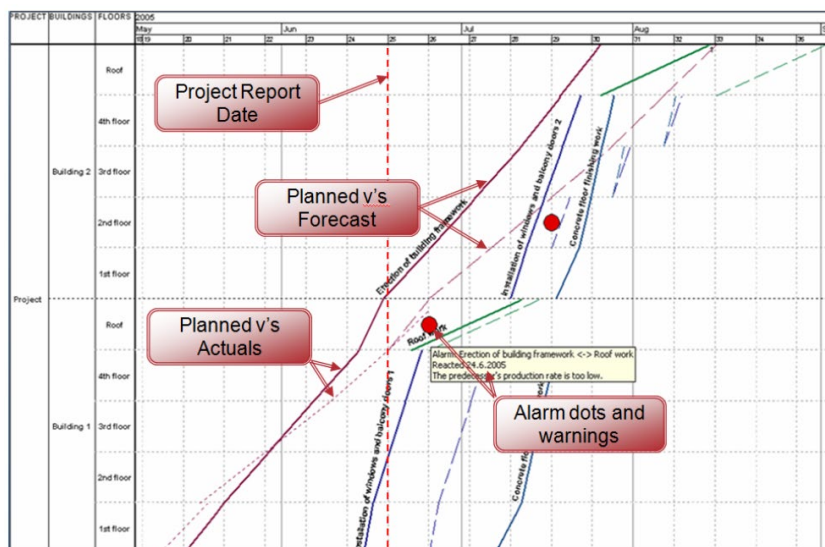


og de foreslår, at forslagene bliver afprøvet i praksis. De mener, at praktikere allerede nu kan bruge forslagene til at forbedre produktiviteten og reducere varigheden.

I det første år af udviklingen af LBMS var fokus på den teoretiske side af planlægningen. Først de seneste 10 år er styring af LBMS blevet inkluderet primært gennem finske studier, som er resumeret i [Kenley et al., 2010]. I artiklen refereres LBMS-principperne fra [Kenley et al., 2010]. De fremhæver mulighederne for at indsætte alarmer og tidlige advarsler i programmet, hvis det aktuelle forløb afviger for meget fra det planlagte og prognosen. Se eksempler vist i figur 41. Dette kræver ugentlige, daglige statusrapporter eller realtidsrapportering, så der bliver tid til at planlægge og indføre korrigerende handlinger. Lokationsbaseret styring kræver også betydelige ændringer af processen. I beskrivelsen lyder det som om, at det primært er en opgave for ledelsen, mens håndværkerne ikke er involveret i den praktiske gennemførelse.

I forsøg, interviews og workshops med forskellige entreprenører og cases i Finland og USA kombinerede man processerne i forhold til hovedtidsplan, fasetidsplan, periodetidsplan og ugetidsplan. Man redegør i artiklen for, hvad de forskellige entreprenører foretrækker, og for hver af de 4 tidsplaner beskrives forslag til, hvordan LPS og LBMS kan kombineres. På den baggrund giver man følgende forslag til 4 hypoteser for fremtidig forskning, hvor den foreslåede proces kan afprøves i praksis, og hvor der er tilknyttet konkrete evalueringsparametre:

- Opfyldelsen af det planlagte skal forbedres.
- Projektets varighed skal formindskes.
- Produktiviteten skal forbedres.
- Den superede forsinkelseskæde skal vise en reduktion.



**FIGUR 53.** Princip for styring af LBMS, hvor planlægning og prognoser er sammenlignet med det aktuelle forløb, og hvor der gives en alarm, når afvigelsen er for stor [Säppänen et al., 2010 side 47].

### **Olivieri, Seppänen og Granja om bedre arbejdsflow efter LBMS, 2018**

LBMS er i [Olivieri et al., 2018] sammenlignet med den kritiske vejs metode (Critical Path Method, CPM), og de analyserer to hypoteser: Giver LBMS et mere jævnt procesforløb uden at øge tidsforbrug, ressourcer og mandskab, og indeholder LBMS betydeligt færre planlægningselementer og gør tidsplanlægningen mindre kompliceret?

I LBMS er der 95-96 % færre planlægningselementer end CPM. Samtidig er antallet af logiske trin, der skal til for at modellere en plan i LBMS i forhold til CPM, meget mindre (en

reduktion på 33-44 %). LBMS bruges både som et planlægningssystem og et styringssystem, og det består af fem lag, som her er samlet i tre lag:

- *Opgaver.* Kopiering af opgaver til alle lokationer med samme opgaver udført af samme byggesjak.
- *Lokationer.* Der benyttes et hierarki af lokationer, som i sekvenser arbejder med de samme opgaver 'fra kælder til kvist'. I specielle lokationer kan opgaverne modelleres efter eksterne logikker.
- *Forbindelser.* Der skal være en forbindelse mellem enhver lokation.

Mængden af arbejde i opgaver og i en lokation er det centrale element i LBMS, og de skal gøres færdige før byggesjakket kan gå videre til næste lokation. Fordelen ved LBMS er, at opgaverne er de samme fra lokation til lokation, hvorved antallet af planlægningselementer bliver langt mindre end i CPM. Antallet af planlægningselementer er proportionale med antallet af opgaver, men ikke antallet af lokationer, hvorfor LBMS er mere enkelt end CPM. Håndteringen af opgaverne muliggør brug af erfaringsbaserede regler og systematisk læring, som fx kan ændre starttidspunkt for tidligere lokationer, der overføres til kommende.

Caseeksempler med CPM viser, at den primære årsag til problemer med overholdelse af det planlagte procesforløb var, at man begyndte alle aktiviteter så tidligt som muligt i stedet for at synkronisere dem med de andre aktiviteter. LBMS opnåede tydelige forbedringer med et jævnt procesforløb med reduktion af antal stop og genstart af processen (14-37 %).

Som sideeffekt får man mindre udsving i behovet for arbejdskraft. Produktiviteten forbedres, og det er nemmere at finde den optimale produktion, og LBMS beregner automatisk starttidspunkt for opgaver, som sikrer et jævnt procesforløb. Disse forbedringer blev opnået med få optimeringer af LBMS-processen. En indledende stigning i produktionstiden blev ved brug af LBMS optimeret ved at øge produktionshastigheden for de langsomme opgaver, så flaskehalse blev fundet og fjernet.

LBMS har vist forbedringer i forhold til: Udjævning af procesforløb, jævntere ressourceforbrug, lavere antal planlægningselementer og bedre visualisering. Der argumenteres for, at jævnt procesforløb er mere vigtig for kritiske opgaver, fordi et jævnt forløb forbedrer forudsigeligheden og reducerer risiko for kritiske opgaver. Tydeligst er forskellen mellem CPM og LBMS i en bredere visualisering af forbedringsmuligheder og et jævnt procesforløb samt relationen til den samlede varighed. Til slut foreslås i artiklen, at man gennemfører nye analyser om betydningen af få eller flere gentagelser.

### **6.3.4 Nordisk viden om tværfaglighed og bæredygtighed**

Med baggrund i efterfølgende udvalgte bøger om byggelogistik og transporter i forhold til tværfaglighed og bæredygtighed bør der udarbejdes nærmere resumeer, som skrives op mod forståelsesmodellen for byggelogistik (kapitlerne 2 og 3), vejledningen (kapitel 4) og forbedringsprincipper (kapitel 5).

#### **Byggelogistik i morgendagens byggemiljø v/ Lundesjö et al.**

Med baggrund i bogen 'Supply Chain Management and Logistics in Construction' [Lundesjö et. al., 2015] bør der udarbejdes et nærmere resumé af følgende 13 artikler, som kan bidrage til at sætte de internationale rammer for byggelogistik og -ledelse:

Part 1: Strategic perspectives

1. The challenge of construction logistics, by Michael Browne.
2. Aggregating global products for just-in-time delivery to construction sites, by Mark Frankling.
3. Construction logistics – supply of bulk materials, v/ Matthew Woodcock.
4. Effective management of a construction project supply, by Stephen Robbins.

5. Construction supply chain management strategy, by Brian Moone.
- Part 2: The impact of BIM and new data management capabilities on supply chain management in construction
6. Data management for integrated supply chains in construction, by Wes Beaumont and Jason Underwood.
- Part 3: Construction logistics and sustainability
7. The role of logistics in achieving sustainable construction: a Swedish perspective, by Monika Bubholz, Camilla Einarsson and Lars-Göran Spore.
  8. Resource efficiency benefits of effective construction logistics, by Malcolm Waddell.
- Part 4: Logistics operations
9. The role of the construction logistics manager, by Andy Brown.
  10. Third-party logistics operators in construction: the role they play and the role they could play, by Pete Flinders.
  11. Managing construction logistics for confined sites in urban areas, by Ruvinde Kooragamage.
  12. Consolidation centres in construction logistics, by Greger Lundesjö.
  13. Delivery management systems, by Rick Ballard and Nick Haare.

### **Tværfagligt samarbejde og bedre logistik v/ McLennan**

Med baggrund i bogen '*Collaborative Principles for Better Supply Chain Practice*' [McLennan, 2019] bør der udarbejdes et nærmere resumé af følgende 14 artikler, som alle er skrevet af McLennan, og som kan bidrage til at sætte de internationale rammer for tværfagligt samarbejde og værdiskabelse i logistik:

- Part 1: Knowledge architecture around collaboration (the jewel in the crown)
1. Introduction: The rationale for collaborative business practices across supply chains and why collaboration can be the jewel in the crown for organizations.
  2. Collaborative arrangements: Different supply chain perspectives, drivers and interdependencies.
  3. Raising the game – the CRAFT 8 Stage Life Cycle Model and ISO 44001: The evolution and emergence of a new global standard for collaborative working.
  4. The importance of stakeholder engagement in harnessing the benefits of collaborative working practices.
  5. Pan-industry supply chain collaboration: An exemplar of solutions developed by and for the industry.
  6. Commercial risk and pricing considerations associated with collaborative versus traditional contracting arrangements.
- Part 2: Case studies of exemplar historical collaborative practice
7. Case study 1: The Team Marine story – putting logic back in logistics.
  8. Case study 2: Captain – the impossible dream.
  9. Case study 3: Building supply chain functional excellence through collaboration with internal partners.
  10. Case study 4: Envoi – value creation through collaborative outsourcing of acquisition and divestment.
- Part 3: Case studies of exemplar collaborative practice in play or evolving
11. Case study 5: Humanitarian relief – Food for the Hungry: daring to be different through collaborative innovation.
  12. Case study 6: The Oil and Gas Technology Centre.
  13. Case study 7: All together now – improvements in collaboration in the pharmaceutical and biomedical life science sectors.
  14. Case study 8: The emergence of digital procurement technology in the IT sector.

Norman K. McLennan er gæsteprofessor ved Robert Gordon University i Aberdeen, og han er en respekteret konsulent og industrileder med over 30 års erfaringer. Han arbejder med ledelse af byggelogistik, forretningspraksis og forretningsudvikling på tværs af industrier internationalt, og han er tillige medlem af internationale foreninger om evaluering, logistik og samarbejde.

#### **Indikatorer i bæredygtig transport v/ Gudmundsson et al.**

Med baggrund i bogen 'Sustainable Transportation - Indicators, Frameworks and Performance Management' [Gudmundsson et al., 2015] bør der udarbejdes et nærmere resumé af side 159-164.

#### **Forskning i byggelogistik i Sverige v/ Ekeskär, Bengtsson og Friblick**

Med baggrund i publikationerne [Ekeskär, 2016], [Bengtsson, 2019] og [Friblick, 2000] bør der udarbejdes nærmere resumeer.

### **6.3.5 Nordisk viden om innovation og benchmarking**

Med baggrund i efterfølgende publikationer bør der udarbejdes nærmere resumeer af den nordiske forskning inden for byggeledelse og byggelogistik i forhold til selvstyring, tværfaglighed, produktivitet og innovation: [Sjöholt, 1999], [Ingvaldsen et al. 2004], [Widén, 2006], [Widén et al., 2009], [Bertelsen, 2010a], [Bertelsen et al., 2010a], [Bertelsen et al., 2010b], [Ellegaard et al. 2012], [Frödel et al., 2013] og [Ellegaard et al., 2014]

## **6.4 Udvikling af Trimmet Byggeri i Danmark**

I dette afsnit er samlet viden om udvikling af Trimmet Byggeri, som den er udviklet i Danmark fra 90'erne og årene efter ud fra 3 centrale kilder med Sven Bertelsen som forfatter. Denne udvikling bygger på den ene side oven på udviklingen af byggeriet i Danmark, og på den anden side indhenter den international nytænkning til en ny proces teori for byggeriet i Danmark.

Først gives der en faktuel beskrivelse af indholdet og udviklingen af Trimmet Byggeri, Last Planner System og organiseringen af Lean Construction i Danmark med baggrund i 'Håndbog i Trimmet Byggeri' [Bertelsen et al., 2009]. Derefter gives et referat af Sven Bertelsens status og erfaringstilbageblik, som han beskriver i romanen Semiramis [Bertelsen, 2009] og i hans syv essays om erfaringer med uregelmæssige projekter [Bertelsen, 2015]. De to sidste kilder er medtaget, fordi Sven Bertelsen de seneste 30 år har været en central drivkraft i udviklingen af Lean Construction i Danmark. De to kilder er forsøgt refereret i respekt for hans erfaringer og skriveform, men de er samtidig ordnet, så det kan bruges i vejledningens proces-, logistik- og innovationsmodel.

Indholdet i dette afsnit er beskrevet under følgende overskrifter:

- 6.4.1 Trimmet Byggeri i Lean Construction DK.
- 6.4.2 Semiramis om Construction Physics i 2009.
- 6.4.3 Det uregelmæssige projekt og dets ledelse.

### **6.4.1 Trimmet Byggeri i Lean Construction DK**

'Håndbog i Trimmet Byggeri' er Lean Construction på dansk, der er udgivet af Foreningen Lean Construction DK i samarbejde med Sven Bertelsen [Bertelsen et al., 2009]. Det er en ny forståelse af byggeprocessen, som første gang blev publiceret i 2005 og senere opdateret i 2009. Det er foreningens ønske, at den løbende vil blive opdateret med nyeste viden.

Trimmet Byggeri bygger på principperne i TPS, Last Planner System og ikke mindst Lean Produktion og Lean Construction, som er beskrevet i kapitlerne 6.1, 6.2 og 6.3. Disse

principper har bl.a. været drøftet på de årlige konferencer i The International Group for Lean Construction (IGLC), hvor de danske bidrag har været markante. Trimmet Byggeri bygger desuden på danske erfaringer om byggelogistik, PPU-programmet, Projekt Hus og meget mere fra 70'erne og op til 00'erne, som er beskrevet i dette kapitel. I supplement til håndbogen er udgivet bogen 'Bedre Byggeprocesser', hvor erfaringer med Trimmet Byggeri i praksis er vist i 15 cases [Østergaard, 2009]. Håndbogen har samtidig givet grundlag for en vejledning til støttet byggeri om logistik i udførelse af byggeri, som Erhvervs- og Boligstyrelsen udgav i 2003, og som er beskrevet i kapitel 6.6 [EBST, 2003].

### Den danske baggrund

I den danske baggrund for Trimmet Byggeri beskrives udviklingen fra før 2. verdenskrig og op i 00'erne. Her omtales bl.a.:

- Etableringen af Byggeriets Planlægningsssystem (BPS) i 1974.
- Boligministeriets konkurrence Det nye Etagehus i 1983.
- Teknologirådet iværksatte et udviklingsprogram om IKT i 80'erne.
- Foreningen af Rådgivende Ingeniører (FRI) gennemførte i 1991-93 en analyse af byggeriets forskning og udvikling kaldet 'Dobbelt Op'.
- I 1993 gennemførte Erhvervsfremmestyrelsen en ressourceområdeanalyse, som anbefalede forskellige hjemlige udviklingsprogrammer, som senere blev til PPB-programmet, Projekt Renovering og Projekt Hus.
- Projekt Renovering blev gennemført som ca. 100 udviklingsprojekter i 1994-98.
- Proces- og Produktudvikling i Byggeriet (PPB) blev gennemført i fire store konsortier i 1994-2001, der hver skulle bygge 300 boliger.
- ATV rapporten anbefalede i 1998 forslag til forbedring af byggeriets produktivitet.
- Projekt Hus' forberedelsesfase forløb i 1999-2001, hvor 10 temagrupper beskrev rammerne for sektorens udvikling under overskriften 'Dobbelt værdi til halv pris'.

I håndbogen skrives, at Projekt Hus sluttede med forberedelsesfasen i 2001, mens gennemførelsesfasen de følgende 8 år blev aflyst, fordi By- og Boligministeriet i 2001 blev lagt sammen med Erhvervsministeriet og fokus flyttede fra byggeprocessen til rammebetingelser. I håndbogen skrives:

*"Imidlertid skete der det bemærkelsesværdige, at branchen for alvor selv tog over. Nu havde man ikke mere de statslige udviklingsprogrammer, der – på godt og ondt – havde drevet udviklingen i mere end 50 år."*

Håndbogen nævner bl.a., at efter 2001 blev samarbejdet i henholdsvis Bygherreforeningen, Byggeriets Evaluerings Center, bips, BygSoL og Lean Construction-DK dannet.

### Den udenlandske forståelse og udvikling af produktion

I den udenlandske baggrund for Trimmet Byggeri henvises til de nye produktionsprincipperne i Toyota Production System (TPS) med bl.a. autonomation, 5S'er for kvalitetsmiljøet, Kaizen for små stadige forbedringer samt arbejdet med reduktion af spild. Desuden henvises til, hvordan Womack og andre i bogen 'The Machine that Changed the World' beskriver begrebet Lean, og hvordan Lean Construction begyndte at tage form i 1992 inspireret af Lauri Koskela, Glenn Ballard og Greg Howell.

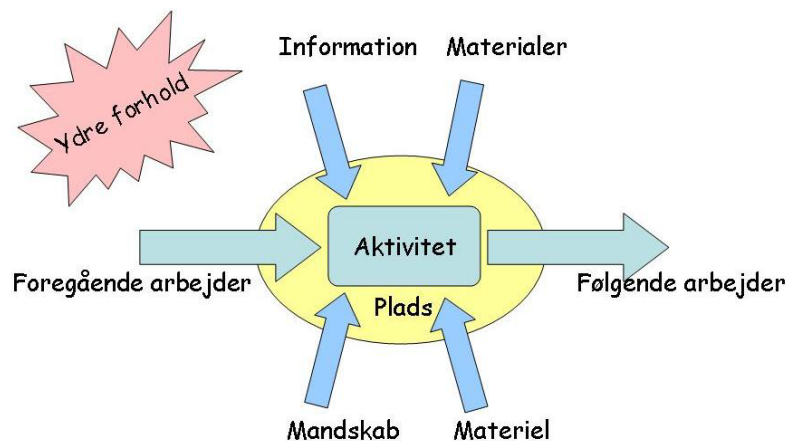
Det gav anledning til, at The International Group for Lean Construction (IGLC) blev etableret i 1993 efter en indledende workshop i Finland i 1992. Siden da, har IGLC afholdt årlige konferencer med mange internationale indlæg om Lean, hvor konferencen i 2019 var den 27. IGLC konference i rækken, som blev afholdt den 1.-7. juli i Dublin, Irland. Nærmere om IGLC findes på linket <http://www.iglc.net/Home/About>, hvor man kan læse alle konferenceartikler tilbage fra IGLC4. Fra dansk side har der været bidraget meget til disse konferencer.

Denne baggrund er senere suppleret med den ny TFV-teori for byggeprocesser ved Koskela, og Last Planner princippet med PPU-måling ved Ballard og Howell. Desuden henviser håndbogen til produktionsfilosofier som byggeledelse (Supply Chain Management), kvalitetsstyring (Total Quality Management) og fleksibel produktion (Agile Production). Der henvises også til Little's lov, hvor gennemløbet (Throughput, TP) er lig det gennemførte arbejde (Work in progress, WIP) i forhold til produktionstiden pr. enhed (Construction time, CT):

$$TP = WIP / CT.$$

Det skrives, at byggeriet synes at overse, at hurtigere byggeri skaber øget gennemløb (TP) med øget indtjening jf. Little's lov. Gennem et regneeksempel vises, at 20 % større hastighed vil 3-doble virksomhedens resultat på bundlinjen. Der forklares også om den kritiske vej gennem aktiviteter samt Goldratt's [Goldratt et al., 2013] fokus på flaskehalse og kritik af den kritiske vej i projektet, fordi projektet også er afhængig af andre projekters kritiske veje og deres træk på de samme kritiske resourcepersoner. Little og andre giver i håndbogen baggrund for at anbefale, at man derfor skal bygge hurtigere, men uden kontrol.

Håndbogen forklarer også om en ny metafysik samt om konstruktionsfysik (Construction Physics) med baggrund i fabriksfysik (Factory Physics). Om hovedideen med konstruktionsfysik forklares, at den opfatter byggeprocessen som en ægte proces, der ikke alene fødes af foregående arbejder, men også af en række andre strømme, hvoraf én og kun én er den kritiske. Konstruktionsfysik forklares af Koskela [Koskela, 2000] som 7 strømme, der er illustreret i håndbogen som vist i figur 54. Her skrives også, at ugeplaner overlader mest muligt til byggesjakkene selv, mens byggeledelsen sikrer effektive strømme i alle fødekæder samt finder og eliminerer flaskehalse, hvor PPU er et uundværligt hjælpeværktøj til det.



**FIGUR 54.** De syv strømme jf. konstruktionsfysikken ved Koskela [Koskela, 2000], og som er gengivet fra håndbogen [Bertelsen et al., 2009], side 52.

Der forklares også forskellene mellem projektproduktion, håndværksproduktion, masseproduktion og TPS. Fx er processer i byggeprojekter ikke præcist fastlagte og virksomhederne er forskellige fra projekt til projekt set i forhold til industriproduktion. Komplexiteten er størst i håndværksproduktion, men, som der skrives, det skyldes nok mere, at kompleksiteten er ukendt pga. de løst koblede systemer, hvorfor kompleksiteten er svær at forstå. I den forbindelse anbefales det:

- At man går ud og ser, hvad der faktisk sker på byggepladsen, og hvad arbejdstiden anvendes til.
- At man opstiller en produktivetsmodel for projektet, som er det man producerer.
- At man flytter blikket fra det enkelte projekt til den samlede strøm af projekter.

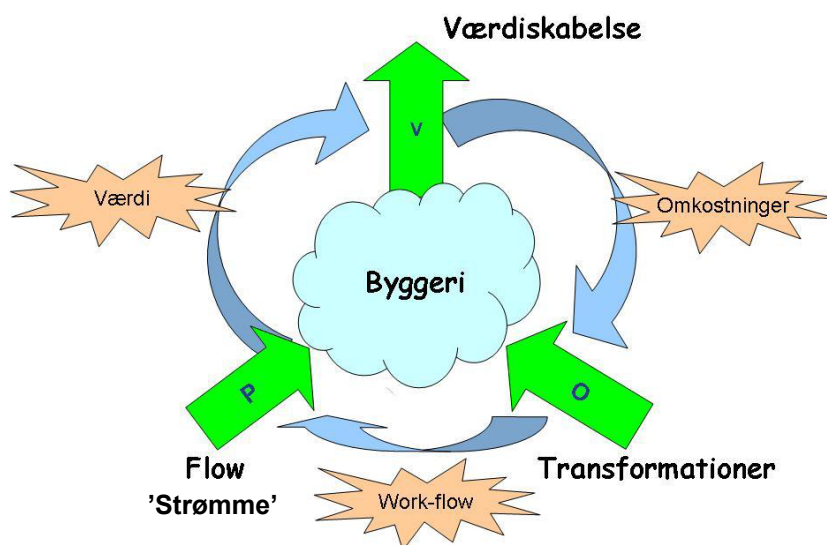
- At man skridt for skridt gennem byggeriet nedbryder omkostningerne i arbejds løn, materialer og materiel, og at man udregner procentvise forbedringer og usikkerheder.

Der skrives, at denne nytænkning lyder enkelt, men at den kræver en ganske betydelig indsats for at lykkes. Det kan fx ske gennem en forståelig og målrettet formidling. Indførelse af Last Planner System og brug af PPU kan også hjælpe her, og man kan arbejde med at eliminere flaskehalse. Det nævnes også, at hos Toyota bruges Kaizen, som er mange små forbedringer, hvor de bruger medarbejdernes kreativitet, og hvor de sætter fokus på reduktion af spild, tværfagligt samarbejde og prøver at eliminere faggrænser.

### Byggeprojekter som projektproduktion efter en ny TFV-teori

I håndbogen samles disse erfaringer i en teori for byggeprocessen, som tager udgangspunkt i TFV-model og TPS, der er illustreret i figur 41, og som omfatter:

- Værdiskabelse og værdier.
- Operationer og transformationer som omfatter alt, hvad menneske og maskiner foretager sig med projektet herunder også transport, inspektion og venten. Jf. figur 54 kan det også omfatte: Foregående arbejder/aktiviteter, Aktiviteter og Følgende arbejder/aktiviteter.
- Processer, flow og strømme omfatter det projektet oplever på sin vej gennem produktionen, og som er summen af alle operationer. Jf. figur 54 kan det omfatte strømmene: Informationer, Materialer, Mandskab og Materiel.
- V-O-overgangen er omkostninger.
- O-P-overgangen er arbejde og strømme.
- P-V-overgangen er værdier.



**FIGUR 55.** TFV-teorien for byggeprocesser i Trimmet Byggeri, som i denne illustration ikke viser ydre forhold og ledelse [Bertelsen et al, 2009 side 34], og hvor 'V' står for værdi, 'O' står for operation, og 'P' står for proces. I nogle dele af håndbogen bruges i stedet navnet 'OPV-teorien'. I vejledningen oversættes 'Flow' til 'Strømme', hvorfor det er indsat under 'Flow'.

#### Ydre forhold.

Der nævnes kun lidt om de ydre forhold i forbindelse med anvendelse af teorien for konstruktionsfysik i figur 54.

### *Værdiskabelse.*

Formålet med enhver produktion er at skabe værdi for nogen, og man kan stille spørgsmålet: Hvad er værdi og for hvem? Men man må ikke forveksle det med pris, men man kan tale om det som:

- Æstetisk og arkitektonisk værdi.
- Økonomisk værdi.
- Social og menneskelig værdi.
- Materiel værdi.

Man kan også udtrykke det som forskellige karakteristika med både en værdiformulering og en værdilevering:

- Værdier er subjektive.
- Værdier er relative.
- Værdier er kontekstafhængige.
- Værdier er dynamiske.
- Værdiledelse.
- Produktværdi og procesværdi.

I værdiformuleringen drejer det sig om at skabe mest mulig værdi inden for budgettet. Trimmet byggeri anerkender ikke, at rationelle bygherre eksisterer i praksis, idet det er en proces, der finder sted i et samspil mellem de forskellige systemer og aktører, hvor der kan være interesse modsætninger. I værdiledelsen gælder det for leveranceteamet om at levere den ønskede værdi så effektivt som muligt

### *Operationer.*

Det opfattes som det arbejde, der udføres af en række fag hos fx rådgivere og håndværkere. Det er en forenklet beskrivelse af byggeriet som opdelt i enkelte uafhængige dele, og som er meget rationelt tænkt, men samtidig er en væsentlig årsag til byggeriets problemer. Det skyldes dels, at byggeriet også er en proces, som skal ses i sin helhed.

### *Processer.*

Processer opfattes i håndbogen som strømme (flow) mellem forskellige aktiviteter og operationer, hvor de enkelte fag er bidragsydere til, og som består af en strøm af informationer, materiel, mandskab og materialer. Her kan der arbejdes med at eliminere flaskehalse i intern- og ekstern kritiske strøm. Overordnet kan den også beskrives med de 7K'er, der følger byggeriets livscyklus, der er en kæde igennem: Krav, kontrakt, koncept, kontrakt, konstruktion, kontrol og konsum, og som slutter med et feed back fra konsum til krav.

### *Ledelse.*

Ledelse ændre sig også, når den ny proces med baggrund i TFV-teorien bringes i anvendelse i byggeriet, hvor ledelse også kommer til at omfatte kvalitet, arbejdsmiljø og sikkerhed. Man kommer også til at arbejde med forskellige former for ledelse, hvor fx projektledelse er ledelse af det samlede projekt, hvor projekteringsleder er ledelse af konceptudvikling og projektering, og hvor byggeleder er ledelse af byggeprocessen. Ledelse i de tre overgange V-O, O-P og P-V jf. figur 41 arbejder også med forskellige ledelsesstile. På grund af de store penge i projektet, vil ledelse i V-O-feltet ofte være meget formel, og lederne er ofte et ret kontant folkefærd, hvor 'management' nok er den rette betegnelse. I ledelse af O-P-feltet taler man ofte om procesledelse, hvor man arbejder for at få de deltagende håndværkere og projekterende til at arbejde som et team, og hvor 'lederskab' nok er den rette betegnelse. I P-V-feltet fokuserer ledelsen på at sikre, at den etablerede proces virkelig leverer de værdier, bygherren ønsker. I logistiksammenhænge taler man ofte om push- og pull-logistik. I



JIT arbejdes ud fra pull, hvor modtageren anmoder om leverancer og derved trækker leverancekæden. Byggeledelse vil derimod ofte opfattes som push, mens værdiledelse jf. håndbogen ofte er en blanding.

#### *Kompleksitet.*

I håndbogen opfattes byggeri som et komplekst fænomen, som er modsætning til den rationelle forståelse bag transformation, der har afsæt i en gammel tradition for operationsfysik, og som er top-down orienteret.

#### *Samarbejde og læring.*

Man kan også jf. håndbogen sige, at byggeri er et lærende og dynamisk system. Sådanne systemer er i deres natur uforudsigelige og selvudviklende, og de kan være bottom-up orienteret. De danske BygSoL-programmer nævnes som eksempler på en bottom-up orientering. I sammenhæng hermed nævner håndbogen også naturens egen form for ledelse med reference til Kevin Kelly's bog 'Out of Control' [Kelly, 1994]. Her angiver han følgende 9 principper for det:

- Spred livet.
- Ledelse nedefra.
- Dyrk det voksende udbytte.
- Skab vækst ved at lægge sammen.
- Styrk forskellene.
- Værdsæt fejl.
- Undgå optimering – søg i stedet flere mål.
- Sørg for en stadig ustabilitet.
- Lad forandringen selv skabe forandring.

Håndbogen henviser også til Fernando Flores særlige ledelsesteori, hvor virksomheden forstås som et samarbejde, og hvor processen forstås som en række aftaler. Dette blev fremlagt i et indlæg på IGLC 13th Congres i 2005 af Hal Macomber [Macomber et al, 2005]. Ideen i denne teori er, at 'ordrer' erstattes af 'dialog/samtale', hvor den ene part fremlægger et ønske og den anden part fremsætter et tilbud, som indledning til en acceptproces, og som fx kan bearbejdes i følgende aftalecyklus:

- Forespørgsel - Klarlægge og forhandle betingelser for tilfredshed.
- Løfte – Procedure.
- Erklæring om 'aflevering' – Godkendelse.
- Accept – Forberedelse.
- Retur til 'Forespørgsel'.

#### **Byggeprojekter som værdier, transformationer, læring og byggeplads**

Trimmet Byggeri er i håndbogen herefter konkretiseret i forhold til følgende indfaldsvinkler jf. figur 41:

- Værdiskabelse og bygherreroller i byggeprojektet.
- Produktion med Last Planner System, spildreduktion og kendt præcision.
- Byggepladsen som et samarbejde mellem håndværksfag.
- Byggeprojekter og længerevarende samarbejde og ledelse med læring.

#### *Værdiskabelse og bygherreroller i byggeprojektet.*

Om dette emne diskuteres i håndbogen: Bygherren og hans rolle i byggeprocessen, og tiltag som kan fremme håndteringen af bygherrens og brugernes værdier i byggeprocessen. Bygherren varetager interesserne for følgende parter: 1) Ejere og investorer med interesse for det fysiske hus, 2) Brugere i videste betydning med interesse især for det indre hus, og 3)

Omverdenen med interesse for det udvendige hus. Håndbogen beskriver desuden følgende roller for bygherren:

- Den synlige bygherre.
- Den aktive bygherre.
- Bygherren der stiller krav i processen.
- Bygherren på byggepladsen.
- Den ansvarlige bygherre.
- Bygherren med relation til brugerne fx i form af brugerinddragelse.

Herefter beskrives værdibegrebet, idet der gentages forklaringen fra beskrivelse af TPV-teorien under 'Værdiskabelse', som er beskrevet i foregående afsnit om 'Byggeprojekter som projektproduktion efter en ny TPV-teori'. De forskellige værdi-opgaver forklares fx i forhold til '7K-modellen', der er beskrevet under 'Processer' i foregående afsnit. Dernæst beskrives værdi-opgaverne i projekteringen under overskrifterne: Værdidesign og -leverancer, værdifastsættelse i workshops, target costing, værdileverancer gennem projektering, Last Planner System i projektering, Lean Design og projekteringsledelse. Denne beskrivelse afsluttes med en beskrivelse af overgangen fra projektering til udførelse, og der vises et faktaark med bygningsarbejdernes 5 bud på et godt tegningsmateriale.

#### *Produktion med Last Planner System, spildreduktion og kendt præcision.*

Om dette emne diskuteres i håndbogen: Byggeprocessen som en effektiv produktion efter klassisk produktionsteori suppleret med nytænkning fra Last Planner System, og hvordan man minimerer flaskehalse og spild samt fastlægger rækkefølge og varigheder for at øge præcisionen, så der skabes mest mulig værdi.

Traditionelt bruges netplanlægning med bestemmelse af kritisk vej (Critical Path Metode, CPM), men den forudsætter at rækkefølge og varighed af de enkelte aktiviteter er kendt, hvilket de ofte ikke er, eller også er de meget usikre. Derfor anvender Trimmet Byggeri 'sunde aktiviteter' og Last Planner System (LPS), som bygger på aftaler på forskellige niveauer mellem ligeværdig parter og forskellige slags planer. På dansk benævnes LPS ofte UPPs, som står for Uge-, Periode- og Procesplan systemet. Last Planner Systemet refererer til, at det er det yderste led – byggesjakket – som trækker produktionen og planlægningen. Last Planner System består af følgende fire niveauer fremlagt fra det yderste led:

- Ugeplan (Weekly Work Plan) sikrer, at arbejdet kan ske hensigtsmæssigt for alle fag og i sunde aktiviteter, og den er dermed den egentlige styring af produktionen. Den udarbejdes rullende en gang om ugen af byggesjakkets medlemmer for de kommende 5 arbejdsdage, og den bliver derfor sjakkets aftale om det, de vil gøre.
- Periodeplan (Look Ahead Plan) skal nedbryde procesplanens aktiviteter til konkrete operationer, og den skal styre logistikken. Den udarbejdes rullende gennem hele byggeperioden, idet man fx hver uge ser 6 uger frem, og man ser om alle aktiviteter i den periode er sunde. Den får ofte karakter af en 'indkøbsliste' og er en aftale mellem fagentrepreneurerne om det, de kan gøre.
- Procesplan (Phase Schedule) har til formål at fastlægge den ideelle byggeproces i forhold til rækkefølge og tidsforbrug, som overholder hovedtidsplanen. Den laves fra starten af byggeri og for fx hver fase, og den retter sig mod de områder med koordinering mellem fagentrepriser og materialer med lang leveringstid. Den kan indeholde en forhindringsliste. Den er derfor en gensidig aftale mellem alle fag om det, der bør gøres.
- Hovedtidsplan (Master Schedule) er projektteamets aftale med bygherren om de overordnede afleveringsterminer og tidligste start for byggeriets enkelte dele fx udtrykt i et stavdiagram. Ofte laver bygherrer fejlagtigt hovedtidsplanen for detaljeret i håbet om, at større detaljering vil give et mere præcist byggeri. Den er altså en aftale med bygherren om det, der skal gøres.

En væsentlig opgave gennem hele byggeprocessen bliver at reducere spild og eliminere flaskehalse langs den interne- og eksterne kritiske vej, så planlægningen i Trimmet Byggere bedre kan sætte en kurs for arbejdet der ligger foran. Herved bliver processen hele tiden bedre og bedre, og man kan bygge hurtigere og mere effektivt. Til at understøtte det måles hele tiden PPU, som er **P**rocent af det **P**lanlagte der er **U**dført (Percent Planned Completed, PPC). PPU måles på hele sjakket under et, og den bruges til løbende at gøre processen bedre, hvorfor den er en aftale om det, sjakket **skal** gøre bedre.

I tilknytning hertil gives en omfattende forklaring af cyklogramplanlægning (Location-Based Scheduling, LBS). I LBS afbildes tiden ud ad x-aksen, lokaliteten og rækkefølgen ud ad y-aksen, og varigheden af de enkelte faser, aktiviteter og operationer angives inde i diagrammer som rette hastighedslinjer. I analysen sørger man herefter for, at hastighedslinjerne bliver parallelle, og der ikke er tomme arbejdsfelter. I håndbogen skrives, at den giver et godt overblik og er en stor fordel i forhold til andre planlægningsmetoder, idet fokus er at skabe en jævn strøm og at få aktiviteter til at 'gå i takt'. Håndbogen forudsætter, at hvis hele byggeprojektet planlægges i hele dets forløb, så bliver det et tungt arbejde af bruge LBS, hvorfor man bør bruge digitalt værktøj. LBS erstatter ikke den sociale planlægning og koordinering mellem parterne.

Til slut henvises til erfaringerne med byggeledelse på danske forsøg i starten af 90'erne, som er nærmere beskrevet i afsnit 6.4. Der skrives, at der her arbejdes med units eller leverancepakker, og at metoden ligger meget tæt op af metoden i Last Planner System.

#### *Byggepladsen som et samarbejde mellem håndværksfag.*

Om dette emne diskuteres i håndbogen: Forskellige samarbejde og organiseringer, og hvordan LPS lægger op til et samarbejde med mange gevinster.

Som samarbejder nævnes 'Strategisk partnering' som også kaldes 'Supply Chain Management'. Det er et tættere og forpligtende samarbejde mellem virksomhederne i leverance-kæden, som dækker flere enkelte projekter og ordrer, og hvor avancen deles lige og er til fortsat udvikling af konkurrenceevnen. Samarbejde kan også inkludere bygherren, hvor han kan agere som leverandør til sine kunder. Hvordan det håndteres i praksis kan være forskellig, om det er et offentligt eller privat byggeri. I 90'erne har man i Danmark gennemført en række udviklingsforsøg med det, som ligger tæt op af Trimmet Byggeri.

Et andet samarbejde er 'Re-Industrialisering' som er præfabrikation, hvor man flytter arbejde fra byggeplads til fabriksproduktion. Det har fordele og ulemper, og er særligt egnet ved ensartet byggeri og modularisering, hvor bygningen er sammensat af moduler, der produktionsmæssigt kan opfattes som en black box. Køkkenmoduler er eksempel herpå, og i slutningen af 90'erne gennemførte PPB-programmet bl.a. forsøg i Habitat-konsortiet med udvikling af en fuldstændig modularisering (Se afsnit 6.4). Det kan fx dreje sig om modulerne: Terræn, byggebasis, vådrum, gulv, vægge, tag, indeklima og el-installationer. Flere produktionsvirksomheder leverer i dag sådanne moduler fx i rumstore elementer.

#### *Byggeprojekter og længerevarende samarbejde og ledelse med læring.*

Om dette emne diskuteres i håndbogen: Samarbejdet mellem de enkelte håndværkere og procesledelse som sparring for længerevarende samarbejde med læring gennem flere projekter.

Som eksempel på samarbejde mellem de enkelte håndværkere nævnes udviklingsprogrammet BygLOK, hvilket står for Læring, Organisering og Kompetence i Byggeriet. Ideen er her, at give et større medansvar til de enkelte håndværkere og skabe et tværfagligt samarbejde med øget arbejdsglæde. Det sker ved mesterlæring med løbende kompetenceudvikling og deling af erfaringer over faggrænser, samt ved stimulering til forbedringer af byggeprocessen gennem entrepreneurship på alle niveauer. BygLOK pegede på en ny vej frem, hvor læringen ikke kun skete på skolen, men også på byggepladsen.

Erfaringerne medførte, at BygLOK blev fortsat i BygSoL-programmet, som arbejdede med Samarbejde og Læring i Byggeriet (Se kapitel 6.4). Begge programmer blev gennemført i et nært samarbejde mellem skoler, organisationer, institutter, byggeparter og bygherrer, og hvor man brugte partnering og Lean Construction. Det var de første forsøg på at indføre Trimmet Byggeri bredt i branchen, og fra disse forsøg anbefales:

- Der skabes uformelle relationer mellem alle, igennem hele projektforløbet.
- Regelmæssige møder mellem alle, understøtter denne interaktion.
- Arbejdsmarkedsuddannelse (AMU) kan bruges til efteruddannelse, og der findes allerede flere kurser. Man kan søges om godtgørelse for tabte arbejdstimer ved deltagelse i undervisningen.
- Alle informeres løbende om beslutninger og fremdrift samt ændringer.
- Motivering, inddragelse, fejring af milepæle og lignende skaber engagement og tilhørsforhold.
- Diskuter håndtering af forskellige udfordringer mellem alle parter for at finde forbedring, og man kan her fx tænke helt frem til afleveringen.

I håndbogen nævnes andre forsøg i Danmark med Lean Construction i praksis, hvor man brugte procesledelse som en sparring og organisator for at indføre Trimmet Byggeri på byggepladsen. Det kunne fx suppleres med selvstyrede grupper, som havde øget fokus på strømme, total kvalitet, lean og byggelogistik, og som bidrog til at forbygge spild, fejl og mangler. Det førte med sig, at man foreslog det tankeeksperiment, at byggepladsen i fremtiden kunne opfattes som en virksomhed kaldet 'A/S Min Byggeplads' med reception, kantine, velfærdsforanstaltninger og meget mere. Herved kunne procesledelse på mellemliderniveau spredes til topledelsen.

I procesledelsen er det vigtigt at lytte til dem der bygger, idet de rummer uanede kompetencer, og bygningsarbejderens viden og erfaring kan bruges til at optimere processen. Det kan understøttes af god ledelse, der er tilpasset hertil, og som sætter social kapital, inddragelse og samarbejdsressourcer i centrum, og som praktiserer tillid, ansvarsfordeling, lytter, reagerer og motiverer samt giver plads til ideer og forbedring.

### **Indførelse af Trimmet Byggeri**

Udviklingen af Trimmet Byggeri er i det foregående forklaret ud fra danske baggrundserfaringer og udenlandske teorier oversat til en ny forståelse af byggeprocessen efter en flersidig model. En model som er uddybet i forhold til: Værdiskabelse, den traditionelle transformationsforståelse af processen, strømme, proceslæring mellem projekter, og byggepladsen som et samarbejde mellem de enkelte håndværksfag. Håndbogen slutter herefter med en kort introduktion til, hvordan Trimmet Byggeri kan indføres, og som kan samles i punkterne:

- Indførelse af Trimmet Byggeri kræver en strategisk ledelsesbeslutning.
- Udvikling af processer og samarbejder fra projekt til projekt ligger ikke i byggeriets natur, og Trimmet Byggeri beder om yderligere forandring.
- Gennem implementeringen af Trimmet Byggeri vil der komme snublestene, som skal håndteres.
- Der må ikke fyldes for meget på de enkelte udviklingsprojekter, og udviklingen bør ske, mens man bygger, hvor resultatet også skal afprøves.
- Udviklingen kræver efteruddannelse og træning samt diskussion af erfaringer løbende gennem processen.
- Vigtigst er måske de gode historier i formidlingen og til inspiration, men pas på med formelle målinger, idet det kan flytte fokus hen mod det at måle.

## 6.4.2 Semiramis om Construction Physics i 2009

Semiramis [Bertelsen, 2009] er en roman af Sven Bertelsen, som følger op på hans beretning om Louise [Bertelsen, 2003]. Den bygger på forskellige byggepladsfortællinger og stiller spørgsmålstegn ved vores rationelle forståelse af projektproduktion og projektledelse. Sven Bertelsen forsøger i Louise og Semiramis at gøre Lean Construction, Trimmet Byggeri, Construction Physics og kritisk flow mere alment tilgængeligt. Han giver en ny forståelse af byggeproces og logistik, som i sin natur er meget komplekse. Han fortæller om, hvordan man skal bygge på sunde processer, pull, fejlfri og præcis levering samt undgår flaskehalse og sætte flow og præcision i centrum. Han fortæller om, hvordan PPU (Procent af det Planlagte der blev Udført) bruges, og hvordan processen kommer under kontrol og udvikles i et tværfagligt samarbejde på trods af modstand. Man kan sige, at det er et fortællende supplement til kapitel 6.4.1.

Han anvender i de to bøger en fortællende form, som ligner den Goldratt anvendte i sin bog 'The Goal', der blev publiceret i forskellige udgaver i 1984, 1986, 1992, 2004 og 2013 [Goldratt et al, 2013]. I referatet af bogen er centrale uddrag samlet under følgende overskrifter, hvor indholdet følger Sven Bertelsens skrivestil, men samtidig er det tilpasset vejledningens proces-, logistik- og innovationsmodel:

- Byggeprocessen.
- Tømmerhandleren.
- Byggepladsen.
- Planlægning.
- Cyklogrammer.
- Samarbejde.
- Kritisk flow og præcision.
- Tegninger og beskrivelser.
- Produktivitet.

### Byggeprocessen

Gennem Louises dagligdag på byggepladsen fortæller hun om møder, 'folkenes' oplevelser, personlige samtaler med chefer, tømmerhandlere, formænd og byggeledelse samt hendes dialoger med sin kat Semiramis. Hun henter erfaringer fra Nettos levering af varer i just-in-time og fortæller om, hvordan butik, butikslager, transporter og centrallager samarbejder om at udjævne strømme af levering og skabe plads til varerne.

Hun siger også, at formanden har for meget at lave og er en flaskehals, og at byggeriet mangler forståelse for det, der faktisk laves på byggepladsen, og at man ikke taler med dem, der har problemerne, men mest med direktørerne, som ikke kender de praktiske problemer. Man taler også ned til byggepladsen. Louise tror ikke vi forstår byggeprocessen helt rigtigt, og at vores mentale model af den er forkert.

Louise pisker ikke fagentreprenørerne, som man ellers plejer at gøre, hun siger, at sjakbajserne selv skal aftale arbejdsplaner. Hun sammenligner byggeprocessen med sin kat Semiramis. - Den kan ikke ejes, og den er sgu sin egen. Hun spørger derfor: *"Kan byggeprocessen så ikke styre sig selv? Eller mere præcist – Lad sjakket selv styre processen."*

Hun siger også, at mellemlederne skal koncentrere sig om forudsætningerne, og at fejl skal bruges til at lære af. Ved bygning af ejerlejligheder med individuel indretning er der to problemer: Man mangler plads, og man mangler tegninger i takt med salget.

### Tømmerhandleren

Hun siger også, at tømmerhandlerne kun leverer varer og ikke løsninger, og at byggepladsen ikke lytter til deres problemer, men i stedet taler man om spild og kapacitetsudnyttelse.

En fælles forståelse og møder om logistik kan måske være et samlingspunkt. Tømmerhandleren siger, at byggepladsen hele tiden kun ser på omkostninger og avancer, hvor de hellere burde se på hele systemet. Han ser også flere ting på sagen, som man kunne tænke over, og det kan fx dreje sig om hasteordrer, og når håndværkerne selv henter materialer, samt de tilhørende omkostninger set i forhold til planlagte og normale ordrer.

I dialogen når Louise og tømmerhandleren også frem til, at brugen af centrallagre (logistikcentre) kan give en gevinst. De drøfter, hvad der kan leveres herfra, og hvad der bedst går udenom, samt hvordan og hvem der skal tage ansvar for dets etablering og drift, så der skabes mere plads på byggepladsen. Tømmerhandleren kunne evt. også deltage i byggepladsmøderne uden beregning, og man kunne samarbejde om udviklingen med baggrund i Trimmet Byggeri, TPS og Womack's principper [Womack et al, 1990, 1991, 1996 og 2007].

### **Byggepladsen**

Det vil også hjælpe, hvis byggepladsen kunne finde måder at bestille kraner og styre lagre på, som fx hos bageren, hvor man trækker et nummer. Her fortæller Louise om, hvordan Harry kom på den idé og tager ansvar for, at det bliver ført ud i livet. Sammen med Karl fra murerne laver de reservationsskema og plan for alle reservationer i hele ugen. De tillader ikke reservationer til hele læs, hvis de ikke bruges med det samme. De arbejder sammen med pladsmanden Poul og danner et lille byggepladsteam, som aflaster formanden, så han får et tomt skrivebord.

### **Planlægning**

I planlægningen bruger de Last Planner System (LPS), som er en anden måde at tænke på end normalt, og som udspringer af TPS og Lean Construction, hvor sidste mand i leverancen trækker leverancerne og bestemmer, hvor de skal placeres og bruges. I Last Planner System arbejdes med kaotiske processer, og hovedideen er, at man skal styre nedefra og op (bottom up) i et samarbejde mellem alle fagene, hvilket er imod normal organisationsteori, der styrer oppefra og ned (top-down). Det bryder også med den klassiske projektledelse, som planlægger i mindste detalje, og at planerne derefter skal følges. Det er to forkerte forudsætninger, idet disse ikke holder, og rækkefølgen og varighederne blaffer vildt i vinden især for sammensatte bygningsdele, som Louise siger det.

I Last Planner System arbejdes på tre sammenhængende niveauer, hvor der måles PPU: Procesplaner, Periodeplaner og Ugeplaner. PPU er ikke en slags karakterbog, det er alene en metode til at finde det svageste led i kæden, som kan gøre processen bedre. Der stræbes ikke efter en PPU på 100 % i ugeplanerne. Det er her vigtigt, at alle syv strømme, aktiviteter og de tre planlægningsniveauer går i takt.

Louise henviser til Shingo [Shingo, Shigeo, 1987 & 1988], som skrev: *"It is not a matter of know how but of know why."* (På dansk: *"Det er ikke et spørgsmål om viden, men om hvordan."*) Gennem hele bogen fastslår Louise gang på gang: *"Med alle de usikkerheder vi arbejder under, må vi derfor fastslå, at planer ikke holder, fordi de ikke kan holde!"*

### **Cyklogrammer**

Louise bliver spurgt om, hvorfor man som hos DSB ikke kan bruge cyklogrammer til planlægning, når der i byggeriet er mange gentagelser fx på bygningsdelsniveau. Louise svarer, at cyklogrammer tager afsæt i, at alt skal være i orden og sættes i gang som planlagt, men sådan er det ikke i byggeriet. Her har vi stor usikkerhed, som vi fx ser, når vi sammensætter usikkerheden for hver af de syv forudsætninger for en sund aktivitet. Det findes på alle aktiviteter.

Louise opfattelse er, at usikkerheden ligger i selve systemet, og at cyklogrammet kommer til kort, fordi det skjuler, at planer ikke kan holdes. Hun ønsker en pull situation, hvor

sjakkene selv bygger og bestemmer. Cyklogrammet er en push-køreplan, og det er det modsatte af hendes ønsker. Det er derfor Last Planner System kommer ind.

### **Samarbejde**

Louise fortæller også om de forsvundne murere, som pga. andre vigtigere sager i firmaet blev flyttet fra byggesagen, så tømrerne, vvs'erne og malerne ikke kunne komme videre. Her hjalp de andre hinanden, og Louise 'overtalte' ved armvridning murerne til at komme tilbage.

I produktionsindustrien har firmaet en overordnet ledelse, som kan styre det, men i byggeriet har vi ikke en sådan. Alle har jo andre projekter, de er i gang med, og som også skal køre, hvorfor man skal forstå sammenhængene mellem firmaer, flere byggesager og kundernes behov. Hun henviser her til Parkinsons lov, der siger, at man bruger den tid, der er til rådighed, og til Murphys lov, der siger, at det der kan gå galt, går galt.

Louise tænker også på, at tage alle, som skal godkende projektet, med fra starten sammen med rådgiverne. Hun inviterer alle til et møde på pladsen, hvor de kan arbejde med løsninger. Det er både kommunen, P-vagter, Arbejdstilsynet, politiet, tømmerhandleren, bygherren, beboerforeningen og mange flere. Hun vil også gerne, at alle deltager i planlægningen i Last Planner System, som ikke foregår som normal planlægning, men med gule Post-It sedler på en fælles tavle, som mest ligner et improvisationsteater.

På sagen vælges fagentreprenørerne tidligt og arbejdet planlægges sent, men tidligt nok. Det er her vigtigt at forstå, at måske er der kun omkring syv fagentreprenører, men når alle deres specialer inkluderes bliver der over tyve, og det giver mange parter, som skal samarbejde, når vi er blevet så specialiseret.

### **Kritisk flow og præcision**

Hun reflekterer over de syv strømme, der skal styres i byggeprocessen, og hvordan Koskela så på det og på usikkerheder [Koskela, 1992, 1993, 1999 og 2000]. Hun drøfter med de andre de primære strømme og sidestrømme, og hvordan den simple grundmodel bliver meget kompliceret med sine mange forgreninger, som kan vise flaskehalse og kritisk strøm.

Hun forklarer, at det er strømmene som er vigtige i styringen af de sammenkædede aktiviteter i processen. Samtidig skal variationerne reduceres, og pålidelighed bliver derfor nøglen til styring af strømmene. Hun henviser til Shingo's beskrivelse af operationer og processer i Toyota, som er vist i figur 43 [Shingo, 1987]. Hun laver dog ikke en direkte relation med de syv strømme, byggepladsens beskrivelse og bygningens opdeling i bygningsdele parallelt til bilproduktion. Hun sammenligner den i stedet med strømme i et træ fra rødder til kviste.

### **Tegninger og beskrivelser**

Hun fortæller også om store komplicerede tegninger og beskrivelser, hvor byggepladsen nemt overser nogle detaljer. Hvordan de drøfter muligheder for mindre tegninger, som også kan inkludere beskrivelser og rettelselser, og som er rettet mod specifikke bygningsdele, bygbarhed og håndværkernes brug af disse. I dag er tegninger og beskrivelse mest rettet mod projektledelsen og rådgiverne selv, og hvordan det færdige byggeri ser ud, men ikke mod processen.

De er begyndt at sætte tegningslister op i skuret, og man pålægger alle at tjekke, om den anvendte tegning er den seneste udgave. Rådgiverne mener, det er håndværkernes problem at omsætte tegningerne af det færdige byggeri til procestegninger og udførelsesforløb. Også ingeniørernes tegninger skal kunne læses, forstås og tilpasse til den enkelte håndværker og arbejdsopgave. En idé var at samle tegninger, beskrivelsestekst og betingelsestekst i en mindre tegning. Man kunne fx sætte følgende rammer for det:

- Format – max A3 for detaljer.
- Kun vise én operation pr. tegning.
- Vise al nødvendig information og kun denne.
- Vise den forståeligt og tydeligt.
- Bruge den videre fx til kvalitetssikring.

### **Produktivitet**

Louise fortæller til samarbejdsparter, at de på byggesagen let kan øge produktiviteten med 10 %, ja måske med 20 %, hvis bare de får lov til det, og alle er med på det i et samarbejde. Hun drøfter også, hvem der får gevinsten, og hvordan man kan motivere folk til at være med. Hun giver beregningseksempler på forbedring af indtjeningen, når gennemstrømningen øges med de samme faste omkostninger.

Produktivetsforbedringer kan understøttes, hvis uge- og periodeplaner bliver mere pålidelige. De kommer her ind på, hvilke informationer, der skal tilknyttes leverancerne, så det tilfredsstiller brugerne bedst muligt, og hvordan det passer sammen med EDB og CAD-projektering. Hun siger, at der mange oplysninger, som ikke er relevante for de enkelte anvendelser, og at der mangler andre oplysninger. Hun henviser her til Poka-Yoke i TPS, hvor fejl så at sige skal finde sig selv, eller også skal operatørerne finde dem. Hun siger, at svaret er logistik, og henviser til bygningen af Empire State Building, hvor gentagelser var en central produktivetsdrivkraft.

Sidst i bogen fremhæver Louise, at man ikke kan spare sig til profit. I samtaler med tømrerformanden beklager han sig over, at økonomifolkene ser ham og hans assistenter som udgifter, som de skal spare på for at få profit. Det stresser dem ad H... til, siger han. Louise svarer, at han skal tale med mester og økonomifolkene om, at det er effektive strømme, som skaber profitten. Der er også steder, hvor økonomifolkene ikke opfatter resultatet af produktionen, som noget de skal bidrage til. De laver skemaer og rapporter til Skat, men ofte forstår de ikke, at de kan bidrage til indtjeningen ved at lade formændene være i fred, idet de er forudsætning for profit. Dvs. at baglandet også skal forstå og ikke modarbejde princippet om bedre flow, større gennemstrømning og pålidelighed som grundlag for profit. Det samme gælder billige indkøb, som kun giver profit, hvis det skaber bedre strømme. Det gælder også, at alle strømme skal være med til at skabe pålidelighed, og at en strøm ikke må falde bagud, udender gøres noget for at samle den op.

Louise henviser til Enemærke og Petersen, som er en entreprenør, der kan praktisere Lean Construction, Last Planner System, og at de er gode til at bruge en social tilgang til bedre udvikling og projektledelse. Samtidig har de en bedre bundlinje end de fleste, og hos dem er samarbejdet og udviklingen på byggepladsen sat i centrum.

### **6.4.3 Det uregerlige projekt og dets ledelse**

I 2015 udgav Sven Bertelsen (SB) i tilknytning til Lean Construction DK et sammendrag af sine mange års erfaringer, hvor han i syv essays om det uregerlige projekt satte fokus på projektet, projektproduktion og dets ledelse [Bertelsen, 2015]. Han bygger sin fremstilling på et mangeårigt samarbejde med Lauri Koskela, Glenn Ballard og Greg Howell, som han kalder 'De Tre Musketerer' eller hans 'Lean-brødre'. Han har med dem bl.a. drøftet Toyota Production System (TPS), Lean Produktion, Last Planner System, Lean Construction og Transformation-Flow-Value teori, som ligger bag hans egen VFO-teori. Samtidig har han som rådgiver i Niras samarbejdet med primære aktører i den danske byggesektor om udvikling af byggelogistik, Trimmet Byggeri og Lean Construction DK, som 'Det uregerlige projekt' også bygger på.



### **De syv essays om projektproduktion**

De syv essays beskriver henholdsvis: Det kaotiske, det dynamiske, det flydende, det komplekse, det metodiske, det selvstændige og det levende projekt. Han har i sin fremstilling forsøgt at adskille tænkning og metoden, som det fx er sket i TPS og Last Planner System. Han bruger anekdoter og forslag til forklaring af, hvad hans forslag til en ny videnskab om projektproduktion fx kan omfatte, som han kalder Project Physics. I de syv essays sættes rammerne for denne nye tværfaglige videnskab om projektet, projektproduktion og projektlejelse, som efter hans mening er uudforsket. Det er et område, byggeriet har lang erfaring med, og som de naturligt bør give bolden op til. Han foreslår, at vi i Danmark opretter et åbent tværfagligt institut eller tænketank, der som et slags refugie kan bringe førende internationale forskere sammen med danske praktikere og forskere i et fagligt stærkt, kvalificeret og inspirerende studiemiljø. De skal gennem samarbejde, udvikling og afprøvning levere ny indsigt, redskaber, publikationer, foredrag, seminarer og konferencer, som kan sætte skub i nytænkningen og styrke produktiviteten i projekter.

### **Projektproduktion opfattes komplekst og uden teori**

Projektproduktion kan svinge mellem orden og kaos og mellem laminar og turbulent strømning, hvorfor man kan bruge Last Planner System og fx også kaosteorier. Last Planner System sætter fokus på det laveste niveau i organisationen - den vigtigste planlægger, og det gennemføres i fem trin: Bør ske, kan ske, vil ske, sker og er sket. Bør og kan ske udarbejdet af funktionærerne, men alle er med og diskutere resultatet ved tavlemøder. Her graver man sig ind i procesplaner og 3-5 ugers planer og baglæns gennem processen hen mod starten. Vil ske, sker og er sket er næste uges opgaver, gennemførelsen og erfaringsopsamling med læring og udvikler, som gennemføres af håndværkerne, og hvor PPU er et vigtigt værktøj.

Sven Bertelsen mener, at planer aldrig kan holde, ikke fordi de er dårlige, men fordi projektet er uregerligt. Han foreslår, at man forstår projektet som et flow, som bygger på de enkelte operationer og skaber værdi for kunden og brugerne. Det kan balanceres i trekanten mellem Værdi-Flow-Operation, som han kalder VFO-teorien, og hvor hastigheden bestemmer projektets varighed. Han omskriver den også til: Den ønskede værdi, til rette tid og inden for given økonomi (VTØ). VFO-teorien har hver sin viceprojektleder: Value manager sikrer den aftalte værdi; flowleder, skaffer eller procesleder sikrer at hele flowet virker, og kontraktlederen styrer operationerne, mens projektlederen tager sig af helheden og koordineringen af VFO-ledelse.

Han supplerer VFO-teorien med forståelse af fejl som en investering og grundlag for læring og udvikling på linje med TPS. Herved kommer projektet også til at svinge mellem statisk fremdrift og læring i både horisontal og vertikal retning. Han mener, at vi hænger fast i Renæssancens verdensorden, hvor sammenhænge forstås som et urværk, hvor vi kun ser på de enkelte dele og ikke på helheden (tandhjulsteorien). Samtidig forstår vi fejl som en omkostning, og noget vi skal skamme os over og ikke som grundlag for læring. Brug af MS Project, Gantt kort og på det seneste også Location Based Management (Cyklogramplanlægning) bygger stadig på ordnede operationer - altså på urværksmodellen. Det samme siger han også om projektlejelse, hvor man ikke leder projektet, men som blot administrerer planer og kontrakter som del af urværksmodellen.

### **Trimmet Byggeri og de 7 strømme**

Trimmet Byggeri [Bertelsen et al., 2012] er Lean Construction og Last Planner System tilpasset danske forhold, og det bygger på erfaringer fra logistikforsøg i Sophiehaven [BBST, 1993 & 1994], samarbejdet i Projekt Hus i temagruppe 4 om industrialisering [Beim et al., 2001] og samarbejdet om introduktion til byggelogistik [Clausen, 1995] og [Clausen et al., 1996]. Følgende 7 strømme skal være opfyldt for at skabe en sund opgave: Foregående arbejde, plads, information, mandskab, materiel, materialer og de ydre forhold. Sven Bertelsen

skriver, at de 7 strømme godt kan være sammenfiltret. I stedet for at se på den kritiske strøm, som er meget kompliceret, foreslår han, at man ser på den mest kritiske af de 7 strømme.

I forsøgene brød de også med fokus på de enkelte operationer og så i stedet på deres sammenhænge. De så ikke på fremdriften, men hvad der blev frigivet af færdigt arbejde, som den næste håndværker kunne arbejde videre på. Her opstod begrebet: Færdig eller helt færdig, hvor den afleverende meldte det færdigt, og hvor modtageren meldte det helt færdigt, når han havde modtaget arbejdet.

Sven Bertelsen gentager, at planer aldrig kan holde, ikke fordi de er dårlige, men fordi projektet er uregerligt. Han vil derfor helst vaske tavlen ren og begynde forfra, så der ikke skal være noget med smårettelser og forbedringer uden af vide, hvad der skabte dem. Der er store gevinster at hente, idet han påpeger, at håndværkerne kun bruger 1/3 af tiden til at bygge, mens 1/3 går til forberedelse og 1/3 til at vente.

### **Pålidelighed, PPU, pull-tænkning og samarbejde**

I et strømnings-perspektiv for projektproduktion er pålideligheden samt samarbejde, delegering og afleveringen mellem deltagerne afgørende, samt at man ikke suboptimerer operationerne. Sven Bertelsen henviser til John D. C. Little – Little's Lov: Throughput (TP) som er gennemløb af produkter der betales af kunden = Work in Progress (WIP) / Cycle Time (CT). Dvs. det samme produktionsapparat kan med øget CT producere mere TP. Det gøres ved at udjævne strømmene og gøre det mere pålideligt. I Last Planner System registreres og forbedres pålideligheden ved hjælp af PPU (Procent af det Planlagte, der blev Udført), og man har fokus på flaskehalse (Theory of Constraints ved Elihaou Goldratt).

Sven Bertelsen mener, at push sker fra højeste niveau, mens pull sker fra laveste niveau i organisationen. Push er bedst i ordnede systemer, mens pull er bedst i usikre situationer og systemer med store variation. Last Planner System en pull-tænkning, hvor man kan skruer på tidsperspektivet og nøjagtigheden. Pull-tænkningen kræver en pålidelig mand på stedet, som selv kan vurdere situationen – the last planner, og han bliver pludselig nøglepersonen i procesledelsen. Pull-tænkningen er et system, som styrer sig selv. Sven Bertelsen fatter ikke, at ingen syntes at forstå det, idet man ansætter den billigste arbejdskraft frem for den bedste. Hans timeløn er nok billigst, men han kan ikke løse komplekse problemer på stedet. Man skal i stedet gøre the last planner til medarbejder frem for til arbejder, inddrag ham og giv ham ansvar og stimuler ham. The last planner modtager ikke opgaverne i ugeplanen, hvis ikke de er sunde. Samlet er det, der i TPS kaldes Kaizen.

Pull sker bedst i et samarbejde, som Sigmund Aslesen, Veidekke, Norge kalder 'Den sociale logistik', og som bygger på common mindset – en fælles forståelse. Han fik fx selv folk til at se spildet og foreslå forbedringer. Han skriver også, at det ikke er et spørgsmål om at styre projektet, men om at lede deltagerne i projektets realisering. Den britiske konsulent Alan Mossman omtalte det som det 8. flow. Modsat ser Sven Bertelsen det som en fælles forståelse skabt gennem en social proces, som er et sideprodukt af en god byggeproces, hvor det er sjovt for alle at arbejde. De syv strømme bygger på tillid i modsætning til mistillid i den traditionelle proces. Trimmet Byggeri er også blevet kaldt partnering fra bunden, som ellers udspiller sig fra de øverste lag i organisationen. Det nye princip passer godt til den danske model, idet det ud over strømme også giver arbejdsglæde, bedre arbejdsmiljø og øget sikkerhed. Samtidig støtter det også dem, som gerne vil arbejde selvstændigt, så opgaven mest bliver at holde de friske initiativer i live.

Vigtigt er det også, at man selv kan se og forstå processen, det er det TPS kalder Gemba, og som i vores vestlige fortolkning betyder 'gå ud at se'. I Last Planner System tales

både om hvorfor (know why) og om metoder, værktøjer og manualer. Sven Bertelsen skriver, at de danske forsøg med byggelogistik havde de samme principper, men manglede know why og teorien.

### **Sammendrag af det uregerlig projekt**

Sven Bertelsen sætter her fokus på en manglende videnskab om projektproduktion (Project Physics) i forhold til håndværks-, masse- og leanproduktion, og han fremhæver følgende forhold i forståelsen:

- Project Physics bør både indeholde tænkning og metodebeskrivelser.
- Projekter er uregerlige og planer kan aldrig holde, selvom de er gode.
- Projekter kan både være ordnede og kaotiske samt balancerede mellem laminar og turbulent strømning.
- Projekter skal ses som Flow i balance med Værdi og Operationer jf. hans VFO-teori, som kan illustreres som en trekant.
- Projektet kan omfatte både statisk fremdrift, læring og udvikling, og det kan både være i en horisontal- og vertikal retning i organisationen.
- De syv strømme skal opfyldes for at få en sund opgave, og PPU kan bruges til styring af pålidelighed. Færdigt og helt færdigt er, når både levering og modtagelse af opgaven er accepteret.
- Push er styring fra højeste og pull er styring fra laveste niveau i organisationen, men det skal styres i balance og med mere vægt på pull. Sven Bertelsen nævner ikke noget om push og pull langs leverancekæden.
- Trimmet Byggeri sker bedst i et samarbejde fx kaldet 'den sociale logistik', og den bygger på et common mindset – en fælles forståelse. Trimmet Byggeri bygger også på tillid og pålidelighed og kaldes ofte Partnering fra bunden.
- I Danmark kan vi fx iværksætte Project Physics i et åbent institut eller tænketank, som videndeler og motiverer til styrket produktivitet i projekter.

## **6.5 SBI-forskning i byggeproces og -logistik**

SBI-forskning i byggelogistik er en del af SBI's forskning i byggeproces, -ledelse og innovation. I litteraturliste på side 178 er der givet en oversigt over udvalgte links til de 92 SBI-publikationer om byggeproces. Indholdet i dette afsnit beskrives under følgende overskrifter:

- 6.5.1 Generelt om SBI/BUILD forskning i byggeprocessen.
- 6.5.2 SBI-publikationer om byggelogistik før 1990.
- 6.5.3 SBI-publikationer om byggelogistik i 1990'erne.
- 6.5.4 Byggelogistik-projekter med deltagelse af SBI, 2014-21

### **6.5.1 Generelt om SBI/BUILD forskning i byggeprocessen**

Byggelogistik (Construction Supply Chain Management, CSCM) opfattes på SBI og AAU BUILD som en del af forskningen i byggeproces, ledelse og innovation, som bl.a. foregår i 'Forskningsgruppen for proces og innovation' (Construction Management and Innovation). Det er tydeligt, at forskning og ikke mindst praksis i byggelogistik afhænger meget af, hvor godt byggeledelse, byggeprocessen, læring og innovation i øvrigt forstås og praktiseres. Samtidig er byggelogistik ofte under radaren både i praksis og i udvikling, og den bliver overskygget af andre dagsordener i byggeriet og samfundet som fx energikrise, digitalisering, bæredygtighed og klimakrise.

Vi ser først på SBI's forskning i byggeprocessen, hvor man kan danne sig et overblik over det, ved at se på de publikationer SBI har udgivet fra 1960'erne til 2020. I dette overblik er ikke inkluderet forskningsartikler på internationale konferencer og i fagtidsskrifter. Disse

artiklers antal er øget de senere år, efter SBI er blevet en del af Aalborg Universitet (AAU) og på det seneste er blevet inkluderet i et samlet institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD) på AAU.

En søgning på linket <https://sbi.dk/Pages/Search.aspx?q=&t=Publikationer> med de 7 søgeord (byggelogistik, byggeproces, digitalisering, dokumentation, industrialisering, ledelse og økonomi) gav 92 publikationer inden for procesforskning, som er udgivet i perioden 1963-2020 på udgivelsesserierne:

- Uden for serier: 4 publikationer udgivet 2003-20.
- SBI-forskning: 59 publikationer udgivet 2004-20.
- By og Byg Dokumentation: 10 publikationer udgivet 2001-04.
- By og Byg Resultater: 5 publikationer udgivet 2001-04.
- SBI-rapporter: 6 publikationer udgivet 1995-99.
- SBI-anvisninger: 8 publikationer udgivet 1963-2014.

Ser vi herefter på SBI forskning i byggelogistik, så deler den sig i 3 perioder med følgende fokus, hvor der mellem disse perioder ikke er arbejdet med byggelogistik:

- 1970'erne, hvor fokus var på planlægningsværktøjer som fx cyklogramplanlægning, som blev udgivet som SBI-anvisning 91 [SBI, 1972].
- 1990'erne, hvor fokus var på byggelogistik som del af en udvikling af Lean Construction, og som havde relation til anden forskning i samarbejde, organisering og ledelse på byggepladsen (BygSOL) og 'Den selvstyrende byggeplads' [Bertelsen, 2005] og [Bertelsen, 2010a]. Der blev her udgivet de 3 publikationer:
  - SBI-anvisning 91 om introduktion til byggelogistik [Clausen et al., 1996].
  - SBI-rapport 256 om logistik i byggeriet [Clausen, 1995].
  - SBI-rapport 316 om erfaringer med 6 forsøgsbyggerier [Clausen, 1999].
- 2014-21, hvor fokus er på udvikling af bedre samarbejde, praksis, læring og innovation i projekterne, er der pt. igangsat 5 projekter, hvor de 4 sidste har taget afsæt i det første:
  - 'Effektiv byggelogistik i praksis' som er et SBI-forskningsprojekt der gennemførtes i perioden 2014-20, og som er rapporteret i denne vejledning.
  - 'Construction Supply Chain Management' som er et SBI og M T Højgaard erhvervsphdprojekt, og som gennemføres i perioden 2017-2020.
  - 'BLOXHUB Tværfaglig Byggeskole' (Summer School) som er et SBI og BLOXHUB projekt, som gennemføres sammen med 5 universiteter og skoler i 5 forskellige undervisningsmoduler i 2018-21.
  - 'Japan-DK Seminar 'Gemba Kaizen and i-Construction' som blev afholdt af SBI som et heldagsseminar i 4 temaer den 13/9 2019 i København med 3 japanske gæster og 47 danske deltagere. Seminaret er rapporteret i SBI-rapport 2020:13 [Bertelsen, 2020].
  - 'Effektiv styring og håndtering af byggematerialer' som er en TI ledet udvikling af 4 guidelines, pixihæfter eller YouTube i byggelogistik, og som gennemføres i perioden 2019-21.

### 6.5.2 SBI-publikationer om byggelogistik før 1990

Som nævnt var fokus i 1970'erne på udvikling af procesværktøjer, og der blev her skrevet en SBI-anvisning 91 om anvendelse af cyklogram, som har relation til lokationsstyring i byggelogistik.

### **SBI-anvisning 91, Cyklogram som arbejdsplan, 1972**

I [SBI, 1972] gives en forståelse af cyklogram som arbejdsplan, som har to dimensioner, hvor tid vises ud ad x-aksen, hvor sted og arbejdsområder vises op ad y-aksen, og hvor aktiviteterne angives som skrånede streger i diagrammet. I cyklogrammet afbildes aktivitetskæder med varierende tidsforløb gennem byggeriet for ellers ens aktiviteter og med faldende tidsforbrug som følge af gentagelseseffekten. Vejledningen sætter følgende definitioner:

- Et *arbejdsområde* er et afgrænset geografisk område (sted/lokation) inden for det samlede byggeområde. Det behøver ikke at have en synlig afgrænsning i bygningen. Det betegnes også som en celle.
- En *aktivitet* er en operation eller samling af operationer i et arbejdsområde. En aktivitet er således et handlingsforløb, som bringer produktet (huset) nærmere sluttstanden inden for arbejdsområdet.
- En *aktivitetskæde* er en række af ensartede aktiviteter i hvert sit arbejdsområde. Afstanden mellem to aktivitetskæder og dermed også de to byggesjak kan fordre, at der også er både en rumlig og tidsmæssig afstand mellem dem. Den rumlige afstand er udtryk for, at hvert byggesjak må have et vist råderum for deres arbejde, hvor der ikke er plads til andre byggesjak.

Til en aktivitet kan knyttes mandskab, materiel og materialer, hvor de to første betegnes resourcebelastning, idet den anvendes i aktiviteten, og hvor den sidste betegnes forbrugsresource, idet den forbruges i aktiviteten.

Der forklares dernæst, hvordan man på fx kvadreret papir kan optegne cyklogrammer. Det kan også gøres på en række edb-programmer og terminaler med skrivemaskiner og dataskærme, men denne udvikling går så hurtigt, at man bør spørge edb-servicebureauerne.

Der forklares med forskellige illustrationer, hvordan man opnår sammenhængende og jævne aktivitetskæder samt en stabil ressourcebelastning og -forbrug. Det kaldes byggepladsens flydende produktion, og her er gennemløbstiden den samme for alle aktivitetskæder, så den samlede byggetid kan blive så kort som mulig. Det kan sammenlignes med fabriksproduktion blot står 'samlebåndet' (husets lokaliteter) stille, mens byggesjakkene bevæger sig langs 'samlebåndet'. Herved bliver produktionstiden mindre og mindre fra gentagelse til gentagelse. Den flydende produktion fra gentagelse til gentagelse har også den fordel, at det forenkler arbejdsinstruktionerne, og at arbejderne bliver mere og mere øvede. Samtidig bliver styringsindsatsen mindre, efterhånden som produktionen bliver rutine. Flydende produktion defineres som:

- *Kontinuerligt* produktionsforløb er, når aktiviteterne følger umiddelbart efter hinanden i aktivitetskæden.
- *Jævnt* produktionsforløb er, når ressourcebelastningen er den samme i alle aktiviteter i aktivitetskæden.
- *Rytmsk* produktionsforløb er, når varigheden enten er den samme for hver aktivitet, eller er jævnt aftagende fra aktivitet til aktivitet i aktivitetskæden.
- *Harmonisk* produktionsforløb er, når det er kontinuert, jævnt og rytmisk samtidigt.

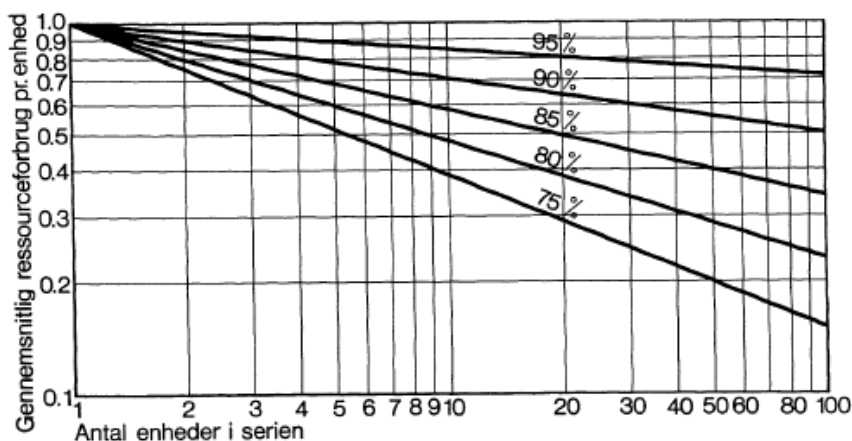
I praksis vil opdelingen i arbejdsområder ofte være givet på forhånd i form af den naturlige opdeling af bygningen. Derimod vil rækkefølgen af aktiviteter og dermed aktivitetskædens forløb og produktionsvejen gennem projektet have flere muligheder. Disse valg af aktivitetsrækkefølge spiller sammen med opdelingen i byggesjak. Følgende anbefales, for at opnå en kortere byggetid:

- Produktionsvejen er den samme for alle aktivitetskæder.
- Byggesjakkets størrelse afpasses så alle aktiviteter har samme varighed. Det samme gælder for materielindsatsen.

- Opdeling i flere og mindre arbejdsområder og byggesjak bidrager til en kortere byggetid.
- Planen skal være så enkel som mulig, hvilket gør den nemmere at styre i praksis.
- Detaljeringen skal stå mål med usikkerhederne for præstation og varighed.

Som sagt ønskes gentagelses- og træningseffekten udnyttet i den flydende produktion, idet både produktions-, instruktions- og kontroltid falder ved gentagelser. Jf. litteraturen fås et tilbagefald, hvis produktionen afbrydes, metoderne ændres, anvendelse af store byggesjak eller personalet udskiftes, mens fuldt udnyttet maskintid bremser forbedringen. Fra litteraturen vises eksempler på beregning af gentagelseeffekt, som det fx er illustreret i figur 41. Her kan reduktion af ressourceforbruget y-aksen beregnes efter antal gentagelser på x-aksen og indlæringsprocenterne 95-75 % i det dobbelt logaritmiske koordinatsystem.

For at arbejdsplanen kan blive effektiv, må der følges effektiv op på den fra byggeledelsens side, både i form af instruktioner, oplæring og overvågning af arbejdets forløb. I vejledningen henvises til generel litteratur om overvågning, men man giver også forslag til, at det faktiske forløb kan følges ved at indføje disse værdier i cyklogrammet for planlagt procesforløb.



**FIGUR 56.** Reduktionen af ressourceforbruget bestemmes af antal gentagelser (antal enheder i serien) og indlæringskurverne fra 95-75 %. Kilde [SBI, 1972]

### 6.5.3 SBI-publikationer om byggelogistik i 1990'erne

#### SBI-rapport 256, Logistik i byggeriet, 1995

I rapporten [Clausen, 1995] gives en forståelse af logistikbegrebet med baggrund i en redegørelse om de hidtidige erfaringer, og der gives forslag til forbedringsmuligheder.

Logistik i byggeriet omfatter planlægning, organisering og styring af materialestrømme fra råstofindvinding til indbygning i det færdige bygværk, og de kan ses i et virksomheds- eller et projektperspektiv. En god logistikpraksis kan tage udgangspunkt i principperne:

- En logistikrigtig projektering som understøtter produktionsprocessen både byggeteknisk og økonomisk.
- En produktions- og leveranceplanlægning hvor leverancerne tilpasses taktslaget på byggepladsen, indbygning sker i direkte forlængelse af levering, tildannelse på byggepladsen reduceres og intern transport minimeres.
- En drift af byggepladsen med mindst mulig håndtering, transport og oplagring af materialer og byggevarer.
- En indkøbspolitik med minimering af de totale byggeomkostninger og tydelige logistikomkostninger.

- En styring og ledelse med vægt på optimering af de enkelte entrepriser, tværgående koordinering og aktiv engagering i beslutninger i udførelsen.
- En ny samarbejdsform med langsigtet helhedssyn og tillid mellem parterne, fælles læreprocesser og erfaringshåndtering.

Logistik i byggeriet afgrænses til de virksomheder, der medvirker i byggeopgavens gennemførelse med bygherren som opgavestiller, og som arbejder med: Projektering, produktion/udførelse, byggepladsen og leverancedelen. Logistikdelen kan omfatte: Planlægning, styring, den fysiske materialestrøm og informationsstrømme. Det foreslås, at logistikmodellen i første omgang frigøres fra bestemte organisationsvalg. Der arbejdes både med eksterne og interne materialestrømme herunder modtagekontrol, oplagring og indbygning, som hænger tæt sammen med de øvrige planlægnings- og styringsaktiviteter.

Den nuværende praksis beskrives under følgende overskrifter: Projektering, indkøb, levering, produktionsplanlægning, udførelse på byggepladsen og planlægning og drift af byggepladsen. Der gives herefter forslag til god logistikpraksis, som beskrives under de samme overskrifter. Her lægges bl.a. op til anvendelse af en unit-opdeling som grundlag for leveranceplanlægningen og opstilling af logistikprofiler til opkvalificering af leveranceplanlægningen herunder checkliste med 8 egenskaber. For byggepladsen foreslås følgende elementer: Håndtering af materiel, tilkørselsveje og interne veje, lagerplads, tildannelsessteder samt byggepladsens skure, forsyning og diverse sikkerhedsforanstaltninger. Der henvises i rapporten her til forsøg med materialestyring fra Sophiehaven-projektet i 1991-94 [BBST, 1993 & 1994]. Der skrives desuden, at informationsteknologien kan lette arbejdet med at lave de forskellige planer, og at der savnes oplysninger om rationaliseringsgevinster for projektet, hvis byggepladsen samles i en byggepladsentreprise.

Rapporten foreslår fortsat forskning og udvikling på følgende områder:

- Ny samarbejdsformer i byggeriet.
- Kommunikation og elektronisk samhandel.
- Logistikomkostninger.
- Logistikrigtig projektering.
- Målemetoder, opfølgingsrutiner og styringsværktøjer.
- Kortlægning af logistikaktiviteterne i renovering.

### **SBi-anvisning 191, Introduktion til byggelogistik, 1996**

I 1996 udgav SBi den første anvisning i byggelogistik, som er en kort introduktion til byggelogistik på 30 sider [Clausen et al., 1996]. Anvisningen har til formål at skabe en fælles forståelse blandt virksomheder for logistikaktiviteter, samarbejde og metoder. Den bygger bl.a. på viden fra forsøgene med materialestyring i byggeprocessen i byggeriet Sofiehaven i Hillerød [Bygge- og Boligstyrelsen, 1993 og 1994] og SBi-rapport 256 om logistik i byggeriet [Clausen, 1995], som er beskrevet ovenover.

Fokus i anvisningen er på byggevarerleverancer til byggepladsen, og hvordan de planlægges, styres, organiseres og koordineres i alle faser og på alle niveauer. Dvs. at anvisninger kan anvendes på den enkelte entreprise, på hele byggeprojektet og i den enkelte virksomhed. Formålet er at bidrage til at reducere omkostninger til ekstern og intern håndtering samt produktionen på byggepladsen. Samtidig skrives også, at kvalitet og arbejdsmiljø kan forbedres, og at ressourceforbrug og affaldsmængder kan reduceres.





Anvisningen slutter med at forklare de fordele, der høstes af en god byggelogistik, når håndværkerne monterer byggevarerne i det færdige byggeri. Ventetid, spild, fejl og mangler er her væsentlige styringsparametre. I tilknytning til udførelsen beskrives etablering af byggeplads med koordinering af materiel og transport, samt at samarbejde mellem håndværkerne kunne være en fordel. Der gives også en checkliste over byggepladsens logistikaktiviteter opdelt i: Transport, modtagelse, oplagring og håndtering. Anvisningen slutter med en halv sides råd om erfaringsopsamling, bearbejdning og synliggørelse af omkostninger.

### **SBI-rapport 316, Byggelogistik - Erfaringer med 6 forsøgsbyggerier, 1999**

I rapporten [Clausen, 1999] sammenfattes erfaringerne fra de 2 Sophienhaven-projekter fra 1991-94 [BBST, 1993 & 1994] og 4 efterfølgende forsøgsbyggerier gennemført i 1991-1996. I de 6 projekter analyseres bestræbelserne for at udvikle og indføre et logistiksystem i dansk byggeri, som blev kaldt 'Sophienhaven-modellen'. De 6 byggerier er: Sophienhaven i Hillerød etape 1, Sophienhaven i Hillerød etape 2, Engbuen i Allerød etape 1, Engbuen i Allerød etape 2, Bækkegården i Ølstykke og Boldbanen i Stenløse. Alle er de almenyttige boligbyggerier, og udviklingsdelen er gennemført under Boligministeriets udviklingskvoter og har modtaget dispensationer fra udbudscirkulæret. De 4 første byggerier er udført i hovedentreprise, mens de 2 sidste er udført i fagentreprise.

Niras har været ansvarlig for udviklingen. Skafferfunktionen (materialekoordinator) er i de 4 første byggerier varetaget af hovedentreprenøren, mens den i de 2 sidste er varetaget af den rådgivende ingeniør. Skafferfunktionen er finansieret fra forsøgsmidlerne og af underentreprenørerne i forbindelse med tilbudsgivningen. På de 2 midterste byggerier blev der ud over modellen og skafferfunktionen også afprøvet et koncept for dataudveksling. Efter de første byggerier blev fokus i stigende grad rettet mod processen og organiseringen af logistiksystemet. Det stod klar, at man blev nødt til at udvikle nye samarbejdsformer, som passede til logistik, hvilket der især blev fokuseret på i de 2 sidste byggerier. I forsøgene blev der sideløbende udviklet nye evalueringsmetoder, da der var småt med fortilfælde før det for logistikforsøg. Her blev erfaringer og data registreret løbende i byggeprocessen og samlet ved byggesagens afslutning. Desuden var grundlaget for evalueringen en hændelsesregistrering, byggemødereferater og interview af alle deltagerne. En sammenligning med normalt byggeri var ikke praktisk muligt, men entreprenørerne gav dog en sammenligning ud fra deres tommelfingerregler.

Hvad blev der lært om byggelogistik? Det vurderes, at man har opnået besparelser på 5-10 % af håndværkerudgifterne. I 2. byggeri lykkedes det også at afkorte byggetiden. Der var ikke muligt at vise en produktivetsforbedring fra 1. til 6. byggeri, hvilket vurderes at skyldes få gentagelser, og at der fra byggeri til byggeri var brug for en informations- og oplæringsindsats før hvert byggeri. Der manglede også en styring af udviklingsindsatsen fra virksomhedsledelsen, hvorfor principperne ikke var tilstrækkeligt forankret i virksomhedernes praksis. Uforudsete og omkostningskrævende hændelser ved materialeleverancer til byggepladsen blev reduceret i antal, og der var færre fejl og mindre svind og spild i byggeprocessen. Forsøgene viste også gode perspektiver for et mere integreret samarbejde i fremtiden. Gevinsterne fordelte sig forskelligt mellem rådgivere, entreprenørvirksomheder, håndværkersvende og leverandører. Samtidig fik producenterne en øget omkostning, og det samme gjaldt også den rådgivende ingeniør.

Entreprenørerne oplevede i starten, at systemet virkede meget bureaukratisk, men i forløbet oplevede de et bedre overblik over materialeforbruget og lettere planlægning. En tømrer- og snedkervirksomhed samlede deres indkøb hos én grossist, hvilket viste sig lidt dyrere, men det gav lavere omkostninger til koordinering, bedre rutiner og færre fejlskspeditioner. Samlet set, var samling af indkøb en fordel.

---

#### Filosofien - "just-in-time" produktion

- Leverancer planlægges efter arbejdets fremdrift på byggepladsen.
- Indbygning i forlængelse af levering til byggepladsen – undgå lagre.
- Minimering af bestillinger i sidste øjeblik.
- Tidligere og tættere samarbejde mellem projekterende, udførende og leverandører i byggeprocessen.
- Aktiv byggeledelse - "produktionschef" på byggepladsen.

#### Administrative hjælpemidler – logistikværktøjer

- Tids- og aktivitetsplaner
- Unitspecifikationer
- Leveranceplaner
- Afkaldeplaner
- Pladsplaner

#### Drift af logistiksystem - "skafferen"

- Sikre korrekt anvendelse af logistikværktøjer.
  - Koordinering og afkald af leverancer til byggepladsen.
  - Sikre modtagekontrol og evt. anvisning af lagerplads.
  - Kontakt til leverandører.
  - Modvirke "suboptimering" i byggeprocessen.
  - Koordinering af fælles materiel på byggepladsen.
- 

**FIGUR 59.** Oversigt over de væsentligste elementer i logistiksystemet fra 'Sophiehaven-modellen'. Kilde [Clausen, 1999].

Skafferfunktionen er en grundpille i logistiksystemet, men forsøgene kunne umiddelbart ikke dokumentere effekten, hvilket givet skyldes afhængighed af entreprisform og deres individuelle råderum. I fremtiden bør man kunne adskille en vurdering af selve funktionen og skaffernes personlige kompetencer. Til slut noteredes det, at følgende var uafklarede spørgsmål:

- Transporten fra leverandør til byggeplads.
- Forskellige former for leveranceservice.
- Håndtering og oplagring af byggevarer på byggepladsen.
- Diverse administrative funktioner hos de enkelte parter.
- Størrelse og fordelingen af logistikomkostningerne.
- Ansvarsfordeling i forhold til skafferfunktionen.
- Betydningen af reglerne for udbud af støttet byggeri.
- Øget brug af informationsteknologi i logistiksystemet.

Sidst i rapporten er samlet erfaringer med det formål at gennemføre et udviklingsprojekt. En vigtig faktor er inddragelse af de enkelte aktører, hvilket har betydning for deres engagement og vilje til at støtte udviklingen økonomisk. Niras fungerede som den røde tråd i forsøgsrækken og leverede både teknisk ekspertise og direkte udvikling, hvilket krævede særlige kompetencer. Skafferen har styret den daglige afprøvning, herunder at overtale håndværkerne og leverandørerne til at efterleve spillereglerne. Det nævnes også, at Boligministeriet har spillet en konstruktiv rolle i forløbet.

Succes med implementeringen afhænger af, hvordan deltagerne evner af forhandle og overbevise de øvrige parter, og hvordan der kommunikeres bredt ud til alle parter i projektet herunder også til håndværkssvendene. Et sidste punkt som her nævnes er, at byggeopgaven 'skygger' for udviklingsopgaven, så opmærksomhed trækkes væk fra udviklingen. Man

arbejdede også meget med løsning af praktiske og økonomiske problemer i byggeprocessen, som skyggede for udviklingen. Man stillede det spørgsmål, om små almennyttige projekter overhovedet er egnede til forsøg? Det påpeges også, at en vigtig succesfaktor er, hvor god man er til at håndtere problemer og konflikter gennem forløbet.

Rapporten afsluttes med at give nogle betragtninger om udbredelsen af logistikideerne til hele byggeriet. Det er en almindelig opfattelse, at de nye logistiktanker endnu ikke er slået bredt igennem i byggeriet, og der ikke er foretaget tilbundsgående undersøgelser af logistiksystemets udbredelse og anvendelse. Forklaringen må søges i nogle mere grundlæggende og strukturelle forhold om udvikling og implementering af innovation i byggeriet. Det kan fx dreje sig om problemer med omkostningsfordelingen, hvordan virksomhederne får et økonomisk udbytte af udviklingsindsatsen, og hvordan man skaber klare incitamentsstrukturer. Fra litteraturen er hentet følgende faktorer, som har betydning for udbredelsesraten for en innovation, og her er logistik ugunstigt stillet:

- Innovationens karakteristiske træk og egenskaber herunder relative fordele, brug af normer, kundekrav, kompleksitet, prøvbarhed og synlighed.
- Typer af beslutningsproces.
- Kommunikationskanaler.
- Det sociale systems beskaffenhed.
- Forandringsagenter.

Desuden har ingen enkeltparter på egen hånd mulighed for at indføre logistiksystemet. Nogle forskere karakteriserer derfor byggeriet som fastlåst over for forandringer, fordi innovationen skal indføres i et netværk af et betydeligt antal aktører, hvor forandring opfattes som en trussel. Derfor ser løsningen ud til at være et nyt og tættere samarbejde blandt byggeriet parter. Forfatterne mener også, at det skyldes de fastlåste faggrænser, som er vanskelige at bevæge. Er løsningen måske en fælles læreproces og mange mindre udviklede løsninger over en længere årrække, som kan trække fordringerne frem?

#### **6.5.4 Byggelogistik-projekter med deltagelse af SBI, 2014-21**

I 2014 begyndte, efter 15 års stilstand, en ny epoke af forskning i byggelogistik på SBI, som pt. er samlet i de 5 projekter:

- Forskningsprojektet 'Effektiv byggelogistik i praksis', 2014-20.
- Erhvervsphd 'Construction Supply Chain Management', 2017-20.
- Uddannelse i tværfaglighed og praksissamarbejde, 2018-21.
- Japan-DK Seminar: Gemba Kaizen and i-Construction, 2019.
- TI-projekt, udvikling af 4 læringsværktøjer til materialehåndtering, 2019-21.

##### **Forskningsprojektet 'Effektiv byggelogistik i praksis', 2014-20**

I 2014 igangsatte SBI projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis' i samarbejde med Teknologisk Institut, Incentive, PKEConsult, Dansk Byggeri, Enemærke, M T Højgaard, AL2bolig og Danske Fragtmænd, og det blev støttet finansielt af Trafikstyrelsen, GI og Realdania. Projektets målsætning var gennem en bedre organisering og effektivisering af byggeriets logistik at reducere belastningen af miljøet fra transporter til, på og fra byggepladsen af materialer, affald og materiel. Samtidig skal projektet bidrage til, at bygge- og leveranceprocessen effektiviseres, sikkerheden øges og den leverede kvalitet forbedres til gavn for byggeriets samlede produktivitet. Udviklingen af logistik- og transportprocessen inden for byggeriet ønskes støttet af en fælles normdannende vejledning, som kan lægge op til en ny eller revideret SBI-anvisning af SBI-anvisning 191 [Clausen et al., 1996], som har baggrund i SBI-rapport 256 [Clausen, 1995] og SBI-rapport 316 [Clausen, 1999]. Projektet gennemføres i følgende 5 aktiviteter med formål, ydelser, leverancer og milepæle:

- 1. Gennemførelse af effektiv byggelogistik på flere byggesager.
- 2. Vejledning i effektiv byggelogistik med produktivitetsudvikling.
- 3. Udvikling af transportstyring, leverancelokalisering og lagerhoteller.
- 4. Benchmarking, perspektivering og innovationsstrategier.
- 5. Afprøvning af uddannelse med dokumenteret kompetenceløft.

Følgende byggesager indgår i udviklingen af byggelogistik på forskellig måde, hvor hovedvægten er lagt på de 3 første:

- Renovering af almen boligbebyggelse Vapnagård, Helsingør.
- Nybygning af Nordea Domicil, Amager.
- Renovering af almen boligbebyggelse Åbyhøjgården, Aarhus
- Renovering af Husum Skole, København.
- Renovering af Sølvgade Skole, København.
- Renovering af privat boligudlejning Østergaarden, København.
- Screening af 8 andre byggesager af forskellige type.

#### *Erfaringer fra byggesager er vist i arbejdsrapporter*

På byggesagerne er der samlet informationer og indtryk af stedet for byggelogistik i Danmark. På udvalgte dele af byggesagerne er der foretaget en nærmere dokumentation af konkrete udviklingsområder inden for byggelogistik, hvilket fx drejer sig om: Udbud- og tilbudsprocessen; effektivisering af byggelogistik; analyser af byggelogistik for betonråhuset og facadeløsninger; anvendelse af BIM, VDC og procesdigitalisering; aftaler om logistikforsøg samt metoder til evaluering og spørgeskemaanalyse. Desuden er der udarbejdet en samlende arbejdsrapport for byggesagen Vapnagaard samt to samlende arbejdsrapporter for udviklingen af uddannelse og byggepladslæring samt udviklingen af benchmarking af byggelogistik.

Disse arbejdsrapporter er tilgængelig i en pdf-version på [AAU BUILD web](#) ved at dobbeltklikke på følgende links:

#### *Byggesagen Vapnagaard, Helsingør*

- [2015 Vapnagaard Helsingør EogP arbejdsrapport](#)

#### *Byggesagen Nordea Domicil, Amager*

- [2015 Nordea Domicil effektiv logistik v Trap&Madsen](#)
- [2015 Nordea Domicil analyse af råhus v Nielsen](#)
- [2015 Nordea Domicil workshop hos MTH](#)
- [2015 Nordea Domicil logistikanalyse facader v Zoega](#)
- [2015 Nordea Domicil BIM-interview MTH v Trap](#)
- [2015 Nordea Domicil billeder af facader v Bertelsen](#)
- [2018 Nordea Domicil procesdigitalisering v Trap](#)

#### *Byggesagen Åbyhøjgården, Aarhus*

- [2014 Åbyhøjgården Tilbudsmappe MTHøjgaard](#)
- [2014 Åbyhøjgården udbud logistikforsøg betænkning](#)
- [2015 Åbyhøjgården 3 tilbudsinterview 1MTHinterview](#)
- [2017 Åbyhøjgården evaluering plan metode spørgsmål](#)
- [2017 Åbyhøjgården logistik spørgeskemaer forslag](#)

#### *Byggesagerne Husum Skole og Sølvgade Skole, København*

- [2015 Husum Sølvgade skoler udbud tilbudvalg](#)

#### *Tværgående analyser*

- [2015 Uddannelse læring afprøvning v Davidsen&Dam](#)
- [2016 Benchmarking logistik miljø v Henriques](#)

### *Erfaringsdeling på workshop og branchemøder*

Der er desuden samlet mange nyttige informationer om samarbejdsmuligheder og udfordringer for udviklingen af byggelogistik fra 11 ½-dages workshops og 2 heldags konferencer samt en serie branchemøder i perioden fra 2014-18. På hver af de 11 workshoper blev et udviklingsområde behandlet, som dækkede følgende centrale dele af byggelogistik: Byggesagen, leverancer, varemodtagelse, uddannelse, benchmarking, projektering, bygherrekrav, byggeledelse og ikke mindst erfaringsudveksling.

Erfaringerne viste et stort behov for, at der skabes en samlet forståelse for og samarbejde om udvikling af byggelogistik gennem både leverancekæden og planlægningskæden, som trækkes af behovene i byggepladsproduktionen. Erfaringerne viste også, at der var meget viden og mange erfaringer, og at der var stor åbenhed om at udveksle dem. Men det viste sig også, at der manglede et fælles overblik og en praktisk arbejdsmodel for, hvordan udviklingen kunne koordineres, accelereres og implementeres bredt på landsplan, som kunne involvere alle aktører, organisationer og skoler.

Som på byggesagerne ligger der også her mange enkeltinformationer, men de skal bearbejdes for at få en praktisk effekt på både forbedringen af byggelogistik, reduktion af miljøbelastningen fra byggelogistik og effektiviseringen af byggeriets produktivitet samt en bedre og mere målrettet uddannelse og læring. Erfaringerne viste, at der godt kan samles data om miljøbelastning og produktivitet, men at de er enkeltstående, besværlige at indsamle samt vanskelige at få til at favne bredt, så de kan bruges til benchmarking på landsplan.

Referater og præsentationer fra disse workshops, konferencer og branchemøder er tilgængelig i en pdf-version på [AAU BUILD web](#) ved at dobbeltklikke på følgende links:

#### *½-dages workshops*

- [20140206 Workshop1 Kick-off referat præsentationer](#)
- [20140320 Workshop2 Byggesager præsentationer](#)
- [20140619 Workshop3 Transporter referat præsent](#)
- [20140918 Workshop4 Varemodtagelse referat præsent](#)
- [20150115 Workshop5 Uddannelse referat præsent](#)
- [20150416 Workshop6 Benchmarking referat præsent](#)
- [20150604 Workshop7 Projektering referat præsent](#)
- [20150924 Workshop8 Bygherrekrav referat præsent](#)
- [20160415 Workshop9 Byggeledelse referat præsent](#)
- [20170309 Workshop10 Erfaringer indbydelse ref præsent](#)
- [20171031 Workshop 11 Intelligent byggelogistik indbydelse](#)

#### *Heldags konferencer*

- [20180502 Slutkonference Fredericia intelligent logistik](#)
- [20180607 Slutkonference København referat præsent](#)

#### *Branchemøder og formidling (et uddrag af flere)*

- [20150825 Trafikdage Aalborg grøn byggelogistik](#)
- [20150914 KEA Byggekoordinatorer emneuge](#)
- [20150929 EASJ Bygningskonstruktør byggelogistik](#)
- [20160331 Femern Bælt workshop i Køge](#)
- [20160622 Region Nord Nye Sygehus NAU](#)
- [20160627 SOLAR TI SBi dialogmøde](#)
- [20161110 Femern Bælt Netværk årsmøde](#)

#### *Ønsker til vejledningen*

Det blev samtidigt også klart, at der manglede et fælles videngrundlag fra litteraturen, som var tilgængeligt og forståeligt for både chauffører, håndværkere, byggeledere, ledere i leverandørkæden, virksomhedsledere, projekterende, bygherrer og deres organisationer samt

ikke mindst lærlinge, studerende, lærere og forskere i vidensystemet. Et eksempel herpå er, at man primært kobler byggelogistik op på modeller som fx Toyota Production System (TPS), Just-in-Time (JIT), Lean Construction, Last Planner System (LPS) og Trimmet Byggeri. Erfaringerne viser, at disse modeller hovedsageligt er teoretisk funderede, og at de praktiseres som top-down management systemer. Samtidig viser det sig, at der er et stort underskud af viden om bottom-up leadership, praksislæring og udvikling, samt at der mangler et bredt og veldokumenteret faktagrundlag om byggelogistik og benchmarking af byggesager.

I bearbejdningen af dette videngrundlag i kapitel 6 i forhold til projektets øvrige erfaringer blev det klart, at der var behov for følgende nye elementer, hvis en ny SBI-anvisning skulle have effekt i byggeriet:

- En bearbejdet beskrivelse af det fælles videngrundlag (jf. kapitel 6).
- Nogle fælles principper for udvikling, læring og forbedringer af byggelogistik og personlig udvikling. Herunder, hvordan man dokumenterer udvikling, erfaringsindsamling og benchmarking fra byggesager (jf. oplægget i kapitel 5).
- Fælles vejledninger for de centrale afsnit i byggelogistik for både planer, styring og opfølgning, som er målrettet de enkelte aktører (jf. forståelsesrammen i kapitel 3 og operationel styring af byggelogistik i kapitel 4).
- Et stående panel for byggelogistik med et bredt udsnit af byggeriets aktører og videnpersoner, som løbende kan kvalificere en fælles vejledning og hjælpeværktøjer, så den bliver bredt anvendt som alment teknisk fælleseje.

#### *Afledte projekter*

Projektet og andre samarbejdsrelationer gav anledning til, at der blev igangsat følgende projekter, som kort er resumeret efterfølgende:

- Et erhvervsphd sammen med M T Højgaard, da de var i gang med en udvikling af VDC og gerne ville koble byggelogistik til deres byggeplads-VDC og indkøbsfunktion.
- En afprøvning af uddannelse i tværfaglighed og praksissamarbejde, da det blev efterlyst som et nødvendigt supplement til specialiseringen i byggeriet, og da der kun var få tilbud om det i uddannelsessystemet og som praksislæring på byggepladsen.
- Et studie i bottom-up leadership som supplement til de udbredte top-down management strategier, som kunne forklare, hvorfor denne udvikling var blevet underprioriteret de seneste 20 år, og hvordan den kan udvikles.
- Eksempler på fælles vejledninger og guidelines som trin for trin kan være med til at konkretisere de specifikke vejledninger i kapitel 4.

#### **Erhvervsphd 'Construction Supply Chain Management', 2017-20**

Det er et SBI og M T Højgaard erhvervsphdprojekt for phd-studerende Lasse Jes Mann Fredslund, som gennemføres i perioden 2017-20, og som har følgende formål hentet fra projektbeskrivelsen:

*“The overall objective of the PhD project is to develop concepts for Construction Supply Chain Management (CSCM).*

*Within the overall objective of the study, the project will pursue three specific sub-objectives. The first sub-objective is focused on understanding a number of interrelated issues and factors pertaining to SCM in projects-based organizations in order to form a basis for further specification of how to mature SCM for the construction industry. This will lay the basis for an identification of key criteria and critical success factors for effective CSCM.*

*The second sub-objective is to develop and test a series of integrated CSCM concepts that can contribute to MTH's vision of becoming the most productivity enhancing company in the Danish construction industry. This will include (i) theorizing the interdependencies and interrelationships between supplier relationships, purchasing management, site management, logistics and the construction process, and (ii) identifying the critical competencies needed for developing CSCM-capabilities that enable the organization to respond to the need of the production process and support the optimization of project related buys.*

*The third sub-objective is to establish a framework for improving and assessing the impact of integrated CSCM-concepts on project, firm and industrial performance, with special emphasis on productivity improvements. This will include applying econometric methods and metrics for purposes of measuring and documenting the effects of the study.*

*In terms of practical application, the project can be regarded successful if:*

- i. a framework for monitoring and assessing performance on existing and new CSCM-practices is established;*
- ii. metrics for measuring the productivity improvements stemming from CSCM, and*
- iii. organizational CSCM-competences and capabilities are developed by means of new tools and procedures for effective CSCM as well as through teaching and learning activities on-site and in MT Højgaard's (MTH) Management Academy."*

Projektet gennemføres i følgende 3 overlappende delprojekter (SP1, SP2 og SP3), som relateres til de 3 forskningsspørgsmål og den fælles målsætning for studiet:

- Sub-project 1 (SP1):  
Maturing Supply Chain Management in project-based organizations.
- Sub-project 2 (SP2):  
Development and implementation of integrated CSCM-concepts.
- Sub-project 3:  
Assessing the impact of integrated CSCM-concepts.

Hver af de 3 delprojekter vil resultere i en videnskabelig artikel, som tilsammen udgør den artikelbaserede afhandling, og de vil teoretisk bidrage til det akademiske felt 'Supply Chain Management in Construction Management'. Der foreslås følgende titler og dato for publikationerne:

- Critical success factors for effective SCM in project-based organizations in the construction industry (Jun 2018). A working paper presented at a work-in-progress PhD seminar at SBi.
- Development and implementation of integrated SCM concepts in the construction industry: An inquiry based on action research methodology (Jun 2019). A conference paper presented at an international peer-reviews conference.
- The impact of CSCM on organizational and industrial performance (Dec 2019). An article submitted for publication in journals.

### **Uddannelse i tværfaglighed og praksissamarbejde, 2018-21**

I 2018-21 gennemfører SBi og BLOXHUB udviklingsprojektet 'BLOXHUB-Byggeskole', som har fokus på sommer-, vinter- og weekendskole for tværfagligt samarbejde, læring, innovation og ledelse i grund- og efteruddannelse i et samarbejde mellem forskellige skoler, universiteter og virksomheder. Projektet gennemføres i følgende moduler på forskellige faglige områder og aktørgrupper:

- Modul I: Urban Resilience er om byens modstandsdygtighed over for stress, og hvordan den transformeres til en positiv bæredygtig udvikling. Det gennemføres af Civil and Architectural Engineering Unit, SDU.
- Modul II: Liveable Cities er om udvikling af byen med dens mange problemer og muligheder, hvor det sociale, kultur og miljø integreres. Det gennemføres af Institut for mennesker og teknologi, RUC.
- Modul III: Konflikt håndtering og forebyggelse af konflikter som kan indgå i en tværfaglig byggeledelse, læring og samarbejde på byggepladsen, og som kursisterne kan videreforsende i byggeriet. Det gennemføres af Mediationsinstituttet i samarbejde med AAU/BUILD København.
- Modul IV: Virtual Reality (VR) for praktikere og undervisere om bygningsinformatik for håndværkere og teknikere inden for installationsfagene. Det gennemføres af AAU BUILD i Aalborg i samarbejde med UCN og Teknik.
- Modul V: Transformation og renovering af den eksisterende bygningsmasse med fokus på arkitektur, bæredygtighed og byggeteknik. Det gennemføres af Institut for bygningskunst og kultur, KADK i samarbejde med Byggeriets Uddannelser og EUC Nord.

Udviklingen analyseres i sin helhed ud fra 4 forskellige teoretiske tilgange:

- Tværfaglighed, læring og innovation i byggepraksis.
- Trans-disciplinaritet i uddannelse mellem fagområder og uddannelsesniveauer for livslang læring som i den europæiske kvalifikationsramme (EQF).
- Koncept for flow i aktiviteter i både praksis, uddannelse eller udvikling, som er tilpasset tværfaglighed i byggeriet ud fra [Nakamura et al., 2009].
- Udbredelse og forankring af innovation i byggeriets praksis (Innovation Diffusion in Construction Sector ud fra [Widén, 2006] og [Widén et al., 2009].

#### **Japan-DK Seminar: Gemba Kaizen and i-Construction, 2019**

Seminaret blev afholdt den 13/9 2019 i København med det formål at undersøge spørgsmålet stillet i projektet 'Effektiv byggeledelse i praksis': Er Gemba Kaizen fra TPS blevet nedprioriteret i de teoretisk funderede top-down management systemer i byggeriet siden da?

Seminaret blev afholdt med baggrund i samtaler med japanske byggeforskere i 2019, og som sidst på året besøgte Vesteuropa og herunder også København. Seminaret tog udgangspunkt i udviklingen af digitalisering og byggerobotter i Japan og Danmark og kobledet det med Construction Gemba Kaizen. Gemba Kaizen er fra TPS overført til byggeriet, og seminaret fik det navn 'Bottom-up Leadership in Construction'. Seminaret er rapporteret i SBI-rapport 2020:13 [Bertelsen, 2020]. I det efterfølgende er kopieret det engelske memo om projektet, som sammen med rapporten kan findes på linket <https://sbi.dk/Pages/Japan-DK-Seminar-13-9-2019.aspx>:

#### ***“New BUILD-report: Japan-DK Seminar 13/9 2019 in Copenhagen***

*How can i-Construction and bottom-up leadership in construction (Construction Gemba Kaizen) make a difference in construction practice? The Japan-DK Seminar, held in Copenhagen last year, was an attempt at confronting both the challenges in construction in general and the challenges peculiar to the societies of Denmark and Japan.*

*At present, the results from Construction Gemba Kaizen and its effect on practice as a missing link in improvements. In order to make the principle an important factor of change and to realise its potential to transform practice, we must devote our attention to it and produce immediate, clear, and sustainable results in the future.*



*The inspiration for this Japan-DK Seminar was a closed seminar on February 26, 2019 arranged by the Consulate-General of Japan in New York. Here Professor Kazuyoshi Tateyama of Ritsumeikan University in Japan presented the Japanese national strategy for i-Construction. In a related meeting Tateyama, N. H. Bertelsen, AAU BUILD, and S. H. Bertelsen, Decision Economics, Inc., New York discussed i-Construction, how to finance development and how to implement bottom-up leadership in construction.*

*When Tateyama together with Ph.D. Takaaki Yokoyama, Ritsumeikan University, and D.Eng. Hiroshi Furuya, Technical Research Institute, Obayashi Corporation visited Europe in September 2019, N. H. Bertelsen arranged the Japan-DK Seminar that took place on September 19, 2019 in Copenhagen. The seminar was divided into four themes and together they formed an inspiring discussion space to test three research questions about i-Construction, bottom-up pull from Construction Gemba Kaizen, and how to disseminate research results into education and construction practice. The seminar was held at BLOXHUB, The Danish Society of Engineers, and the construction site 'Postgrunden', all near the Copenhagen waterfront. In total, there were 50 participants in the seminar.*

### **Themes**

*Theme 1 was an introduction, where Tateyama and Lene Espersen, Danish Association of Architectural Firms presented challenges and visions seen from the Japanese and Danish viewpoint. The construction sectors in both countries are fighting for better productivity, technology, workers, and technicians to fulfil the growing demands for additional, cheaper, better, and sustainable buildings and infrastructures. The two national presentations provided the participants with fine overviews over the national policies and activities on i-Construction and Construction Gemba Kaizen. From a Danish point of view, it was interesting to see how structured the Japanese were in the development of i-Construction and in outlining a national policy for construction.*

*Theme 2 was on bottom-up improvements in construction processes related to Gemba Kaizen. The Japanese presentation was on the use of video data and drones in design and inspection of infrastructure projects and on how they work with a workstyle reform in construction processes triggered by i-Construction. Two Danish presentations discussed Lean Construction, examples of Gemba Kaizen and practical innovation projects in small construction companies. The last Danish presentation described the study in architectural technology and construction management (ATCM) and how construction site management can support implementation of Construction Gemba Kaizen and balance the bottom-up and top-down approaches in innovation and Lean Construction.*

*Theme 3 was a visit to the construction site 'Postgrunden' in Copenhagen. Here employees from the main contractor Aarsleff described the construction project in general and the 3D model, VDC, and virtual reality (VR) applied in the project in particular.*

*Theme 4 was on i-Construction, including implementation of ICT and robotics in the construction sector. There were two Japanese presentations on utilisation of new technology by Japanese contractors. They presented examples of construction robots, contractors' approaches to i-Construction, 3D data models, and how 5G network is integrated in construction. The four Danish presentations were on dissemina-*

tion of VDC, examples of using big data and artificial intelligence, low-weight moveable construction robots for craftspeople, and robots for construction of 3D-printed buildings.

### **Conclusion**

*It was beneficial to complete the seminar in the discussion space in between the four themes and to use the example of i-Construction and Construction Gemba Kaizen to demonstrate the lack of balance between top-down push and bottom-up pull in innovation. It is difficult for bottom-up approaches to compete with top-down approaches, which often have many visions and a simple form of promotion, but forget the short-term perspective for results. Instead, they could be seen as a couple, who need each other to solve the challenges in construction. For example in Japan, specialists uses drones to measure tiled roofs in 3D as a basis for industrialisation and to reduce the work on site by skilled workers, and move the cutting of roof tiles to a factory with women workers. In Denmark skilled women workers are trained to use 3D and improvement techniques on site like Kaizen to reduce dangerous roof work and improve productivity. Could we find a better solution, if we combine these two approaches?*

The seminar report can be downloaded from this link: <https://sbi.dk/> and all the 16 presentation and the seminar program from this link: <https://sbi.dk/japandk>.

*We at AAU BUILD hope, that the Copenhagen seminar can inspire to a complete a second Japan-DK seminar in Japan in 2021, where we can continue the Japanese-Danish cooperation on development and knowledge exchange on i-Construction, Construction Gemba Kaizen, and other top-down and bottom-up improvements. AAU BUILD also hope, we can launch a common Japanese-Danish development program call 'Bottom-up Leadership in Construction' to improve the construction sector through bottom-up leadership and cooperation to deliver improvements in the construction including green buildings. We are open for involving all leading construction individuals, companies, organisations and authorities in the two countries to form a mentor network and to execute many bottom-up leadership projects in balance with different top-down strategies."*

### **TI-projekt, udvikling af 4 læringsværktøjer til materialehåndtering, 2019-21**

Projektet 'Effektiv styring og håndtering af byggematerialer - Byggematerialers anskaffelse, retur- og logistikstyring' ledes af TI i et samarbejde med SBI, Batkartellet, Dansk Byggeri og Danske Byggecentre. Projektet planlægges gennemført i perioden 2019-21.

#### *Formål og mål*

Fra projektbeskrivelsen er hentet følgende om formålet og målet med projektet:

*"Formålet med dette projekt er at udvikle målrettede læringsværktøjer, der på en enkel vis kan benyttes af medarbejdere i et byggeprojekt til at optimere og styre flowet af materialer fra bestilling, modtagelse, returnering og lagerstyring til produktion i byggeprocessen.*

*Ud fra en praktisk indgangsvinkel søges udviklet værktøjer, der både kan indgå i undervisningsforløb på byggepladser evt. suppleret med sidemandsoplæring, bruges ved undervisning i håndværksfagene og med et eksempel på digital selv læring via audiovisuelle medier (smart-phone, tablet-PC eller PC), som den enkelte fagmedarbejder kan bruge for hurtig indlæring/repetition af nye sikre arbejdsrutiner.*

*Målet er at udvikle læringsværktøjer, der vil kunne indgå i såvel små som store byggeprojekter i direkte dialog og læring af medarbejdere, der er involveret i anskaffelsen og styringen af byggematerialer.”*

#### *Planlagte aktiviteter*

Den fremtidige indsats inden for logistikken i byggeriet bør fremadrettet have fokus på indlærings- og adfærdsjusteringer baseret på erfaringerne i projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis'. Udviklingen af værktøjer skal tilpasses byggeriet, og den primære hensigt skal være:

- At optimere det samlede leveranceflow.
- At opnå større præcision i planlægning og udførelse.
- At optimere drift- og kapacitetsomkostninger.

Typen af værktøjer der tænkes udviklet, skal også kunne virke som instruktioner i den daglige praksis af byggelogistik fx i form af:

- Pixi-bog/(bøger) om fx bestilling og styring af byggematerialer/-lager ved byggepladser beregnet til læring 'på pladsen', selvstudium og undervisningssituationer.
- E-læring med små videofilm der kan benyttes både i sidemandsoplæring, undervisning og selvstudier.

Projektet planlægges gennemført i følgende aktiviteter:

- Aktivitet 1: Byggelogistik - Udvikling og tilpasning af add-on styrings- og effektiviseringsværktøjer for at minimere svind, ventetider og trængsel.
- Aktivitet 2: Procesudvikling og læring - Planlægning og møder om procesudvikling mellem ledere og håndværkere i virksomheder og på konkrete byggesager.
- Aktivitet 3: Digitalisering – Der udvælges ét eksempel, hvor der kan udarbejdes trænings- og læringsmaterialer, som omsættes i digitaliseret form til e-læring, der kan anvendes i direkte forbindelse med processerne på byggepladsen.
- Aktivitet 4: Indlæring og tilpasninger – Pixi-bøger og digitaliserede løsninger afprøves i praksis af medarbejdere, der er involveret i logistikprocessen.
- Aktivitet 5: Afrapportering – Erfaringer indsamles fra de involverede byggeprojekter, og der udarbejdes en evalueringsrapport med læring og dokumentation.

#### *Bruttoliste af læringsværktøjer*

I projektet arbejdes for tiden med en bruttoliste af følgende læringsværktøjer, hvorfra der skal udvælges de 4 bedst egnede til udviklingen i første runde:

- Grossistens logistik og distribution af store leverancepakker leveret på arbejdsstationer samt leverandørstyret lager på byggepladsen.
- Grossistens modtagelse af små håndværkerbestillinger, lagerstyring efter Kanban og levering af de små leverancepakker på byggepladsen.
- Datablad fra leverandør med beskrivelse af byggevarens egenskaber, modtagelse, anvendelsesområde, planlægning og indbygningsvejledninger.
- Lokationsplanlægning, -styring og -opfølgning i et samarbejde mellem byggeledelse og byggesjak på store offentlige nybyggerier.
- Totalentreprenørens opfølgning på materialeleveranceplaner på byggepladsen for boligbebyggelse med mange rækkehuse.
- Sortering, håndtering og transport af returgods fra byggepladsen som del af cirkulær økonomi og sammen med nedrivere, håndværkere og transportører.

## 6.6 Myndighedernes regler og vejledninger

I Bygningsreglement 2018 (BR18) §§ 161-165 stilles der krav til byggepladsen og udførelsen af byggearbejdet, og i den tilhørende vejledning specificeres kravene, og der henvises til mange relaterede love, bekendtgørelser og standarder. I bekendtgørelser om alment og statsligt byggeri er der stillet krav til henholdsvis logistikplan og udnyttelse af byggeaffald. I den ny AB18 og ABT18 er der bl.a. krav om ejerforhold og risiko for skader på byggematerialer og stikledninger til byggepladsen. Desuden er der nogle andre vejledninger fra myndighederne om logistik, bæredygtighedsklasser og andet med relation til byggelogistik. Det er primært de krav der i dag stilles til byggelogistik fra myndigheder, og de er nærmere uddybet under følgende overskrifter:

- 6.6.1 Bygningsreglement 2018 (BR18) med vejledninger.
- 6.6.2 TBST bekendtgørelser.
- 6.6.3 Almindelige betingelser i bygge- og anlægsvirksomhed.
- 6.6.4 Vejledninger og andet fra myndigheder.

### 6.6.1 Bygningsreglement 2018 (BR18) med vejledninger

Bygningsreglement 2018 (BR18) [BR18, 2018] trådte i kraft 1/1 2018, og den består af tekniske bestemmelser, øvrige bestemmelser samt bestemmelse om straf og ikrafttrædelse, og omfatter i alt 565 paragraffer i 37 forskellige bestemmelser samt tilhørende bilag og vejledninger. Byggepladsen og udførelsen af byggearbejder er beskrevet i bestemmelse 7 i §§ 161-165 med tilhørende vejledning.

#### Bestemmelse 7 om byggepladsen og udførelsen af byggearbejder

I bestemmelse 7 §§ 161-165 stilles krav til planlægning og udførelse med fokus på følgende forhold:

- § 161: Overordnede krav om forebyggelse af skader på personer, bygninger, byggeplads, naboer og naboområder, når der tages højde for vejrforhold.
- § 162: Forebyggelse af svigt på konstruktioner og personskader på egen eller nabogrund i hele byggeperioden i planlægning og udførelse.
- § 163: Sikring mod brand og brandspredning for bygninger, nabobygninger, konstruktioner og materialer på byggepladsen, samt at der er adgang for redningsberedskabet.
- § 164: Forebygge uacceptable gener på anden grund.
- § 165: Beskytte fugtfølsomme materialer og konstruktioner mod klimaforhold.

#### Vejledning til bestemmelse 7 om byggepladsen og udførelse af byggearbejder

I den tilhørende vejledning til bestemmelse 7 skrives i tilknytning til §§ 161-165 om de overvejelser, der bør gøres i forbindelse med byggepladsen og udførelse af byggearbejder, og samtidig gives anbefalende vejledninger til planlægning og udførelse for alle typer af byggearbejder.

##### *Ad § 161 Generelt om byggepladsen og udførelse af bygningsarbejder*

Det overordnede krav til byggepladser fremgår af bygningsreglementet 2018, kap. 7, § 161, hvoraf det fremgår at byggepladsen og byggearbejder skal planlægges og udføres, så der:

- 1) ikke sker skade på personer eller bygninger på og omkring byggepladsen.
- 2) ikke opstår væsentlige gener for naboer, på vej og fortovsarealer.
- 3) tages højde for vejrforhold.

##### *Ad § 162 Planlægning og udførelse af byggearbejder*

Monteringen skal dimensioneres og leverandørens montagevejledning skal følges. Ved reovering skal der være fokus på konstruktionernes styrke og stabilitet før, under og efter reovering. Der skal tages hensyn til holdbarhed. Personer skal sikres mod svigt og nedfaldne

genstande fx ved afspærring og afskærmning. Det kan også være relevant at etablere rækværk og sikkerhedsnet mv. Større bygningsdele kan være nødvendige at afstive midlertidigt og beregne deres midlertidige statik. Isoleringsmaterialer med lav brandklassifikation skal i byggeprocessen afdækkes for at minimere brand, og antændelseskilder skal holdes under kontrol.

#### *Ad § 163 Brandsikkerhed og brandværnsforanstaltninger*

I indledningen oplyses, at bygningsarbejdet kan rumme særlig brandrisiko både i forhold til byggearbejdet, varmt arbejde, den eksisterende bygning, byggepladslagre og ophobning af affald samt redningsberedskabet. Der henvises til 'Cirkulære om instruks for brandværnsforanstaltninger under byggearbejder på fredede bygninger', Transport-, Bygnings- og Boligministeriet, Cirkulære nr. 2 af 6/1 1994.

Der er udarbejdet særlig vejledning til:

- Byggepladsens indretning.
- Midlertidige afdækning, inddækninger og lignende.
- Passive brandsikringstiltag.
- Aktive brandsikringsanlæg.
- Evaluering af medarbejdere på byggepladsen.
- Varmt arbejde – herunder brug af åben ild.
- Brandslukningsmateriel.
- Alarmering af redningsberedskabet.
- Ordensforskrifter.

Der henvises i den forbindelse til:

- Bekendtgørelse om brandfarlige og brændbare væsker. Forsvarsministeriet, bekendtgørelse nr. 1639 af 6/12 2016.
- Bekendtgørelse om tekniske forskrifter for gasser. Forsvarsministeriet, bekendtgørelse 1444 af 15/12 2010.
- Bekendtgørelse om arbejdets udførelse. Beskæftigelsesministeriet, bekendtgørelse nr. 559 af 17/6 2014.
- Bekendtgørelse om sikkerhed for udførelse og drift af elektriske installationer. Erhvervsministeriet, bekendtgørelse nr. 1082 af 12/7 2016.
- Standard: Håndildslukkere – Del 7: Karakteristika, ydeevnekrav og prøvningsmetoder. DS/EN 3-7 + A1:2007.
- Bekendtgørelse om sikkerhedsskiltning og anden form for signalgivning. Beskæftigelsesministeriet, bekendtgørelse nr. 518 af 17/6 1994.
- Bekendtgørelse om brandfarlige og brændbare væsker. Forsvarsministeriet, bekendtgørelse nr. 1639 af 6/12 2016.
- Lov om sikkerhed ved elektriske anlæg, elektriske installationer og elektrisk materiel (Elsikkerhedsloven). Erhvervsministeriet, lov nr. 525 af 29/4 2015.

#### *Ad § 164 Gener på anden grund*

Byggepladsen skal afgrænses med skilte o.l. Ved generende støj fra byggepladsen har kommunen mulighed for at gribe ind og fx give påbud. Ved planlægning kan der tages initiativ til støj- og vibrationsdæmpning, og naboerne bør informeres om aktiviteterne. Brug af maskiner og indretning af byggeplads skal begrænse støvgener mest muligt. Nedrivning og affaldshåndtering mv. sker på en miljømæssig forsvarlig måde. Byggepladsens indretning bør omfatte oplags-pladser og affald og tom emballage, som primært reguleres efter miljøbeskyttelsesloven, affaldsbekendtgørelsen og restproduktbekendtgørelsen, der er dog særlige regler for håndtering af farligt byggeaffald. Vejoverkørsler fra byggepladsen skal holdes frie og rengjorte og må ikke medføre gener for de, som anvender vejen.

Der henvises i den forbindelse til:

- Bekendtgørelse af lov om miljøbeskyttelse. Miljø- og Fødevareministeriet, lovbekendtgørelse nr. 966 af 23/6 2017.
- Bekendtgørelse om affald. Miljø- og Fødevareministeriet, bekendtgørelse nr. 1309 af 18/12 2012 (Affaldsbekendtgørelsen).
- Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter, jord og sorteret bygge- og anlægssaffald. Miljø- og Fødevareministeriet, bekendtgørelse nr. 1672 af 15/12 2016 (Restproduktbekendtgørelsen).

#### *Ad § 165 Hensyn til klimatiske forhold*

Sikring kan fx ske ved inddækning. Vinterbekendtgørelsens krav kan overholdes, hvis der stilles krav hertil i projekteringsfasen, i udbudsfasen og i tidsplan. Bygherren har mulighed for tidligt af foreskrive totalinddækning og fælles forhold for opbevaring af fugtfølsomme materialer, hvor det er økonomisk fordelagtigt.

Der henvises i den forbindelse til:

- Bekendtgørelse om bygge- og anlægsarbejder i perioden 1. november til 31. marts. Transport-, Bygge- og Boligministeriet, bekendtgørelse nr. 477 af 19/5 2011 (Vinterbekendtgørelsen).

### **6.6.2 TBST bekendtgørelser**

I TBST bekendtgørelse 1226 står noget om logistikplan for almene boliger, og i TBST bekendtgørelse 282 står noget om håndtering af byggeaffald, som skal ske efter brancheaftale NMK 96.

#### **TBST BEK 1226 (2011) Støtte til almene boliger m.v.**

I bekendtgørelsen om støtte til almene boliger mv. i kapitel 9 'Byggeriets påbegyndelse' § 38 står følgende om logistikplan for almene boliger:

*”Stk. 1. Bygherren skal senest 9 måneder efter tilsagnsdatoen digitalt indberette de oplysninger, som danner grundlag for godkendelse af en anskaffelsessum før byggeriets påbegyndelse (ansøgningskema B) til kommunalbestyrelsen.*

*Stk. 2. Bygherren skal samtidig med indberetningen af oplysninger efter stk. 1 fremsende en plan for styring af logistik på byggepladsen. Planen skal indeholde principper for løbende ajourføring og justering af planen i byggeperioden.”*

#### **TBST BEK 282 (1997) Nedrivning af statsbyggeri**

Bekendtgørelse om selektiv nedrivning af statsbygninger. Transport-, Bygnings- og Boligministeriet (TBST), bekendtgørelse nr. 282 af 18/14 1997 [TBST BEK 282, 1997]. Bekendtgørelsen rummer krav om selektiv nedbrydning og udnyttelse af byggeaffald ved ned- og ombygning. Bygherren skal drage omsorg for det sker i henhold til retningslinjer i brancheaftale NMK 96 af 28/11 1996, og at kravene indarbejdes i udbudsmaterialet samt i entrepriseaftalen.

Nedbrydningsbranchens Miljøkontrolordning, NMK (1996) er en brancheaftale om selektiv nedbrydning mv. til brug inden for statslig byggevirkksomhed, som den 28/11 1996 er underskrevet af Entreprenørforeningens Nedbrydningssektion, Miljø- og Energiministeriet og Boligministeriet.

### **6.6.3 Almindelige betingelser i bygge- og anlægsvirkksomhed**

AB92, ABR89 og ABT93 er i 2018 [AB18, 2018] blevet revideret i en ny og samlet 'Almindelige betingelser i bygge- og anlægsvirkksomhed', som rummer både AB18, ABR18 og ABT18 samt forskellige appendikser (APP).

I AB18 og ABT18 er der i §§ 12, 15 og 27 angivet krav, som har relation til byggelogistik herunder byggepladsen. Det drejer sig primært om: Ejerforhold til materialer, oprydning på byggepladsen, stikledninger til byggepladsen, risiko for skader på materialer, placering af skure mv. uden for byggepladsen og risiko for materialer fra leverandøren indtil de er modtaget af bygherre og entreprenør.

#### *Entreprenørens ydelser § 12*

Stk. 4. Materialer og andre leverancer, som er bestemt til indføjelse i arbejdet, skal leveres af entreprenøren uden ejendomsforbehold. Når de pågældende genstande er leveret på byggepladsen, tilhører de bygherren.

Stk. 7. Entreprenøren skal løbende foretage oprydning og rømning og omgående fjerne kasserede materialer fra byggepladsen.

#### *Afsætning og byggeplads § 15*

Stk. 2. Ved byggearbejder sørger bygherren i nødvendigt omfang for etablering af stikledninger for afløb, el, gas, vand og varme frem til byggepladsen.

Stk. 3. Bygherren betaler nødvendige tilslutningsbidrag og afholder eventuelle afgifter og gebyrer som følge af, at skure, containere, stillads mv. efter aftale ikke skal placeres på byggepladsen.

#### *Risikoens overgang § 27*

Stk. 1. Entreprenøren bærer indtil afleveringen risikoen for skade på eller bortkomst af arbejde og materialer. Det samme gælder materialer, som bygherren har leveret, når disse er kommet i entreprenørens besiddelse.

Stk. 7. (§ 27, stk. 6 i ABT18) For materialer og andet løsøre, der leveres til bygherren eller entreprenøren af en leverandør, der ikke skal udføre nogen form for montage, forarbejdning, tilvirkning eller anden arbejdsydelse på byggepladsen, gælder reglerne i stk. 1-4, indtil materialerne og løsøret er kommet i bygherrens henholdsvis entreprenørens besiddelse.

### **6.6.4 Vejledninger og andet fra myndigheder**

Efterfølgende vises et kort resumé af vejledning i logistik, bæredygtighedsklasser herunder ressourceanvendelse på byggepladsen samt henvisninger til andet fra myndigheder, som kan bruges i logistik.

#### **Vejledning i logistik i udførelsen af byggeri fra EBST i 2003**

Vejledningen om logistik fra Erhvervs- og Boligstyrelsen (EBST) fra 2003 [EBST, 2003] er rettet mod det støttede byggeri, og den har reference til bekendtgørelse om støtte alment byggeri fra 2002, som i 2011 er blevet videreført til TBST bekendtgørelse 1226 fra 2011. Vejledningen bygger på det arbejde, der var gennemført i Lean Construction DK, og som kan ses i en mere fyldig udgave i 'Håndbog i Trimmet Byggeri fra 2012. Vejledningen henvender sig til bygherrer, rådgivere og entreprenører, og den anviser eksempler på, hvordan logistikplanlægningen kan foregå på alment byggeri og støttet andelsboligbyggeri.

I vejledningen defineres logistik som planlægning, styring, organisering, kommunikation og koordinering af samtlige aktiviteter og disses forudsætninger i hele udførelsesprocessen. Der opereres med to niveauer i logistikplanlægningen, som arbejder med 7 grundlæggende forudsætninger for sunde aktiviteter:

- Den indledende og overordnede logistikplan som er grundlag for godkendelse af skema B, og som opdeler byggeriet i bygningsdele og aktiviteter.
- Den detaljerede logistikplan som anvendes i udførelsen, og som er en videre-bearbejdning af den overordnede logistikplan.

Det er EBST's hensigt, at den betragtes som den bedste praksis, som medvirker til en kulturforandring i samarbejdet, og at den medvirker til et jævner tempo, optimering af ressourcetilbruget, reducerer byggetiden og antal arbejdsulykker. I 2. kapitel stilles krav til bygherren, i 3. kapitel er eksempler på trimmet byggeri, i 4. kapitel vises forbedringspotentialer og erfaringer, og i 5. og sidste kapitel vise, hvor man kan læse mere.

### **Frivillige bæredygtighedsklasser**

I maj 2020 udsendte TBST 'Vejledning om den frivillige bæredygtighedsklasse' [TBST, 2020]. Målsætningen med vejledningen er på sigt at indføre krav til bæredygtighed i bygningsreglementet på et velafprøvet og dokumenteret grundlag og med bred inddragelse af byggebranchen. Samtidig lægges der op til en toårig testfase fra lanceringen i maj 2020 til sommeren 2022. Målsætningen med bæredygtighedsklassen er at favne de tre dimensioner i bæredygtigt byggeri:

- Den miljø- og klimamæssige kvalitet, som har påvirkning på natur, miljø, klima og ressourcer.
- Den sociale kvalitet, som i et bredt perspektiv vedrører menneskers sundhed og trivsel.
- Den økonomiske kvalitet, som indebærer, at der er balance mellem de samlede udgifter og byggeriets kvalitet.

Bæredygtighedsklasserne er opdelt i ni krav, hvor det andet krav er om ressourceanvendelse på byggepladsen. De er i vejledningen resumeret som følger: *Transport, energi og vandforbrug på byggepladsen samt mængden af byggeaffald skal måles, registreres og dokumenteres. Transport, energiforbrug og byggeaffald opgøres og benyttes i den endelige LCA-beregning ved færdigmelding af byggeriet. Vandforbruget på byggepladsen afrapporteres separat*" I vejledningen skrives desuden om regler i Bygningsreglementet: *BR indeholder ikke krav om ressourceforbrug på byggepladsen. Der er krav om bl.a. sikkerhed for personer og bygninger på og omkring byggepladsen, brandværnsforanstaltninger, gener på anden grund og beskyttelse af fugtfølsomme byggematerialer.*

I efterfølgende er vejledningens krav til ressourceanvendelse på byggepladsen vist.

#### *Ressourceanvendelse på byggepladsen*

*Krav:* Transport, energi- og vandforbrug på byggepladsen samt mængden af byggeaffald skal måles, registreres og dokumenteres.

*Vejledning:* Vandforbruget på byggepladsen afrapporteres separat, mens transport, energiforbrug og byggeaffald opgøres og benyttes i LCA-beregningen.

*Vandforbrug:* Vandforbrug i byggeperioden på byggepladsen skal måles og registreres løbende. Dokumentationen skal indeholde mængde af vand samt formål med vandforbruget. Vand, som genbruges, skal kun måles en gang.

*Transport:* Transport i henhold til byggeprocessen for byggevarer, jord og byggeaffald skal dokumenteres i henhold til LCA-kravet, Bilag 1: Emissionsfaktorer, Tabel 8. Transport mellem byggeplads og øvrige beliggenheder i forbindelse med byggeprocessen, herunder til oplagring, præfabrikation eller oparbejdning, er også medtaget.

Dokumentationen skal indeholde afstanden samt transportform og type transporterede gode. Transport af byggevarer til byggepladsen skal knyttes til byggevarerne.

Transporten af byggevarer og jord til byggepladsen skal benyttes i LCA-beregningen for modul A4 Transport til byggeplads. Transport af personer og materiel samt transport af byggeaffald fra forudgående nedrivning er ikke omfattet.



Brændstofforbrug fx til maskiner og køretøjer på byggepladsen skal registreres. Forbrug, hvor dette ikke kan ske på en hensigtsmæssig måde, kan alternativt estimeres ved beregning.

Transport i forbindelse med byggeprocessen, dvs. på byggepladsen og væk fra byggepladsen skal bruges i LCA-beregningen for modul A5 Opførelse / montering.

Ved ukendt transportform skal der vælges transportformen standard lastbil. Det gælder også for transport af byggeaffald og jord. Ved ukendt transportafstand skal der antages en afstand på 500 km for byggevarer henholdsvis 200 km for byggeaffald og jord. Transportform og -afstand skal dog dokumenteres detaljeret for de fem byggevarer med den største samlede vægt. Den detaljerede dokumentation skal indeholde alle transportformer og -afstande i leveringskæden, som er relateret til de fem byggevarer. Transport af de øvrige byggevarer, jord og byggeaffald dokumenteres som afstand mellem produktionssted og byggeplads, henholdsvis mellem byggeplads og modtager, og ved brug af den dominerende transportform.

*Energiforbrug:* Forbrug af energi skal måles og registreres løbende. Også forbrug af energi på andre lokationer end den egentlige byggeplads, som er relateret til byggeprocessen, samt transport mellem disse skal registreres. Det kan fx være pladser til lagring, oparbejdning eller præfabrikation.

Elforbrug skal måles og dokumenteres i separate delforbrug i henhold til Tabel 5.

På mindre byggepladser i skala af enfamiliehusbyggeri kan elforbruget måles og dokumenteres med én måler. Målingen skal starte på dato for anmeldelse af byggearbejde til kommunen eller senest efter installation af måleren. Den sidste dag for målingen er datoen for ibrugtagningstilladelse. Datoen kan ligge tidligere, hvis måleren bliver afmonteret før dette tidspunkt, eller hvis byggeriet er blevet afleveret tidligere.

*Byggeaffald:* Byggeaffald i byggeperioden på byggepladsen skal mængdeopgøres og dokumenteres. Også byggeaffald i andre beliggenheder end den egentlige byggeplads, der er relateret til byggeprocessen, skal registreres. Det kan fx være pladser til lagring, oparbejdning eller præfabrikation. Byggeaffald fra forudgående nedrivning er ikke omfattet.

Dokumentation af byggeaffald skal indeholde type af byggeaffald og en mængdeopgørelse. Byggevarer, som blev beskadiget under byggeprocessen, fx ved transport eller gennem forkert lagring, og dermed ikke længere kan bruges til det egentlige formål, skal dokumenteres som spild af materialer. Spild af materialer skal benyttes i LCA-beregningen for modul A1-4 og C3-4. Ved ukendt mængde spild skal alle materialer i bygningsmodellen tillægges 10 procent spild.

Dokumentationen af spild af materialer skal indeholde type af spildt byggevare og en mængdeopgørelse.

### **Statsstøtte til forsøgsbyggeri**

Der kan søges statsstøtte til forsøgsbyggeri, som står beskrevet på linket <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=3977>

### **Vejledning i partnering**

Der er udarbejdet vejledning til partnering fra EBST [EBST, 2006]





# LITTERATUR

# LITTERATUR

Litteraturlisten indeholder publikationer, der er henvist til i vejledningen. Inde i vejledningen er denne henvisning angivet i kantet parentes som fx [Andersson et al., 2007] eller [Ballard, 2000]. Først er forfatternavn vist og sidst er udgivelsesår vist. Hvis der er flere forfattere, er de angivet som 'et al.' (Latin: et alii; og dansk: og andre).

Desuden er der vist en oversigt over SBI-publikationer om byggeproces og byggepolitik, som de seneste 60 år er publiceret af SBI i forskellige serier.

## Litteratur i vejledningen

Andersson, N., & Christensen, K. (2007). *Location-based Scheduling: Vurdering af LBS-metodens anvendelse i byggeprojekter*. Technical University of Denmark (DTU), Kgs. Lyngby, Byg Rapport nr. R-167, 1. udg.

Ballard, H.G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. Thesis for Doctor of Philosophy. School of Civil Engineering, The University of Birmingham, Birmingham.

Bang, H.L.; Sørensen, N.L., & Bertelsen, N.H. (2001). *Bygherren som forandringsagent – et bedre ejendomsmarked*. Projekt Hus debathæfte 1, By- og Boligministeriet, København.

BBR. (2018). *BBR-instruks - Bygnings- og Boligregistret*. Udviklings- og Forenklingsstyrelsen, Ejendomsdatakontoret, København. Dateret 25/9 2018.

BBST. (1993). *Byggepolitik I - Materialestyring i byggeprocesser*. Sophiehaven. Slutrapport 1993. Bygge- og Boligstyrelsen (BBST), København.

BBST. (1994). *Byggepolitik II - Materialestyring i byggeprocesser*. Sophiehaven. Slutrapport 1994. Bygge- og Boligstyrelsen (BBST), København.

Beim, A.; Clausen, L., & Bertelsen, N.H. (2001). *Ny industrialisering – et bedre produktmarked*. Projekt Hus debathæfte 3, By- og Boligministeriet, København.

Bengtsson, S.H. (2019). Coordinated construction logistics: an innovation perspective. *Construction Management and Economics*, 2019, 37:5, 294–307 DOI: 10.1080/01446193.2018.1528372.

Bertelsen, N.H. (1999). *Kortlægning af 88 byfornyelsessager – En analyse af slutregnskaber og renoveringsomfang (Surveying 88 urban renewal projects – A study of final accounts and level of renewal)*. Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), Hørsholm, SBI-rapport 307. [www.sbi.dk](http://www.sbi.dk).

Bertelsen, N.H. (2003). *Kvalitet i projektstyring – udvikling af roller, samarbejde og produktivitet i renovering*. Projekt Renovering, projekt nr. 274. Erhvervs- og Boligstyrelsen (EBST), København. Januar 2003. ISBN 87-601-7836-1.

Bertelsen, N.H., & Hansen, E.J.P. (2004). *Bygherrens prissætning og visualisering efter arkitektkonkurrence – Blokmodellen anvendt på en nybygning for Roskilde Universitetscenter*. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm, SBI 2004:03, ISBN 87-563-1233-4, december 2004.

Bertelsen, N.H. (2005). *Den selvstyrende byggeplads – Visioner for mestres og bygningsarbejders anvendelse og udvikling af tværfaglighed og selvstyre i dans byggeri*. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm, SBI 2005:11, september 2005.

Bertelsen, N.H. (2010a). *Autonomy and innovation in construction teams*. Performance Improvement in Construction Management. Edited by Brian Atkin and Jan Borgbrant, Spon Press, Taylor & Francis, London and New York. Page 70-82. ISBN 978-0-415-54598-3. Based on 4<sup>th</sup> Nordic Conference in Construction Economics and Organisation, Luleå, Sweden, June 2007.

Bertelsen, N.H. (2010b). *U2-udviklingsprojekter om facaderenovering - Produkter, produktivitet og udvikling*. SBI-præsentation af fire byggesagsforsøg på Urbanplanen på Amager udført i samarbejde med Enemærke & Petersen (EogP) og fremlagt den 12/11 2010 hos EogP i Ringsted. SBI sagsnr. 741-00087 og 721-00151, København.

Bertelsen N.H.; Frandsen, A.K.; Kjærsgaard, F.; Haugbølle, K.; Hansson, B.; Huovila, P, & Karud, O.J. (2010c). CREDIT Performance Indicator Framework. A proposal based on studies of building cases, regulations, standard and research in seven Nordic and Baltic countries. CREDIT Report 3. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet (SBI/AAU), Hørsholm, SBI 2010:16, [www.sbi.dk](http://www.sbi.dk)

Bertelsen N.H.; Hansson, B.; Huovila, P; Haugbølle, K.; Karud, O.J.; Porkka, J., & Widén, K. (2010d). CREDIT Summary and National Recommendations. Indicators and benchmarking framework for the transparency in construction and real estate in the Nordic and Baltic countries. CREDIT Report 6. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet (SBI/AAU), Hørsholm, SBI 2010:19, [www.sbi.dk](http://www.sbi.dk).

Bertelsen, N.H. [2020]. *Japan-DK Seminar 13/9 2019 - Improvements by Construction Gemba Kaizen and i-Construction*. Aalborg University Copenhagen, BUILD, SBI 2020:13, maj 2020, ISBN 978-87-563-1949-2.

Bertelsen, N.H.; Bech-Danielsen, C.; Mechlenborg, M.; de Place Hansen, E. J; Gottlieb, S., & Haugbølle, K. (in progress 2021). *Evaluering af modulforsøg i Faxe, Vordingborg, Faaborg-Midtfyn og Hjørring Kommuner - Metodebeskrivelse, vejledning i egenevaluering og BUILD evaluering af de fire kommuners forsøg med modulsystemer i tomme bygninger under boligpulje i TBST*. BUILD, Aalborg Universitet København, rapport i produktion.

Bertelsen, S. (2003). *Louise – en beretning om Trimmet Byggeri*. Niras, Allerød. ISBN 87-89649-07-9.

Bertelsen, S. (2009). *Semiramis – en beretning om Louise og Construction Physics*. Sven Bertelsen, Strategisk Rådgivning aps, København. ISBN 97887-993283-0-7.

Bertelsen, S. (2015). *Det uregerlige projekt – Syv sammenhængende essays om projektet og dets ledelse*. Lean Construction DK, København, ISBN 978-87-993539-01-0.

BIM 7AA (2018). *Bygningsdelsspecifikationer - for udvalgte bygningsdele i bygningsmodeller*. DiKon, BIM7AA og BIM i Landskabet, Aarhus. Version 3.0, 9/10 2018.

[http://bim7aa.dk/DIKON\\_BIM7AA\\_Bygningsdelsspecifikationer.html](http://bim7aa.dk/DIKON_BIM7AA_Bygningsdelsspecifikationer.html)

BYG-ERFA (2019). *Om SfB-systemet*. Fonden BYG-ERFA, København.

Bygningsstyrelsen. (2019). *Vejledning til offentlige bygherrer om byggeri - Bygherrevejledning 2019*. Bygningsstyrelsen, København, april 2019, [www.bygst.dk](http://www.bygst.dk), ISBN: 978-87-93013-25-4.

- BR18. (2018). Bygningsreglement 2018. Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, København, <https://bygningsreglementet.dk/>
- Clausen, L. (1995). *Logistik i byggeriet*. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm, SBI-rapport 256.
- Clausen, L.; Listoft, M., & Nielsen, J. (1996). *Introduktion til bygge-logistik*. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm, SBI-anvisning 191, ISBN 87-563-0929-5.
- Clausen, L. (1999). *Bygge-logistik – Erfaringer fra seks forsøgsbyggerier*. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm. SBI-rapport 316. ISBN 97-887-563-1013-0.
- Dam, A.R. (2015). *UV-materiale med inspiration og vejledning til AMU-kurset "Bygge-logistik og produktivitet"*. Undervisningsministeriet. Materialet er udviklet af Efteruddannelsesudvalget for bygge/anlæg og industri. December 2015
- Dam, A.; Riis, J.O., & Thorsteinsson, U. (1994). *Integreret produktivtetsudvikling – en fremgangsmåde*. Polyteknisk Forlag, Lyngby, 243 sider, ISBN 87-502-0764-4
- Drucker, P.F. (1989). *The New Realities. In Government and Politics/in Economics and Business/in Society and World View*. Harper and Row, New York.
- EBST. (2003). *Logistik i udførelsen af byggeri. Vejledning – støttet byggeri*. Erhvervs- og Boligstyrelsen, København, august 2003.
- EBST. (2006). *Vejledning i partnering - med særligt henblik på offentlige og offentligt støttede bygherrer*. Erhvervs- og Byggestyrelsen (EBST), København, januar 2006. ISBN 87-91340-19-5 - trykt udgave, ISBN 87-91340-44-6 – digital.
- Ekeskär, A. (2016). Exploring Third-Party Logistics and Partnering in Construction – A Supply Chain Management Perspective. Linköping University, Department of Science and Technology, Sweden, Licentiate Thesis No. 1753, ISBN 978-91-7685-746-5.
- Ellegaard, C., & Koch, C. (2012). *The effects of low internal integration between purchasing and operations on suppliers' resource mobilization*. Journal of Purchasing & Supply Management 18 (2012) pp. 148-158.
- Ellegaard, C., & Kock, C. (2014). *A model of functional integration and conflict. The case of purchasing-production in a construction company*. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 34 No. 3 (IJOPM 34,3), 2014, pp. 325-346.
- Elsborg, S.; Dam, A., & Bertelsen, S. (2004). *BygLOK – A Danish Experiment on Cooperation in Construction*. Lean Construction, the 12<sup>th</sup> annual conference in Elsinore, Denmark, 2004.
- Friblick, F.O. (2000). *Supply Chain Management in the Construction Industry – Opportunity or utopia?* Lund University, Department of Design Sciences, Logistics, Sweden. (2002). Thesis for the degree Licentiate in Engineering. ISBN 91-630-9705-2.
- Frödell, M.; Josephson, P.E., & Kock, C. (2013). *Integration barriers for purchasing organization in a large construction company: towards requisite disintegration*. The IMP Journal, Volume 7, Issue 1, pp. 46-58.
- Goldratt, E.M., & Cox, J. (2013). *The Goal – A Process of Ongoing Improvement – Special Edition*. Productivity & Quality Publishing Private Limited, Madras, India, Special Edition, ISBN-13: 978-81-85984-56-8 PB. First Edition published 1984.
- Gudmundsson, H; Hall, R.; Marsden, G., & Zietsman, J. (2015). *Sustainable Transportation. Indicators, Frameworks and Performance Management*. Samfundslitteratur, Frederiksberg, 304 pages, ISBN 978-87-593-1559-0.

- Harrison, R., & Stokes, H. (1992). *Diagonising Organizational Culture*. Jossey-Bass/Pfeiffer, first edition, May 29, 1992.
- Hansen, K.H., & Bertelsen, N.H. (2001). *Byg med kommunikation og innovation – et bedre videnmarked*. Projekt Hus debathæfte 4, By- og Boligministeriet, København.
- Ingvaldsen, Th.; Lakka, A.; Nielsen, A.; Bertelsen, N.H., & Jonsson, B. (2004). *Productivity studies in Nordic building- and construction industry*. Norwegian Building Research Institute. Project report 377 – 2004.
- Incentive. (2013). *Trængselskommissionen om ydertimedistribution, citylogistik og byggelogistik*. Trængselskommissionen, Arbejdsgruppe 1, Trafik-, Bygnings- og Boligstyrelsen, København, foråret 2013.
- Justitsministeriet, CMR loven. (2015). *Bekendtgørelse af lov om fragtaftaler ved international vejtransport*. Justitsministeriet, LBK nr 1122 af 18-09-2015, [www.retsinformation.dk/eli/lta/2015/1122](http://www.retsinformation.dk/eli/lta/2015/1122)
- Justitsministeriet, Købeloven. (2014). *Bekendtgørelse om køb*. Justitsministeriet, LBK nr. 140 af 17-02-2014, [www.retsinformation.dk/eli/lta/2014/140](http://www.retsinformation.dk/eli/lta/2014/140)
- Kaplan, R.S., & Anderson, S.R. (2004). *Time-Driven Activity-Based Costing*. Harvard Business Review, November 2004.
- Kaplan, R.S., & Anderson, S.R. (2008). *Time-driven activity-based costing*. Børsens Forlag, København, 290 sider, ISBN 978-87-7664-258-7.
- Kelly, K. (1994). *Out of Control. The New Biology of Machines, Social Systems and the Economic World*. Kevin Kelly, ISBN 978-0201483406.
- Kenley, R., & Sepänen, O. (2010). *Location-Based Management for Construction: Planning, scheduling and control*. Spon Press, London og New York. ISBN13: 978-0-415-37050-9. I alt 536 sider.
- Kock, N.; Beim, A.; Bonke, S.; Kreiner, K.; Clausen, L.; Koch, C.; Bang, H.; Jensen, P.A.; Thomassen; M., & Haugbølle, K. (2001). *Perspektiver på byggeriets faseskift – et debatoplæg – marts 2011*. Værdibyg, Bygherreforeningen, København, [www.vaerdibyg.dk](http://www.vaerdibyg.dk).
- Koskela, Lauri. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford University, CIFE Technical Report #72.
- Koskela, Lauri. (1993). *Lean production in construction*. IGLC 1st workshop, 1993. Artikel: Lean Construction, s. 1-9. Editeret af Luis Alarcón A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1997
- Koskela, Lauri. (1999). *Management of Production in Construction: A Theoretical View*. IGLC 7th Annual Conference, 1999. University of California, Berkeley, CA. p. 241-252.
- Koskela, Lauri. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. VTT, ESPOO 2000.
- LBF. (2015). *Forvaltnings Klassifikation - Tabeller*. Landsbyggefonden, København. Version 2.3. Marts 2015.
- Lundesjo, G. (2011). *CCC to reduce waste and carbon emission*. WRAP, Waste & Resource Action Programme, project WAS904-001, guideline logistics, July 2011, [www.WRAP.org.uk](http://www.WRAP.org.uk).

- Lundesjö, E. et al. (2015). *Supply Chain Management and Logistics in Construction. Delivering Tomorrow's Built Environment*. Kogan Page Limited, London, Philadelphia and New Delhi, edited by Greger Lundesjö, 272 pages, ISBN 978-0-7494-7242-9.
- Macomber, H.; Howell, G.A., & Reed, D. (2005). *Managing Promises with the Last Planner System: Closing in on Uninterrupted Flow*. International Group for Lean Construction, IGLC 13<sup>th</sup> Conference, Sydney, 2005.
- Mayo, G.E. (1945). *The Social Problems of an Industrial Civilization*. Harvard University, Division of Research, Boston. Printed at The Andover Press, Massachusetts.
- McLennan, N.K. (2019). *Collaborative Principles for Better Supply Chain Practice. Value Creation Up, Down and Across Supply Chains*. Kogan Page Limited, London, New York and New Delhi, edited by Norman K. McLennan, 267 pages, ISBN 978-0-7494-8049-3.
- MOE. (2016): *Byggepladslogistik og udfordringer*. Solbjerg campus development. November 2016.
- MOLIO. (2020). *CCS klassifikationstabeller*. Molio, Byggeriets Videncenter, København. Center for produktivitet i byggeriet (Cuneco). Cuneco Classification System (CCS) er inkluderet i ISO/IEC 81346-12. <https://ccs.molio.dk/Navigate/CodeCracker?classifications-iso>
- Monden, Y. (2012). *Toyota Production System – An Integrated Approach to Just-In-Time*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, pages 520, Fourth Edition, ISBN 978-1-4665-0451-6.
- Morgan, J.M., & Liker, J.K. (2006). *The Toyota Product Development System – Integrating People, Process, and Technology*. Productivity Press, a division of The Kraus Organisation, New York. ISBN 1-56327-282-2.
- Nakamura, J., & Csikszentmihalyi, M. (2009). *The concept of flow*. In Snyder, C. R., & Lopez, S. J. (Ed.). *Oxford handbook of positive psychology*. Oxford University Press, USA. Chapter 7, page 89-105.
- Nielsen, J.; Pedersen, E.S., & Haugbølle, K. (2010). *Byggeriets Produktivitet - Udvikling i boligbyggeriets standard - Dokumentationsrapport 2*. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, Hørsholm, SBI 2010:08.
- Ohno, Taiichi. (1988). *Toyota Production System – Beyond Large-Scale Production*. Taylor & Francis Group, New York, ISBN 978-0-915299-14-0. Oversat fra den originale japanske udgave fra 1978. Toyota Seisan hoshiki. Publiceret af Diamond, Inc, Toyko, Japan.
- Olivieri, H.; Seppänen, O., & Granja, A.D. (2018). *Improving workflow and resource usage in construction schedules through location-based management system (LBMS)*. Taylor & Francis Online, London. *Journal Construction Management and Economics*, Volume 36, 2018 - Issue 2.
- Seppänen, O.; Ballard, G., & Pesonen, S. (2010). *The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System*. *Lean Construction Journal*, pp 43-54.
- Sjøholt, O. (1999). *Construction Management in Japan – Notes from a short visit*. Norwegian Building Research Institute, Byggeforsk, Oslo, Project report 261 – 1999, ISBN 82-536-0665-6.
- SBI. (1972). *Cyklogram som arbejdsplan*. Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), Hørsholm, SBI-anvisning 91, ISBN 87-563-0108-1.



Shingo, S. (1987). *The Sayings of Shigeo Shingo - Key Strategies for Plant Improvement*. Productive Press, Cambridge ISBN 0-915299-15-1. Oversat af Dillon, Andrew P. fra original publikation (1985). Kōjō kaizen no hiketsu o kata-ru. The Nikkan Kogyo Shimbun, Ltd., Tokyo.

Shingo, S. (1988). *Non-Stock Production: The Shingo System for Continuous Improvement - SMED*. Productivity Press, Cambridge, ISBN 0-915299-30-5. Oversat fra original publikation (1987). Non-sutokku seisan hōshiki e no tenkai: Toyota seisan shisutemu no shin no igi. Japan Management Association, Tokyo.

Sørensen, N.L., & Bertelsen, N.H. (2001). *Tæt samarbejde i byggedelen – et bedre bygge-marked*. Projekt Hus debathæfte 2, By- og Boligministeriet, København.

Sørensen, N.L., & Gottlieb, S.C. (2018). *Byggebranchens anvendelse af IKT - Resultater fra en survey-undersøgelse*. Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), AAU København, SBI 2018:08, ISBN 978-87-563-1897-6.

TBST BEK 282. (1997). *Bekendtgørelse om selektiv nedrivning af statsbygninger*. Transport-, Bygnings- og Boligministeriet (TBST), bekendtgørelse nr. 282 af 18/14 1997.

TBST BEK 1226. (2011). *Bekendtgørelse om støtte til almene boliger m.v.* Transport-, Bygnings- og Boligministeriet (TBST), København, Bekendtgørelse nr. 1226 af 14/12 2011.

TBST AB18. (2018). *Almindelige betingelser i bygge- og anlægsvirksomhed – AB18, ABR18, ABT18, APP Projektudvikling, APP Projektoptimering, APP Driftskrav, APP Incitamenter, AB Forenkling, ABR Forenkling*. Betænkning afgivet af AB-udvalget til revision af AB92, ABR89 og ABT96. Betænkning nr. 1570 Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, København, juni 2018.

TBST. (2020). *Vejledning om den frivillige bæredygtighedsklasse*. Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, København. Maj 2020, <https://baeredygtighedsklasse.dk/>

Widén, K. (2006). *Innovation Diffusion in the Construction Sector*. Tund University, Division of Construction Management, Lund, Sverige, Doctoral Dissertation, October 2006 ISBN 91-85257-93-1.

Widén, K.; Christiansson, P.; Syvertsen, T.G.; Hjeldseth, E., & Storgaard, K. (2009). *ICT innovation diffusion in the construction sector – a framework for success*. Lund University, Division of Construction Management, Lund, Sverige, ISBN 978-91852-790-4.

Womach, J.P.; Jones, D.T., & Ross, D. (1990). *The Machine that Changed the World – Based On The Massachusetts Institute of Technology 5-Million-Dollar 5-Year Study On The Future Of The Automobile*. Rawson Associates Scribner, Simon & Schuster Inc. New York, USA, ISBN 978-089256-350-0.

Womach, J.P.; Jones, D.T., & Ross, D. (1991). *The Machine that Changed the World*. Journal of International Business Studies, Vol. 22, No. 3, 1991, pp. 533-538, review by Bernard M. Wolf.

Womack, J.P., & Jones, D.T. (1996). *Lean Thinking – Banish Waste and Create wealth in your Corporation*. Simon & Schuster Inc, New York, ISBN 0-684-81035-2.

Womach, J.P.; Jones, D.T., & Ross, D. (2007). *The Machine that Changed the World – The story of Lean Production* Toyota's secret weapon in the global care wars that is revolutionizing world industry. Simon & Schuster UK Ltd, London, England, ISBN 978-1-8473-7055-6.

WRAP UK. (2017). *Using a Construction Consolidation Centre to reduce deliveries and waste at One Hyde Park - Case Study: Construction Logistics*. WRAP UK, Waste & Resources Action Programme.

Østergaard, P.H. (2009). *Bedre byggeprocesser - femten trimmedede lærestykker fra aktuelt dansk byggeri*. Lean Construction DK, København.

## SBi-publikationer om byggeproces

En søgning på linket <https://sbi.dk/Pages/Search.aspx?q=&t=Publikationer> med de 7 søgeord (byggelogistik, byggeproces, digitalisering, dokumentation, industrialisering, ledelse og økonomi) gav 92 publikationer, som har relation til forskning i byggeprocessen:

- Uden for serier: 4 publikationer udgivet 2003-20.
- SBi-forskning: 59 publikationer udgivet 2004-20.
- By og Byg Dokumentation: 10 publikationer udgivet 2001-04.
- By og Byg Resultater: 5 publikationer udgivet 2001-04.
- SBi-rapporter: 6 publikationer udgivet 1995-99.
- SBi-anvisninger: 8 publikationer udgivet 1963-2014.

Af disse er kun 3 publikationer om byggelogistik udgivet de seneste 40 år fra SBi, og det er tilbage i årene 1995-99:

- Clausen, L. (1995). *Logistik i byggeriet*. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm, SBi-rapport 256.
- Clausen, L.; Listoft, M., & Nielsen, J. (1996). *Introduktion til byggelogistik*. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm, SBi-anvisning 191, ISBN 87-563-0929-5.
- Clausen, L. (1999). *Byggelogistik – Erfaringer fra seks forsøgsbyggerier*. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm. SBi-rapport 316. ISBN 97-887-563-1013-0.

I den efterfølgende publikationsliste er publikationer om byggelogistik mærket med \*.

### Uden for serier

- 2020 juni [https://sbi.dk/Assets/Byg-Bro/BygBro\\_Antologi.pdf](https://sbi.dk/Assets/Byg-Bro/BygBro_Antologi.pdf)
- 2011 april [https://sbi.dk/Pages/6th-Nordic-Conference-on-Construction-Economics-and-Organisation\\_3.aspx](https://sbi.dk/Pages/6th-Nordic-Conference-on-Construction-Economics-and-Organisation_3.aspx)
- 2004 januar <https://sbi.dk/Pages/Fornuft-og-ufornuft-i-byggeriets-organisering.aspx>
- 2003 januar <https://sbi.dk/Pages/Debatudskrift-fra-hoering-om-byggeriets-kvalitet-effektivitet-og-udvikling.aspx>

### SBi-forskning

- 2020:08 <https://sbi.dk/Pages/Drift-af-hvilende-ejendomme.aspx>
- 2019:12 <https://sbi.dk/Assets/BOLIG-2-000-erfaringer-for-2016-18/SBi-2019-12.pdf>
- 2019:03 <https://sbi.dk/Pages/Brobygning-mellem-bygningskonstruktoer-uddannelsen-og-kandidat-i-Ledelse-og-Informatik-i-Byggeriet.aspx>
- 2019:02 <https://sbi.dk/Assets/Ledelse-af-byggesager-i-Groenland-med-stadige-forbedringer/SBi-2019-02.pdf>
- 2018:08 <https://sbi.dk/Pages/Byggebranchens-anvendelse-af-IKT.aspx>
- 2018:04 <https://sbi.dk/Pages/Innovation-gennem-offentlige-bygherrers-udbud.aspx>
- 2017:19 <https://sbi.dk/Pages/Installation-Guide-and-User-s-Guide-LCCbyg-version-2-2.aspx>

- 2017:18 <https://sbi.dk/Pages/Installationsguide-og-brugervejledning-LCCbyg-version-2-2.aspx>
- 2017:12 <https://sbi.dk/Pages/Drejebog-Bygning-af-smaa-billige-boliger.aspx>
- 2017:07 <https://sbi.dk/Pages/Bygningsautomation.aspx>
- 2016:33 <https://sbi.dk/Pages/Installationsguide-og-brugervejledning-LCCbyg-version-2-1.aspx>
- 2016:32 <https://sbi.dk/Pages/Evaluating-BeBo-the-Swedish-procurement-group-for-housing.aspx>
- 2016:23 <https://sbi.dk/Pages/Mikroprojektering-indkredsning-af-et-faenomen-og-begreb.aspx>
- 2016:14 <https://sbi.dk/Pages/Installationsguide-og-brugervejledning-LCCbyg-version-2-0.aspx>
- 2015:18 <https://sbi.dk/Pages/Teknisk-dokumentation-af-LCCbyg.aspx>
- 2015:11 <https://sbi.dk/Pages/Implementering-af-cuneco-standarder-i-byggeriets-uddannelser.aspx>
- 2015:07 <https://sbi.dk/Pages/Digitale-laeringsmidler-for-byggefagene.aspx>
- 2015:05 <https://sbi.dk/Pages/Stoettevaerktoej-for-granskning.aspx>
- 2014:20 <https://sbi.dk/Pages/Arkitektkonkurrencer.aspx>
- 2014:19 <https://sbi.dk/Pages/Involverende-vaerdibaseret-byggeproduktion.aspx>
- 2014:14 <https://sbi.dk/Assets/Renovering-og-videnssystemet/sbi-2014-14.pdf>
- 2014:02 <https://sbi.dk/Pages/Eablering-af-AlmenNet-2004-09.aspx>
- 2013:21 <https://sbi.dk/Pages/Digitale-leverancer-ved-aflevering-af-byggeri.aspx>
- 2013:19 <https://sbi.dk/Pages/Energikompetencer-i-byggesektorens-erhvervsuddannelser-EUD.aspx>
- 2013:18 <https://sbi.dk/Pages/Uddannelse-i-cunecostandarder-og-vaerktoejer.aspx>
- 2013:07 <https://sbi.dk/Assets/Byggeteknisk-dokumentation-i-Danmark-2008-2010/sbi-2013-07.pdf>
- 2011:09 <https://sbi.dk/Pages/Murerfaget-i-bevaegelse-Vejledning-4-Ny-innovationskultur.aspx>
- 2011:08 <https://sbi.dk/Pages/Murerfaget-i-Bevaegelse-Vejledning-3-Kommunikation.aspx>
- 2011:07 <https://sbi.dk/Pages/Murerfaget-i-Bevaegelse-Vejledning-2-Eksperimentarium.aspx>
- 2011:06 <https://sbi.dk/Pages/Nye-samarbejdsformer-og-arbejdsmiljoe-paa-byggepladsen.aspx>
- 2011:05 <https://sbi.dk/Pages/Paa-tvaers-af-nye-samarbejdsformer-udvikling-af-arbejdsmiljoevenlige-byggeprocesser.aspx>
- 2010:57 <https://sbi.dk/Pages/Digitalisering-af-eksisterende-byggeri.aspx>
- 2010:48 <https://sbi.dk/Pages/CREDIT-Case-Study-Guideline.aspx>
- 2010:44 <https://sbi.dk/Pages/A-housing-Project-in-the-South-of-Sweden.aspx>
- 2010:29 <https://sbi.dk/Pages/Baltic-Sea-House.aspx>
- 2010:20 <https://sbi.dk/Pages/22-student-housing-estates.aspx>
- 2010:19 <https://sbi.dk/Pages/CREDIT-Summary-and-National-Recommendations.aspx>
- 2010:16 <https://sbi.dk/Pages/CREDIT-Performance-Indicator-Framework.aspx>  
<https://sbi.dk/Pages/State-of-the-Art-of-Benchmarking-in-Construction-and-Real-Estate.aspx>
- 2010:14 <https://sbi.dk/Pages/State-of-the-Art-of-Benchmarking-in-Construction-and-Real-Estate.aspx>
- 2010:04 <https://sbi.dk/Pages/Typehusbranchens-organisation-produktion-marked-og-innovation.aspx>

- 2010:03 <https://sbi.dk/Pages/The-repetition-effect-in-building-and-construction-works.aspx#s=the+repetition+effect>
- 2009:21 <https://sbi.dk/Pages/BadButik-A-S.aspx>
- 2009:20 <https://sbi.dk/Pages/Beregning-af-prisindeks.aspx>
- 2009:18 <https://sbi.dk/Pages/TRANS-USERS.aspx>
- 2009:11 <https://sbi.dk/Pages/Paa-tvaers-af-nye-samarbejdskoncepter-Udvikling-af-arbejdsmiljoevenlige-byggeprocesser.aspx>
- 2007:12 <https://sbi.dk/Assets/Beboer-og-ejerkommunikation/sbi2007-12-pdf.pdf>
- 2007:10 [https://sbi.dk/Pages/Paa-tvaers-af-nye-samarbejdskoncepter-Udvikling-af-arbejdsmiljoevenlige-byggeprocesser\\_1.aspx](https://sbi.dk/Pages/Paa-tvaers-af-nye-samarbejdskoncepter-Udvikling-af-arbejdsmiljoevenlige-byggeprocesser_1.aspx)
- 2007:09 <https://sbi.dk/Pages/Synliggoerelse-af-svigt-i-byggeriet.aspx>
- 2007:05 <https://sbi.dk/Pages/Rumkategorier-og-arealdefinitioner-for-universiteter.aspx>
- 2006:18 <https://sbi.dk/Pages/Byggeriet-produktivitet-Samspil-mellem-industri-og-byggeri.aspx>
- 2006:14 <https://sbi.dk/Pages/Delrapport-2-Strategiske-partnerskaber-i-byggeriet.aspx>
- 2006:10 <https://sbi.dk/Pages/Byggestyring-for-fagentrepreneurer.aspx>
- 2006:05 <https://sbi.dk/Pages/Kvalitet-og-byggefejl.aspx>
- 2005:11 <https://sbi.dk/Pages/Den-selvstyrende-byggeplads.aspx>
- 2005:05 <https://sbi.dk/Pages/Prisdatabase-og-informative-datablade-for-bygherren.aspx>
- 2005:04 <https://sbi.dk/Pages/Noegletal-for-boligbebyggelser.aspx>
- 2005:01 <https://sbi.dk/Pages/LCC-for-byggverk.aspx>
- 2004:03 <https://sbi.dk/Pages/Bygherrens-prissaetning-og-visualisering-efter-arkitektkonkurrence.aspx>

#### **By og Byg Dokumentation:**

- Dokumentation 63 <https://sbi.dk/Pages/3D-visualisering-i-arkitektkonkurrencer.aspx> 1/1 2004
- Dokumentation 61 <https://sbi.dk/Pages/Bedre-produktivitet-ved-renovering.aspx> 1/1 2004
- Dokumentation 60 <https://sbi.dk/Pages/Bygherrens-tidlige-prissaetning-og-erfaringsopsamling.aspx>
- Dokumentation 59 <https://sbi.dk/Pages/Turbobygning-af-nye-undervisningslokaler.aspx>
- Dokumentation 55 <https://sbi.dk/Pages/Sammenligning-af-dansk-og-svensk-boligbyggeri.aspx>
- Dokumentation 54 <https://sbi.dk/Pages/Partnering-i-udfoerelse.aspx>
- Dokumentation 49 <https://sbi.dk/Pages/Bygherrer-i-Danmark.aspx>
- Dokumentation 43 <https://sbi.dk/Pages/Synliggoerelse-af-kvalitet-i-boligbyggeri.aspx>
- Dokumentation 31 <https://sbi.dk/Assets/Totaloekonomi/2006-01-12-1389727785.pdf>
- Dokumentation 13 <https://sbi.dk/Pages/Informations-og-kommunikationsteknologi-i-boligen.aspx> Udgivet 2001.

#### **By og Byg Resultat**

- Resultater 37 <https://sbi.dk/Pages/Partnering-i-praksis.aspx> Udgiver 2004.
- Resultater 19 <https://sbi.dk/Pages/Produktivitetsdatabaser-for-byggeriet.aspx>
- Resultater 16 <https://sbi.dk/Pages/Informations-og-kommunikationsteknologi-i-boligen.aspx>
- Resultater 11 <https://sbi.dk/Pages/Murerfagets-udvikling.aspx>
- Resultater 6 <https://sbi.dk/Assets/Metode-til-kvalitetsvurdering-af-almment-boligbyggeri/2006-01-12-1484251249.pdf> Udgivet 2001.

### **SBI Rapport**

- \*316 <https://sbi.dk/Pages/Byggelogistik.aspx> Udgivet 1999.
- 307 <https://sbi.dk/Pages/Kortlaegning-af-88-byfornyelsessager.aspx> Udgivet 1998.
- 304 <https://sbi.dk/Pages/Uddannelse-integreret-i-byggeprocessen.aspx> Udgivet 1998.
- 284 Informations- og kommunikationsteknologi i fremtidens boliger Udgivet 1997
- 279 [https://sbi.dk/Pages/Livscyklusbaseret-bygningsprojektering\\_1.aspx](https://sbi.dk/Pages/Livscyklusbaseret-bygningsprojektering_1.aspx) Udgivet 1997.
- \*256 <https://sbi.dk/Pages/Byggelogistik.aspx> Udgivet 1995.

### **SBI-anvisninger**

- 246 <https://sbi.dk/anvisninger/Pages/246-Granskning-af-byggeprojekter-1.aspx> Udgivet 2014.
- \*191 <https://sbi.dk/anvisninger/Pages/191-Introduktion-til-byggelogistik-1.aspx> Udgivet 1996.
- 168 <https://sbi.dk/anvisninger/Pages/168-Boligplan-og-brugsvaerdi-1.aspx> Udgivet 1991.
- 151 <https://sbi.dk/anvisninger/Pages/151-Bygningsplanlaegning-med-brugerdeltagelse-1.aspx> Udgivet 1986.
- 143 <https://sbi.dk/anvisninger/Pages/143-Netplanlaegning-1.aspx> Udgivet 1984.
- 94 <https://sbi.dk/anvisninger/Pages/94-Anvisning-94-Ydeevne-hvorfor-hordan-1.aspx> Udgivet 1974.
- \*91 <https://sbi.dk/anvisninger/Pages/91-Cyklogram-som-arbejdsplan-1.aspx> Udgiver 1972.
- 59 <https://sbi.dk/anvisninger/Pages/59-Kalkulation-af-toemrer-og-snedkerarbejde-1.aspx> Udgivet 1963.





# **BILAG**

# **BILAG**

**Bilag A: Terminologi**

**Bilag B: Eksempler på benchmarking**



## Bilag A: Terminologi

DBR	The Drum-Buffer-Rope konceptet for logistikprocedurer.
Gemba	Det centrale sted for arbejdets udførelse
IE	Industrial Engineering.
IMVP	International Motor Vehicle Program.
Jidoka	Autonomation, automatisering med et menneskeligt ansigt.
JIT	Just-in-Time.
Kaizen	Stadige forbedringer i TPS.
Kanban	Informationer, standarder og logistikstyring i TPS.
Lead-tider	Tiden fra bestilling til levering.
LBMS	Location based management system (lokationsstyring)
MIT	Massachusetts Institute of Technology.
Poka-Yoka	Er en metode i TPS, hvor fejl så at sige finder sig selv.
SMART	Specific, Measurable, Attainable, Relevant and Timely.
SMED	Single-Minute Exchange of Dies.
STM	Scientific Thinking Mechanism.
SQC	Statistical Quality Control.
TFV	Transformation-Flow-Value.
TOC	The Theory of Constraints (DK: Teorien om begrænsninger).
TPS	Toyota Production System.
VFO	Value-Flow-Operation.
ZQC	Zero Quality Control.

## Bilag B: Eksempler på benchmarking

Udarbejdet af Michael Henriques, Cowi

Eksemplerne er fra byggesagerne Vapnagaard, Helsingør og Nordea Domicil, Amager fra projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis', som delvis er hentet fra følgende arbejdsrapporter i afsnit 6.5.4:

- [2015 Nordea Domicil analyse af råhus v Nielsen](#)
- [2016 Benchmarking logistik miljø v Henriques](#)

### B1: Transport af byggematerialer og jord, Vapnagaard

Den efterfølgende tabel viser fordelingen på varearter incl. bortskaffelse/nedrivning på hovedvaregrupper på renoveringen af Vapnagaard. Tallene skal tages med en del forbehold, men giver et rimeligt overordnet billede af transport- og logistik i tilknytning til den konkrete byggesag.

**TABEL 10.** Vareart, vægt, antal kørsler, antal km og antal tur-retur-kørsler.

Vareart	Vægt/ton	Antal kørsler		Km / tur-retur	
		Antal	%	Antal	%
Byggevareleverancer	0	0	37	0	65
Materielleleverancer	-	1.250	16	181.000	16
Bortskaffelse af jord	0	1.635	21	43.000	4
Bortskaffelse/Nedrivning	21.260	2.033	26	168.900	15
<b>I alt</b>	<b>21.260</b>	<b>4.918</b>	<b>100</b>	<b>392.900</b>	<b>100</b>

I nedenstående tabel er transportrelaterede data opdelt på de enkelte byggevarerarter herunder jord og affald. Antal udkørte km samt brændstofforbrug og CO<sub>2</sub>-udledning er estimeret ud fra informationer om kørselsrelationer, retur-kørsler, biltype mm. Da der ikke er tale om 'in situ' observationer af de enkelte kørsler, er der naturligvis tale om, at de oplyste data har en grad af usikkerhed. Men som nævnt i den detaljerede bilagsrapport er det første gang en op-stilling/analyse af denne karakter er gennemført, hvilket i sig selv er et første stort skridt i en rigtig retning.

**TABEL 11.** Transportdata og -egenskaber for til alle vare- og materielarter.

Varearter	Transportegenskaber				
	Km	Køretid timer	Aflæsningstid timer	Brændstofforbrug	CO <sub>2</sub> -udledning
Funderingsvarearter	64.000	914	417	20.000	53.200
Terrænvarearter	102.900	1.470	69	32.156	85.536
Murervarearter	135.600	1.937	118	42.375	112.718
Trævarearter / Montage af tag	71.800	1.026	149	22.438	59.684
Øvrige varearter til montage af facader / tag	321.900	4.599	133	100.594	267.579
Materielleleverancer	181.000	2.586	375	56.563	150.456
Affaldshåndtering / Bortskaffelse fra byggepladsen	193.300	2.761	734	60.406	160.681
<b>I alt</b>	<b>1.070.500</b>	<b>15.293</b>	<b>1.994</b>	<b>334.531</b>	<b>889.853</b>

I den efterfølgende tabel er i større detaljeringsgrad gennemført en beskrivelse af leverancerne af trævarearter til taget, fordelt på hovedelementer, beskrevet. Her er også udregnet/estimeret antal udkørte km., køretid, aflæsningstid, brændstof-forbrug og CO<sub>2</sub>-udledning.

**TABEL 12.** Transportdata for levering af trævarearter til montage af tag.

Varearter	Transportegenskaber				
	Km	Køretid timer	Aflæsningstid timer	Brændstofforbrug	CO <sub>2</sub> -udledning
32 x 120 mm tagbeklædningsbrædder /lbm	19.900	284	17	6.21	16.542
95 mm rockwool / m <sup>2</sup>	32.500	464	17	10.156	27.016
Samlelast 45 x 120 mm spærtræ / lbm	5.100	73	17	1.594	4.239
Samlelast / 2013 – 2014	14.300	204	98	4.469	11.887
<b>I alt</b>	<b>71.800</b>	<b>1.026</b>	<b>149</b>	<b>22.438</b>	<b>59.684</b>

I de efterfølgende tabeller er en række logistiske forhold beskrevet inklusiv informationer om den typisk anvendte biltype og antal kørsler.

**TABEL 13.** Skema 23 - Profil af Logistiksystem / -samarbejde.

Leverandør / Transportør	Profil af Logistiksystem / -samarbejde	Antal kørsler
Frøslev Træ / Beklædningsbrædder	Byggeledelse kontakt til Fog. Kontakt mellem chauffør og sjak	57
Rockwool	Byggeledelse kontakt til Fog. Central levering på plads.	57
Fog / Samlelast 45 x 120 mm spærtræ / lbm	Byggeledelse kontakt til Fog. Kontakt mellem sjak og chauffør	57
Fog / Samlelast / 2013 - 2014		325
<b>I alt</b>		<b>496</b>

**TABEL 14.** Skema 24 - Profil af køretøjegenskaber

Transportør	Profil af køretøjegenskaber	Kategori
Frøslev Træ / Beklædningsbrædder	Stor lastbil/vogntog	Stor
Rockwool	Stor lastbil/vogntog	Stor
Fog / Samlelast 45 x 120 mm spærtræ / lbm	Stor lastbil (mulig delleverance)	Stor
Fog / Samlelast / 2013 - 2014	Lille sololastbil	Lille

Bortskaffelse fra nedrivning facader, gavle samt forberedelse af terrænarbejder og fundering.

I nedenstående tabel er beskrevet en række forhold i tilknytning til bortskaffelse af forskellige affaldstyper, herunder jord. Og i de efterfølgende tabeller er disse informationer brudt ned i yreligere detaljer.

**TABEL 15.** Transportdata for affaldshåndtering / Bortskaffelse fra byggepladsen

Vareart	Km	Køretid timer	Aflæsningstid/timer	Brændstofforbrug	CO <sup>2</sup> -udledning
Brændbart	41.300	590	354	12.906	34.331
Betonbrokker / tegl og mursten	23.500	336	141	7.344	19.534
Forurenede sandwich-elementer (S-E)	1.200	17	13	375	998
Eternit	160	2	3	50	133
Isolering	500	7	2	156	416
Jern	400	6	2	125	333
Forurenet - Brændbart	37.900	541	33	11.844	31.504
Forurenet – ikke brændbart	340	5	0,3	106	283
Klasse 0 Jord	17.900	256	449	5.594	14.879
Klasse 1 Jord	1.300	19	11	406	1.081
Klasse 2 / 3 Jord	4.800	69	29	1.500	3.990
Klasse 4 Jord	400	6	2	125	333
<b>I alt</b>	<b>129.700</b>	<b>1.853</b>	<b>1.039</b>	<b>40.531</b>	<b>107.813</b>

**TABEL 16.** Skema 29. Profil af logistiksystem / -samarbejde

Leverandør / Transportør	Profil af logistiksystem / -samarbejde	Antal kørsler
CityContainer / Brændbart	Chauffør og sjak	1.180
CityContainer / Betonbrokker, tegl og mursten	Chauffør og sjak	470
CityContainer / Eternit og S-E	Chauffør og sjak/modtager	42
CityContainer / Isolering	Byggepladsledelse	10
CityContainer / Jern	Byggepladsledelse	7
CityContainer / Forurenede brændbart	Byggepladsledelse	5
CityContainer / Ikke forurenede brændbart	Chauffør og sjak	111
CityContainer / Klasse 0 jord	Chauffør	1.495
CityContainer / Klasse 1 jord	Chauffør og byggepladsledelse/CityContainer	38
CityContainer / Klasse 2 / 3 jord	Chauffør og byggepladsledelse/CityContainer	96
CityContainer / Klasse 4 jord	Chauffør og byggepladsledelse/CityContainer	7
<b>I alt</b>		<b>3.461</b>

**TABEL 17.** Skema 30. Profil af køretøjsegenskaber

Transportør	Profil af køretøjsegenskaber	Kategori
CityContainer	4 akslet bil- evt. m. 3 akslet anhænger/kærre	Stor

**TABEL 18.** Varearter / 5 transportegenskaber

Vareart	Km / tur -retur		Brændstofforbrug	CO <sub>2</sub> -udledning	
	Antal	%		Kg	%
Byggevarerleverancer	0	65	218.000	579.880	65
Materielleleverancer	181.000	16	56.563	150.456	16
Bortskaffelse af jord	43.000	4	14.000	37.240	4
Bortskaffelse / Nedrivning	168.900	15	56.000	148.960	15
<b>I alt</b>	<b>392.900</b>	<b>100</b>	<b>344.563</b>	<b>916.760</b>	<b>100</b>

### Samlede transportomkostninger

De samlede transportomkostninger i ren kørsel eksklusiv ventetid og med alle forbehold er på: Ca. 8-10 mio. kr. Tallet er baseret på en opregning af udkørte km opregnet med en km-pris på 10 kr./km. Tallet er dog ganske usikkert, da det eksempelvis ikke indeholder ventetid.

Set i et benchmark-perspektiv gengiver disse data "her og nu" billedet af de eksterne transporter til og fra Vapnagaard. Altså et billede af, hvordan disse blev grebet an i forbindelse med byggeriet. I et lærings- og benchmark-perspektiv kan disse data derfor anvendes som udgangspunkt ud fra, hvor der kan gennemføres ændringer og forbedringer, og hvor virkningerne direkte kan aflæses. Et par eksempler kan illustrere dette:

- Byggevarerleverancer: Hvis afstanden mellem leverandør og byggeplads (transportafstanden) reduceres med 10 %, mens man bibeholder sammensætningen af køretøjer, falder energiforbrug og CO<sub>2</sub> udslip med ca. 10 %. Ændring af denne art vil kunne medføre ændring i kørselsgeografi og dermed ændring i hvilke vejtyper og dermed køremønstre der indgår. Dette har indflydelse på energiforbruget.
- Hvis kapacitetsudnyttelsen på jordkørsler falder med 20 % vil antallet af udkørte km stige med 20 %, og det giver en tilsvarende effekt på energiforbruget (dog med forbehold for at anvende en lidt mindre bil, med et marginalt lavere energiforbrug)

Kan man i endnu højere grad end nu samle og samkøre leverancer til byggepladsen, især hvor der er tale om kørsel over lange afstande, er der muligheder for at reducere antallet af kørte kilometer.

Kan håndteringstiden ved specifikke operationer reduceres eksempelvis gennem brug af mere effektivt løftegrej, og kan det yderligere tænkes sammen med samkørsel af eksempelvis flere typer af affald, kan der være mulighed for både at reducere håndteringstid og kørselsomfang. Dette vil muligvis i en række situationer kræve en større bil, men den optimerede samkørsel levner også mulighed for at anvende eksempelvis mere effektivt løfte/håndteringsgrej.

De indsamlede data giver derfor også uden en eftermåling mulighed for hurtigt og oversigtligt at se, hvor de store kørselsvolumener og udkørte kilometre ligger, og hvor der forventeligt vil være tale om reelle muligheder for at indkredse og implementere forbedringer.

## B2: Case Nordea nyt domicil

Et case-eksempel med overslagsberegning på økonomisk tab ved for sene leveringer. Baseret på målinger ved Nordea's nye domicil på Amager.

Ved leveringerne til betonråhuset har der været forsinkelser på leveringerne af betonelementerne. Dette notat viser en overslagsberegning af de økonomiske tab ved forsinkelserne.

I forbindelse med delanalysen af "Registrering af læs" var der i alt registreret 1.027 læs pr 5/3 2015. Ud af disse 1.027 læs, er der data for afkaldstidspunkt og reelt ankomsttidspunkt på 940 læs. Ud af disse 940 læs er 167 forsinkede, svarende til 18 %. Ved afslutningen af leveringerne til råhuset er der i alt leveret 1.297 læs. Vi antager at 18 % af dem er for sent leveret og at de har en gennemsnitsforsinkelse på 66 minutter.

**TABEL 19.** Opregning af forsinkelser til alle betonelementer.

Opregning af forsinkelser	
Antal læs med data	940
Antal læs med sent leveret læs	167
Andel der er leveret for sent	18 %
Samlet forsinkelse	11.034 min
Gennemsnitsforsinkelse pr. læs	66 min
Alle læs	1.297
Antal læs leveret for sent (18 %)	233
Samlet forsinkelse alle læs	15.425 min
<b>Samlet forsinkelse alle læs</b>	<b>257 timer</b>

### Omkostninger

For at få en ide om prisen på leje af tårnkraner har vi kontaktet Ajos, hvor de opgav følgende priser:

- 20 t, 60 meter kroghøjde = 120.000 kr./mdr.
- 16 t, 60 meter kroghøjde = 68.000 kr./mdr.

Derudover har vi anslået, at en person i et betonsjak i gennemsnit koster 300 kr./time.

**TABEL 20.** Omkostninger for tårnkran og betonsjak.

<b>Timer pris for kran og betonsjak</b>	
<i>Kranleje for 16 tons tårnkran:</i>	
Pr. mdr.	68.000 kr./mdr.
Pr. hverdag	3.400 kr./dag
Pr. time (10 timer/dag)	340 kr./time
<i>Betonsjak med 12 mand:</i>	
Pr. mand	300 kr./time
Pr. sjak a 12 mand	3.600 kr./time
<b>I alt</b>	<b>3.940 kr./time</b>

**Samlede forsinkelser og omkostninger**

Herunder er der vist en overslagsberegning for de samlede omkostninger forbundet med forsinkelser af beton elementleverancer.

**TABEL 21.** Samlede ekstraudgifter ved forsinket levering.

<b>Ekstra udgifter ved for sene leveringer</b>	
Timepris for kran og betonsjak	3.940 kr./time
Samlet forsinkelse for alle læs	257 timer
<b>I alt</b>	<b>1.012.917 kr.</b>

I overslagsberegningerne er det antaget:

- At kran og betonsjak er klar til at modtage læsset til rette tid.
- At der ikke kan laves andet arbejde med kran og betonsjak i venteperioden.
- At der ikke kompenseres for forsinkelserne.

**Sammenligning med samlede transportomkostninger**

Hvis man sammenligner de ekstra udgifter ved for sene leveringer med transportudgifterne til alle læssene viser det sig, at ekstra udgifter ved for sene leveringer svarer til ca. 30 % af de samlede transportudgifter for disse typer af leverancer.

**TABEL 22.** Overslagsberegning for de samlede transportomkostninger for betonelementerne.

<b>Samlede transportomkostninger for alle læs</b>	
Tur med læs	1.297 ture
Km pr. læs	250 km/tur
Km i alt	324.250 km
Kørselsomkostninger (8 kr./km)	2.594.000 kr.
Passage af Storebælt (800 kr./tur)	1.037.600 kr.
<b>I alt</b>	<b>3.631.600 kr.</b>

I Danmark i 2015 blev der produceret 1,7 mio. ton betonelementer [Betonelementforeningen, Årsrapport 2015]. Hvis man opregner transporterne fra Nordea-casen med dette tal svarer det til, at der blev leveret næsten 74.000 læs betonelementer i Danmark i 2015. Hvis det antages, at der er samme andel forsinkelser og samme transportafstand i gennemsnit som i Nordea-casen, svarer det til, at der var ekstraudgifter i forbindelse med forsinkelser på levering af betonelementer på ca. 58 mio. kroner i Danmark i 2015. Se tabel 23 herunder.

**TABEL 23.** Overslagsberegning på ekstraudgifter ved sene leverancer af betonelementer i Danmark i alt.

Læs med betonelementer i alt	73.913 læs
Antal læs leveret for sent (18 %)	13.304 læs
Samlet forsinkelse alle læs (66 min/læs)	879.043 min
<b>Samlet forsinkelse alle læs</b>	<b>14.651 timer</b>
<b>Ekstraudgifter ved for sene leveringer</b>	
Timepris for kran og betonsjak	3.940 kr./time
Samlet forsinkelse alle læs	14.651 timer
<b>I alt</b>	<b>57.723.821 kr.</b>





Vejledningen er et resultat af projektet 'Effektiv byggelogistik i praksis'. Den er de seneste 20 års mest omfattende samling af viden, erfaringer og forslag til forbedring af byggelogistik i Danmark. Den binder byggepladsproduktion og -ledelse sammen med leverancesystemets strømme af materiel, byggevarer og affald til, på og fra byggepladsen.

Byggelogistik er i vejledningen opdelt i 7 logistikafsnit, som danner en fælles forståelsesramme for alle aktører i byggeriet. Der gives forslag til, hvordan samarbejde og ledelse kan foregå i praksis, hvordan man bruger 9 dataplatforme på tværs i byggelogistik, og hvordan man kan praktisere 14 basislogistikaktiviteter. Her efterlyses forslag til, hvordan de i kan konkretiseres med guidelines og praktiske eksempler fra byggeriet.

Der gives også forslag til, hvordan vejledningen kan forbedres fremefter fx ved personlig udvikling og fælles sektortiltag. Som noget nyt er der beskrevet et omfattende historisk baggrundsmateriale, som kan anvendes i undervisning og udvikling.

