

# ROBOTTER PÅ BYGGEPLADSEN



Specialeafhandling ved  
Cand. Scient. Techn. Byggeledelse  
Aalborg Universitet Januar, 2011  
Rune Devantier Elfving

# INDHOLDSFORTEGNELSE

<b>RESUMÉ</b>	<b>5</b>
<b>ENGLISH SUMMARY</b>	<b>5</b>
<b>FORORD</b>	<b>5</b>
<b>INDLEDNING</b>	<b>6</b>
KORT OMKRING INDHOLDET AF RAPPORTEN.....	8
AFGRÆNSNING.....	8
VALGET AF PROBLEMERNE TIL PROBLEMFORMULERINGEN.....	9
<b>METODEAFSNIT</b>	<b>12</b>
HVORDAN DEFINERER VI EN BYGGEROBOT.....	12
MANGLENDE BYGGEROBOTTER.....	13
MANGLENDE STANDARDER.....	14
MANGLENDE RELEVANT DANSK LITTERATUR.....	14
LØSNINGER.....	15
REFLEKSION.....	16
FREMANGSMÅDER OG BEGRUNDELSE.....	16
<b>HVORFOR BRUGE ROBOTTER PÅ DANSKE BYGGEPLADSER?</b>	<b>18</b>
<b>BESKRIVELSE AF ROBOTTER</b>	<b>21</b>
NANOROBOTTER.....	24
<b>KOGNITION</b>	<b>26</b>
TILGANGE TIL KOGNITIONSMODELLER.....	26
THE COMPUTATIONAL APPROACH.....	26
ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS.....	27
DYNAMICAL SYSTEMS.....	28
THE QUANTUM APPROACH.....	29
THE COGNITIVE APPROACH .....	29
<b>MASKINENS OPFATTELSE AF SINE OMGIVELSER</b>	<b>30</b>
<b>BIOLOGISKE MODELLER</b>	<b>33</b>
BIOLOGISKE MODELLER .....	33
FISK .....	33
BIER .....	34
MYRER .....	35
DELKONKLUSION.....	37

<b>ISAAC ASIMOV'S 3 LOVE FOR ROBOTTER</b>	<b>41</b>
ASIMOV'S 3 LOVE FOR ROBOTTER .....	41
THREE LAWS OF RESPONSIBLE ROBOTICS .....	42
<b>ROBOTTEKNOLOGI I ET HISTORISK PERSPEKTIV</b>	<b>45</b>
KONTROL AF BYGGEMODELLEN .....	50
ALGORITMER OG PROGRAMMER TIL BYGGEROBOTTER .....	52
EFFEKTIVISERINGSALGORITMER .....	52
ERFARINGSDELING.....	54
KVALITETSSIKRING.....	54
SIKKERHED PÅ PLADSEN.....	55
ROBOTTER I BRUG PÅ BYGGEPLADSER .....	56
FAGOPDELTE ROBOTTER.....	56
FUNKTIONSDDELTE ROBOTTER.....	58
TILSYN PÅ BYGGEPLADSEN.....	59
DELKONKLUSION.....	60
<b>ANALYSE AFSNIT</b>	<b>61</b>
GENTAGEDE ARBEJDSPROCESSER.....	62
LAV GRAD AF MATERIALEFORARBEJDELSE FØR INDBYGNING.....	62
MULIGHED FOR NEDBRUD PÅ GRUND AF MATERIALET.....	63
LAV VARIANS AF VÆRKTØJ IGENNEM ARBEJDSPROCESSEN.....	63
EVNE TIL AT GENTAGE FUNKTIONER .....	65
KONSEKVENSER VED ALVORLIGE ARBEJDSULYKKER .....	65
TILPASNINGSEVNE OVERFOR MILJØ, FEJL OG ÆNDRINGER .....	65
MENNESKELIG INDIREKTE/DIREKTE ENGAGEMENT .....	66
KAN FUNGERE STABILT UNDER EKSTREME FORHOLD .....	67
EVNE TIL OPKVALIFICERING.....	67
ADGANG TIL BYGGEMATERIALER .....	68
FØLSOMHED OVER FOR FUNKTIONSFEJL.....	68
ANSKAFSELSPRIS INKL. OPLÆRING.....	69
PRODUKTIVITET.....	69
SERVICE BEHOV .....	69
FEJL OVER TID .....	70
POSITIV UDVIKLING AF LØBENDE UDGIFTER.....	70
LØBENDE UDGIFTER.....	71
DELKONKLUSION.....	71
<b>SAMARBEJDET MED ROBOTTERNE</b>	<b>73</b>
INDOOR POSITIONING SYSTEM.....	73
KOMMUNIKATION MELLEML ROBOTTERNE.....	73
DET NÆSTE SKRIDT INDENFOR BYGGEMODELLEN.....	74
SMARTPHONE OG BYGGELEDER.....	75
MATERIALER OG RFID.....	75
ØKONOMI.....	76
PRODUKTIVITET.....	77

<b>REALISERINGEN AF DEN KONCEPTUELLE ROBOT</b>	<b>79</b>
PROJEKTERINGSFASEN.....	80
OPSTARTSFASEN.....	81
UDFØRELSEFASEN.....	81
AFLEVERINGSFASEN.....	81
DELKONKLUSION.....	89
<b>KONKLUSION</b>	<b>90</b>
<b>PERSPEKTIVERING</b>	<b>92</b>
<b>ORDLISTE I ALFABETISK RÆKKEFØLGE</b>	<b>94</b>
<b>KILDEFORTEGNELSE</b>	<b>96</b>
BØGER.....	96
OPSAMLINGSBØGER.....	97
HANDBOOK IN ROBOTICS.....	97
AUTOMATION IN CONSTRUCTION.....	97
MAGASINER.....	102
AFHANDLINGER.....	102
INTERNETSIDER.....	102

## RESUMÉ

Denne rapport omhandler, hvordan man kan implementere robotter på byggepladsen, som en ny form for hjælpemiddel til håndværkerne og byggeledelsen. Rapporten er bundet sammen af 3 gennemgående emner, nemlig forbedring af arbejdsmiljøet, forbedring af kvaliteten i byggeriet samt bedre indtjening for entreprenørerne.

Rapporten beskriver forskellige aspekter, der er forbundet med en byggerobot, heriblandt kognition, byggerobottens opfattelse af sine omgivelser og hvilke krav, der må stilles til byggerobottens evner. Beskrivelsen sker ud fra forskellige eksisterende teorier og teknologi, samt ud fra biologiske modeller, hvor der fokuseres på forskellige dyrs og insekters evolution, for at drage nytte naturens erfaringer.

For at give en forståelse for de etiske problemstillinger, der er ved at integrere robotter i samfundet, beskæftiger rapporten sig med, dels faktiske etiske sikkerhedsforanstaltninger, der har til formål at beskytte menneskeheden mod robotterne, dels med, hvordan visse eksisterende robotters kernefunktion strider mod denne tankegang.

For at få en større forståelse for robotteknologi og for at beskrive, hvor vi er i dag i udviklingssammenhæng, beskrives udviklingen af robotteknologi fra den første nedskrevne tanke om robotter for ca. 4.000 år siden, til i dag. I nyere tid med et, for rapporten, naturligt fokus på robotteknologi i byggebranchen, og altså hvad der er muligt på en faktisk byggeplads anno 2010/2011.

Dette munder ud i en beskrivelse af en teoretisk byggepladsrobot, til opsætning af gipsplader og isoleringsmateriale, funderet på eksisterende teknologi.

## ENGLISH SUMMARY

This master thesis describes how to deploy robots on a construction site, as a new kind of tool for builders and construction site management. The thesis is bound together by 3 recurring themes: improving the work environment, improvement of overall quality in construction, and improving earnings for contractors.

The thesis describes various aspects associated with a construction robot, including cognition, how a construction robot perceives, its surroundings and which requirements a construction robot must possess. This description is based on various existing theories and technology, including biological models, which focus on the evolution of various animal and insect, in order to benefit from nature.

To provide an understanding of the ethical issues by integrating robots into society, the thesis describes actual ethical safeguards designed to protect humanity from the robots, but also how certain existing robotic core function violates this way of thinking.

To get a better understanding of robotics and to describe "state of the art" in a development context, the thesis describes the development of robot technology from the first written idea of robots, around 4.000 years ago, to this day. In recent times the thesis naturally focuses on robotics in construction, and therefore on what is possible at an actual construction site anno 2010/2011.

Put together this results in a description of a theoretical construction robot, that has the ability to fit plasterboard and insulation materials, based on existing technology.

# FORORD

Denne rapport henvender sig til:

Studerende der gerne vil lære mere om emnet "byggerobot", samt om hvad det indebærer at bruge disse. I rapporten er der særligt fokus på en mulig gipspladerobot, som bliver brugt som eksempel igennem hele rapporten. Rapporten forsøger at give en rudimentær forståelse for programmering af robotter, og for generel robotteknologi.

Entreprenøren der overvejer, hvorvidt der skal investeres i robotteknologi, men mangler værktøjerne samt argumentationen for at kunne vurdere dette. Entreprenøren vil kunne opnå en basis forståelse for robotteknologi, som der kan arbejdes videre med.

Forskeren som har brug for inspiration til grundforskning indenfor emnet "robotter på byggepladsen". Rapporten lægger op til, at man blandt andet skal undersøge: pris for en byggerobot, effektivitet ved at anvende en byggerobot kontra et menneske, metoder til integrationen af 3D byggemodeller med robotter samt udførelsen af et Man-Machine Interface (MMI).

Formålet med denne opgave er, at belyse et undereksporeret hjælpemiddel indenfor byggefaget - nemlig byggerobotter. Det er min hensigt, så vidt muligt, at beskrive den udvikling, der sker indenfor byggerobotter med henvisning til primære kilder. Formålet med at skabe fokus på dette emne er også, at medvirke til at sikre et bedre arbejdsmiljø på byggepladsen, samt til generelt mere nytænkning i byggebranchen.

Som byggefolk har vi nogle sikkerhedsmæssige og praktiske problemer, der gentagne gange plager byggepladser landet over. Tanken er, at man igennem nytænkning/robotteknologi skal kunne reducere dårligt arbejdsmiljø til gavn for håndværkeren, reducere dårlig kvalitet af byggeriet til gavn for bygherren, samt forøge indtjeningen til gavn for entreprenøren.

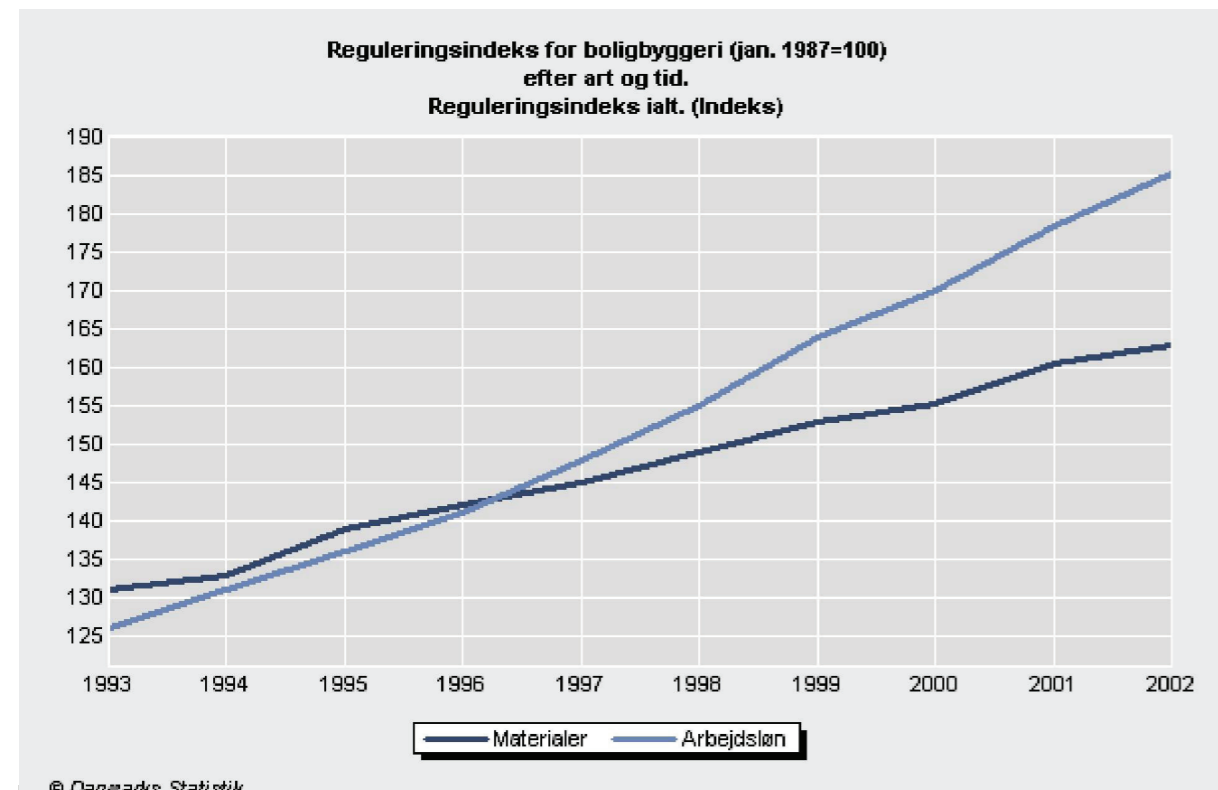
Tak til vejlederteamet Lektor Kjeld Svidt og Professor Per Christansson for at hjælpe mig med teoretisk vejledning omkring opgaven.

# INDLEDNING

## HVORFOR ER DETTE EMNE INTERESSANT

Forestil dig en byggebranche, hvor dødsulykker på byggepladsen er en ting tilhørende fortiden; Et samfund hvor en håndværker ikke længere behøves stå ude, i regn og slud, for at få projektet gjort færdigt til tiden! Et samfund, hvor entreprenørerne kan opnå en større fortjeneste ved at gøre det de gør bedst – bygge bygninger.

Hvis man betragter prisudviklingen på materialer og arbejdslønninger fra Dansk Statistikbank igennem perioden 1987 til 2002, ser man en klar tendens til, at arbejdslønnen før og efter 1997 begynder at stige ude af proportion med materialeprisen, i forhold til hvad man kan se vedrørende de forudgående år.

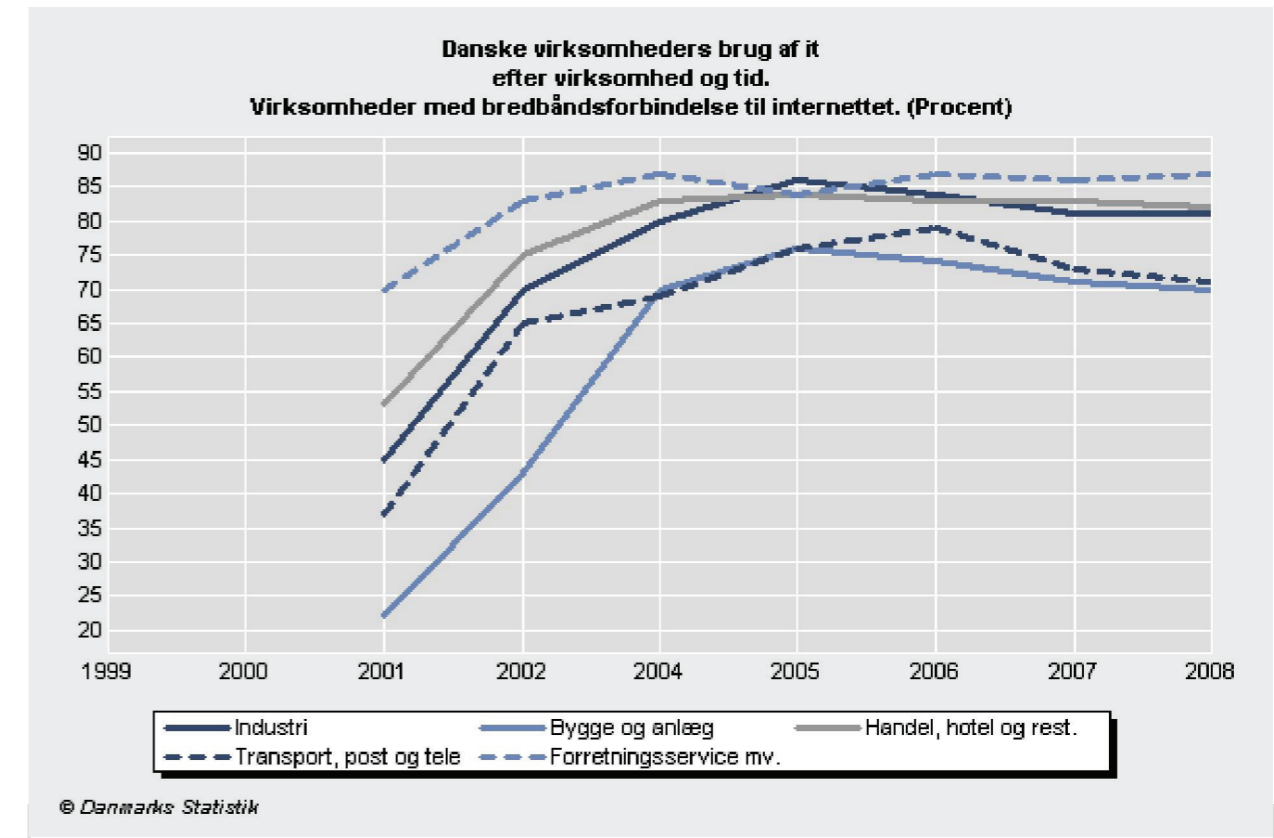


Figur (1), udvikling mellem materialepris og arbejdsløn  
Kilde: Dansk statistik

Hvilke mekanismer, der er skyld i denne differentiering er ikke væsentligt, hvis man betragter byggeri som en proces, som man ønsker at optimere økonomisk, kvalitets- og arbejdsmiljø mæssigt. Det som er interessant er den prognose, der kan laves ud fra den eksisterende graf. Denne prognose tyder på, at differentieringen bliver endnu større mellem priser på materialer og lønningerne.

Det er heller ikke relevant at sammenligne udviklingen i byggeprisindekset med den generelle udvikling i pristallet, da dette i bedste fald vil kunne forklare differentieringen mellem lønninger og materialepriser, men ikke kan pege på muligheder for at gøre byggeprocessen billigere. Grunden til at dette er relevant for denne opgave er, at det er en tendens som muligvis kan brydes ved hjælp af robotter, der ikke medfører den samme stigning i årlige omkostninger.

Hvis vi ser på en EDB-branchen, er der en tommelfinger regel formuleret af Gordon E. Moore, der siger, at kapaciteten fordobles på edb-maskiner hver 18. måned. Dette kan også ses i beslægtede brancher indenfor elektronikken, såsom foto, video og fjernsyn.



Figur (2), Brug af IT i forskellige brancher  
Kilde: Dansk statistik

Grunden til at jeg har inddraget edb-branchen, bunder i en forventning om, at byggebranchen som helhed bliver mere højteknologisk i årene fremover. Man kan naturligvis ikke sammenligne de to brancher 100%, da markedet for elektronik er steget markant over de sidste mange årtier, og vi ser computerchips i alt ligefra lommeregner til rumraketter, og produktionsprocesserne i elektronikbranchen er meget præget af gentaget samlebåndsarbejde, hvor byggebranchen er stærkt præget af, at hver bygning er unik.

Automatiserede arbejdsprocesser, altså processer hvori den menneskelige involvering er minimal, kan muligvis være med til, at opfylde forventningen omkring et bedre arbejdsmiljø, bedre kvalitet samt større indtjening. Jævnfør ovenstående graf er det arbejdslønningerne, der skal arbejdes med, hvis man skal opnå en betydelig reduktion i prisen, uden at dette går udover kvaliteten.

## MÅLSÆTNING

Målsætningen med denne rapport er, at analysere de muligheder, der kan findes for at mindske den menneskelige del af produktionen i byggeprocessen. Det forventes, at der skal arbejdes med byggerobotter på byggepladsen, primært for at opnå:

1. En arbejdsmæssig mere sikker byggeproces
2. Byggerier af en bedre kvalitet
3. Billige byggerier eller større indtjening

På baggrund af disse 3 mål, vil der senere blive formuleret en problemformulering, som omdrejningspunkt for resten af denne rapport.

## KORT OMKRING INDHOLDET AF RAPPORTEN

Den følgende rapport giver et muligt bud på, hvordan disse ovenstående problemstillinger kan løses, primært ved at fokusere på, at få hjælpemidler til håndværkerne, så håndværkerne delvist bliver taget ud af udførelsen af bygninger. Dette vil af mange blive betraget som radikalt, grænsende det excentriske. Spørgsmålet er, hvilket alternativ man så kan bruge i stedet for mennesket?

Når man bygger skibe, biler samt visse byggelementer, sker produktionen på en fabrik, hvor der bruges robotter, så hvorfor skulle man ikke bruge robotter på selve byggepladsen? Rapporten ser på, hvorfor man kunne bruge robotter på byggepladsen, hvad en robot er, og hvilke konsekvenser der kan være vigtige ved en implementering af robotter på byggepladser. Forfatteren af denne rapport kan ikke forudse samtlige konsekvenser ved en implementering af robotter i samfundet, men vil komme med et kvalificeret gæt på, hvordan fremtiden ser ud på byggepladsen.

## AFGRÆNSNING

Der er mange mulige delemner i denne rapport, som er utroligt spændende, men nogle bliver kun beskrevet kort, for at give en grundlæggende forståelse for problemstillinger, og give en fælles terminologi. Formålet med dette er, at holde rapportens fokus, der er: Robotter på byggepladsen.

Rapporten vil så vidt muligt kun beskrive eksisterende teknologi, og understrege overfor læseren, hvis der omtales teknologi der ikke eksisterer endnu. Et eksempel på dette kunne være kvanteteknologi. For så vidt det er muligt, vil der refereres til applikation af eksisterende teknologi i en ny sammenhæng.

Der vil i rapporten ikke blive udført matematiske beviser, såsom eksemplificering af kunstig intelligens, da denne rapport skal betragtes som første trin på trappen mod realiseringen af robotter på byggepladsen.

Når vi ser på robotter, vil vi se på fagopdelte robotter, istedet for funktionsopdelte robotter betydende, at vi ikke vil se på muligheden for, at en robot kan bruges i samme funktion over flere fag. Dette er ud fra filosofien, at når man skal implementere robotter i byggebranchen, vil man skulle gøre det gradvist, og i starten udelukkende som et hjælpemiddel, hvilket fagopdelte robotter vil kunne opfylde. Når robotter på byggepladser bliver et mere almindeligt fænomen, kan man begynde at se på funktionsopdelte robotter.

## VALGET AF PROBLEMERNE TIL PROBLEMFORMULERINGEN

### ULYKKER PÅ BYGGEPLADSERNE

Ideologisk set kan man sige, at én ulykke er én for meget. Det er vigtigt at forstå, at en byggeplads er et farligt miljø, hvor tonstunge betonelementer "flyver rundt" over hovederne på håndværkerne på pladsen. Man kan spørge sig selv, hvor meget en hjelm og et sæt sikkerheds sko hjælper, hvis betonelementet bliver tabt oven på et menneske. Men der er god grund til at gå med sikkerhedsudstyr, da der også er mindre farer på en byggeplads end betonelementer.

### Anmeldte arbejdsulykker 2004 - 2009 fordelt på skadetype og registreringsår

Køn: **Alle** Branchegruppe (36): **02 Opførelse og nedrivning af byggeri**

Antal ulykker	Registreringsår					
	2004	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Skadetype (10 grupper)</b>						
01 Død	6	14	2	8	4	5
02 Amputation	23	26	25	26	19	23
03 Knoglebrud	294	368	383	394	371	276
04 Forstuvning mv.	912	1.035	1.090	1.224	1.197	843
05 Sårskade	500	591	687	739	697	500
06 Termisk skade	8	5	17	16	11	8
07 Bløddelsskade	209	241	212	205	216	153
08 Ætsning	10	12	10	14	14	6
09 Forgiftning	6	4	15	11	16	15
99 Andet og uoplyst	331	418	496	497	474	483
<b>I alt</b>	<b>2.299</b>	<b>2.714</b>	<b>2.937</b>	<b>3.134</b>	<b>3.019</b>	<b>2.312</b>

Figur:(3), antal arbejdsulykker i byggeriet fordelt på årsag

Kilde: arbejdstilsynet 2010

Som man kan se på ovenstående figur (3), er virkeligheden ikke uden uheld på byggepladserne. Hvis man skal se på det fra entreprenørens og bygherrens side, er det en udgift som kan elimineres på i hvert fald to måder.

1. Tidskrævende og kostbar uddannelse af håndværkerne i den korrekte anvendelse af sikkerhedsudstyr og rutiner, samt holdningsændring af machoadfæren på byggepladsen. kilde: ([http://www.ebst.dk/publikationer/rapporter/byggematerialer/html/full\\_publication.htm](http://www.ebst.dk/publikationer/rapporter/byggematerialer/html/full_publication.htm))
2. Reducer skader på håndværkere, ved at implementere de rette hjælpemidler.

Man kunne se på de eksisterende muligheder ud fra et cost/benefit perspektiv, med muligheden for at finde frem til, at det nok er billigst at fjerne håndværkerne fra byggepladsen af flere grunde. Der vil for eksempel være en større grad af sammenhæng mellem projekteringsplaner og den reelle implementering af disse. Der vil ske en total reduktion af ulykker med fatale konsekvenser og, som vi lige har været inde på, det vil give entreprenøren en mulighed for, at få overskudsgraden op over 6,1% på grund af en reduktion i produktionsprisen.

## INDTJENING

I byggebranchen er der aktuelt flere problemer, der er interessante nok til at se på. Et af problemerne er, at entreprenørerne før indeværende finanskrisens start (august 2008), havde en overskudgrad på omkring 4,1-6,1% ifølge en undersøgelse udformet af Dansk Byggeri i perioden 2002-2005, hvilket i andre, mere industrialiserede brancher ville være utroligt lavt. Når man så samtidig tænker på, at der var mangel på arbejdskraft i perioden, og det var en tid, hvor entreprenører kunne vælge og vrage mellem opgaver, virker det endnu mere påfaldende.

## KVALITET OG ARBEJDS- TID

I LBK nr. 268 af 18/03/2005, også kendt som Arbejds miljøloven, beskrives, hvor meget en arbejder maksimalt må arbejde. I loven står der, at man skal have 11 timers hvile, og der er grænser for mængden af overarbejde. Hvis man benyttede sig af automatiserede arbejdere, ville man ikke have samme problematik, da der ikke er lovgivning for robotter, og da der ikke er behov for at beskytte robotterne på samme måde som mennesker.

Det vil sige, at prisen for en bygning vil blive reduceret, på grund af en kortere opførelsestid. Normalt ser man i byggebranchen, at en entreprenør køber materialer til et byggeprojekt, og først får pengene a'conto 2-3 måneder senere, når tilsynet kan se at materialerne er brugt til opførelsen af bygningen. Det vil sige, at entreprenøren kunne få likvider før, da de materialer entreprenøren har købt ind til projektet, bliver brugt tidligere. Det vil skabe et hurtigere flow i byggeindustrien, og i stedet for at have 2 måneders restance hos leverandøren til X %, kan dette blive skåret betragteligt ned, hvilket gør det billigere for entreprenøren at bygge bygningen.

Man kan også se på totalprisen, der samtidigt vil blive billigere for bygherren. Grunden til, at det bliver billigere for begge parter er, at bygningen vil kunne tages i brug tidligere. Det vil sige, at bygherren kan tjene penge på bygningen før han kunne ved traditionelt byggeri (altså byggeri uden brug af robotter). Altså skal bygherren ikke betale byggerente eller obligationsrente til banken i lige så lang tid. Dette kan både være gunstigt for små bygherrer med enkeltfamiliehuse, da disse ikke skal betale to huslejer i lige så lang tid, og for store bygherrer, da disse kan begynde at tjene på deres investeringsbygninger tidligere end de hidtil har kunnet.

## PROBLEMF ORMULERING

Hvad er en byggerobot, og hvordan ville denne byggerobot se ud?

Hvor langt er vi i udviklingen af byggerobotter?

Er det muligt at bruge robotter på byggepladsen, og kan man ved at bruge robotter som hjælpemiddel, undgå skader på håndværkere, mens man samtidigt sørger for, at entreprenørerne tjener flere penge ved at bygge bygninger?

## HENSIGT OG MÅLGRUPPE

Hensigten med denne rapport er, at beskrive en mulig udvikling på byggepladserne i Danmark. Ved at bevæge håndværkeren væk fra byggepladsen og ind på kontoret, kan den selv samme håndværker begynde at arbejde med innovation og know-how. Statsminister Lars Løkke Rasmussen fremsatte i 2010 10 mål for Danmark. Et af disse mål var, at Danmark skulle blive blandt de 10 rigeste lande i verden.

En mulig måde at opnå dette på, er ved at opnå know-how indenfor et område, hvor der ikke er stor konkurrence. Det er meget få lande, der arbejder med robotter på byggepladserne, så ved at koncentrere sig om byggerobotter, og know-how indenfor byggerobotter, kan denne vision nærme sig en realisering.

Hvis man skal se på, hvem denne rapport henvender sig til, ville det være oplagt at sige fremtidige ingeniør studerende, forskere samt mennesker der er interesseret i byggerobotter og robotforskning eksempelvis entreprenører. Hvis man vil forsøge at ændre byggebranchen, bliver man nødt til at have et fundament, hvorfra man kan arbejde. Det er hensigten med denne rapport, at være med til at danne grundlag for fremtidige rapporter om samme emne, og øge bevidstheden omkring implementeringen af robotter på byggepladsen.

## LITTERATUR/VALG AF KILDER

De kilder der er blevet brugt i denne opgave, er primærkilder som er samlet i opsamlingsværker såsom Automation in Construction, eller Handbook in Robotics. Samtidigt har jeg også set på japanske undersøgelser, samt på erfaringer gjort indenfor generel robotteknologi. Det sted, hvor der har været mest forskning i og udviklingen af robotter til byggepladserne rundt om i verden, er Japan. I Japan har man i over 20 år forsøgt sig med at implementere robotteknologi i byggebranchen, hvilket giver dem et stort forspring. I Japan har man set på mange af opgaverne indenfor byggeriet, og forsøgt at mekanisere dem.

# METODEAFSNIT

*Gennem mit arbejde med denne rapport har jeg erfaret, at emnet "byggerobotter" er relativt ubeskrevet i Danmark. Dette bunder formentlig i, at der på nuværende tidspunkt ikke bruges robotter på danske byggepladser. Desuden findes der hverken fælles standarder eller overvældende meget relevant litteratur om emnet, da meget af den viden som eksisterer omkring byggerobotter er på et konceptuelt niveau, og i f.eks. Automation in Robotics - et af de tidsskrifter der er indenfor lige dette emne - ser man mere på CAD-applikationer og laver grundforskning, der ligger forud for robotterne. Som beskrevet i indledningen har jeg været nødsaget til at finde kilder omhandlende generel robotteknologi, og efter bedste evne søgt, at tilpasse disse til byggepladsen. I det efterfølgende vil jeg detaljeret beskrive de tre problemområder: manglende byggerobotter, manglende standarder og manglende dansk litteratur, da jeg mener disse vil være vigtige ved eventuel fremtidig forskning.*

## HVORDAN DEFINERER VI EN BYGGEROBOT

Noget der er grundlæggende for rapporten er naturligvis, hvad vi egentlig forstår ved en byggerobot. De fleste mennesker har en opfattelse af hvad en robot er for en størrelse, og oftest vil man mene at en robot er en elektronisk "dums" der kan programmeres til selv at udføre opgaver på en mere eller mindre intelligent måde, men hvor er skillelinjen. Er en elektrisk skruemaskine med momentindstilling en robot?

Vi bevæger os på et teknologisk stadi, hvor der mangler dækkende definitioner for selv grundbegreberne. Som allerede antydning omkring de manglende standarder, er en af de meste grundlæggende mangler, at en robot ikke er defineret i litteraturen. Omkring 1495 designede Leonardo Da Vinci en "robot" der var i stand til at sidde oprejst, vinke med armene, bevæge hovedet og gabe. Jeg gætter på at Leonardo's robot blev konstrueret som en forlængelse af hans anatomiske studier af mennesket, men indenfor byggeriet er det vanskeligt at se nytten af de begrænsede funktioner, der var i hans robot.

Der findes ingen definition af robotter som tilfredsstillende alle. Joseph Engelberger, der var en pioner indenfor industrielle robotter, sagde engang: "I can't define a robot, but I know one when I see one." (<http://science.howstuffworks.com/robot.htm>). Efter leksikonet Encyclopaedia Britannica er en robot "any automatically operated machine that replaces human effort, though it may not resemble human beings in appearance or perform functions in a humanlike manner", mens Merriam-Webster (ordbog) beskriver en robot som "machine that looks like a human being and performs various complex acts (as walking or talking) of a human being", samt "device that automatically performs complicated often repetitive tasks", samt "mechanism guided by automatic controls" (<http://www.merriam-webster.com/dictionary/robot>).

Konklusionen er: På trods af at jeg gerne ville have defineret begrebet "robot", er jeg ikke i stand til at gøre dette på en fyldestgørende og tilfredsstillende måde. Jeg har derfor valgt at opstille en række kriterier som en byggerobot som minimum skal opfylde:

- En byggerobot skal kunne programmeres til at udføre et ønsket stykke arbejde, der kan variere fra byggeplads til byggeplads
- En byggerobot skal fungere koordineret med materialer, byggepladsens andre maskiner og byggeriets aktuelle status og forløb
- En byggerobot skal kunne udføre et stykke arbejde, uden konstant at være betjent eller overvåget af et menneske

At byggerobotten skal kunne programmeres til en specifik opgave fremgår implicit af de to andre krav, men er medtaget for at understrege vigtigheden af, at en byggerobot naturligvis skal kunne fungere i byggerier af forskellige størrelser og i forskellige udformninger.

Byggerobotten skal være koordineret med de materialer der er til rådighed. Det nytter ikke at en robot arbejder med at lægge mursten, hvis der ikke er mursten og mørtel til rådighed. Robotten skal naturligvis heller ikke forsøge at isætte et vindue, hvis muren som vinduet skal sidde i endnu ikke er bygget.

Jeg har valgt, at en byggerobot skal kunne løse sine grundlæggende opgaver, uden menneskelig indblanding af betydning.

## MANGLENDE BYGGEROBOTTER

Jeg forsøgte at starte et samarbejde med AAU robotteknik, da jeg derved håbede at kunne opnå et empirisk grundlag. Min plan var, at jeg ville tage tid på en robots funktioner og sammenligne tiderne med nogle af de utallige tidsprøver på håndværkere, som er udført i gennem tiderne og derefter igennem analyser vurdere udfaldet.

Det var dog ikke muligt at skabe sådan et samarbejde, da det ikke var muligt for mig, at få kontakt til studerende, som var interesserede i at deltage.

Det har ikke været mig muligt at bygge min egen robot, da jeg ikke er i besiddelse af de rette evner på nuværende tidspunkt, til at kunne bygge en byggerobot. Ellers var tanken, at byggerobotten kunne bruges som målestok i forhold til, hvordan man bygger i virkeligheden. En anden mulighed var, at finde robotter, der kan benyttes på byggepladser i Danmark. De forsøg jeg har hørt om, har mere været fokuseret på innovative udførelsesmetoder end på egentlig implementering af robotteknologi. Størstedelen af de robotter som eksisterer i byggeindustrien, bliver brugt i betonindustrien, hvor de kan forme selv de mest utænkelige figurer med lethed.

Jeg har dernæst set på andres forsøg med forskellige byggerobotter, i forventningen om, at andres empiri kunne bruges som min egen. Det har således været den tilgængelige og beskrevne empiri, som har været bestemmende for mit empirivalg. Meget af opgaven er baseret på statistik fra Danmarks Statistik, som er en statsejet organisation, der delvist hører til under Erhvervs- og Økonomistyrelsen. Danmarks Statistik udarbejder upartisk statistik om samfundet. Udover statistik er opgaven også baseret på videnskabelige artikler fra for eksempel Automation in Construction. ([http://www.dst.dk/OmDS/Maal\\_res/mogr/vaerdier.aspx](http://www.dst.dk/OmDS/Maal_res/mogr/vaerdier.aspx))



## MANGLEDE STANDARDER

Normalt ser man standarder til f.eks. biler eller computere. I en bil er det normalt, at speeder, bremse og eventuel kobling har standardiserede pladser i forhold til hinanden. Dette gør, at man kan bruge/betjene ethvert bilmærke, indenfor den kategori man har kørekort til. De standarder der mangler for byggeroboter, er for eksempel strømstik, et programmeringsprog samt datakommunikation internt i robotten og fra byggerobot til håndværkeren.

Meget er standardiseret indenfor computerteknologien. Her tænkes på de forskellige stik til skærm mm, men også på fx. keyboardets opbygning (qwerty), der bevirker at brugeren uden problemer kan benytte produkter fra forskellige producenter.

Eksempler på områder, hvor der især bør fokuseres på en brug af fælles standarder for byggeroboter, er strømforsyning, styresystem eller modulær tilkobling.

Grunden til at standarder er gode er, at man i fremtiden har muligheden for at kunne bygge videre på systemet, selv med elementer, som man tidligere ikke havde regnet med, eller forudset, ville være aktuelle. Tænk f.eks. på USB stikket, hvor man idag både kan tilkoble hukommelse og mus/keyboards eller oplade en mobil telefon - meget af dette var formentlig ikke indtænkt i det originale design.

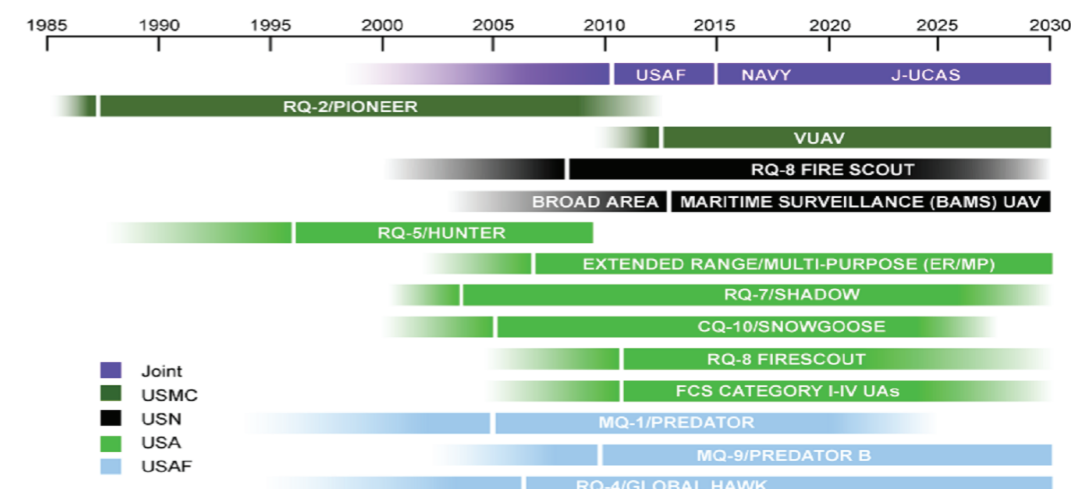
## MANGLEDE RELEVANT DANSK LITTERATUR

Det er muligt at emnet 'robotter på byggepladser' ikke er bedre beskrevet i Danmark, fordi det ikke er del af 'god dansk byggeskik'. Emnet robotteknologi kan dog have et stort potentiale for fremtidens byggeri i Danmark. Grunden til, at jeg ser det som et problem, at der ikke er beskrevet mere på dansk, er at vi som samfund er nødt til at tage stilling til robotter i byggebranchen - ser vi robotter som en trussel eller som en måde at hjælpe vores håndværkere på. Der er masser af emner der skal tages stilling til, og hvis ikke vi får en diskussion i gang i vores samfund, bliver vi muligvis hægtet af, og får ikke medbestemmelse på udviklingen af robotter.

Forskningen i robotteknologi og udvikling af denne fortsætter ufortrødent, hvilket gør, at det er på tide at diskutere problemstillingen "skal vi have robotter på byggepladserne?". Den eksisterende litteratur omkring emnet beskriver primært byggeroboter i Japan. Herudover forefindes litteratur om generel robotforskning i USA samt det tidligere nævnte tidsskrift, der samler den nyeste viden indenfor dette område fra forskere rundt om i verden.

I Japan ser man, at robotter har kultstatus og bliver betragtet som menneskets beskytter og generelt som noget godt. Den populære vestlige opfattelse af robotter er noget mere pessimistisk. Det gennemgående tema i film fra Hollywood er generelt, at maskinerne på et tidspunkt, uden provokation, vil forsøge at "vælte os af pinden" altså overtage verden. For at nævne nogle af ikonerne, kan her drages referencer til film såsom: A Space Odyssey, Terminator, Matrix, I-robot samt Meet the Robinsons, hvor det overordnede tema er, at den intelligente maskine, i større eller mindre grad, vil forsøge at besejre menneskeheden.

USA har sin egen dagsorden hvad angår robotteknologi. Her har der siden 1985 været forsket i militære applikationer for robotter, hvilket også kan ses på nedenstående figur (4).



Figur (4), Tidslinie over robotforskning i det Amerikanske militær  
Kilde: Department Of Defence, UAV systems

Herved skal ikke forstås, at alle robotter i USA arbejder for krigsindustrien, men mange af de teknologiske spring man ser i mennesket udvikling, sker i forbindelse med militære applikationer (eksempelvis kernekraft og teflon). Som udgangspunkt opfindes robotter og robotteknologi oftere til militære formål, fremfor til civile formål, men de benyttes naturligvis også i den civile industri.

## LØSNINGER

De metoder, der bruges til at udarbejde løsninger på til rapporten, er groft opdelt i 4 faser:

- Evneafdækning
- Dataindsamling
- Vurdering af data
- Bud på fremtidig løsning

Dataindsamlingen kaldes i videnskabsteorien for "empirisk analytisk metode". Empirisk analytisk metode er indsamling af objektive data. Der er kun tale om fakta og der sker ingen vurdering eller analyse.

Vurderingen af de indsamlede data er, hvad man i videnskabsteorien kalder hermeneutik, som betyder at forklare, fortolke, eller oversætte. Betegnelsen bruges ofte i humanistisk videnskab. Det skal dog siges, at der ikke er helt faste rammer, da de forskellige metoder overlapper hinanden, og hermeneutik kan også bruges i en naturvidenskabelig sammenhæng. (Thurén, 2009)

Hermeneutikken hjælper med at forstå de empiriske data. Den beskæftiger sig bl.a. med tolkning af menneskets handlinger. Hermeneutik er en subjektiv vurdering af data, der ikke objektivt kan påvises, da der er tale om en vurdering, og ikke om kendsgerninger. Det er derfor en usikker videnskab, men i dette tilfælde, hvor emnet ikke er fast defineret eller fuldstændigt beskrevet, er det en nødvendighed.

Til sidst følger et bud på en fremtidig løsning, som også er subjektiv og som ikke kan påvises på nuværende tidspunkt, men som er beskrevet gennem diskussion og logiske argumenter. Jeg vil forsøge at definere, hvad en robot egentligt er, og at finde ud af, om det er en god ide, at bruge robotter på byggepladserne rundt om i Danmark, set ud fra de tre tidligere beskrevne mål, nemlig:

- Forbedret arbejdsmiljø
- Kvalitetsforbedring
- Prisreduktion af byggeri

## REFLEKSION

Det jeg kunne have gjort anderledes, hvis jeg skulle skrive denne opgave igen, kunne være at have henvendt mig til andre danske universiteter, med henblik på et samarbejde om emnet byggerobotter.

Der kunne være brugt mindre tid på at forstå emnerne i dybden, såsom når jeg beskriver robotteknologi, så har jeg sat mig ind i biologiske modeller, da jeg mener, at man kan bruge erfaringer samlet i naturen, til at forbedre robotter generelt.

Jeg kunne også have eksperimenteret med legetøj, såsom LEGO Mindstorm eller Mekano for at få større indsigt i robotter generelt.

Og endeligt kunne jeg have skabt min egen robot, der kunne testes for produktivitetsforbedringer eller praktiske løsninger.

## FREM GANGSMÅDER OG BEGRUNDELSE

Mange af afsnittene i rapporten er med til at danne en fælles referenceramme, der gør det muligt at forstå konteksten. Som en form for introafsnit beskrives, hvorfor vi skal bruge robotter på byggepladsen. Argumentationen for dette bringes forholdsvis tidligt i rapporten, for at sikre at læseren har en klar forståelse for, hvorfor det er forfatterens mening, at vi med fordel kan benytte os af robotter på danske byggepladser.

Den fælles referenceramme er nødvendig, i tilfælde af, at man for eksempel ikke har det store kendskab til robotteknologi. Som en naturlig fortsættelse for forståelsen af referencerammen, bringes herefter afsnittet Beskrivelse af robotter, der indeholder underafsnittene Kognition, Maskinens opfattelse af sine omgivelser og Biologiske modeller.

Grunden til at afsnittet Kognition er medtaget i rapporten, er for at give læseren en forståelse for, hvilke problemer, der vil være forbundet med at anvende robotter, hvis disse skal være istand til at udføre mere end blot få enkle opgaver.

Afsnittet Maskinens opfattelse af verden bidrager også til den fælles referenceramme, og er tænkt til at give et indblik i, hvordan en robot ser verden. Grunden til, at dette vurderes som væsentligt, er for at forstå, hvordan robotten kan manøvrere i og påvirke sine omgivelser.

Afsnittet Biologiske modeller er valgt ud fra devisen, at naturen har brugt millioner af år på udvikling af nogle meget specialiserede dyr, så hvorfor ikke kigge naturen over skulderen og tage det bedste fra denne verden. Da dyrenes/insekternes adfærdsmønstre og liv er

grundigt beskrevet, forventes det, at man kan forkorte forsknings- og udviklingstiden af robotterne, hvis en forsker kan drage fordel af viden om eksisterende dyrs og insekters evolutionært udviklede evner.

Robotter er på nuværende tidspunkt uden moral eller etik, da disse begreber er svære at oversætte til "robot-" eller "maskinsprog", idet begreberne er vanskelige at opsætte i faste universelle regler. Det er grunden til, at jeg brugte tid på at skrive et etisk afsnit, og lagde meget vægt på "Asimov's 3 love for robotter" i afsnittet af samme navn. Skal en robot kunne samarbejde med et menneske, må det ikke være muligt for robotten, at slå et menneske ihjel. Hvis dette var muligt for robotten, ville man ikke kunne betegne robotten som et værktøj til, at give håndværkerne et bedre arbejdsmiljø, og dette sidstnævnte er et af formålene med at indføre robotter på byggepladser.

Robotteknologi bliver beskrevet i et historisk perspektiv, og dette afsnit viser også highlights indenfor emnet robotter i byggebranchen i den nyere tid. I afsnittet bevæger vi os igennem omkring 4000 års historie, og ser på, hvornår koncepterne bag nutidig robotforskning opstod, samt ser på, hvor langt vi er kommet i udviklingen af robotter. Dette bidrager til, at give en større forståelse for, hvor vi er og ligeledes for, hvor langt der er igen til vi har fungerende byggerobotter.

Analyse modellerne, som er anvendt i rapporten, er udført af forfatteren, og på danner baggrund af subjektive vurderinger et helhedsbillede, der blandt andet viser, at det er bedre at bruge robotter end mennesker til at udføre gentagne opgaver. Dette afsnit er med til at begrunde, hvorfor man skal vælge robotter frem for mennesker, til at udføre gentagne arbejdsprocesser på en byggeplads.

Der bliver også beskrevet, hvordan samarbejdet med robotterne muligvis kunne foregå. Dette er med til at give læseren en forståelse for, hvordan byggepladsen vil komme til at ændre sig, hvis man forsøger at implementere robotter. Dette afsnit vil søge at påvise, at der er mulighed for et forbedret arbejdsmiljø, for bedre kvalitet i byggeriet og for øget indtjening for virksomheder, ved at benytte sig af robotter, der kan implementeres på byggepladser idag ved anvendelse af eksisterende teknologi.

Til sidst i rapporten beskriver forfatteren, hvordan man kan konstruere en byggerobot, som er i stand til at opsætte gipsplader og isoleringsmateriale. Grunden til dette afsnit er med i rapporten, er for at vise, at de evner, som er beskrevet i underafsnittet Biologiske modeller, kan bruges til noget konstruktivt, idet det således allerede idag er muligt, at konstruere en byggerobot.

I afsnittet Konklusion, opsamles de resultater, som forfatteren finder, at arbejdet med rapporten fører frem til, og endelig bringes afsnittet Perspektivering, der omhandler overvejelser om i hvilken kontekst byggerobotter kan ses, i forhold til andre applikationer af robotter og robotforskning.

# HVORFOR BRUGE ROBOTTER PÅ DANSKE BYGGEPLADSER?

*Følgende afsnit belyser nogle af de argumenter, der støtter implementeringen af robotter i byggebranchen. Argumenterne der bliver brugt i dette afsnit, vil være med til at danne grundlaget for validiteten af efterfølgende rapport. Som vi så, i indledningen og i metodeafsnittet, er der fokus på tre områder i rapporten, nemlig arbejdsmiljø, kvalitet og pris. Når problematikken " hvorfor bruge robotter på danske byggepladser " behandles, menes der byggerobotten, som beskrevet i det tidligere afsnit [metode afsnit].*

Hvis man ser på bygninger, som har overlevet tiden tand, kan man tydelige se spor af historien. Man kan næsten se på bygningerne, hvordan samtidsmennesket tænkte og levede. Selvom arkitekturen udviklede sig, så gjorde håndværket det ikke i samme grad. I andre brancher, som er meget yngre end byggebranchen, ser man, at der er sket en industrialisering af branchen, fordi man derved har kunnet spare tid og penge.

Et eksempel kunne være bilindustrien, hvor man tidligere, som i byggebranchen, producerede alt i hånden. Men med udviklingen nye produktionsmetoder, såsom robotter, blev disse integreret i produktionsprocessen. Integrationen af robotter i branchen gjorde bilernes stykpris billigere. Samtidigt sikrede det også, at bilproducenterne tjente mere på hver bil. I byggebranchen har man ikke set den samme form for udvikling. Faktisk bruges de samme produktionsmetoder som man brugte ca. 350 år tilbage, da Kong Christian IV opførte Børsen i København. Dette kan begrunde, at der er brug for tilsvarende paradigmeskift i byggebranchen. (Thurén, 2009)

I naturvidenskaben forløber paradigmerne samtidigt, og udskifter ikke hinanden. Noget af det som er sket, er introduktionen af elektricitet på byggepladserne. Dette har betydet en produktionsforøgelse, men samtidigt er der kommet flere restriktioner af forskellig art, som f.eks. hvor meget der må bæres, hvor højt der må løftes, hvilke arbejdsstillinger en arbejder må stå i, og påbud af diverse forskelligt sikkerhedsudstyr, og dette fører ikke til en større produktivitet.

Et af de vigtigste aspekter, der bør belyses ved implementeringen af robotter i byggebranchen, er den markante reduktion af arbejdsulykker, som dette vil medføre. Ethvert menneske har stor værdi i forhold til at blive slidt op på en byggeplads, under dårlige arbejdsforhold og opslidende arbejdsstillinger. Hver eneste dag sker der arbejdsulykker, nogle små andre med fatale konsekvenser. Fra arbejdsgiverens synspunkt vil reduktionen af uheld på byggepladserne også have økonomiske konsekvenser, da sygedagpenge, erstatninger eller i værste tilfælde kompensation ved død, ikke er en mulighed på en robotificeret byggeplads. (Long et.al., 2009)

For at kunne implementere robotter, er det vigtigt at dem som betaler, eller tjener på projektet, er oplyst omkring den forøgede produktivitet. Ved at bruge robotter er der en praktisk mulighed for at arbejde 24 timer i døgnet, da robotterne aldrig bliver trætte eller laver fejl på grund af mangel på søvn, kun på grund af mangel på data eller materialer. At robotter er i stand til at arbejde "non-stop", vil være med til at sikre, at byggebranchen får industrilignende forhold, hvilket enten vil sænke prisen på bygninger, eller sikre at overskudsgraden for byggeri og anlæg ligger højere end omkring de 3%, som gennemsnittet af byggeriets parter i perioden 2004-2007 tjente ifølge en regnskabsanalyse foretaget af brancheorganisationen "Dansk Byggeri". (Sasaki, 2008), (Moon, 2010), (<http://www.danskbyggeri.dk/files/Filbibliotek/Analyser%20og%20Statistik/Regnskabsanalyse/yse%20-%202008.pdf>)

Når man benytter sig af robotter, kan man sikre sig, at kontrolskemaer bliver udfyldt korrekt og på det rigtige tidspunkt, procedurer følges bedre, hvis der skal tages et billede af en konstruktion bliver det taget af robotten, hvor et menneske kan være glemsom. Dette sikrer, at konstruktionerne bliver udført efter specifikationerne, og ikke som man så det i tidligere tider, hvor alt lige fra cykelstativer til barnevogne kunne bruges som armeringsstål i fundamenter. Ved at bruge robotter kan man sikre, at der er 100 % kontrol af konstruktionerne, og man ved med sikkerhed, hvordan en konstruktion er opbygget, både når det kommer til materialerne og tidspunktet. (Bernold, 2007)

Dette vil også give et økonomisk incitament for entreprenørerne, da konstruktionerne vil blive udført korrekt første gang, og mangellister samt udbedring af allerede udførte konstruktioner kan undgås.

Argumenterne for at benytte robotter lægger meget op til de tre hovedteser fra indledningen: bedre arbejdsmiljø, bedre kvalitet samt bedre indtjening. Disse kan være med til at overbevise om, at robotter har sin ret på byggepladsen.

At bruge et økonomisk argument er oplagt, da byggebranchen herved generelt kunne være i stand til at tjene flere penge. Et andet argument kunne være, at materialespecifikationer bliver overholdt. Hvis man skulle montere en vådrumsmembran, bliver dette normalt gjort over to omgange, da der skal ske en vulkanisering af materialerne, men samtidigt sikres den rette tykkelse af vådrumsmembranen også på denne måde. Bruger man robotter kan man sikre, at der ikke bliver brugt for lidt materiale i monteringen, for at reducere prisen, med den konsekvens, at konstruktionen kan blive svag, med mulighed for nedbrud tidligere end forventet. (Bernold, 2007)

Hvilket leder frem til det sidste argument for brugen af robotter. Robotter behøver ikke at bekymre sig om materialers uddunstning, som kan forekomme både være ved nedbrydning og ved nybyggeri. Når man nedbryder, skabes der meget støv, og de fleste mennesker, der arbejder med nedbrydning, bruger papirmasker som beskyttelse. Selvom dette, fra et beskyttelsesmæssigt synspunkt, er bedre end ingenting, så kan man ved brug af disse masker, i over 2 timer, få vand i lungerne. Desuden vil papirmasken kun opfange de større partikler, mens den ikke beskytter imod organiske eller uorganiske dampe samt meget små partikler.

Ved nybyggeri kan man mange steder se, at der for eksempel svejdes direkte på byggepladsen. Her bliver der tit ikke brugt de rette sikkerhedsværn, hvilket i værste tilfælde kan give lungekræft. Bruger man robotter, skal man ikke kontrollere om robotterne faktisk bruger det sikkerhedsudstyr, som man har købt i dyre domme, da sådanne er overflødige. (Teizer et.al., 2010), (<http://www.cancer.dk/Hjaelp+viden/kraeftformer/kraeftsygdomme/lunge/aarsager+lunge/>), (<http://www.danskmatal.dk/~media/DME/Files/pdf/Pjecer/Miljoe%20og%20sikkerhedsarbejde/Svejsning2010.pdf>)

Noget der bliver brugt mange kræfter på i byggebranchen, er efteruddannelse af ansatte. Oplæring i nye managementmetoder og forsøget på at være 'state of the art' det vil sige at, entreprenører vil gå langt for at bruge de nyeste produktionsmetoder, hvis det sparer penge. Der hentes meget inspiration fra bilindustrien, hvor Toyota har været primus motor indenfor udviklingen af managementsystemer og effektiviseringsmetoder. Disse er forsøgt implementeret i byggebranchen, dog sjældent helt succesfuldt. Metoder som JIT (Just In Time), Partnering (hvor entreprenøren indgår samarbejde med bygherren omkring byggeriet som helhed) og LEAN (slankning af arbejdsprocesser) er alle afhængige af, at alle på byggepladsen er 100% engageret i systemet, og da det kan være en konservativ branche, med den generelle indstilling: "if it ain't broke, don't fix it", er det svært, at få alle engageret i de nye metoder. Udover management metoder er der også produktionsmetoder, der kunne ændres. Hvis man forskede i det, kunne man godt forestille sig, at man kunne definere det mest effektivt mønster at male eller lægge mursten i. Dette mønster ville kunne overføres direkte til robotten, så det blev måden den udførte lige den handling på, hvilket igen ville føre til bedre kvalitet. (Kamat et.al., 2007), (Oral et.al., 2010)

Set i lyset af den aktuelle finanskrisen ville ibrugtagning af robotter i byggeprocessen kunne skabe mere velstand og derved flere arbejdspladser til mennesker. Tidligere har man gang på gang set, at støtteerhverv skabes, når en ny branche opstår. Dette er f.eks. set ved indførelsen af computere, hvor Thomas Watson, bestyrelsesformanden for IBM, skulle have sagt noget i retning af; at 'der nok kun var et marked for fem computere i hele verden', og altså i den grad fejlbedømte situationen. Det samme kunne man se ved industrialiseringens indtog, hvor man frygtede, at alle jobs ville blive overtaget af maskiner. Set i bagklogskabens klare lys er det idag tydeligt, at samfundsudviklingen i overvejende grad var positiv som følge af disse hændelser. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Thomas\\_J.\\_Watson](http://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_J._Watson))

Min sidste pointe er, at det er vigtigt at en robot ikke signalerer, at den kan mere end den rent faktisk kan. Direkte udledt herfra mener jeg, at når man bygger en robot er det vigtigt, at robotten ikke ser ud til at have evner robotten ikke har. Jeg er overbevist om, at hvis folk forventer for meget af robotten, vil der opstå et krav om, at robotten skal kunne udføre det folk mener den skal kunne gøre. Altså, hvis den har aftegningen af en mund, skal den kunne tale, hvis den er udformet som et menneske, skal den være i stand til at kunne opføre sig menneskeligt. Det betyder, at der nemt kan opstå frustration og skuffelse hos brugerne.

De argumenter, der blev taget op i dette afsnit, vil blive brugt sidenhen i opgaven, og afsnittet var med til delvist at besvare et af problemformuleringens spørgsmål, nemlig: "Er det muligt at bruge robotter på byggepladsen, og kan man ved at bruge robotter som hjælpemiddel, undgå skader på håndværkere, mens man samtidigt sørger for, at entreprenørerne tjener flere penge".

## BESKRIVELSE AF ROBOTTER

Som omtalt i indledningen er der ikke en fast universelt defineret standard for "hvad en robot er", eller generelle standarder indenfor robotteknologi. Der er ikke umiddelbart brug for en definition af robot, da det tænkes, at en robot kan have mange former og funktioner. I det følgende vil det dog beskrives, hvornår der er tale om en byggerobot, eller en automation. Denne fælles forståelse, vil være med til, at gøre forståelsen igennem rapporten mere klar da der er stor forskel på de to forskellige udtryk.



Den gængse opfattelse, er "en humanoid tobenet maskine" som billede (1), men for at beskrive, hvad en byggerobot er, bliver man nødt til at se lidt mere nuanceret på emnet, da det ikke er en nødvendighed, at en robot har to ben, og ligner et menneske. I den litteratur der er arbejdet med, beskrives der to forskellige typer maskiner, nemlig automationer og (bygge)robotter.

Billede (1): den gængse opfattelse af en robot

Kilde: <http://www.oliviamunn.com/robot-invasion-is-coming-not-kidding/>

---

En robot er en maskine, som:

- (I) er i stand til selvstændig tankevirksomhed.
- (II) opfatter det miljø robotten agerer i.
- (III) udfører handlinger i de omgivelser robotten selv opfatter.

En automation er en maskine, som:

- (I) er ude af stand til, selvstændig tankegang eller handling. (er kun i stand til binær sort/hvid tankegang)
  - (II) udfører kommandoer udstedt af et menneske
  - (III) automatiserer en funktion der ellers skulle laves manuelt
-

En robot er nødt til at være selvstændig, men har også brug for en vis "bruger påvirkning". Det skal dog bemærkes, at robotten ikke må være fuldstændig afhængig af denne brugerpåvirkning. En mulig "bruger påvirkning" kunne være påvirkningen af opgaveprioriteringen, i vores tilfælde, er er tale om en byggerobot, og de tilfælde, hvor opgaveprioriteringen skulle påvirkes, ville være, hvis de materialer som skulle være ankommet til byggepladsen ikke er ankommet.

En anden bruger påvirkning kunne være en opdatering af opgaven/"den virtuelle model", som er den sum af oplysninger robotten arbejder ud fra. Opdateringen af den virtuelle model kan resultere i en forøgelse eller nedskæring af arbejde, hvilket vil kræve at robotten selv finder ud af at udregne opgaveprioriteringen.

Det kræves altså, at robotten selv skal finde den mest optimale løsning på de problemer den bliver stillet overfor. Dette kræver en meget sofistikeret AI, der kan tage højde for de samlede ressourcer på byggepladsen, da man kan forestille sig, at når byggerobotter bliver implementeret i byggeprocessen, og kommer ud på byggepladserne, må man forudse, at de er forbundet, for at opnå den største helhedsforståelse af byggeriet og byggeprocessen. Altså en sværm af robotter, skal kunne fordele opgaver og ansvarsområder imellem hinanden, meget lig en insektkoloni eller et fiskestime.

En robot skal:  
I en mere eller mindre begrænset tidsperiode, kunne handle selvstyrende, når robotten først har fået en given opgave.

Hvis vi ser på det ovenstående, kan vi se, at vores samfund er igang med en reformation, hvor robotteknologi mere eller mindre gennemsyrrer vores omverden. Her tænkes på steder som Arla, der bruger robot teknologi til at fordele mælkekasser på deres mejeri, samt den Københavnske Metro, hvor førerløse tog kører mennesker rundt i og omkring København.

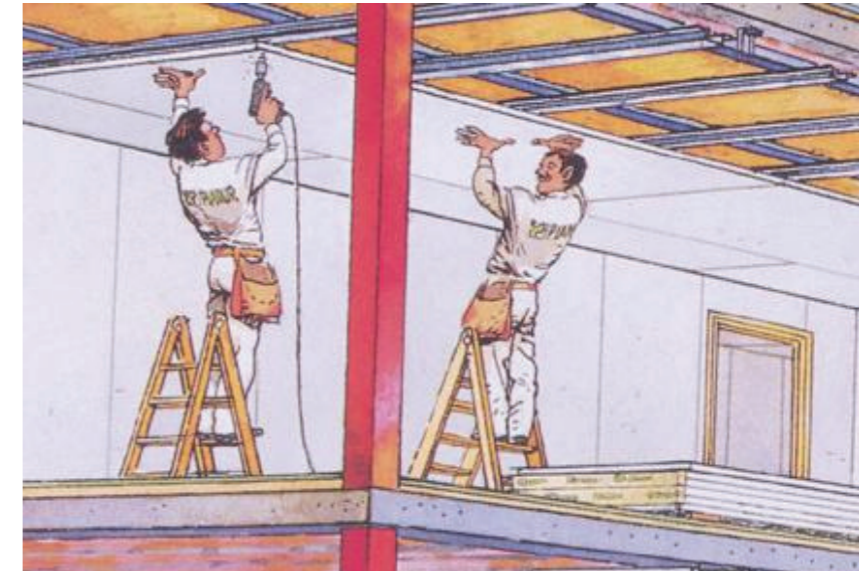
Man kan også godt indtænke moralske og etiske handlemønstre for robotten, hvilket vil blive behandlet i det efterfølgende afsnit "Isaac Asimov's 3 love for robotter".  
(<http://www.homoartefakt.dk/>)

Når vi ser på automationer, er der i højere grad tale om hjælpemidler. For eksempel er exoskelletter et godt eksempel på et hjælpemiddel, der øger brugerens styrke betragteligt.  
([http://ethics.calpoly.edu/ONR\\_report.pdf](http://ethics.calpoly.edu/ONR_report.pdf))

Konceptet er meget udviklet i Japan, og firmaer som Honda er begyndt at udvikle teknologien bag exoskelettet. Tanken er, at man ved hjælp af exoskelettet blandt andet kan give ældre deres styrke tilbage, selvom man også kunne forestille sig, at håndværkere, der skal flytte tunge genstande kunne drage nytte af et exoskelet. (<http://ing.dk/artikel/88228-her-kommer-robotdragterne>)

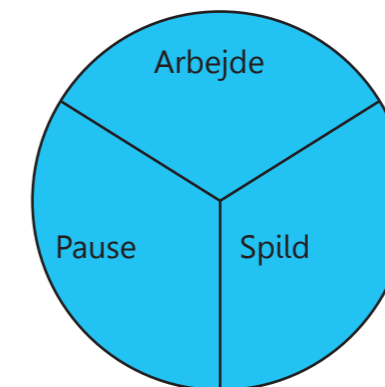
Selve konceptet automationer er ikke udviklet i byggebranchen, men bliver mere brugt i anlægssektoren, hvor gravemaskiner er en naturlig del af hverdagen. Selvom der er masser af potentiale for at udvikle automationer i byggebranchen. Eksempler kunne være: løftmaskiner, til de tunge elementer, såsom betonelementer, vinduer eller radiatorer, et andet eksempel kunne være en værktøjskasse robot, der holder sig i nærheden af håndværkeren, med værktøj og skruer mm.

Man kunne også videreudvikle eksisterende hjælpemidler, så de bliver endnu mere effektive. Hvis man ser på gipspladen vejer en standard gipsplade ca. 24 kg. Dette gør, at gipspladen er svær at håndtere for et menneske. (<http://www.bmc-danmark.underudvikling.dk/images/31e854d9c06ac511559752cd55aa41a2GipsDK.pdf>)



Billede (2) Opsætning af gipsplader  
Kilde: <http://www.bmc-danmark.dk>

En normal arbejdsdag for en håndværker er på 8 timer. Den teoretiske fordeling af arbejdstiden vises i figur 5. Hvis man skulle sætte gipsloft op i så lang tid, kunne man godt forestille sig, at det gentagne og tunge arbejde ville slide håndværkeren op. Håndværkeren har dog visse hjælpemidler til rådighed, som skåner ham. Blandt de hjælpemidler håndværkeren har til rådighed er en gipspladehejs, som hæver gipspladen op, så man bare skal skrue den fast. (<http://www.bmc-danmark.underudvikling.dk/images/31e854d9c06ac511559752cd55aa41a2GipsDK.pdf>)



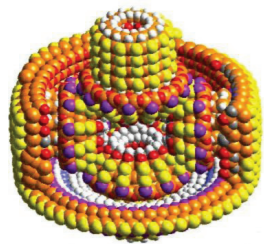
Figur (5) teoretisk fordeling af arbejdstiden  
Kilde: Anlægsforeningen i Danmark, 2005

Man kunne dog godt forstille sig en automation, hvor en maskine kører rundt med et lager på 50 gipsplader, svarende til en palle, og en hejs med indbyggede gipsskruepistoler. I dette tilfælde skal håndværkeren blot placere gipspladen og se hjælpemidlet gøre resten. Dette fuldautomatiske værktøj falder ikke ind i "robot" kategorien, men hører til i "automation" kategorien, da den er ude af stand til selv at tænke, 100 % er styret af den håndværker som skal opsætte gipspladerne og erstatter håndværkerens repetitive bevægelser.

## NANOROBOTTER

Meget af det, som rapporten hidtil har beskæftiget sig med, har været ved brug af allerede eksisterende teknologi. Det følgende afsnit, bevæge vi os ind i science fiction nærmere end science fact. Vi kommer i berøring med nanorobotter for at runde afsnittet "Beskrivelse af robotter" af.

For at kunne forstå nanorobotter, bliver vi nødt til at se nærmere på størrelsen. Nanorobotter er robotter hvis størrelse måles på nanometerskalaen ( $1 \times 10^{-9}$  meter), men det er ikke unormalt at man også bruger samme betegnelse for selvstændige agenter på mikrometer skalaen ( $1 \times 10^{-6}$  meter). Det skal siges, at på nuværende tidspunkt, er nanorobotter stadig er en hypotetisk størrelse.



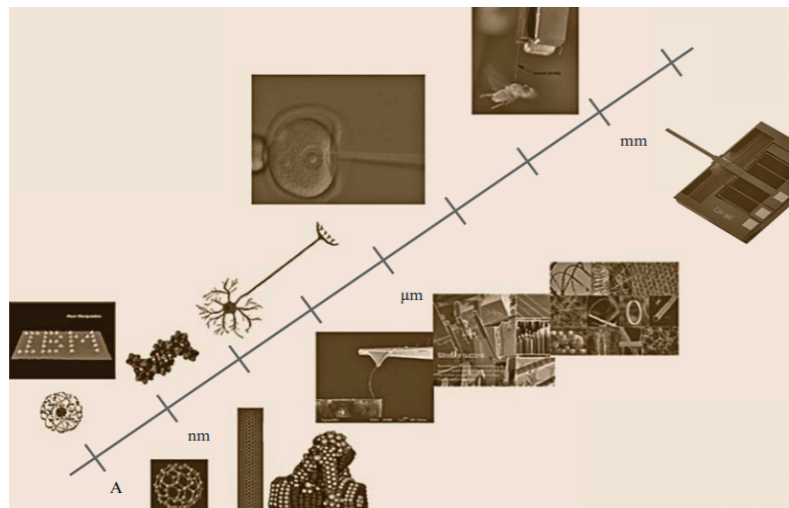
Billede (3) bottom-up nanogear  
Kilde: Xerox parc

De forskere, der forsker og arbejder med nanorobotter, har enten den tilgang til dette emne, at nanorobotter skal være i stand til enten at samle strukturer på et atomart niveau, og på samme måde være selvsamlende, den såkaldte bottom-up fremgangsmåde. (Siciliano et al., 2008)

Den anden fremgangsmåde der også er populær blandt forskere i nanoteknologi er, at nanorobotten skal samles af en større maskine, som på samme måde var blevet samlet af en større maskine, indtil man når ned på nanometer skalaen – denne tilgang hedder top-down. Vi vil komme ind på, designet af nanorobotter efter vi har en fælles forståelse for hvad en nanorobot egentligt er. (Siciliano et al., 2008)

## FORSTÅELSE AF NANOSTØRRELSEN

for at kunne forstå, hvor små nanorobotter er, vil jeg sætte det i relief til noget kendt. som det ser ud nu, er det muligt for mennesket at observere objekter inden for  $1 \times 10^{-35}$  meter (den såkaldte planck længdestørrelse) til  $1 \times 10^{26}$  meter (svarende til radius af det observerede univers) (Siciliano et al., 2008), ([http://www.denstoredanske.dk/It\\_teknik\\_og\\_naturvidenskab/Fysik/Relativitetsteori\\_og\\_gravitation/Planck-skalaen](http://www.denstoredanske.dk/It_teknik_og_naturvidenskab/Fysik/Relativitetsteori_og_gravitation/Planck-skalaen))



Billede (4) Forståelse af nanostørrelsen  
Kilde: Siciliano et.al., 2008

1 nanometer, eller  $1 \times 10^{-9}$  meter, er omkring 10 gange mindre end de mindste atomer vi kender: hydrogen eller carbon, hvilket gør at 1 nanometer er usynligt for det menneskelige øje.

1 mikrometer eller  $1 \times 10^{-6}$  meter, er en smule større end den gennemsnitlige bølgelængde af synligt lys, hvilket vil sige, at dette også er usynligt for det menneskelige øje.

1 millimeter eller  $1 \times 10^{-3}$  meter, er på størrelse med et knappenålshoved. (Nelson, 2010)

Applikationer og design af nanorobotter

Som vi var inde på tidligere i dette afsnit, er der 2 fremgangsmåder, der bliver betragtet som mulige, hvis man skal samle en nanorobot:

Bottom-up, hvor nanorobotten bliver samlet af enkelte atomer der finder sammen i de rette bindinger.

Top-down hvor nanorobotten bliver bygget af en større maskine der på samme måde er bygget af en større maskine til man når ned på nanometer skalaen.

Når man skal se på, hvilken strategi der skal bruges, ved bygning af forskellige strukturer med nanorobotter, bliver man nødt til at definere det miljø nanorobotten befinder sig i. På jorden, forventer jeg, at man kan bruge nanorobotter en lang række steder, hvor man tidligere ikke har bygget regelmæssigt, et eksempel kunne være under vandet. Dette er også beskrevet af Reboji i 2010, hvor der bliver set på en kombinationen af nanoteknologi og bioteknologi. I artiklen beskriver Reboji hvordan  $\text{CO}_2$  kan optages fra atmosfæren og brugt som byggemateriale. (Nelson, 2010) (Siciliano et al., 2008), (Reboji, 2010)

# KOGNITION

## TILGANGE TIL KOGNITIONSMODELLER

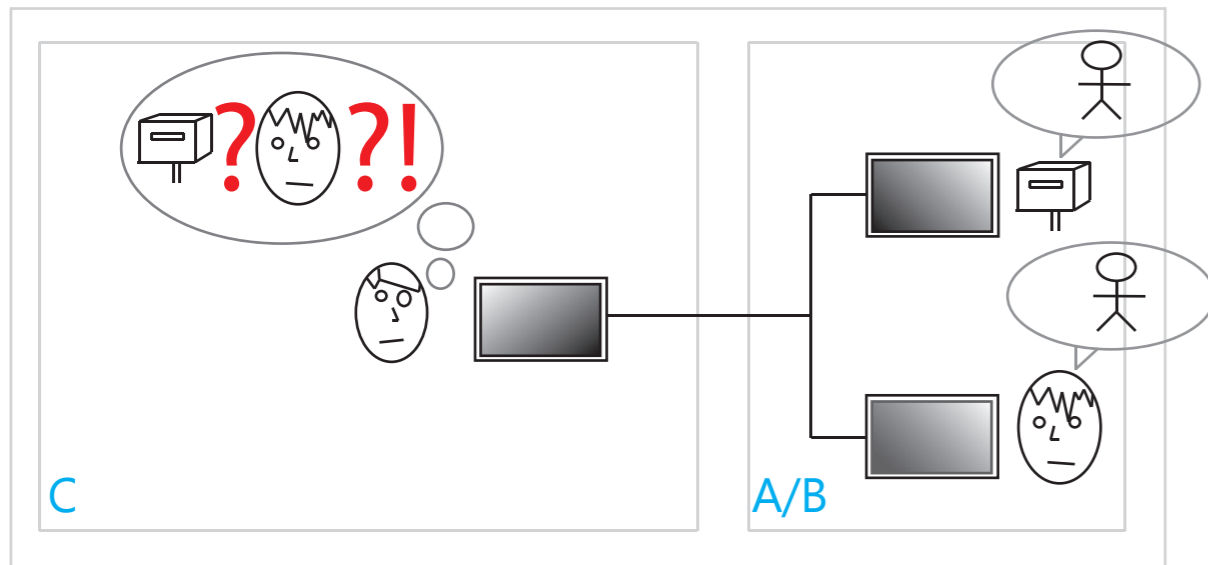
I forlængelse af beskrivelsen af robotter, vil vi nu se på kunstig intelligens, eller kognition. Desuden vil jeg beskrive nogle af de tilgange, der bruges til at opnå kunstig kognition. Dette afsnit vil også komme med et bud på, hvordan tilgangene kunne bruges i en fremtidig byggerobot. Som det ser ud nu, er ingen af modellerne i dag i stand til, at simulere psykometrisk intelligens.

"Kognition, (af lat. *cognitio* 'indlæring, opfattelse, forståelse', af *cognoscere* 'lære at kende, erkende, forstå'), erkendelse, tænkning, anvendelse af viden. Kognition indgår sammen med emotion (følelse, affekt) og konation (vilje, stræben, handling) i en tredeling af bevidsthedslivets (sjælens) elementer eller evner, der kan spores tilbage til Platon."  
([http://www.denstoredanske.dk/Krop,\\_psyke\\_og\\_sundhed/Psykologi/Psykologiske\\_termer/kognition](http://www.denstoredanske.dk/Krop,_psyke_og_sundhed/Psykologi/Psykologiske_termer/kognition))

På nuværende tidspunkt er der flere forskellige tilgange til, at modellere kognition for en selvstændigt tænkende agent: I denne rapport vil følgende blive beskrevet kort: "The Computational Approach" (også kendt som AI eller Artificial Intelligence), "The Artificial Neural Networks Approach", "The Dynamical System Approach", "The Quantum Approach" og "The Cognitive Approach". (Heikonen, 2007), (Hertzberg et.al., 2008), (Christensen et.al., 2008)

## THE COMPUTATIONAL APPROACH

Denne tilgang til emnet blev først formuleret af Alan Turing i rapporten "Computing Machinery and Intelligence" fra 1950. Turings tilgang fokuserer på, at en person ikke skal kunne skelne mellem en agent og et menneskes tanker og formuleringer. Dette kan bedst beskrives med nedenstående figur (6) "The Turing test".



Figur (6) The Turing test  
Kilde: Egen tilvirkning

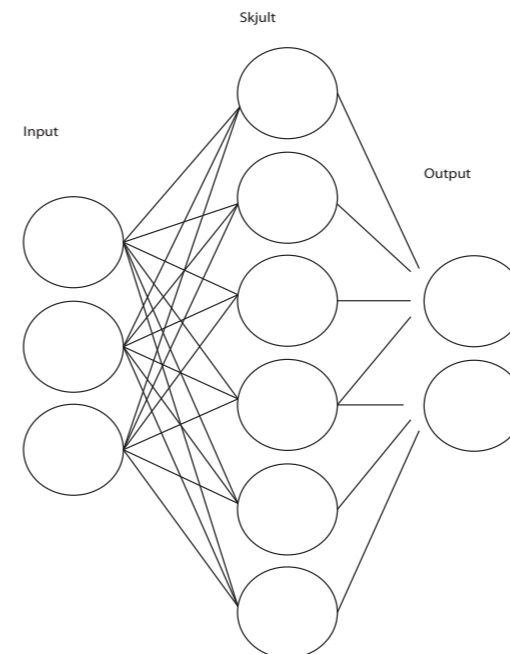
Ved Turing testen, skal man sætte sig i C's sted og forhøre A og B. Person C, skal ud fra skrevne beskeder modtaget fra A og B beslutte, hvem der er agent, og hvem der er menneske. Siden har Allen Newell og Herbert Simon formuleret The Physical Symbol System Hypothesis (PSSH), der beskriver, at generel intelligens kan opnås gennem et fysisk symbolsystem. Det er meningen, at dette symbol system har alle nødvendige symboler til rådighed, til det specifikke formål som systemet skal bruges til. (Haikonen, 2007), (Copeland, 2003)

Et eksempel på fysiske symbolsystemer kunne være: formel logik, hvor ord som "og", "eller" samt "ikke" er udtryk for udsagn, hvor formel logik enten kan være sand eller falsk. Dette manifesterer sig på følgende måde: <plat> "eller" <krone> er korrekt, hvorimod <plat> "og" <krone> ville være forkert, eftersom spillet hedder "plat eller krone". Denne proces burde være udtryk for logisk deduktion, men er endnu ikke set i fungere i en maskine.  
(Kilde: [http://en.wikipedia.org/wiki/Physical\\_symbol\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Physical_symbol_system))

Hvis man skal kritisere den originale Computational Approach, bliver man nødt til at se på den mangel på kognitiv underbygning, som teorien mangler. Hvor andre tilgange forsøger at imitere funktioner i hjernen, såsom evnen til at opfatte omgivelser eller et budskab, er dette ikke en del af Computational Approach.

## ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Artificial Neural Networks, også kendt som "Connectionism", er også en måde hvorpå man inspireret af hjernen, forsøger at få hjerneceller modelleret på elektronisk vis. Begrebet havde sin begyndelse i starten af 1940'erne, og var skabt af Warren McCulloch og Walter Pitts. (<http://www.peterasaro.org/writing/McCulloch.html>)



Figur (7) Artificial neural networks  
Kilde: [http://en.wikipedia.org/wiki/Artificial\\_neural\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_neural_network)

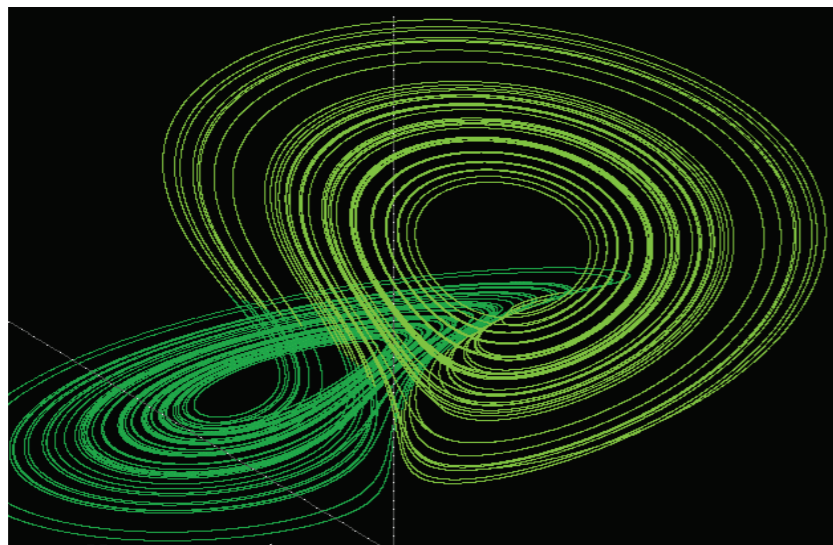
Ved at bruge denne måde at opsætte neuroner i den "elektroniske hjerne", opdagede man, at det var muligt, at de elektroniske neuroner kunne lære ved at grænseværdier i neuronerne blev overbelastet. Den elektroniske hjerne kan altså lære ved at benytte Artificial Neural Networks. (Bishop, 1995)

Som man kan se på ovenstående figur (7), er Artificial Neural Network inddelt i grupper, der er forbundet med hinanden. Artificial Neural Network fungerer på sin vis efter samme princip som den biologiske hjerne. Dog er den biologiske hjerne udstyret med omkring  $10^{11}$  neuroner, hvilket på nuværende tidspunkt er svagheden i denne tilgang, sammen med det faktum, at en biologisk hjerne kun skal bruge færre eksempler for at lære, hvorimod det neurale netværk skal bruge tusinde af forskellige eksempler.

Den stærke side ved denne tilgang er Artificial Neural Networks evne til, at finde mønstre i store dataset, idet netværket arbejder på samme tidspunkt, hvilket bevirker at arbejdshastigheden for netværket ikke afhænger af den enkelte neuron, men af hele netværkets størrelse. Selvom den menneskelige hjerne er et neuralt netværk, er det ikke sandsynligt, at robotter kommer til at fungere på samme måde som den. (Gurney, 1997) (Haikonen, 2007)

## DYNAMICAL SYSTEMS

Dynamical Systems er en tilgang, der blev opfundet af William R. Ashby i 1950'erne. I denne tilgang ser man på hjernen, som et komplekst system, der interagerer med sine omgivelser. Dynamical Systems er blevet defineret som kvantitative variable, der ændres simultant, men uafhængigt af hinanden, over en tidsperiode efter en fastlagt ligning. Dette har også fået tilnavnet "The Butterfly Effect" som er teorien om, at en sommerfugls vingeslag kan gennem kædereaktion starte en orkan på den anden side af jorden. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Butterfly\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Butterfly_effect))



Billede (5) Dynamical systems  
Kilde: [http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamical\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamical_system)

På billedet ser vi et dynamisk system, der består af et abstrakt rum, hvor koordinaterne beskriver det dynamiske stadie på et hvilket som helst tidspunkt. Billedet viser, at der er en unik konsekvens ved et hvilket som helst tilfældigt stadium. Dynamic Systems kan benyttes på en lang række områder, såsom medicin, økonomi eller matematik. (Haikonen, 2007) (Katok, 1996).

Da Dynamic Systems viser samtlige konsekvenser, er det svært at vurdere et enkelt parameter, hvilket er med til at gøre Dynamic Systems svært at arbejde med, da det er svært se forskellen på vilkårlige og spredte resultater. (Katok, 1996).

## THE QUANTUM APPROACH

Denne tilgang mener, at menneskehjernen styres af kvanteprocesser, der benytter ikke-algoritmiske ligninger, som fungerer som en form for tolk mellem hjernen og et såkaldt "energi-bevidsthedsfelt" eller "jeg'et". Denne tilgang løser problemerne omkring "fri vilje" og begrebet "sjæl". Fra et praktisk synspunkt vil det være svært, at implementere dette, da kvanteteknologi stadig er i sin spæde begyndelse, og endnu ikke har forladt tegnebrættet.

Kvanteteknologi kan være en potentiel løsning, bare ikke på vores nuværende teknologiske niveau, og selvsagt har kvanteteknologi endnu ikke bevist, hvad det kan yde. Da det endnu ikke er muligt at implementere kvanteteknologi i en robot, ser jeg ingen grund til, at dette emne bliver diskuteret yderligere, men vil blot knytte den kommentar, at når kvanteteknologi på et tidspunkt er klar, ville det formentlig være en god ide, at bruge denne i robotter. (Haikonen, 2007).

## THE COGNITIVE APPROACH

The Cognitive Approach ser menneskekroppen som en kompleks maskine, og mener at hvis en maskine allerede er bygget, er det muligt at bygge den igen. Derfor er den kognitive tilgangs mål snarere at simulere en hjerne, end at lave en replika af tankeprocessen. Da man allerede studerer hjernen, bør fremskridt inden for kognitiv psykologi og neurovidenskab generelt komme i betragtning, når man taler om den kognitive tilgangs videre udvikling inden for robotteknologi. (Steels, 1995).

Det skal dog siges, at man igennem den kognitive tilgang ikke behøver at simulere den biologiske neuron. I stedet bør man se på de funktioner neuronene bruger, når den skal forarbejde informationer.

Benytter man sig af den kognitive tilgang, skulle maskinen have en fysisk krop, der kan manipulere de omgivelser den befinder sig i, men det formodes, for at det skal lykkes, at det skal være et fuldstændigt system, med tilhørende mentale processer, såsom: evnen til at være opmærksom på omgivelserne, at have en indre monolog, samt indlæring og kreativitet. Jeg er overbevist om, at man ville komme længst med denne metode, hvis man kun ville benytte sig af én enkelt tilgang til kognition - som beskrevet tidligere i afsnittet. (Steels, 1995)

I stedet for kun at bruge én metode, kunne man overveje brugen af en hybrid mellem flere af de valgte modeller, for at få en mere afrundet eller kompleks maskinbevidsthed. Hvis man kombinerer Artificial Neural Net med Dynamic Systems og The Cognitive Approach, ville man få en hjerne, der ville være i stand til at forudse samtlige konsekvenser af en handling, kombineret med opbygningen fra den biologiske hjerne og evnen til at være kreativ og have en utrolig hurtig indlæring. Man kan altså sige, at vi på denne måde ville have opbygningen og programmeringen af robotens kunstige hjerne.

Uden kunstig intelligens vil robotten aldrig være i stand til, at kunne løse problemer på egen hånd, eller til at tillægge en genstand en betydning/værdi. Dette vil blive behandlet nærmere i det efterfølgende afsnit.



# MASKINENS OPFATTELSE AF SINE OMGIVELSER

Da byggerobotter ikke er i stand til at tillægge genstande betydning, fordi dette kræver intelligens, vil vi se på en lavpraktisk metode til, at få byggerobotter til at se deres omgivelser. Derfor vil jeg forsøge at beskrive, hvordan en maskine kan fortolke de informationer, der bliver registreret igennem sensorer. Udover det vil jeg beskrive, hvad jeg selv mener er den optimale løsning, hvis en maskine skal kunne genkende materialer på byggepladsen hurtigt og med tæt på 100% træfsikkerhed.

Byggerobotten vil se verden som objekter og talværdier, uden at tillægge mening eller affektionsværdi til emnet. Normalt vil computere og robotter benytte sig af digitale signaler baseret på det binære talsystem, hvor form og farve blive omdannet til en kombination af 1-taller og 0'er. (Albus, 1981), (Bishop, 1995), (Florczyk 1995)

I følge bogen "Robot Brains, Circuits and Systems for the Conscious Machine", er der 3 forskellige perceptions- og genkendelsesmetoder: Template Matching, Feature Detection og Neural Network metoden. I det efterfølgende vil jeg kort gengive disse metoder, og forsøge at belyse styrker og svagheder ved metoderne. (Heikonen, 2007),

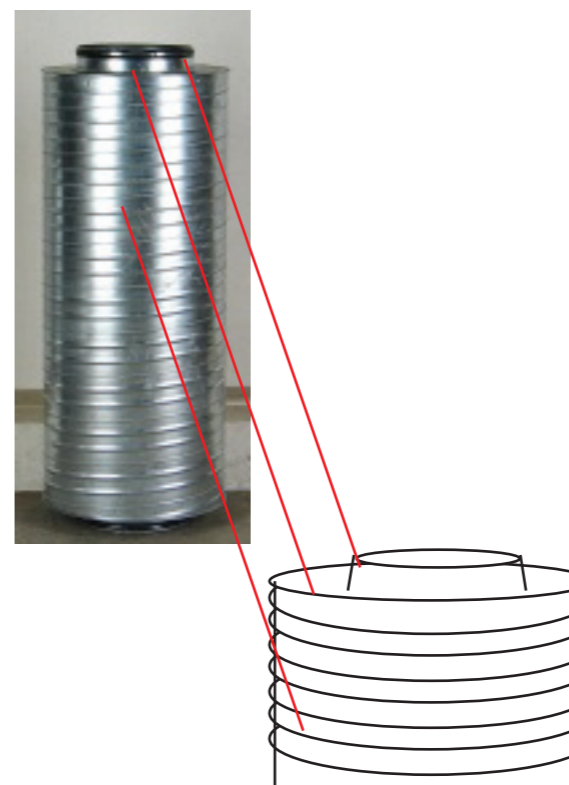
Template Matching sikrer, at vores robot har relevante billeder af forskellige emner i hukommelsen, som den kan arbejde ud fra. Det robotten kan gøre for at få et positivt match er, at rotere eller resize genstanden, ved enten selv at flytte sig i forhold til genstanden eller, hvis muligt, flytte genstanden, for at få et match med et af de eksisterende templates fra hukommelsen. Denne metode er dog kun brugbar, hvis der er tale om meget få forskellige emner. (Heikonen, 2007)

I bogen diskuteres også Feature Detection, hvor særligt genkendelige træk skulle gøre robotten i stand til at genkende genstanden. Først vil robotten identificere nogle meget genkendelige træk, som for eksempel formen af objektet. Herefter vil robotten begynde at lede efter mindre og mindre genkendelige træk, indtil der til sidst er et sikkert træk. (Heikonen, 2007), (Minguez et.al., 2008)

Den sidste metode der nævnes er Neural Network, der på baggrund af forskellige klassifikations- og genkendelselementer, gør robotten i stand til, at identificere det emne, der er foran den. Læringsmetoden ved Neural Networking er meget lig Template Matching, hvor mange forskellige eksempler på et emne vises, for at gøre identifikationen af emnet mere sandsynlig. (Heikonen, 2007)

Disse metoder til at identificere genstande er tidskrævende, og primært baseret på visuelle sensorer. Man kunne også forvente, at robotten kunne benytte auditive sensorer, hvis dette var mere gunstigt. (Minguez et.al., 2008), (Christensen et.al., 2008)

Et eksempel kunne være, at genkende et ventilationsrør. Dette er en nem opgave for et menneske, men i en robots verden, vil emner blive identificeret og rubriceret på en anderledes måde, alt efter hvilken tilgang man har valgt til kognition og hvilke sensorer robotten er udstyret med.

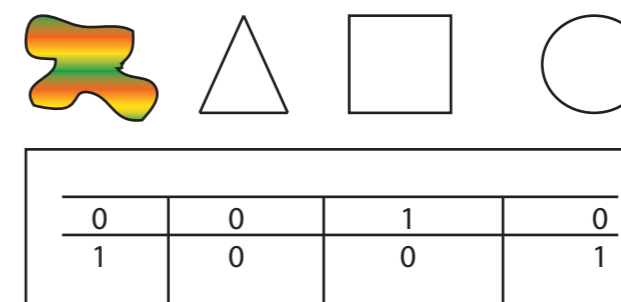


Billede (6) feature detection af ventilationsrør  
Kilde: egen tilvirkning

Den måde en robot genkender et ventilationsrør på, er ved at kigge efter kendetegn, primært form, derefter specielle kendetegn. (Albus, 1981), (Christensen et.al., 2008)

Ser vi på, hvordan en robot kan betragte verden, må vi dele verden op i objekter og værdier. Jeg har valgt at lave et 4-bit system, der viser overflade og diverse former. 4-bit systemet har 16 forskellige unikke kombinationer, hvilket selvfølgelig sætter en naturlig begrænsning for, hvad robotten kan identificere. Men da det er et eksempel, mener jeg, at det kan forsvares.

Nedenstående figur (8) viser, at det første emne som vores robot ser, er noget firkantet, som for eksempel en gipsplade. Derfor genkender robotten formen, men da det ikke er den korrekte overflade, bliver altså bit-kombinationen 0010. Da vores robot leder efter et ventilationsrør med rillet overflade (dette er afbilledet ved rød, som viser en udadgående rille, og grøn, som repræsenterer at rillen er indadgående), kan dette emne ikke bruges.



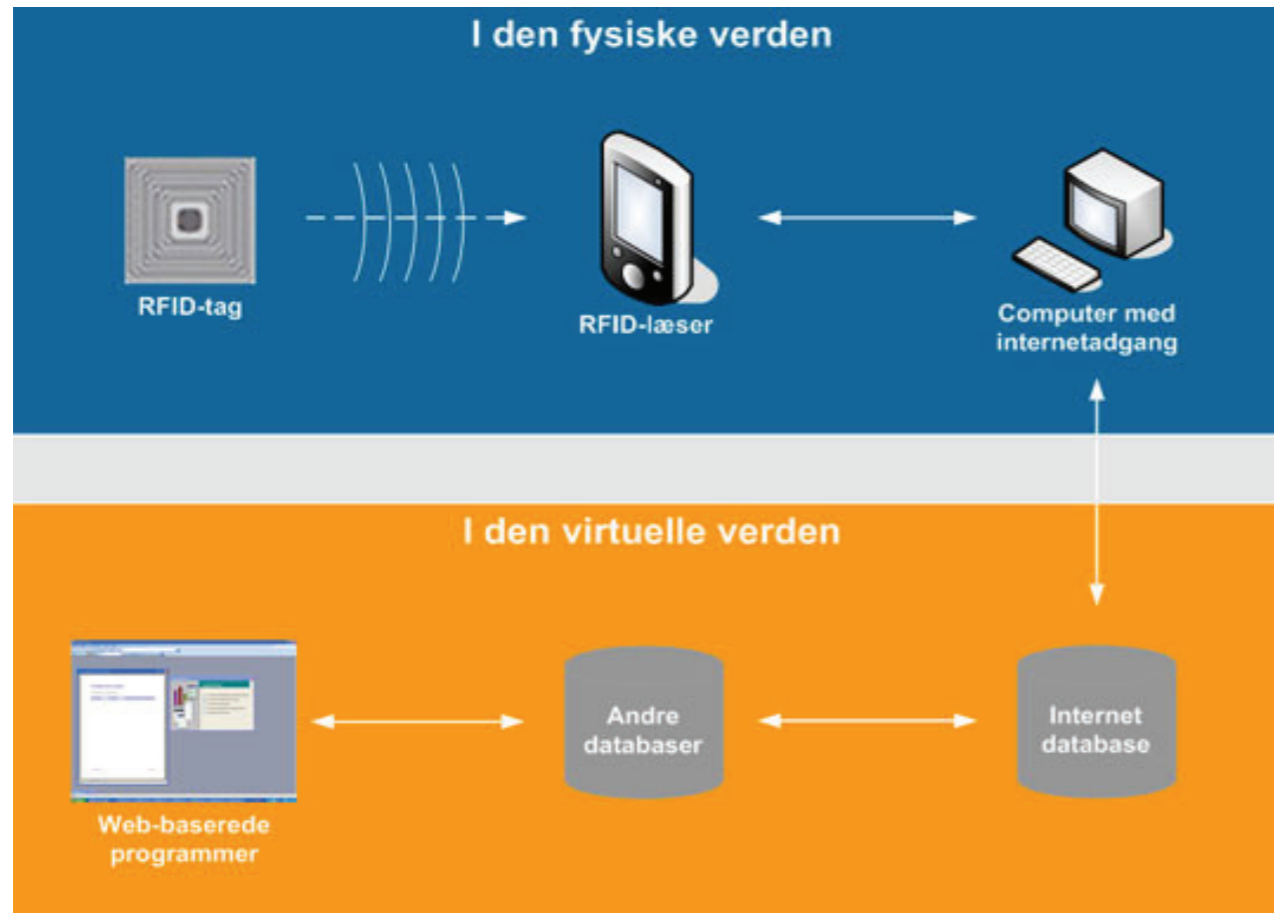
Figur (8) forståelse form og farve  
Kilde: Albus, 1981

I stedet for at være afhængig af robotens optiske sensorer, kunne dette forenkles utroligt meget, ved, at robotten var udstyret med en RFID radar (som set på <http://www.prosign.dk/rfid-produkter/stationaere-rfid-laesere/>), (Ko, 2010).

Derved er robotten i stand til, på alle tidspunkter, at lokalisere samtlige materialelagre på byggepladsen. Samtidigt med at robotten kan lokalisere materialelagrene, skal den også kunne redigere i RFID chippens indhold, så alle robotter kan se, hvor mange materialer, der er tilbage på de forskellige materialelagre. (Ko 2010)

En robot vil kun være i stand til at rette på indholdet af selve chippen, og ikke i den database, som chippen fik sine informationer fra, men da det i dette tilfælde kun skal bruges til at registrere, hvor mange af én slags der er, vil det ikke være nødvendigt at rette i databasen. (Ko, 2010)

Dette kan ses af nedenstående figur, og senere i rapporten vil det blive uddybet, hvordan robotten skal kunne bruge Rfid chips.



Figur (9) Rfid funktion  
Kilde: <http://da.wikipedia.org/wiki/RFID>

Herved er der nu baggrund for det efterfølgende afsnit, hvor jeg via en gennemgang af biologiske modeller, vil blotlægge de evner, som en byggerobot nødvendigvis må være udstyret med.

## BIOLOGISKE MODELLER

*Udgangspunktet for behovene for byggerobotter er taget i dyrelivet. For at kunne forstå biologiske modeller bliver vi nødt til at se på fiskestimer, myrer og honningbisværme. Hvor fisk bruger deres stime som en forsvarsmekanisme mod rovfisk, har myrer og honningbier udviklet komplekse samfund, hvor en central skikkelse styrer resten af kolonien. Dette kan kobles til sensorer fra de fund, der er gjort i den biologiske verden. Udviklingen i den biologiske verden er sket igennem mange millioner års evolution, og det ville være en skam ikke at bruge de erfaringer dyreriget har opnået.*

### BIOLOGISKE MODELLER

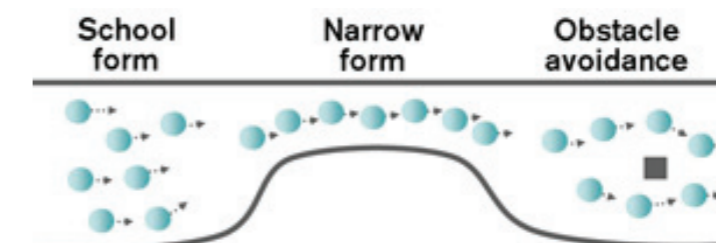
Hvis vi kan tage den erfaring, som naturen har gjort, og implementere den ind i robotter, vil vi kunne drage nytte af vores omverden. I det kommende vil jeg bevæge mig ind i naturens verden og beskrive nogle af de klassiske træk, der findes ved fisk i stimer, ved bier og ved myrer; altså dyr der bevæger sig i vand, luft og jord, for at få et nuanceret billede af, hvilke funktioner/evner, der er væsentlige. (Meyer et.al., 2008), (Floreano et.al., 2008), (Mataric et.al., 2008)

### FISK

Når vi ser på fiskestimer bevæger fiskene sig som en helhed og de kan læse hinandens bevægelser igennem sensorer, der herefter påvirker deres egne bevægelser. Fisk opfatter både igennem deres synssans, men også ved at fornemme, hvordan vandet rundt om dem bevæger sig. Det interessante er, at fiskene bevæger sig meget tæt på hinanden, men ved hjælp af deres sanser kan de bevæge sig i forhold til andre individer i stimen, uden hele tiden at svømme ind i hinanden.



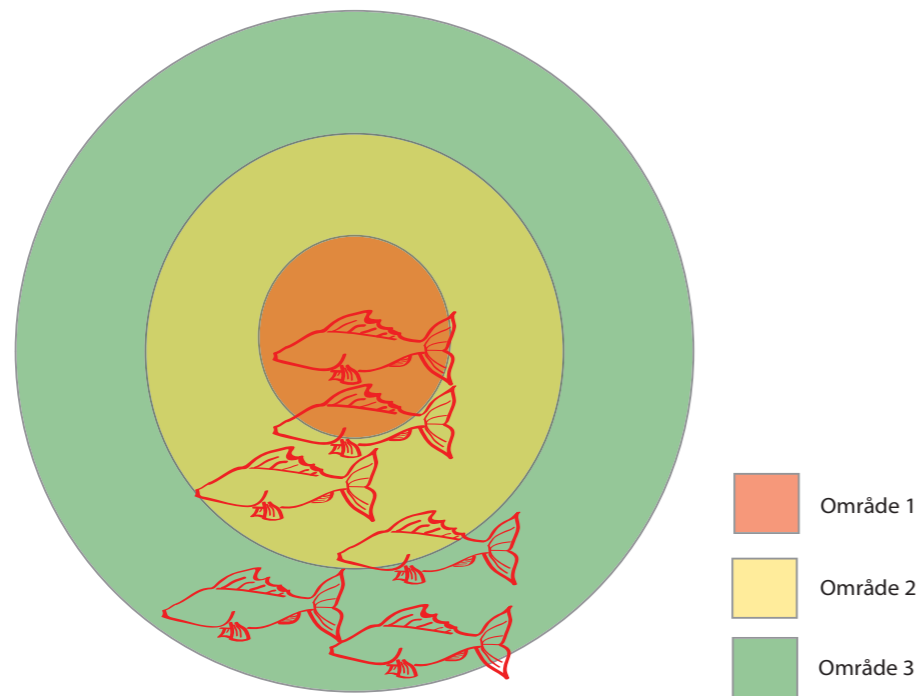
(Meyer et.al., 2008),  
(Floreano et.al., 2008),  
(<http://sciencelay.com/biology/marine-biology/why-do-fish-swim-in-schools/>)



Figur (10) fiskestimers bevægelsesmønstre  
Kilde: [http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2009/\\_STORY/091001-01-e.html](http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2009/_STORY/091001-01-e.html)

Der er ikke decideret en leder af stimen, men alle fiskene fungerer som en kollektiv intelligens, hvor alle fiskene i stimen holder udgik efter trusler eller mad. Dette betyder, at fiskestimen kommer til at træffe nogle klogere beslutninger end den enkelte fisk. Desuden får den enkelte fisk også nogle fysiologiske gevinster, ved at svømme i fiskestimer, i stedet for at en fisk svømmer alene, da det bliver lettere at svømme igennem vandet. Af fiskestimens adfærd kan der uddrages visse nyttige karakteristika og senere vil jeg mere dybdegående komme ind på, hvordan dette kan bruges i byggerobotten ([http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2009/\\_STORY/091001-01-e.html](http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2009/_STORY/091001-01-e.html)), (<http://ing.dk/artikel/99931-fremtidens-foererloese-robotter-opererer-i-svaerme>):

1. Kollisionsfravigelse
2. Koordinerede manøvre
3. Registrering af omkringværende individer



Figur (11) en fisks opfattelse af omgivelserne  
Kilde: [http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2009/\\_STORY/091001-01-e.html](http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2009/_STORY/091001-01-e.html)

## BIER



Humle- og honningbier orienterer sig på en anderledes måde. Når en humle- eller honningbi er placeret på en flad overflade, kun påvirket af tyngdekraften, begynder de at bevæge sig i vilkårlige retninger. Hvert individ holder dog en speciel lineær retning. Hvis overfladen under dem skifter hældning, korrigerer bier retning, så den igen har samme retning i forhold til underlaget. Det menes, at bierne bruger nogle organer (episternum, petiolus og proprioceptorer) placeret ved halsen, ryggraden samt receptorer ved biens ben. (<http://animals.howstuffworks.com/insects/bee1.htm>)

Den måde en bi orienterer sig på, når den f.eks. skal ind i en bikube, er ved hjælp af den duft bierne udsender. Dette kombineres med genetik, hvor alle bierne er direkte afkom af dronningen, og hvor de omgivelser bierne har opholdt sig i, under hele dens liv som larve, er ens for hele kuben. Man kan altså sige, at når bier kommunikerer identifikation, så sker det medlem til medlem, da de skal have direkte kontakt med hinanden for at kunne kommunikere. (Meyer et.al., 2008), (<http://animals.howstuffworks.com/insects/bee1.htm>)

Generelt bliver beslutninger i bikuben truffet af dronningen, men i visse tilfælde er der tale om demokratiske beslutninger - såsom hvem den nye dronning skal være. Måden hjernen på en bi fungerer på er ved, at neuroner samarbejder med de neuroner som ligger lige ved siden af. Opdelingen af opgaver på denne måde gør, at en bier kan udføre komplekse opgaver, som man ellers kun kan forvente af organismer med udviklede hjerner. (<http://www.vestrehus.dk/BOG1.pdf>)

En bi er udstyret med to antenner, som fungerer som føleorgan. Samtidigt har bier 5 øjne, hvor 3 er "normale" øjne og 2 er specialiseret i at se mønstre, symmetri og farvesammensætninger. (<http://animals.howstuffworks.com/insects/bee1.htm>)

Biers sensorer bliver primært brugt til, at hjælpe bierne med at finde mad. Når bierne har fundet mad er det vigtigt, at de kan kommunikere til de andre, hvor de har fundet maden. Dette gøres ved at flyve i specielle mønstre, hvorved bierne kan "broadcaste" sit budskab til resten af bikuben. For at finde tilbage til det sted, hvor bierne fandt føden, er bierne udstyret med et "sol kompas", der hjælper bierne til at huske, hvor en fødekilde er placeret. Dette er kombineret med et indre chronometer der sikrer, at bierne ved, hvor langt de har fløjet, hvilket giver en meget præcis navigation. Det er de bier som arbejder på bikuben, der kommunikerer hvad bikuben prioriterer højest til de udfarende bier. (<http://animals.howstuffworks.com/insects/bee1.htm>)

Af biers adfærd kan der uddrages visse nyttige karakteristika, og senere vil jeg komme nærmere ind på, hvordan dette kan bruges i byggerobotten:

1. Mønster identifikation
2. Mange øjne for et bedre udsyn, primære og sekundære øjne
3. I stand til at træffe og følge beslutninger på tværs af lag i hierarkiet
4. Broadcasting til flere bier på en gang
5. Evnen til at kunne prioritere opgaver/valgmuligheder

## MYRER



Myren anses tit, som et af de mest arbejdsomme insekter. Myrer bygger kæmpe myretuer og man ser dem også tit på "motorveje", hvor de transporterer bytte eller byggemateriale tilbage til deres bo. Desuden er flere myrearter kendt for, at kunne bære 50 gange deres egen kropsvægt. Den sans, der er mest udviklet for myren er lugtesansen, der opfanges af de følehorn som sidder på hovedet af myren. (<http://da.wikipedia.org/wiki/Myre>)

Denne egenskab bruges især til at følge feromoner, der også fungerer som et springstof. Feromonerne kan bruges til at signalere til artsfæller om, hvor der kan findes mad eller byggemateriale. (<http://en.wikipedia.org/wiki/Pheromones>)

En såret myre udsender desuden også et alarmferomon, der sikrer, at de myrer fra dens bo, som er i nærheden, er i et alarmberedskab og klar til kamp. Feromonerne er især brugbare da myren for det meste ikke er et flyvende insekt, men skal bruge en overflade til at komme frem, og dette resulterer tit i "motorveje" af myrer, der bevæger sig frem og tilbage fra en ressource. (<http://en.wikipedia.org/wiki/Pheromones>), (<http://animals.howstuffworks.com/insects/ant-info1.htm>), (<http://biology.arizona.edu/sciconn/lessons2/shindelman/background.html>)

Jo flere gange myrerne bevæger sig frem og tilbage, jo mere effektiv bliver den rute de rejser, og jo stærkere bliver lugten for det spor de følger. Myrens følesans er også veludviklet. Myren har receptorer sine på ben, og samtidigt bruges følehornene også til at føle med, udover til at lugte og smage med. (<http://en.wikipedia.org/wiki/Pheromones>)

Myrerne er organiseret på en måde, hvor de er delt op i forskellige arbejdsgrupper. Det ses tit for sociale insekter, at et individ skifter rolle igennem dens livscyklus, disse roller kan f.eks. være, at individet går fra ynglepleje til indsamler af ressourcer. (<http://animals.howstuffworks.com/insects/ant-info1.htm>)

Myrerne deler også informationer omkring, hvordan den enkelte myres sundheds- og ernæringsmæssige tilstand er. Dette bruges blandt andet til, at holde inficerede og syge myrer ude af boet, for at sikre den optimale sundhed for kollektivet. (<http://animals.howstuffworks.com/insects/ant-info1.htm>)

Af myrekoloniens adfærd kan der uddrages visse nyttige karakteristika, og senere vil jeg komme ind på, hvordan dette kan bruges i byggerobotten:

1. Kan danne motorveje som bliver effektiviseret løbende
2. Mange sensorer til at forstå sit miljø
3. Organiseret i arbejdsgrupper
4. Deler informationer mellem andre individer

På baggrund af de biologiske modeller vil jeg forsøge at beskrive, hvordan man kan overføre de behov vi har afdækket til de byggerobotter, der skal arbejde ude på byggepladser rundt om i Danmark. Et meget vigtigt element er hele konceptet sværmintelligens, som af Etisk Råd beskrives således: " Når publikum på et fodboldstadion hylder deres hold, laver de en bølge. Folk rejser og sætter sig på skift, og ovenfra ser det ud som en bølge gennem menneskemængden. Man kan ikke selv se bølgen i sin fulde udstrækning, man ser bare på sidemanden for at vide, hvornår man skal rejse sig. Det er ikke svært at deltage i en bølge. Men det kræver mange mennesker, hvis det skal virke ordentligt. Fodboldbølgen kan være et billede på den form for intelligent adfærd, som kendetegner sociale insekter; det vil sige insekter som myrer og bier, der organiserer sig i store fællesskaber. Det enkelte insekt følger bare nogle få simple regler, men så snart insekterne er mange nok, fører det til en meget kompleks adfærd for hele gruppen." (<http://etiskraad.dk/da-DK/Temauniverser/Homo-Artefakt/Artikler/Teknologi/Myrerobotter%20laver%20det%20beskidte%20arbejde.aspx>)

Det som Etisk Råd beskriver, er en metode til at løse en givet kompleks opgave med få ressourcer. Tilskueren til en fodboldkamp kan ikke med 100 % nøjagtighed forudsige eller 'time' hvornår denne skal rejse sig, med ved hjælp af visuelle indtryk, kan man danne illusionen, at der er en bølge af mennesker og det samme ser vi for insekter. (<http://etiskraad.dk/Temauniverser/Homo-Artefakt>)

Men hvorfor skal man så bruge biologisk inspirerede robotter? Som vi har været inde på tidligere i rapporten, da vi beskrev en gipsplade robot, kunne det være en god ide, at få robotter til at samarbejde om en given opgave. Man kunne specialisere robotter til at handle udover faggrænser og til i højere grad at handle funktionsbestemt. På denne måde, vil robotterne skulle koordinere opgaver mellem samtlige af de håndværktøj som der bliver brugt på byggepladserne. (Meyer et.al., 2008)

Ved at opdele robotter efter funktion, i stedet for fag, ville man kunne designe en robot

som er mere specialiseret. På denne måde er der sensorer, som kan undværes, eller i hvert fald deles mellem robotterne, et såkaldt 'sensor-net' hvor robotterne på byggepladsen har distribuerede sensorer. (Meyer et.al., 2008), (Floreano et.al, 2008)

Noget af det man især skal have for øje, når man designer en robot er, hvordan opgaveløsningen for robotterne er organiseret. Det man skal have fokus på er, om der skal være løs eller tæt opgaveløsning, betydende om robotterne igennem streng planlægning skal vide, hvor robotten præcist skal bevæge sig hen, så robotten dér kan vente på, at den næste opgave skal påbegyndes. Eller skal ressourcer fordeles alt efter hvor behovet er på et givent tidspunkt. Som vi tidligere har været inde på er det tænkt, at de projekterende skal stå for den primære programmering af robotterne, igennem byggemodellen, hvilket giver en gennemtænkt planlægning, der kan tage højde for, hvor en robot er, hvor en robot skal hen, og hvor en robot bedst er taget i brug, hvilket minder om den kritiske vej. (Mataric et.al., 2008), (Lu, 2010)

## DELKONKLUSION

*Vi har i det tidligere set på grundlaget for behovene til byggerobotter, og der er set på, hvilke behov man kan låne fra naturen og overføre til byggerobotterne. Det vi kan bruge fra de biologiske modeller til den fremtidige byggerobot er følgende:*

## FISKEN

Med udgangspunkt i ovenstående biologiske væsener, kan vi lære fra fiskestimen, at byggerobotterne har brug for nogle sensorer, der kan opfange andre robotter og genstande i nærheden. Disse sensorer skulle kunne bruges til følgende:

1. Kollisionsfravigelse
2. Koordinerede manøvrer
3. Kontakt med de andre robotter

En byggerobot skal kunne fravige en kollision med f.eks. en væg eller med en anden robot, for ikke at lade sig skade på sig selv eller sine omgivelser.

En byggerobot skal kunne manøvrere i et miljø, der er i konstant forandring, da materialer på byggepladsen ikke nødvendigvis er placeret det samme sted hver gang, eller da de muligvis bliver flyttet under byggeprocessen for at optimere arbejdsgangen.

En byggerobot skal kunne have kontakt med andre robotter, for at kunne videregive informationer omkring ændringer i en enkelt robots position, med henblik på at kunne effektivisere hele arbejdsgangen.

## BIEN

Hvis vi ser på Bien, der kommunikerer medlem til medlem, når det et individ skal identificeres, så kunne også tænkes anvendt, hvis en robot er gået i stykker. Bier bruger også broadcast, hvis flere individer skal aktiveres på samme tid. Dette vil også være en nyttig egenskab for en robot at have, hvis den er i "problemer", eller har brug for at rekruttere andre robotter til at hjælpe den med at udføre en opgave. I visse tilfælde er der også tale om, at der bliver truffet demokratiske beslutninger. Dette er en opgørelse af prioriteterne for alle robotterne, og dernæst skal der findes ud af, i hvilken rækkefølge man kan disponere over det samlede antal robotter, og at man nogle gange godt kan vælge en lavt prioriteret opgave, hvis dette betyder, at der er flere robotter til disposition. Nogle af de træk, der virker væsentlige fra biens verden er:

1. Mønster identifikation
2. Mange øjne for et bedre udsyn, primære og sekundære øjne
3. I stand til at træffe og følge beslutninger på tværs af lag i hierakiet
4. Broadcasting til flere bier på en gang
5. Evnen til at kunne prioritere opgaver/valgmuligheder

En robot bør kunne mønstergenkende, i form af at have en forståelse for, hvad der er værktøj i forhold til hvad der er byggematerialer og af, om et identificeret materiale er et, der skal indbygges eller skal flyttes til et andet område.

En robot bør have mange optiske sensorer til at fortolke det miljø, som den befinder sig i. Det ville være ærgerligt, hvis den gipsvæg som lige er blevet opsat, bliver ødelagt fordi robotten var uagtsom overfor sine omgivelser - tillige ville det være spild af tid og penge, hvis en robot faldt ned af en betontrappe, igen fordi den ikke var bevidst om sine omgivelser.

Byggerobotten skal være i stand til at kunne opprioritere en opgave, hvis den er kritisk. Et lavpraktisk eksempel kunne være, at nogle oplagrede materialer skal flyttes i tørvej på grund af regn. I denne situation bør alle robotter hjælpe med til at få de - efter omstændighederne - sårbare materialer i sikkerhed. Herved kommer vi også i berøring med broadcasting, da robotten både skal kunne vurdere, at det er en højt prioriteret opgave samtidigt med, at den skal kunne mobilisere samtlige robotter på byggepladsen.

## MYREN

Det vi primært kan anvende fra kendskabet til myrens adfærd, er deres måde at kommunikere på, samt den måde de organiserer et arbejde på. Ligesom vi så hos bien er der både kommunikation mellem myrerne, men også "broadcast" til flere myrer på samme tid. Nogle af de erfaringer vi kan drage nytte af fra myren, og som det ville være fordelagtigt at implementere i robotter var:

1. Kan danne motorveje som bliver effektiviseret løbende
2. Mange sensorer til at forstå sit miljø
3. Organiseret i arbejdsgrupper
4. Deler informationer med andre individer

Det er vigtigt at robotterne kan finde den mest optimale vej. Dette kan gøres ved at se på grundplanet for bygningen og sammenligne det med oplysning om, hvor der er materiale depoter; altså skal robotten kombinere erfaringer med tegninger over det den skal bygge.

Det er nødvendigt for at robotten har så gode vilkår som muligt, at den bliver udstyret med mange forskellige sensorer. Alt efter robotens funktion kan dette være alt lige fra laser afstandsmåler til termisk fotografering.

Robotterne på byggepladsen skal kunne indgå i arbejdsgrupper for at kunne løse opgaver hurtigere og mere effektivt. Det skal være muligt for robotterne selv at bestemme, hvilke robotter, der skal tildeles hvilke roller, alt efter hvilken robot der er tættest på, kombineret med aktuel arbejdsopgave.

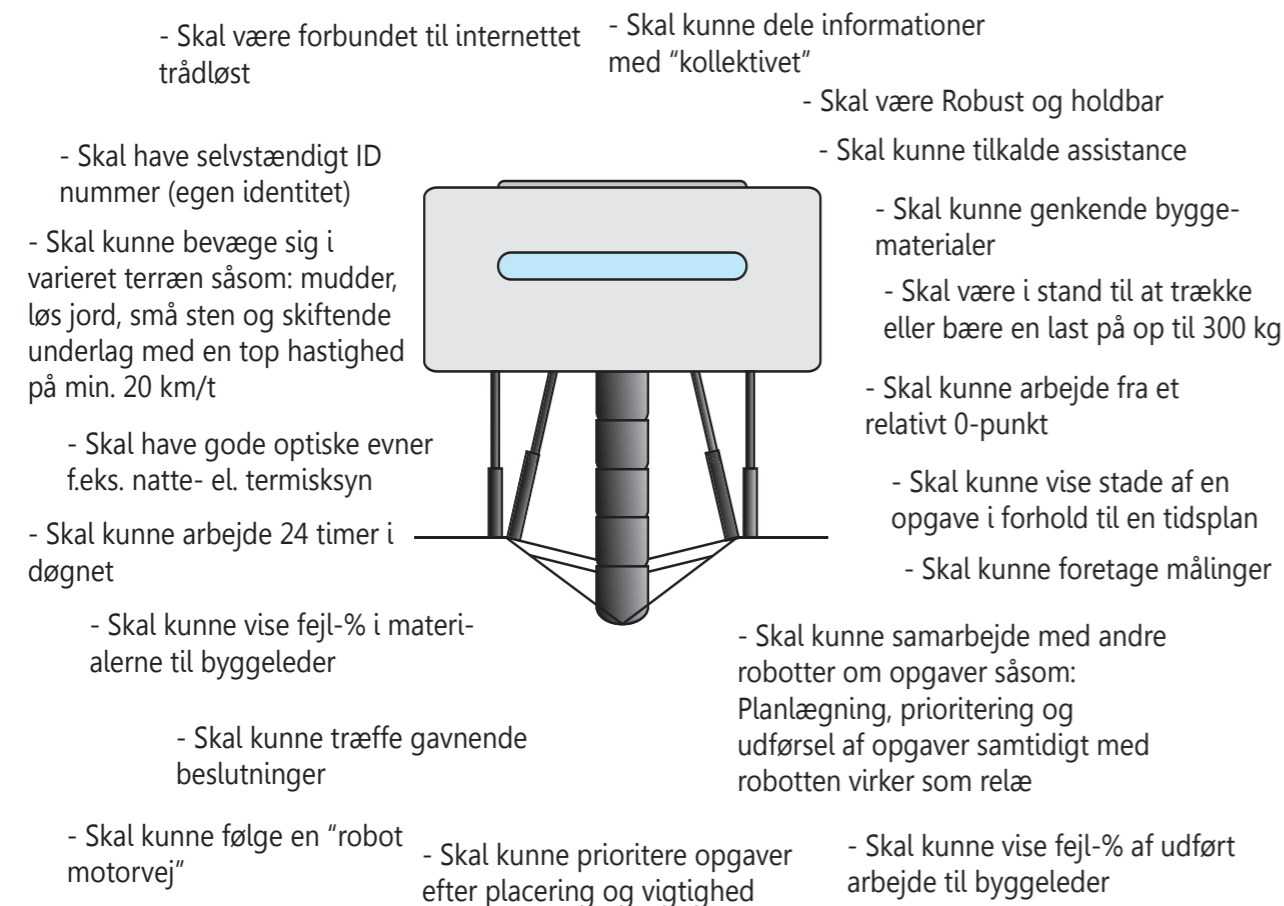
For at runde myren af, skal der også ses på informationsdeling. Der er tidligere beskrevet, at det er vigtigt at dele informationer robotterne imellem, for at kunne effektivisere rejsetiden mellem punkt A og B, men det er også vigtigt at robotterne har en forståelse for, hvilken arbejdsgruppe de er i, og om dette måske har ændret sig, som tidligere beskrevet, f. eks. på grund af regn.

For at samle den lære vi kan drage af gennemgangen af de biologiske modeller på en operationel måde, er her samlet 9 bud på, hvad det forventes at en byggerobot skal kunne:

1. Genkende mønstre, så den kan kende forskel på f.eks. mennesker, robotter og byggematerialer.
2. Være i stand til at kunne træffe beslutninger, der gavner hele byggeprocessen.
3. Være i stand til at kunne prioritere opgaver efter vigtighed.
4. Være bevidst om sine omgivelser, samt kunne lave den mest optimale vej for sig selv og andre robotter, på baggrund af erfaring og af en plantegning over området.
5. Have de nødvendige sensorer, for at kunne udføre sit arbejde bedst muligt.
6. Rekruttere andre robotter til en opgave, som har højere prioritet.
7. Bære eller trække en last, samt bevæge sig igennem varieret terræn, såsom: mudder og løs jord.
8. Dele informationer ved at broadcaste til hele "kollektivet" om projektstatus, prioritering af opgaver, erfaringsdeling og tilstanden af den enkelte robot.
9. Lære af tidligere erfaringer, og bruge dem til nye problemstillinger.

Det forestående udmunder i en byggerobot, og nedenstående figur (12) viser den konceptuelle model for byggerobotten med de evner, som tidligere er blevet identificeret via gennemgangen af de biologiske modeller.

## KONCEPTUEL MODEL - BYGGEROBOT



Figur (12) konceptuel model - byggerobot  
Kilde: Egen tilvirkning

## ISAAC ASIMOV'S 3 LOVE FOR ROBOTTER

For at forstå de etiske dilemmaer, der opstår ved at bruge robotter, som en integreret del af hverdagen på byggepladsen, kigger vi i det følgende på Isaac Asimov's 3 love for robotter. Jeg vil tage udgangspunkt i Asimov's 3 love for robotter og jeg vil se på menneskets mere destruktive sider ved at beskrive de robotter, der bliver brugt til militære formål. Når man giver en robot magten over liv og død, skal man især tage hensyn til etik og moral. I en mindre alvorlig sammenhæng kan man drage paralleller til, hvordan robotten kunne blive modtaget på byggepladsen.

### ASIMOV'S 3 LOVE FOR ROBOTTER

Asimov's 3 love for robotter blev formuleret af sci-fi forfatteren Isaac Asimov. Lovene blev som helhed introduceret i 1942 i hans novelle "Runaround" og har sidenhen været betragtet som "Grundloven" for robotter. Man kan spørge sig selv om konceptet "Robotternes Grundlov" er relevant efter 50 år? Er de ideer/tanker, som Asimov forsøgte at formidle nøjagtige nok? Danskerne følger en Grundlov, som har eksisteret i endnu længere tid, og når Isaac Asimov skrev om robotter, var tanken, at de var tænkende maskiner, som selv kunne kontrollere deres handlinger, og derfor blev robotterne i hans univers udstyret med forståelsen af konceptet moral, hvilket ligger til grund for hans 3 moralske love:

1. A robot may not injure a human being or, through inaction, allow a human being to come to harm.
2. A robot must obey any orders given to it by human beings, except where such orders would conflict with the First Law.
3. A robot must protect its own existence as long as such protection does not conflict with the First or Second Law.

([http://en.wikipedia.org/wiki/Three\\_Laws\\_of\\_Robotics](http://en.wikipedia.org/wiki/Three_Laws_of_Robotics))

Selvom der er gået mere end 50 år er menneskeheden endnu ikke på det teknologiske niveau, hvor vi har kombineret AI med en maskine. Det vi formår på dette tidspunkt i vores udvikling er at lave automationer. Automationer kan have funktionsfejl, og funktionsfejl kan i værste tilfælde ende med, at en medarbejder dør på en byggeplads.

Hvis/når en medarbejder dør, på grund af en fejl lavet af en robot, bliver vi nødt til at forudse en reaktion fra omverdenen. Om robotten, som udfører uheldet, er intelligent eller ej betyder ikke meget. Robotten vil enten blive betragtet som en maskine, og lige meget, hvor meget robotten udvikler sig, vil menneskene som har skabt den altid stå til ansvar for robotten's design og handlinger, eller den vil blive betragtet som 'homo artefakt' i betydningen 'det kunstige menneske' og så er spørgsmålet, om man skal give rettigheder til en maskine. (<http://www.homoartefakt.dk/>)

En medarbejders død, på grund af robotfejl, nødvendiggør Asimov's love. Problemet er blot, at de automationer der benyttes, hverken kan skelne mellem menneske og maskine, rigtigt eller forkert på samme måde som et menneske kan se forskellen, og de kan slet ikke forstå de intentioner som et menneske har. For os vil det at skade et andet menneske altid være efterfulgt af en konsekvens. Men det samme er ikke tilfældet for en robot, da robotten højst sandsynligt ikke kan forstå, at enhver aktion har en reaktion og at enhver handling har en konsekvens. (<http://www.sfwriter.com/rmasilaw.htm>), (<http://ing.dk/artikel/101371-grundlov-for-robotter-giver-mennesket-ansvaret>)

Asimov's love er baseret på, at vi allerede har kunstigt intelligente robotter, og ikke på virkeligheden, hvor vi langsomt bevæger os imod den kunstige intelligens. Der er et behov for Asimov's love, som en sikring af menneskene som bliver involveret i robotternes verden. Selvfølgelig vil ulykker opstå, men hvis man forsøger at sikre menneskene som håndterer robotter, ved at give robotterne en forståelse af etik og moral, kan man muligvis undgå visse ulykker.

## THREE LAWS OF RESPONSIBLE ROBOTICS

Andre har også forsøgt sig med at lave retningslinier for robotters adfærd, Robin Murphy fra Texas A&M University og David D. Woods fra Ohio State University filosoferede over et nyt sæt love, som kunne bruges istedet for dem, der var formuleret af Isaac Asimov. I artiklen "Beyond Asimov: The Three Laws of Responsible Robotics" udgivet i IEEE computer society July/August 2009 (vol. 24 nr. 4) beskrives 3 nye regler:

Ser man på Murphy og Woods love kan man bemærke, at der ikke helt er de samme store armbevægelser som i Asimov's love. Asimovs love udelukker menneskeligt ansvar og lægger hele skyldsspørgsmålet på robotten. Istedet har Robert Murphy og David Woods en mere pragmatisk tilgang til emnet, hvilket ses i deres fokus på samarbejdet mellem robot og menneske, der vises ved, at de ser en robot, ikke ses som en juridisk person, men mere som et værktøj. (<http://www.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109/MIS.2009.69>)

1. A human may not deploy a robot without the human-robot work system meeting the highest legal and professional standards of safety and ethics.
2. A robot must respond to humans as appropriate for their roles
3. A robot must be endowed with sufficient situated autonomy to protect its own existence as long as such protection provides smooth transfer of control, which does not conflict with the First and Second Laws.

(<http://www.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109/MIS.2009.69>)

I deres forståelsesramme kan et værktøj - lige meget hvor sofistikeret det end må være - ikke drages til ansvar for hvad det bliver brugt til. Det eneste tidspunkt hvor en ejer kan klage er, når værktøjet ikke fungerer efter planen og alligevel, ligger ansvaret udelukkende hos værktøjet ejer. USA har længe flirtet med ideen om en "robotsoldat". Projektet hedder "Swords" (The Special Weapons Observation Reconnaissance Detection System), og ideen er, at istedet for at sende værdifulde infanterister i kamp, kunne man sende en robot.

I dette tilfælde ville Asimovs 3 love være meningsløse, da hele meningen med SWORDS er at skade mennesker. Dette gør at Robin Murphy og David Woods version af de 3 love, de "realistiske love for robotter", er mere operationelle. (<http://www.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109/MIS.2009.69>), ([http://en.wikipedia.org/wiki/Foster-Miller\\_TALON](http://en.wikipedia.org/wiki/Foster-Miller_TALON))

Man bliver nødt til at diskutere om det skal være de personer, som er i færd med at udvikle kunstig intelligens, der skal have det endelige moralske ansvar. Bliver de personer som udvikler AI nødt til at inkorporere basale sikringsmekanismer, der er baseret på at give robotten en forståelse af etik og moral?

Hvis vi tager udgangspunkt i vores krigsrobotter, kan man diskutere, om robotter vil være mere "humane" end mennesker, når vi er i en krigssituation. Vi har gentagne gange igennem historien konstateret, at mennesket er den ultimative kriger, sadistik, intelligent og gennemført hadsk. I de sidste 20 år har vi blandt andet stiftet bekendtskab med voldtægtslejre i eks-Jugoslavien, tilfældig målskydning på civile irakere og ydmygelser og tortur af mennesker i Abu Ghraib. (<http://www.computerworld.dk/art/40910/vi-skal-alle-diskutere-robotter>)

Da det vil være muligt at indprogrammere krigsrobotter med "krigens love" og "Geneve konventionen", kan man sikre, at robotterne overholder de spilleregler som er gældende på nutidens slagmark. Grunden til, at der fokuseres så meget på "robotkrigere" er både de etiske og moralske dilemmaer som opstår, samt at USA ønsker inden år 2015, at 1/3 af deres samlede flyvåben skal være UAV (unmanned aerial vehicles). Samtidig skal 1/3 af den amerikanske hærs køretøjer være ubemandede. Sydkorea er også begyndt at skabe en robothær til grænsen imod Nordkorea, hvilket også peger på, at robotkapløbet så småt er igang. Det store spørgsmål er, hvordan kan man med sikkerhed vide, at ens robot vil udføre det man har programmeret den til? Kildefejl og udfrakommende påvirkninger kan i høj grad have indflydelse på robotens "adfærd" og på, hvordan den udfører sine kommandoer. (<http://www.wired.com/gadgetlab/2009/07/robo-ethics/>)

Når man skaber en AI kamprobot, og det er kun et spørgsmål om tid, kan man nærmest med sikkerhed sige, at man også vil programmere evnen til både at lære og at lære af sine fejl. Da en programmør, aldrig kan vide hvilke situationer robotten bliver udsat for, bliver man nødt til at lade robotten kunne lære. Man kan også med næsten sikkerhed sige, at der bliver tale om "cluster intelligence", hvor alle robotterne er sammenkoblet, meget som en myretue, hvor én myre er svag, men 100 myrer kan drive et dyr, der er 1000 større på flugt. Cluster intelligence er den måde robotter lærer af alle de fejl som bliver begået, samtidig med dette, får de et større kendskab til det miljø de opererer i. Når dette sker, hvordan vil man så sikre sig imod, at robotten ikke kommer til at lære ting, som gør den farlig for brugeren? Indtil videre har der allerede været unødige ofre for robotter, såkaldt "Friendly Fire". I april 2008 valgte SWORDS våbenplatformen at sigte på "egne tropper". I oktober 2007 affyrede Oerlikon GDF-005 antiluftskydtskanon affyrede 20 skud på 1/8 sekund, hvor 9 personer blev dræbt og 15 hårdt såret, og op til flere UAV'er er faldet ned langs grænsen til Mexico og på Sri Lanka. (<http://www.wired.com/gadgetlab/2009/07/robo-ethics/>), (<http://ing.dk/artikel/96411-krigsrobotter-gaar-amok-paa-mennesker>)

Den kunstige intelligens er det, som skiller automationen fra robotten. Vi bevæger os langsomt men sikkert tættere og tættere på en kunstig intelligens, og spørgsmålet er, hvilke begrænsninger vi vil sætte for denne intelligens? Skal vi for dumme robotterne og gøre dem mere føjelige? Man kunne sige, at man sparer menneskeliv ved at bruge robotter. På en måde ville en krig mellem robotter ende som et meget dyrt og avanceret spil skak. Men de krige som bliver udkæmpet i nutiden er gerne højteknologi mod lavteknologi, for eksempel USA mod Taleban, og i denne situation, hvor der nærmest er tale om guerilla krig kunne man forsøge, at programmerer robotten til kun at skyde efter våben. Men kulturen i Afghanistan gør, at de fleste mænd som minimum har 1 våben. Man kunne også spørge, om robotten ville kunne kende forskel på børn med legetøjsvåben og soldater? (<http://www.wired.com/gadgetlab/2009/07/robo-ethics/>)

I og med at det amerikanske og sydkoreanske militær allerede forsøger at lave robotter, som kan dræbe mennesker, kan man også sige, at dette allerede underminerer Isaac Asimov's 3 love, hvilket indikerer, at håbet om en decideret Robot Grundlov imod at dræbe mennesker stille og roligt forsvinder i horisonten. Man kan diskutere om Asimov's love overhoved kan benyttes, når man tænker på, at robotten vil gøre skade på et menneske,

ved bare at eksistere - set fra et protektionistisk synspunkt, "stjæler" robotten jo arbejdet fra mennesket, og denne handling er stridig imod den første lov. ([http://ethics.calpoly.edu/ONR\\_report.pdf](http://ethics.calpoly.edu/ONR_report.pdf)), (<http://politiken.dk/udland/1017257/draeberrobot-skal-bevogtesydkorea/>)

Man bliver nødt til at anerkende, at robotten skal være intelligent nok til at agere i forhold til de regler som bliver sat op for den, både værdien bag ordene og, hvis man benytter sig af moralske love, også af konceptet "moral". Som det ser ud nu har en robot brug for en velafgrænset opgave, uden for meget menneskelig indblanding. (<http://www.homoartefakt.dk/>), (<http://www.computerworld.dk/art/40910/vi-skal-alle-diskutere-robotter>)

Det man istedet burde gøre var at sikre, at robotten opfører sig bedre end mennesket. En robot bør være "bonus pater familias", fordi den netop kan programmeres til at være det. Hvis det er som kriger, eller som tømrer den skal agere, så skal man kunne regne med, at en robot altid træffer det rigtige valg - ellers vil vi som mennesker miste tilliden til robotterne, og så kan man kun håbe, at robotterne har en sluknap. (<http://ing.dk/artikel/96818-robotter-kan-goere-krige-mere-humane>)

Det man altid skal have i tankerne er, at en robot kan hackes. Om det er en byggerobot eller en militær robot, kan der være en risiko for, at et menneske med sin egen agenda kan omprogrammere robotten. Men dette bør ikke holde os tilbage fra at tage dette næste logiske skridt i vores udvikling. I sidste ende er, det ikke én person, der skal definere hvordan vi skal behandle robotter, men en samfundsdiskussion som vores filosoffer og ledere skal starte.

På baggrund af beskrivelsen af robotter, samt af de etiske dilemmaer, vil vi nu se på robotteknologi i et historisk perspektiv, da det er forfatterens mening, at man skal kende sin fortid for at forstå sin nutid.

## ROBOTTEKNOLOGI I ET HISTORISK PERSPEKTIV

*Følgende historiske gennemgang vil bidrage til dannelse af en fælles forståelsesramme for læser og forfatter, og vil desuden svare på spørgsmålet i problemformuleringen om, "hvor langt er vi nået i udviklingen af byggerobotter?" Hvis vi skal se på udviklingen af robotter igennem tiderne, bør vi gå helt tilbage til den første tanke, der beskriver de enkelte komponenter og koncepter. I dette afsnit vil vi bevæge os igennem tiden, op til nutiden, og beskrive milepælene i robotteknologiens historie, lige fra koncepter til implementering. Jo tættere på nutiden vi kommer, jo mere detaljeret bliver beskrivelserne. I det efterfølgende beskrives de robotteknologiske milepæle.*

Kimen bliver lagt til den første reference for "tænkende maskiner" omkring år 2500 f.v.t. (før vor tidsregning) i Ægypten. Her kunne præsterne gemme sig i statuer, kendt som orakler, og de kunne på denne måde kommunikere med menneskene. (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>) (Kupperberg, 2007).

Forestillingen om at have en tænkende figur eller maskine er et af de bagvedliggende koncepter, når man tænker på robotter, og skal betragtes som en vigtig milepæl indenfor robotteknologi.

Ligeledes bliver den første tanke, der leder frem til konceptet "robotter" beskrevet i år 7-800 f.v.t. Sagsfiguren Hefaistos, søn af gudinden Hera, omtales i Homers Odysseen og i Illiaden bog nr. XVIII, hvor det fortælles, at han kunne smede liv i metal. Der var tale om, at gøre ædelmetaller levende, så det kunne bruges til at tjene eller hjælpe den halte Hefaistos, som da han smedede en rustning til Achilleus. Samtidigt omtales, at han kunne smede en intelligent mekanisme, som blandt andet kunne fange hans kone Athena og dennes elsker Ares i seng sammen. (<http://lexopen.dk/ord/h/e/Hefaistos.html>), (<http://en.wikipedia.org/wiki/Hephaestus>), (Kupperberg, 2007)



Billede (7) Hefaistos  
Kilde: <http://www005.thinkquest.dk/guder/guder408.htm>

Hefaistos skabte således, ifølge Homer, tanken om de første robotter. Der er tale om et tankesæt, der ville føre til robotteknologi som vi kender den i dag. Homer, eller Hefaistos, skabte et tankesæt, der senere ville lede til hvad man i moderne tid kalder "Artificial Intelligence" (AI) og de muligheder, der ligger i at sammenbygge A.I. med en maskine eller et kunstigt legeme, for derved at skabe en robot. (Kupperberg, 2007)

Omkring år 384-322 f.v.t. skrev grækeren Aristoteles bogen om Metafysik, der ligger til grund for konceptet "Emerging Behaviors", hvor han i bog H 1045a 8-10 blandt andet skriver: "The totality is not, as it were, a mere heap, but the whole is something besides the parts ..." altså: summen er større end de enkelte dele.



Omkring år 1495, ser vi arbejdstegninger fra italieneren Leonardo Da Vinci, omhandlende en robot. Set med vores nutidige øjne, er dette en mere videnskabelig tilgang til hele robotteknologien, end det vi så i Antikken, selvom selve konceptet "robot" er lige så vigtigt som den fysiske robot. Arbejdstegningerne er primært baseret på den Vitruvianske mand, der har sin baggrund i Leonardos anatomiske forsøg. Sidenhen har det vist sig, at denne mekaniske robotten kunne fungere som tiltænkt. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo's\\_robot](http://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo's_robot)), ([http://da.wikipedia.org/wiki/Leonardo\\_da\\_Vinci](http://da.wikipedia.org/wiki/Leonardo_da_Vinci))



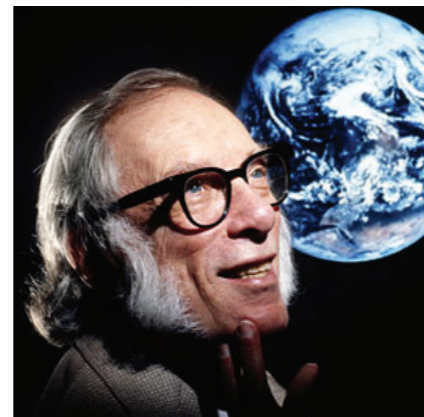
Billede (8) Leonardo Da Vincis robot  
Kilde: [http://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo's\\_robot](http://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo's_robot)

I år 1822 opfandt den engelske matematiker Charles Babbage den første maskine, der var i stand til at udføre matematiske regnestykker. Senere fik han den ærefulde titel "Computerens fader". (Kupperberg, 2007), ([http://da.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Babbage](http://da.wikipedia.org/wiki/Charles_Babbage))

Ordet robot (Ordet kommer fra det latinske "robota", som betyder "tvunget arbejde"), blev registreret første gang i år 1921, af tjekken Karel Capek i skuespillet R.U.R. (Rossum's Universal Robots). Det var også dette skuespil, der første gang varslede ideen om, at robotter på et tidspunkt ville overtage verden. (Kupperberg, 2007)

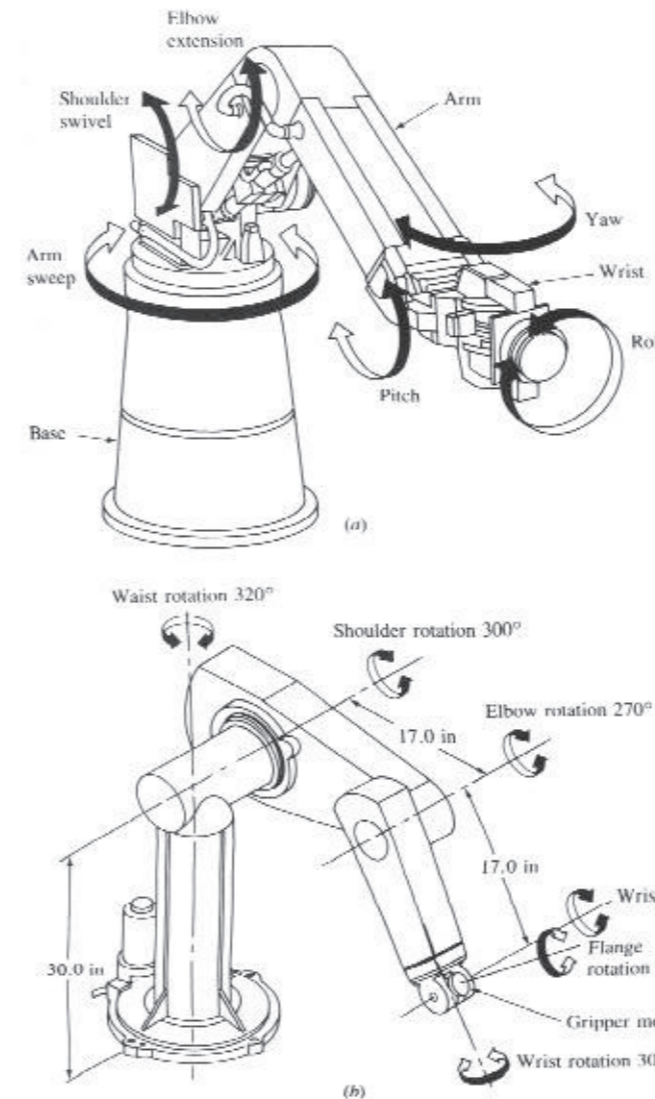
Fra år 1941 til 1950 skrev den russiskfødte amerikanske forfatter Isaac Asimov novellesamlingen 'I, Robot', der beskriver robotter sådan som vi forstår dem i dag – maskiner med intelligens og endda også følelser. Asimov opfinder her de 3 love for robotter: (Kupperberg, 2007), ([http://da.wikipedia.org/wiki/Isaac\\_Asimov](http://da.wikipedia.org/wiki/Isaac_Asimov))

- En robot må ikke gøre et menneske fortræd, eller, ved ikke at gøre noget, lade et menneske komme til skade
- En robot skal adlyde ordrer givet af mennesker, så længe disse ikke er i konflikt med første lov
- En robot skal beskytte sin egen eksistens, så længe dette ikke er i konflikt med første eller anden lov



Billede (9) Isaac Asimov  
Kilde: [www.guardian.co.uk](http://www.guardian.co.uk)

De første elektroniske autonome robotter blev skabt af den amerikanske neurofysiker William Grey Walter i årene 1948 og 1949 og blev navngivet Elmer og Elsie. Disse kunne agere med deres omgivelser, og kunne navigere i forhold til omgivelserne. ([http://en.wikipedia.org/wiki/William\\_Grey\\_Walter](http://en.wikipedia.org/wiki/William_Grey_Walter))



Billede (10) Puma robotarm  
Kilde: <http://www1bpt.bridgeport.edu/~risc/html/proj/sanjeev/project.html>

I 1956 opfinder den amerikanske virksomhed Unimation den første kommercielle robot kaldet Unimate, der er en stationær robotarm. Samme år blev konceptet "Artificial Intelligence" (AI) opfundet. (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>)

I 1961 bliver den første Unimate industrielle robot installeret hos General Motors (amerikansk bilproducent). Her flyttede robotten dele fra støbeformen til produktionslinjen, hvor robotten også kunne svejse delene fast til karosseriet. (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>)

I 1975 blev PUMA den første programmerbare universelle mekaniske (robot-)arm opfundet af Unimation. Dette var datidens mest præcise stationære robotarm, og den havde en lang række applikationer, blandt andet som svejserobot. (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>), ([http://en.wikipedia.org/wiki/Industrial\\_robot](http://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_robot))

I 1980 udgiver den sydafrikanskfødte amerikaner Seymour Papert bogen "Mindstorms: Children, Computers and Powerfull Ideas", hvor han beskriver konceptet "Constructivism", eller "learning-through-doing". Dette koncept beskriver en teori om, hvordan mennesket kan lære ved at associere mellem erfaringer og ideer. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Constructivism\\_\(learning\\_theory\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Constructivism_(learning_theory))), (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>)

I 1986 udvikler den danske byggeklodsvirksomhed LEGO og det amerikanske universitet M.I.T. det første LEGO-baserede undervisningssystem til robotter, som blev brugt på skoler over hele verden. (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>), (<http://en.wikipedia.org/wiki/MIT>)

I årene 1988-89 ser konceptet sværrobotter/multirobot system dagens lys, hvilket er et resultat af blandt andet den græske filosof fra antikken, Aristoteles (Trianni, 2008).

I 1992 starter amerikaneren Marc Torpe "ROBOT WARS", der er en turnering/gladiatorkamp mellem robotter. (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>), (<http://www.marcthorpe.com/robot.html>)

I 1993 opfinder det Japanske firma Seiko Epson "Monsieur", der bliver krediteret som verdens mindste robot i "Guinness book of records". Samme år kommer der resultater fra Hondas humaniode robotprogram med lanceringen af P1 (prototype 1). (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>), ([http://en.wikipedia.org/wiki/Seiko\\_Epson](http://en.wikipedia.org/wiki/Seiko_Epson)), ([http://world.honda.com/ASIMO/history/p1\\_p2\\_p3.html](http://world.honda.com/ASIMO/history/p1_p2_p3.html))



Billede (11) MONSIEUR  
Kilde: [www.LIFE.com](http://www.LIFE.com)

I 1995 bliver firmaet Intuitive Surgical startet af amerikanerne Fred Moll, Rob Younge og John Freud. Firmaet startede med en kontrakt til den amerikanske hær, og de opfinder blandt andet det kirurgiske robotsystem kaldet Da Vinci. Denne var en hospitals robot, der lader læger teleoperere på mennesker, hvilket betyder, at den menneskelige læge ikke behøver at være samme fysiske sted som patienten, hvilket kan være godt for eksempel i en krigssituation. (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>), (<http://www.intuitivesurgical.com/corporate/companyprofile/index.aspx>), ([http://en.wikipedia.org/wiki/Intuitive\\_Surgical](http://en.wikipedia.org/wiki/Intuitive_Surgical))

Amerikanerne Dr. Chris Campbell og Dr. Stuart Wilkinson (University of South Florida, USA) opfinder i 1996 Gastrobot, der er en robot, som kan nedbryde organiske materiale og bruge gassen, der bliver produceret ved denne reaktion, til fremdrift. (<http://en.wikipedia.org/wiki/Gastrobot>)

Russeren Garry Kasparov, den daværende verdensmester i skak, bliver i 1996 udfordret i skak af IBMs supercomputer DEEP BLUE, og resultatet af kampen bliver 4-2 til Garry Kasparov. (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>)



Billede (12) Deep Blue, IBM

Kilde: [http://da.wikipedia.org/wiki/Fil:Deep\\_Blue.jpg](http://da.wikipedia.org/wiki/Fil:Deep_Blue.jpg)

I 1997 vinder DEEP BLUE over Garry Kasparov i skak med 3½-2½. Dette bliver kaldt det mest spektakulære opgør indenfor skak. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Deep\\_Blue\\_versus\\_Garry\\_Kasparov](http://en.wikipedia.org/wiki/Deep_Blue_versus_Garry_Kasparov)), (Frederic Friedel. "Garry Kasparov vs. Deep Blue". Daily Chess Columns), (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>)

I 1997 fremviser Honda desuden P2, der er 2. generation af den gående robot fra Honda's laboratorium, og rumsonden Pathfinder lander på Mars og påbegynder sin mission på overfladen. (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>), ([http://world.honda.com/ASIMO/history/p1\\_p2\\_p3.html](http://world.honda.com/ASIMO/history/p1_p2_p3.html))

I 1998 bliver robotten Furby lanceret af det amerikanske selskab Tiger Electronics på legetøjsmarkedet, Furby er en animatronisk kæledyrs robot. Samme år lancerer LEGO Mindstorm, der er et robot udviklingssæt. (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>), ([http://en.wikipedia.org/wiki/Lego\\_Mindstorms](http://en.wikipedia.org/wiki/Lego_Mindstorms))



Billede (13) Robotten Furby  
Kilde: [www.furby.com](http://www.furby.com)

I 1999 lancerer elektronikvirksomheden Sony robtohunden AIBO, der er den første robot, som kun er tiltænkt forbrugermarkedet. AIBO bliver udsolgt på 20 minutter.

Virksomheden Personal Robots lancerer Cybe, der kan bruges til forskellige opgaver i hjemmet. ([http://support.sony-europe.com/aibo/1\\_1\\_3\\_aibo\\_story.asp?language=en](http://support.sony-europe.com/aibo/1_1_3_aibo_story.asp?language=en)), (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>), (<http://www.personalrobots.com/uses/>)

Honda præsenterer i år 2000 Asimov, som er det nyeste skud på stammen indenfor Hondas gående robotter. FN vurderer samme år, at der er over 740.000 industrielle robotter i verden og, at over halvdelen bliver brugt i Japan (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>), ([http://world.honda.com/ASIMO/history/p1\\_p2\\_p3.html](http://world.honda.com/ASIMO/history/p1_p2_p3.html))

I 2001 lancerer Sony AIBO 2. generation. Og samme år opsender det amerikanske rumforskningsinstitut NASA en robotarm fra MD Robotics "The Space Station Remote Manipulator System" (SSRMS). ([http://support.sony-europe.com/aibo/1\\_1\\_3\\_aibo\\_story.asp?language=en](http://support.sony-europe.com/aibo/1_1_3_aibo_story.asp?language=en)), (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>), (<http://en.wikipedia.org/wiki/Canadarm2>)



Billede (14) Sony AIBO  
Kilde: [www.sony.net](http://www.sony.net)

I 2003 lancerer Sony så 3. generation af AIBO, og Seiko-Epson opfinder (igen) verdens mindste robot, Monsieur II og fremviser denne. Der er tale om en flyvende robot, tænkt til overvågning af naturkatastrofer såsom skovbrande. (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>), ([http://support.sony-europe.com/aibo/1\\_1\\_3\\_aibo\\_story.asp?language=en](http://support.sony-europe.com/aibo/1_1_3_aibo_story.asp?language=en)), ([http://global.epson.com/newsroom/news\\_2004\\_08\\_18.htm](http://global.epson.com/newsroom/news_2004_08_18.htm))

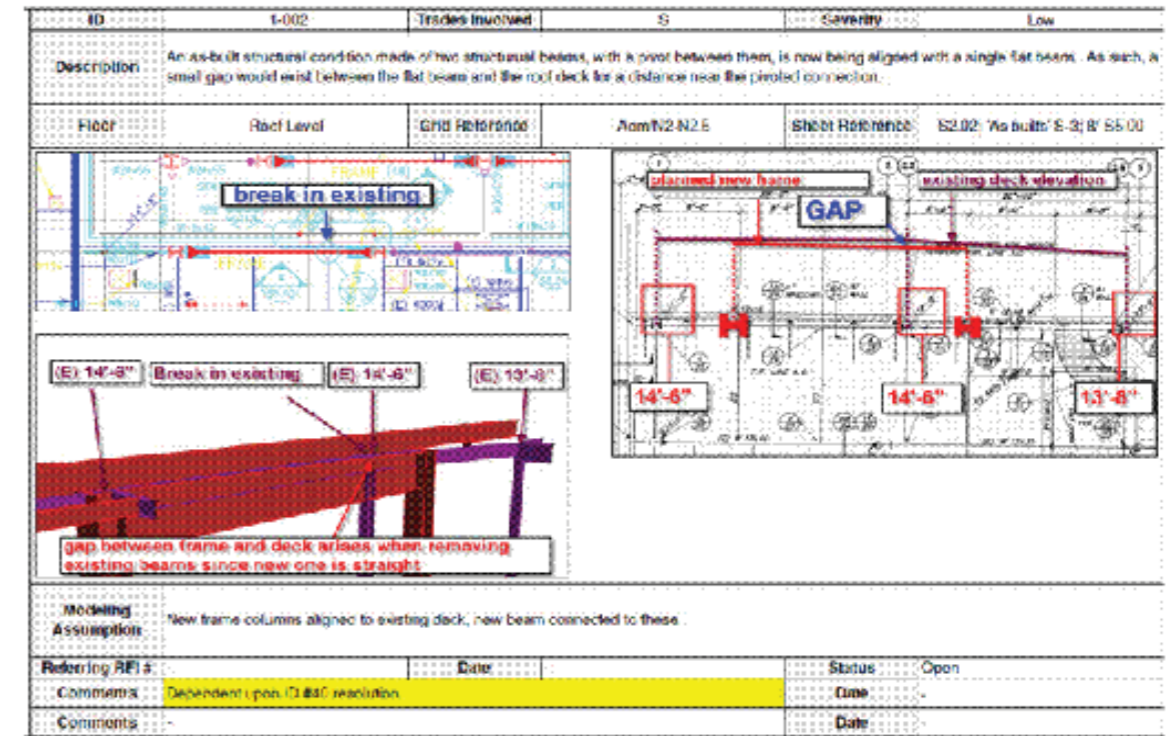
I 2004 påbegynder Seiko-Epson salget af Monsieur II. ([http://global.epson.com/newsroom/news\\_2004\\_08\\_18.htm](http://global.epson.com/newsroom/news_2004_08_18.htm)), (<http://www.thocp.net/reference/robotics/robotics.html>)

I de følgende afsnit bevæger vi os ind i nutiden og den nærmeste fortid, det vil sige fra år 2004 og til og med år 2010. Kilden til det følgende er tidsskriftet "Automation in Construction", og der vil være mere fokus på byggebranchen. Der vil primært blive fokuseret på udviklingen af automatiserede processer, som for eksempel udvikling af byggemodellen, produktivitetsforbedring igennem brug af nye værktøjer, som computerprogrammer eller robotter, samt på nytænkning indenfor byggebranchen. Dette vil blive delt op i 4 forskellige dele: kontrol af byggemodellen, algoritmer og programmer til robotter, robotter i brug og sidst tilsyn på byggepladsen. På baggrund af eksisterende videnskabelige artikler vil jeg nu beskrive nogle samlede metoder, som kan bruges af byggerobotter, ud fra de fire opsatte kategorier, som jeg har opsat, ved at tage dele fra byggeprocessen i kronologisk rækkefølge.

## KONTROL AF BYGGEMODELLEN

Kontrol delen er den del af byggeprocessen, som betragtes som starten. Ved at implementere robotter på byggepladsen, vil der komme nogle ændringer i den traditionelle byggeproces. Det forventes, at der vil opstå et større samarbejde mellem entreprenør og arkitekten. Den måde vi formidler, hvordan en bygning ser ud, på nuværende tidspunkt, er igennem byggemodeller, der fungerer som en grafisk repræsentation af bygningen. Disse modeller kan være i 2D eller 3D, alt efter behovet. Det er vigtigt, at robotten får en metode til at kontrollere, at den tegning robotten bygger ud fra er gyldig og overholder de krav, der er stillet til den. Desuden kan man forvente, at tegningsmaterialet kan bruges som en metode til, at programmere robotten på det planlægningsmæssige niveau.

Hvis man skal bruge robotter på en byggeplads, er der et kvalitetsmæssigt behov for, at robotten kan kontrollere byggemodellen i forhold til gældende regulativer og konstruktive forhold. Det vil sige, at robotten skal kunne kontrollere tegninger ud fra bygningsreglementet eller god dansk byggeskik. (Yang et.al., 2004), (Eastman et.al. 2009)



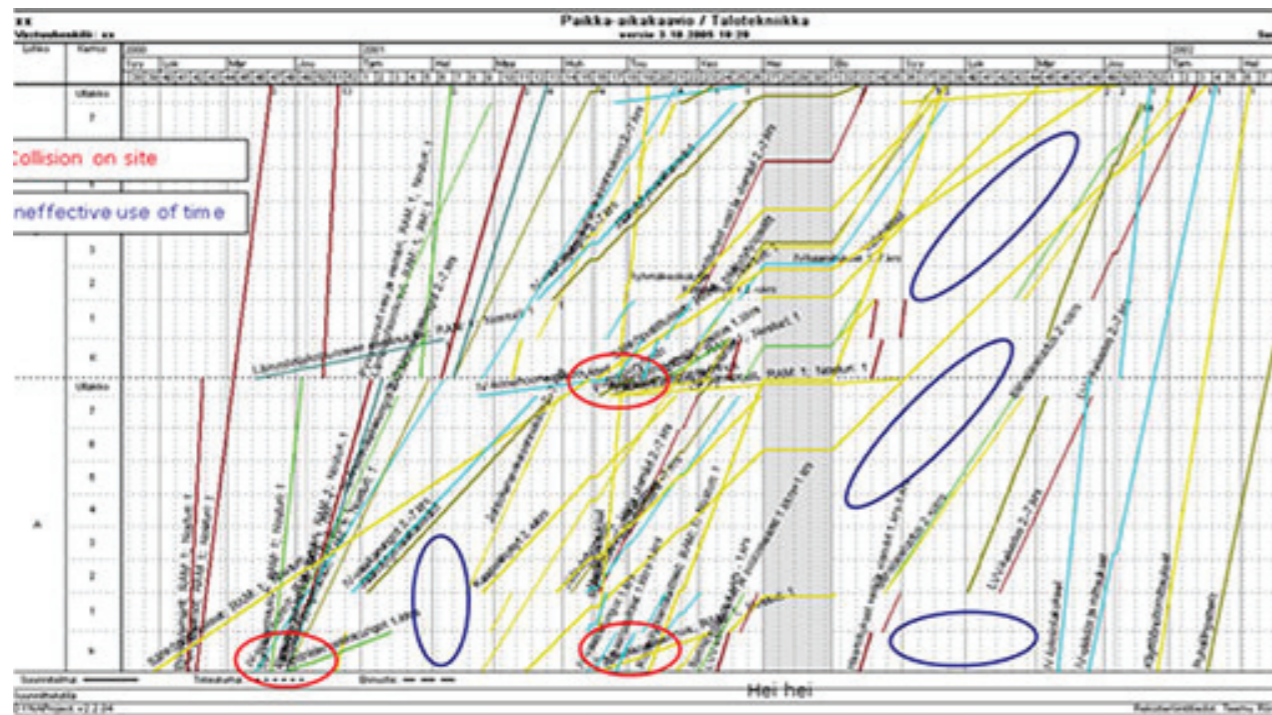
Billede (15) Constructability i VICO

Kilde: <http://www.vicosoftware.com>

Globalisering gør allerede i dag, at mange danske entreprenører søger mod udlandet. Denne tendens kan man sagtens forvente vil fortsætte, selv når robotter er implementeret i byggeprocessen. Det kræver dog, at specifikationerne til regler og byggeskik, som tidligere nævnt i den ovenstående metode, kan ændres alt efter hvilket land robotten arbejder i. Muligheden for at ændre i specifikationerne er generelt også relevant, da man ser generelle ændringer i reglerne indenfor landegrænser. Et andet argument for, at specifikationerne skal kunne ændres er, at de skal imødekomme en bygherre, der har forøgede krav til en konstruktion i forhold til de gældende regler. (Yang et.al., 2004), (Yurchyshyna, 2009), (Eastman et.al. 2009), (<http://www.ebst.dk/bygningsreglementet.dk>)

For at dette skal kunne fungere i praksis, bliver man nødt til at arbejde med en fælles filformat standard indenfor tegning af byggemodeller, når man skal bruge byggerobotter. Dette skal være et format, som kan være i stand til at udføre 5D byggemodeller, hvilket kan være med til at programmere byggerobotten i form af, hvilken rækkefølge opgaver skal løses i. 5D kan også oplyse om, hvor lang tid der vil gå før materialerne til en given opgave ankommer til byggepladsen. De mest relevante filformater er IGES, DXF/DWG, ISO 15926 samt IFC. Den standard, der vælges, skal være fremtidssikret, da man på nuværende tidspunkt ikke kender samtlige fremtidige behov for arkitekter eller robotter, og samtidig skal filformatet være bagudkompatibelt, da man godt kan forvente, at robotter kunne bruges i renoveringssager. (Björk et.al., 2010), (<http://buildingsmart.com/bim>), (<http://en.wikipedia.org/wiki/IGES>), ([http://en.wikipedia.org/wiki/Industry\\_Foundation\\_Classes](http://en.wikipedia.org/wiki/Industry_Foundation_Classes)), ([http://en.wikipedia.org/wiki/ISO\\_15926](http://en.wikipedia.org/wiki/ISO_15926)), (<http://en.wikipedia.org/wiki/DWG>).

Som tidligere nævnt er et af de områder, der bliver arbejdet meget med i byggebranchen, implementeringen af effektiviseringsystemer, primært hentet fra bilindustrien. Dvs. systemer såsom JIT og LEAN. En ide kunne være, at integrere JIT og LEAN direkte ind i byggemodellen, som en forlængelse af 5D byggemodellens koncept, som er beskrevet tidligere. (Sack et.al., 2010), (<http://da.wikipedia.org/wiki/Lean>), ([http://en.wikipedia.org/wiki/Just\\_In\\_Time](http://en.wikipedia.org/wiki/Just_In_Time)).



Billede (16) Flowline Scheduling  
Kilde: <http://www.vicosoftware.com>

## ALGORITMER OG PROGRAMMER TIL BYGGEROBOTTER

Det der gør en robot til mere end blot summen af dens dele, er de algoritmer og programmer som afvikles i robotten. Hvis vi ser på byggeprocessen, er vi nu nået til den del, der ligger lige før selve monteringen. I den traditionelle byggeproces vil der på dette tidspunkt være det opstartsmøde, hvor håndværkerne modtager de informationer, som de skal bruge for at kunne føre tegningerne eller byggemodellen ud i livet. Ved programmerne bliver vi nødt til at underopdele dem, både efter vores tre hovedpunkter i rapporten – øget sikkerhed, kvalitetsforbedring samt øget indtjening - og vi vil se på programmer, der beskæftiger sig med: effektiviseringsalgoritmer, erfaringsdeling, kvalitetssikring, planlægning og sikkerhed på byggepladsen.

## EFFEKTIVISERINGSALGORITMER

Når en robot udfører et stykke arbejdet, bør robotten udregne, hvordan man kan få det maksimale ud af det materiale, der bliver brugt til en given arbejdsopgave. På denne måde får entreprenøren mere for sine penge, både i kraft af, at der ikke går materiale til spilde, og samtidigt fordi der ikke skal afholdes udgifter til byggeaffald. En anden metode til at reducere byggeaffald på, er ved at bruge units eller præfabrikerede byggematerialer. (Baldwin et.al., 2008)

Ved at udregne, hvordan man kan få mest muligt ud af de materialer der bruges, kan byggeprocessen være meget informationsintensiv. Her tænkes især på, at tegningsmaterialet og beskrivelserne er til rådighed, og hvis robotter bliver integreret i byggeprocessen, opstår der et behov for, at håndværkeren meget præcist kan sige, hvor en bygningsdel skal være placeret samt, hvordan den skal se ud. Dette kræver en byggeplads, der er forbundet med et WLAN. For byggelederen ville det være praktisk, hvis de dokumenter, som er relevante for byggelederen er placeret i forhold til ham i bygningen, hvor det for robotterne er vigtigt at være forbundet med internettet, så robotten kan få adgang til modelserveren og være forbundet til de andre robotter på byggepladsen. (Behzadan et.al. 2008)

Dette vil også hjælpe med til at optimere tid brugt på et byggeprojekt, hvilket kan bruges til at forbedre 'den kritiske vej'. Den kritiske vej er et værktøj, der kan optimere på en proces, ved at fordele ressourcer og tid. Hvis sådanne ressourcer bliver ledige, på grund af for eksempel sparet tid, kan disse bruges til at skabe en yderligere reduktion i byggeprocessen. Dette kan eventuelt gøres ved hjælp af Particle Swarm Optimizer, der er en beregningsmetode, der fungerer interaktivt. (Lu et.al. 2008), ([http://en.wikipedia.org/wiki/Critical\\_Path](http://en.wikipedia.org/wiki/Critical_Path))

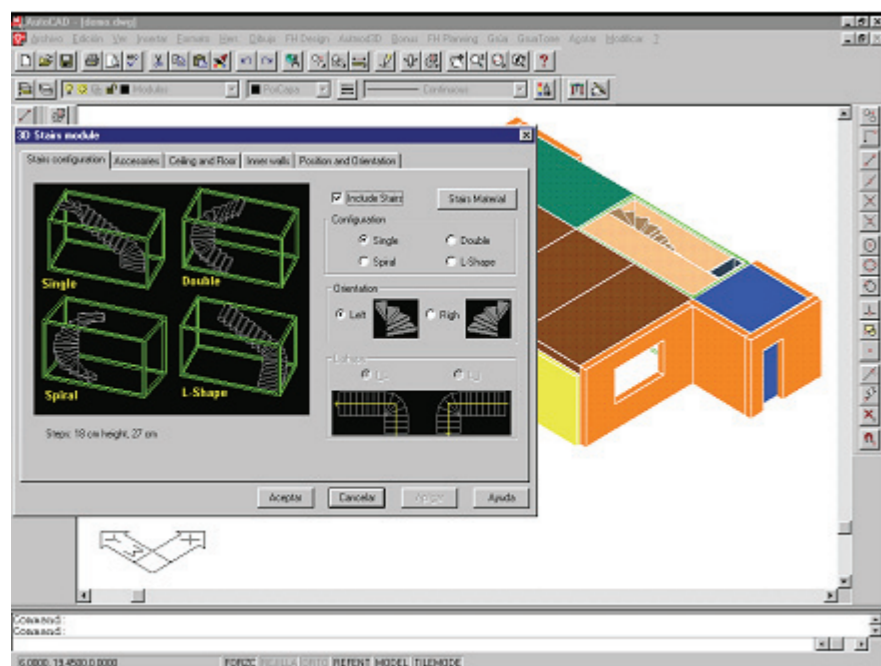
Man kunne også bruge robotens visuelle sensorer til at vurdere det samlede fremskridt. På denne måde vil robotten kunne vurdere fremskridtet, på baggrund af de visuelle markører eller såkaldt "feature detection." Herved kan robotten vurdere, hvor langt i processen den er, ud fra nogle kendetegn, for derved at optimere på den kritiske vej, ved at vide hvor langt i projektet man er nået. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Feature\\_detection\\_\(computer\\_vision\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Feature_detection_(computer_vision))), (El-Omari et.al., 2008)



Billede (17) Feature Detection  
Kilde: [http://www.nsf.gov/od/lpa/news/03/pr0380\\_video4-stream.htm](http://www.nsf.gov/od/lpa/news/03/pr0380_video4-stream.htm)

En metode, der kan sikre større effektivitet set fra et logistisk synspunkt, ville være at integrere en algoritme i en byggerobot, der kan bruges til at søge og lokalisere RFID chips i et 3D miljø. På denne måde ville man kunne lokalisere materialelagre, og andre robotter og indbyggede bygningsdele. Dette kan hjælpe med til at udregne den kritiske vej, og er nyttigt, hvis man arbejder med flere etager. (Ko et.al., 2008), (Grau et.al., 2009), (Chae et.al. 2010), (Ko, 2010).

En anden metode, der kan benyttes, er Artificial Neural Networks. Brugen af dette kan estimere tiderne på udførelsen af en arbejdsopgave. Artificial Neural Networks er en af de former for AI, der kan bruges i en byggerobot. En anden variation af Artificial Neural Networks kunne være Self Organizing Maps eller Self Organizing Map-based Optimization, hvor begge kan bruges til at vurdere produktivitet. Begge variationer af Artificial Neural Networks kan være med til at optimere den kritiske vej, som tidligere nævnt. (Hola et.al., 2010), (Oral et.al., 2010)



Billede(18) Future Home, AUTOMOD3

Kilde: <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/isarc2003-98.pdf>

EU projektet "Future Home" har modificeret Computer Aided Design, med en metode kaldet AUTOMOD3. Denne tilføjer funktioner til CAD, såsom mulighed for at designe, planlægge og automatisk oversætte disse til maskinprogrammeringssprog.

Future Home er altså en metode, hvor man skemalægger processer og overfører dem til maskinsprog. Dette er også vigtigt, hvis man vil suboptimere på gentagne sammenlignelige processer. Dette kan bruges af robotter i kombination med den kritiske vej. (Long et.al., 2009), (Duan et.al., 2010), (Luu et.al. 2008)

Når man bruger robotter på en byggeplads, bliver man også nødt til at se på, hvordan man kan trafikregulere for at undgå trafikpropper. Dette er vigtigt, hvis man vil have en effektiv og smidig byggeproces. Jo flere robotter man får på byggepladsen, des vigtigere bliver dette, og man kan nemt forestille sig et fald i effektiviteten, hvis robotterne skal stå i kø for at komme i gang med deres arbejde. (Kim et.al., 2010)

## ERFARINGSDELING

Hvis man skal kunne dele informationer succesfuldt, bliver man nødt til at have et medie, hvor man kan få tilgang fra mange forskellige steder, med andre ord en kollektiv web-baseret platform. En sådan skal kunne bruges af flere forskellige på samme tid, og der skal være adgang til at få informationer direkte fra byggesagen, både om hvordan man løste problemer, men også om hvordan man løser normale opgaver, for at give novicer en let metode til at få erfaring, uden at skulle knokle for den. Funktionen ville også kunne overføres til byggerobotterne, hvor erfaringerne skulle opsættes i et framework, som kunne inddele og klassificere informationerne, så disse informationer kunne genbruges af robotten selv, og af andre robotter på samme og på andre byggepladser. (Udeaja et.al., 2008)

## KVALITETSSIKRING

Et meget vigtigt aspekt i byggeprocessen er kvalitetssikring. Grunden til, at kvalitetssikring er vigtig er, at man her vurderer konstruktionerne, og om man faktisk har fået, hvad man har betalt for.

Som vi tidligere i dette afsnit har været inde på, vil det være en god ide at tilføje trådløst internet til byggepladserne. Desuden har vi også været inde på de forskellige metoder, der er til at kontrollere fremskridt på byggepladsen ved hjælp af robotens visuelle sensorer. Dette kan også være med til at sikre kvaliteten på byggepladserne, da det kan sikre et billigere tilsyn og en højere kvalitet.

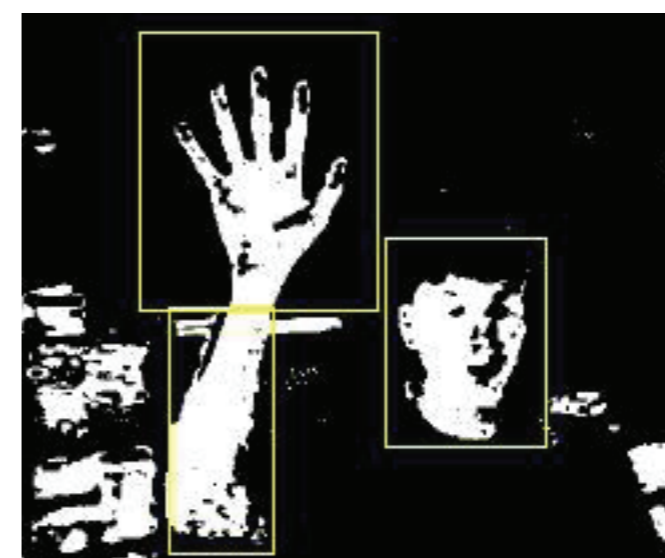
Til dette kan anvendes Long-range Wireless Network, netværkskameraer og en kollektiv web-baseret platform, som tidligere omtalt i afsnittet. Systemet skal kunne bruges af flere på samme tid, og støtter op omkring, at man kan dele løsninger og ideer mellem robotter og håndværkere, mens man samtidigt muliggør diskussion mellem håndværkerne på byggepladsen. (Behzahan et.al., 2008), (El-Omari et.al., 2008)

Det er ikke nok kun at sætte sin lid til, at internet på byggepladserne kan sikre en bedre kvalitet. Det er også vigtigt at kontrollere underentreprenørerne, hvilket kan gøres ved hjælp af AI, da man kan strukturere de data, der genereres af underentreprenørerne. Det man faktisk gør er, at man registrerer de beslutninger, der er truffet af underentreprenøren på tidligere byggesager, eller registrerer beslutninger truffet i lignende situationer, så man kan se, hvor man skal være særligt opmærksom.

## SIKKERHED PÅ PLADSEN

Som tidligere nævnt, er byggepladsen ikke det mest sikre sted at opholde sig som menneske. Grunden til, at byggepladser er et farligt sted, kan skyldes deres placering eller det kan skyldes omgivelserne. Robotter kan være lige det hjælpemiddel, der kan bruges for at øge sikkerheden på vore byggepladser.

Et aspekt, der bliver arbejdet meget med indenfor programmer, der skal forøge sikkerheden, er fjernstyring af maskiner. Dette kan være nyttigt at anvende, hvis der skal graves på steder, hvor underlaget er for usikkert, eller hvis man for eksempel arbejder på en motorvej. Den måde dette fungerer på er meget lig Intuitive Surgicals operationsrobot, hvor en specialist kan stå på den anden side af Jorden, og igennem robotten operere på et menneske. Den eneste forskel er, at i stedet for et menneske, er der tale om en bygning. Det er vigtigt, at den håndværker, der fjernstyrer robotten, har en fornemmelse af, at han har fat i det materiale han arbejder med, derfor skal denne måde at kontrollere en robot på, være udstyret med Haptic Controles. (Lee et.al., 2006), (Hirabayashi et.al., 2006)



Billede (19) Blob Detection

Kilde: <http://media.photobucket.com/image/blob%20detection/blong/project/handdetBlob.jpg>

For at forøge sikkerheden for håndværkerne på byggepladsen, bliver robotter, som arbejder i nærheden af mennesker, nødt til at kunne undgå kollisioner både med mennesker og med andre robotter – dette er også beskrevet i behovene udledt af de biologiske modeller. Måder man kan gøre dette på, er ved optiske sensorer, hvor robotten udfører en såkaldt "blob detection", der minder om, hvad der sker i et digitalt kamera, når dette identificerer ansigter.

Her lokaliseres blot bevægelser i stedet for. En anden mulighed kunne være ved hjælp af RFID-teknologi, der lokaliserer håndværkere, robotter og materialer, og undgår at der sker kollision mellem disse. Hvis systemet ikke er realtime, vil det ikke kunne bruges på byggepladserne, da ulykken ellers allerede vil være indtruffet. (Grau et.al., 2009), (Wu et.al., 2010), (Chae et.al. 2010), (Son et.al., 2010), (Teizer et.al., 2010)

Når vi beskæftiger os med bevægelse på byggepladsen, er det også vigtigt, at håndværkerne, der bevæger sig i højden, har relevant sikkerhedsudstyr. Dette kunne for eksempel være en modtager, der begynder at larme, når håndværkerne kommer for tæt på kanten af bygningen. På samme måde kunne dette også bruges til robotter, da robotten derved vil blive opmærksom på 'fare', hvis den er i gang med en farlig handling. (Lee et.al., 2008)

## ROBOTTER I BRUG PÅ BYGGEPLADSER

I denne del beskrives, hvilke robotsystemer, der faktisk er i brug i dag. Når vi ser på de eksisterende byggerobotter rundt om i verden, skal vi primært kigge på USA og Japan, da det er disse nationer, der gør de største fremskridt. I dette afsnit vil vi kun fokusere på robotteknologi gjort i byggebranchen.

Som tidligere omtalt i rapporten, kan man tale om enten fagopdelte eller funktionsopdelte robotter. Kort sagt vil det sige, at enten ser man på en meget specifik funktion, på tværs af faggrænser, der kan løses af en robot, eller at man ser på fagopdelte robotter, som igen bevæger sig indenfor et meget specifikt område indenfor en faggrænse. Uafhængigt af om vi beskæftiger os med fagopdelte eller funktionsopdelte robotter, så kan begge bruge et MMI, (Man-Machine Interface), der fungerer som et bindeled mellem robotten og mennesket. (Moon et.al., 2010)

## FAGOPDELTE ROBOTTER

Ser vi på de fagopdelte robotter, er der eksempler på betongligningsmaskiner, som kan sikre en mere ensartet overflade på hurtigere tid. Grunden til at det er en fagopdelt robot er, at denne kun kan bruges til at glitte beton gulve. Resultatet af at anvende betongligningsmaskinen, er en estimeret produktionsforøgelse på omkring 25 % (Balaguer et.al., 2008), (Moon et.al., 2010)



Billede (20) Betongligningsmaskine  
Kilde: Balaguer et.al., 2008

Et andet eksempel på en fagopdelt robot er en klinkefjerningsrobot, der er i stand til at fjerne klinker på steder, som normalt er utilgængelige for mennesker. Et eksempel kunne være i miljøer, der kan betragtes som farlige eller giftige for mennesker, såsom atomkraftværker. (Seo et.al., 2007), (Malaguti et.al., 2008)

Der er også gjort forskning i, hvordan man kan optimere kraners bevægelse, så disse ikke svinger ud af kontrol, når der flyttes en stor last. Dette blev bevist i CSIRO kranprojektet, hvor pendulkraften blev reduceret totalt set, ved at bruge robotteknologi. Projektet fremviste lovende resultater såsom forøget sikkerhed, større effektivitet, større produktivitet og større forudsigelse hvad angår vedligeholdelse. (<http://www.csiro.au/science/Large-industrial-robots.html>), (Sasaki et.al., 2008), (Balaguer et.al. 2008)



Billede (21) CSIRO kran  
Kilde: Balaguer et.al., 2008

Grunden til, at der bliver forsket så meget i graverobotter er, for at få større adgang til områder, der er for hårde for mennesker at arbejde i. Det kan være at de hældninger, som der arbejdes ved, eller det underlag man arbejder på, er for farligt for mennesker. (Bernold, 2007)  
(<http://www.csiro.au/science/Large-industrial-robots.html>)

Man ser også, at der bliver gjort brug af fjernstyrede robotter, der kun er i stand til at løse meget enkle opgaver. Dette er tit opgaver, hvor mennesket ikke har styrken til at udføre det, såsom når der skal løftes et vindue eller et betonelement. (Chung et.al., 2010), (Balaguer et.al. 2008), ([www.kajima.co.jp](http://www.kajima.co.jp))



Billede (22) "Den mægtige hånd" Kajima  
Kilde: (Balaguer et.al. 2008)

## FUNKTIONSDDELTE ROBOTTER

Når vi ser på fagopdelte robotter, ser vi på robotter, som er i stand til at udføre en opgave indenfor en specifik faggrænse. Det kan for eksempel være den nedenfor omtalte wirerobot, der er i stand til at opføre vægge, men som samtidigt også kan lave gulve.



Det koncept som tidligere er beskrevet, er et såkaldt "Cabel-suspended Robotic Contour Crafting System", som populært sagt er en 3D-printer, der printer i 1:1. Robotterne ophænges i et wiresystem, og arbejder lag på lag ud fra en BIM. (Balaguer et.al. 2008), (Bosscher, 2007)

Billede (23) Cable-suspended Robotic Contour Crafting System  
Kilde: (Balaguer et.al. 2008)

Der har været en dokumenteret produktivitetsforøgelse på 50 % ved brug af visse af disse robotgravemaskiner, såsom "Remote Control of Backhoe at Construction Site with Pneumatic Robot System", beskrevet af Sasaki et.al. 2008. Ligeledes har Balaguer et.al. 2008 også beskrevet brugen af automatiske gravemaskiner med lignede resultater, og man bliver bekræftet i deres brugbarhed, når man tænker på mineulykker som i Chile og New Zealand. (Sasaki et.al., 2008), (Balaguer et.al. 2008), (Kim et.al., 2009), (Gambao et.al., 2000)



Billede (24) Automatisk gravemaskine, Sidney Universitet  
Kilde: Balaguer et.al. 2008

## TILSYN PÅ BYGGEPLADSEN

*Vi bevæger os ind i den sidste fase af det vi har fokuseret på i byggeprocessen. Når man ser på byggepladser i dag, er der et meget stærkt kontrolorgan som sikrer, at byggeriet lever op til den standard, der er foreskrevet. Ligeledes vil det også være nødvendigt for robotter, at kontrollere eget eller andre robotters arbejde. Denne del beskæftiger sig med metoder, der kan bruges til netop dette. Det tænkes, at der også her kan anvendes robotter til at kontrollere eget såvel som andres arbejde, ved at gøre brug af robotens sensorer.*

Vi har tidligere været inde på algoritmer, der kunne bruges til at føre tilsyn. Her var der tale om at gøre brug af de optiske sensorer til at registrere fremskridt og udført arbejde. Det er tidligere beskrevet, af Akinci m.fl., hvordan fejl og mangler på en byggeplads er en kostbar affære, og tillige hvordan man kan reducere disse fejl og mangler, ved at have detaljerede og opdaterede informationer omkring bygningsdesign samt inspektionsmål – hvilket vil sige de succeskriterier, der kræves af bygherren. Ved hjælp af disse informationer kan en robot, eller et menneske, indsamle data og lave et "as-built" datasæt, hvor man kan se afvigelser som fejl og/eller mangler, hvilket kan registreres i en fejlrapport. Der kan drages paralleller til VICO's modelchecker, som vi tidligere har beskrevet. (Akinci et.al., 2006), (Yu et.al., 2007), (Zang et.al., 2009), ([www.vicosoftware.com](http://www.vicosoftware.com))

For at kunne sikre, at fejl og mangler bliver genkendt, kunne man benytte sig af et computer program, der kan genkende en overflade og se, om der er en fravigelse, hvilket vi tidligere har været inde på. Dette ville være banebrydende for rådgiverbranchen, da man vil kunne udføre en meget kompleks inspektion af en bygning, med meget lidt erfaring, eller viden, om det pågældende byggeri. Det tænkes, at det enten kunne eksekveres på en smartphone, eller igennem en robot, der kan beskrives som værende en mobil computer platform. (Akinci et.al., 2006), (Lee et.al., 2006), (Yu et.al., 2007), (Zang et.al., 2009)

I stedet for at stole udelukkende på de optiske sensorer i en robot, kunne man godt kombinere tilsyn, såvel som vedligeholdelse, med en online database, som kan tilgås af RFID-chips. På den måde kan man kontrollere eksempelvis et vindue, der er udstyret med RFID-chip, og se, hvordan man skal kontrollere, at det er monteret korrekt, samt hvordan man vedligeholder vinduet samt hvor, hvornår og hvordan komponentet blev monteret. (Ko, 2009)

Hvis alle disse tiltag bliver implementeret, vil man have en byggeplads, der er meget informationsintensiv. De data man har brug for er nemmere tilgængelige, men samtidig vil byggelederen blive bombarderet med informationer, hvilket måske er mere end ét menneske kan håndtere. Det kræver derfor formentlig en større strukturering af informationerne, som vi tidligere har været inde på, således at man kun skal have informationer, som er relevante for det område man beskæftiger sig med, så der ikke opstår løse ender eller forglemmelser. (Boukamp et.al., 2007)

Selvom nogle mennesker betragter robotter som værende opfundet i den relativt nyere tid, så strækker robotternes historie sig faktisk langt over 4.000 år tilbage i tiden. Tankesættet bag robotten stammer fra en meget ældre tid, hvor magi og overtro regerede verden. Måske er magi blevet udskiftet med interne kredsløb, og overtro udskiftet med tro på egne evner, men drømmen om at kunne skabe et levende fungerende væsen, bliver endeligt realiseret i disse tider.

Vi ser gang på gang, at robotter kan være bedre til at udføre en given arbejdsopgave end et menneske er, men meget af det, der bliver arbejdet med og udviklet på, mangler en konkret praktisk platform, som det kan afvikles på. Det skal dog have in mente, at vi stadig kun er i begyndelsen af udviklingen af robotter, og dette kan føre til mere effektive byggepladser, hvor der produceres mere, og hvor der derved skabes mulighed for en større indtjening.

Et af argumenterne for, at robotter kan bidrage til en mere effektiv byggeplads, har vi været inde på, i tidligere afsnit. Boukamp, et. al., 2007 er overbeviste om, at mennesket ikke kan håndtere alle de informationsmængder, som man i dag bliver udsat for på en byggeplads.

Leung, Sze-wing et. al., 2008 beskriver i dette afsnit også en mulighed for en mere effektiv byggeplads, igennem fjernstyring af tilsynet med håndværkere. Fjernstyring er beskrevet som en tilgang, der kan være med til at redde liv, eller som kan føre til forbedret arbejdsmiljø for håndværkeren. Yang et. al., 2004, Boukamp et. al. 2007 har alle været inde over en form for fjernstyring af maskiner, som en metode til at sikre håndværkerens arbejdsmiljø på. Forfatterne beskriver brugen af autonome robotter, der samtidigt skal være udstyret med et MMI (Machine-Man Interface), for at sikre, at man får alle de oplysninger, der er brug for.

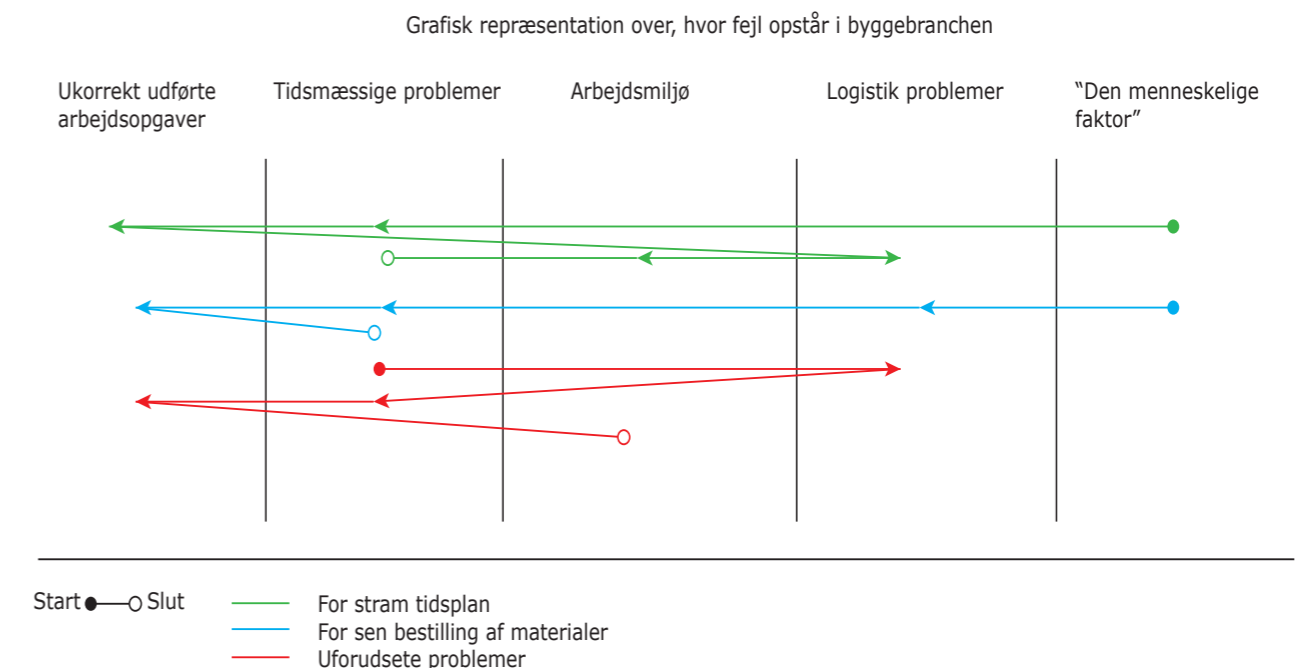
Jeg foreslår i afsnittet, at man kan kombinere dette med erfaringsdelingsmetoden, udviklet af Udeaja, Chika E. et. al., 2008, samt med optimering af den kritiske vej, jf. Lu, Ming et. al., 2008, for endelig til sidst at kombinere dette med inspektionsmulighederne, som beskrevet af blandt andet Boukamp, et. al. 2007. Denne kombination ville føre til udviklingen af en robot, som er i stand til at håndtere store mængder data, og som igennem MMI har muligheden til at blive fjernstyret, for at forbedre inspektionsmulighederne for bygherrerådgiver og entreprenør. Udover det vil robotten også være i stand til at kunne bruge den kritiske vej mere effektivt og realtime, i forhold til de aktuelle arbejdsopgaver, der kan findes på byggepladsen. Sidst vil robotten være mere nøjagtig, når den estimerer tid, der skal bruges på en opgave, og den vil kunne dele sine erfaringer om netop tidsplanlægning, eller om produktionsmetoder, med andre robotter.

Til sidst har gennemgangen vist at det er væsentligt, at robotten kommer til at indeholde RFID teknologi. Dette beskrives af Ko i 2008, som vil placere RFID-chips i bygningsmaterialerne. Robotten skal være i stand til at finde RFID-chips i et 3D miljø, som beskrevet af Chae et.al., 2010, da dette kan være med til at reducere kollisioner på byggepladsen.

Alt dette kan være med til, at skabe et bedre arbejdsmiljø for håndværkeren, at skabe en generelt bedre kvalitet i byggeriet og til, at forøge profitten for den udførende part i byggebranchen.

## ANALYSE AFSNIT

I det følgende vil vi se på de evner som vi - via gennemgangen i indledningen, metodeafsnittet og i afsnittet om de biologiske modeller - har konstateret, at byggerobotten skal være i besiddelse af, for derved at beskrive en brugbar byggerobot eller robotteknologi. Jeg vil forsøge at belyse, hvor problemerne på en byggeplads muligvis starter. Fejlene er tænkte eksempler på nogle klassiske fejl, men de kunne faktisk godt ske. Senere ser vi på forskellige argumenter for at benytte os af byggerobotter, hvilket leder over til en analyse af, hvor på byggepladsen man kan implementere byggerobotter succesfuldt. Efter denne analyse, vil der være et diskussionsafsnit. Der rundes af med en 'Key Point Indicator'-analyse samt diskussion og delkonklusion.



Analyse (1) – grafisk repræsentation over forløbet af fejl  
Kilde: Egen tilvirkning

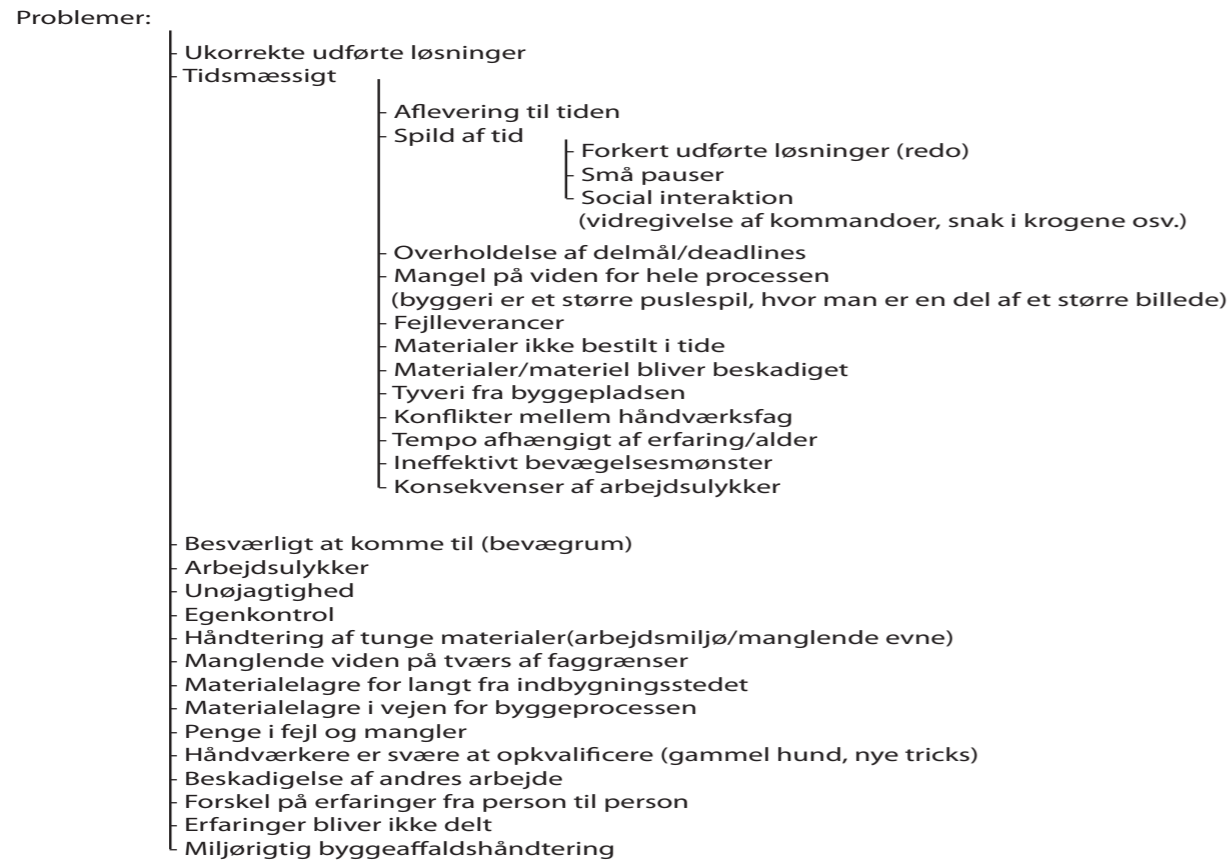
Vi har tidligere været inde på, at der i byggebranchen er behov, som er baseret på visse problemer, som eksisterer i byggebranchen. De primære problemstillinger som jeg vil fokusere på, er beliggende på selve byggepladsen og de henvender sig mest til entreprenøren eller den udførende part. Når man ser på, hvor fejlene starter, vil vi se på en grafisk præsentation af, hvordan fejl bevæger sig på byggepladsen.

Denne rapport er baseret på tanken om, at robotter kunne være et godt hjælpemiddel, der kunne implementeres på byggepladsen for at sikre et bedre arbejdsmiljø, ved at robotter kan udføre det arbejde, som eller bliver betragtet som for farligt, eller for opslidende, for et menneske. Robotter kan også sikre en forøgelse af den generelle kvalitet, ved altid at være i stand til at registrere det arbejde den udfører, og udføre arbejdet identisk hver gang.

Sidst kan robotter også hjælpe med til, at sikre en bedre indtjening for den udførende part, da man kan skære ned på visse udgifter, og samtidigt få en produktionsforbedring, fordi robotter er i stand til at arbejde i længere perioder end mennesker. Der er dog behov for at finde frem til en tilgang, der kunne benyttes i alle tilfælde. Det er altså nødvendigt, at skabe nogle neutrale rammer, hvor man er i stand til, at bedømme og analysere om det er fornuftigt, at benytte sig af robotter i lige denne sammenhæng, samt at forstå de problemer der skal løses på byggepladsen.



Hvis vi går lidt mere i dybden med problemerne fra den tidligere analyse (1), kan man opdele de forskellige problemer i underproblemer. Dette er gjort på nedenstående figur (12).



Figur (13) beskrivelse til grafisk repræsentation  
Kilde: Egen tilvirkning

For at kunne analysere i hvilke fag indenfor byggeprocessen man bør kunne bruge byggeroboter, bliver man nødt til at opsætte nogle succesparametre. I det følgende er der opsat nogle af de parametre, der kan være vigtige at forholde sig til, i forbindelse med implementeringen af robotter i en faggruppe. Sidenhen vil disse blive indsat i et skema, hvor fagene vil blive vurderet og få en numerisk værdi mellem 1-5. Jo højere værdien er, jo større er fordelene ved at automatisere arbejdsfunktionen.

## GENTAGEDE ARBEJDSPROCESSER

Det er vigtigt at det arbejde man sætter robotten til at lave, er noget hvor der er store gentagelser, da robotter på nuværende tidspunkt bedst kan håndtere gentagelser. Det er altså vigtigt, at man ser på, om de arbejdsfunktioner, hvor det er tiltænkt at bruge robotter, er forbundet med mange gentagede arbejdsprocesser. (Scheinman et.al., 2008)

## LAV GRAD AF MATERIALEFORARBEJDELSE FØR INDBYGNING

Ligesom det er mest hensigtsmæssigt at have gentagede arbejdsprocesser, vil det også være gunstigt, hvis de materialer der skal indbygges, generelt ikke skal manipuleres for meget. Det vil sige, at specialfremstillede snedkerkøkkener, til huse fra starten af 1900-tallet, vil det på det nuværende teknologiske trin ikke være en god ide at bruge robotter til, da der vil gå for lang tid i den nuværende byggeproces, før robotten har beregnet hvilke vinkler træet skal skæres i, i forhold til de eksisterende vægge.

## MULIGHED FOR NEDBRUD PÅ GRUND AF MATERIALET

Man skal også se på i hvor høj grad det kunne tænkes, at robotten bliver udsat for nedbrud, direkte på grund af materialet. Et eksempel kunne være mørtel, der størkner i en robot, hvorved det må forventes, at der sker et nedbrud af robotten. Det er altså vigtigt, at man gennemtænker hvilke fag man vil se på, hvis man overvejer at bruge robotter. (Scheinman et.al., 2008)

## LAV VARIANS AF VÆRKTØJ IGennem ARBEJDSPROCESSEN

Når man ser på de opgaver robotten skal udføre, er det vigtigt at man ser på de mulige processer, som robotten bør kunne udføre. Det vil være uhensigtsmæssigt at en robot skal skifte værktøj gang på gang, når en arbejdsproces skal udføres, da man kan forvente både et øget tidsforbrug og en større fejlmargen, da det for eksempel kan forventes, at der kan opstå upræcise målinger eller generelle fejl ved udskiftning af værktøjet.

	TØM	EL	MUR	J&B	STÅL	MAL	TAG	GULV	VVS
<b>Gentagende arbejdsprocesser</b>	5								
<b>Lav grad af forarbejdelse</b>	4								
<b>Nedbrud pga. materialet</b>	3								
<b>Lav varians af værktøj</b>	4								
<b>SUM</b>	<b>16</b>								

Analyse (2), faggrupper hvor implementeringen af robotter succesfuldhed måles.  
Kilde: Egen tilvirkning

\*(Forkortelserne står for: TØMrer, Elektriker, MURer, Jern & Beton, STÅLentreprise, MALer, TAGdækker, GULVentreprise, VVS. Der gives værdier fra 1-5, hvor 5 er højest og udtryk for stor succes.)

Ovenstående er et eksempel på tømrerarbejde, nærmere bestemt opsætning af gipsplader, hvilket der vil blive set nærmere på senere i rapporten. Det vurderes, at processer med værdier over 12, kan være anbefalingsværdige til robotteknologi. Grunden til at værdier over 12 bliver betragtet som gunstige er, at der i disse tilfælde vil være en medianværdi over 3 pr. succesparameter.

I det følgende betragtes en mellemstor/stor virksomhed, der har implementeret robotter på byggepladsen. Grunden til at ikke alle typer virksomheder er medtaget – her tænkes der især på enkeltmandsvirksomheder - er at anskaffelsesudgiften på en robot bliver betragtet som 'for stor en mundfuld' for en enkeltmandsvirksomhed på nuværende tidspunkt.

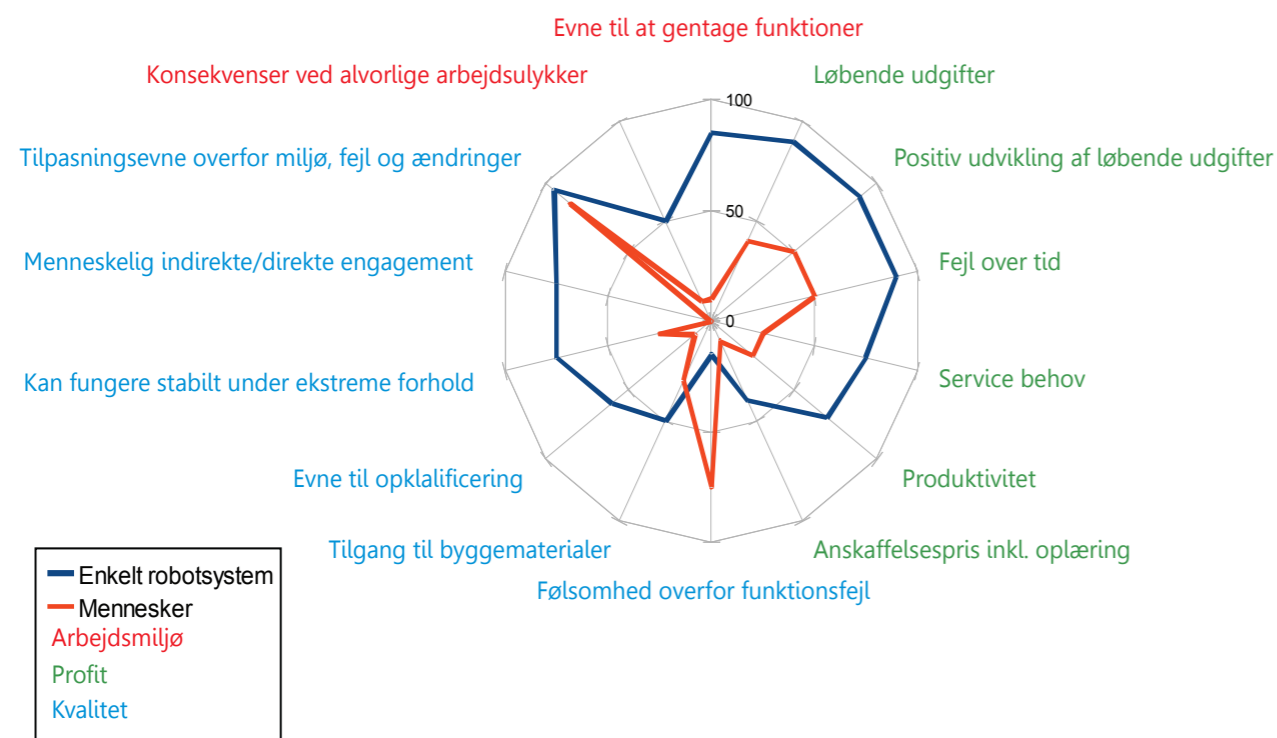
Jeg kan sagtens forestille mig, at når priserne på byggerobotter går ned, vil der komme enkeltmandsvirksomheder, der kun har "ansat" robotter, og som ikke benytter sig af menneskelig arbejdskraft, ud over indehaveren.

Nedenstående er den såkaldte 'Key Point Indicator'-analyse, der i dette tilfælde på baggrund af 14 parametre vurderer, hvorledes der er brug for et menneske, eller et robotsystem. Dette udmunder sig i en %-sats, der vurderer hvilket af de forskellige analyserede systemer, der bør komme i betragtning. KPI-analysen kan godt udvides eller forandres til, i stedet for at vurdere et robotsystem overfor et menneske, så at vurdere et specifikt værktøj/hjælpemiddel i forhold til de forskellige robotsystemer, eller i forhold til et menneske.

Hvis man skal sammenligne forskellige typer systemer, er det nødvendigt at se på nogle parametre, der kan sammenlignes og det er også vigtigt, at den som benytter sig af denne metode, gør sig klar, hvad der er vigtigt for den pågældende virksomhed.

Den nedenstående figur viser sammenligningen mellem et robotsystem, og et menneske. Efter grafen kan man se argumentationen for, hvorfor disse parametre er blevet valgt. Det er vigtigt at påpege, at denne figur skal skræddersys til den enkelte der ønsker at vurdere om der skal bruges robotter i virksomheden. De forskellige parametre skal tilpasses de omstændigheder, som robotsystemet skal arbejde under.

### ANALYSE OVER BRUG AF ROBOTTER KONTRA MENNESKER



Analyse (3) Analyse over brug af robotter kontra mennesker  
Kilde: Egen tilvirkning

Succeskriteriet vurderes til, at figuren med det største areal er det optimale valg. I grafen vurderes det, om det er muligt at bruge robotter på danske byggepladser, og hvis det vurderes, at robotter er svaret, hvilken type robotsystem der skal benyttes. I det følgende gennemgås de forskellige parametre i grafen. Værdierne til grafen er udtryk for, hvor egnet en part er, til at udføre en given opgave:

### EVNE TIL AT GENTAGE FUNKTIONER

Ved dette parameter tænkes det, at mange af opgaverne på en byggeplads er delt op i enkelte funktioner, som gentages et antal gange. Derfor skal robotten/personen være i stand til at kunne lave mange repeterede bevægelser, uden at påføre sig selv skader eller blive træt. (Scheinman et.al., 2008)

Nogle eksempler på gentagne funktioner på en byggeplads kunne være: opsætning af gipsplader, placering af mursten eller maling af en flade.

Det vurderes, blandt andet ud fra arbejdsmiljølovgivningen, at mennesker generelt ikke trives med repeterede opgaver, hvilket resulterer i en lav talværdi i ovenstående graf.

Ved robotsystemer vurderes robotter, der skal være i stand til at udføre opgaver inden for et af byggefagene, og er designet til opgaven, får en høj talværdi. (Moon, 2010), (Heikonen, 2007)

### KONSEKVENSER VED ALVORLIGE ARBEJDSULYKKER

En byggeplads er et meget farligt sted at arbejde som menneske, og faren for ulykker er beskrevet tidligere i rapporten.

Eksempler på alvorlige arbejdsulykker kan være alt fra brækkede knogler og ætseskader til amputerede lemmer. Bygningsarbejderes død på byggepladsen kategoriseres som en katastrofal skade og bliver ikke berørt i denne rapport.

Det ønskværdige udgangspunkt fra arbejdsmiljøtilsynet er, at man som menneske skal forlade en byggeplads i samme eller bedre stand end man var i, da man kom dertil. Derfor vurderes dette til at have en meget lav talværdi. ([www.arbejdstilsynet.dk](http://www.arbejdstilsynet.dk))

Ved robotsystemer vurderes det at have stor konsekvens for byggeprojektet, hvis robotten bliver beskadiget, da byggeprojektet vil ligge stille i denne periode. Ved robotsystemet vurderes beskadigelse derfor som havende en middel talværdi, da robotten kan repareres, men da der omvendt tabes tid. (Saidi et.al., 2008)

### TILPASNINGSEVNE OVERFOR MILJØ, FEJL OG ÆNDRINGER

Denne faktor omhandler den udførende parts omstillingsevne ved skift i miljø og/eller hvis der opstår fejl eller ændringer i byggeriet. (Scheinman et.al., 2008), (Minguez et.al., 2008)

Eksempler på skift i miljøet kunne være, at man går fra at bygge i råjord til at arbejde med den færdige overflade i bygningen. Tilpasningsevne til fejl og til at kunne udbedre fejl og mangler og lave ændringer i byggeriet, er hvor hurtigt det registreres af den udførende, at der er sket ændringer i byggeriet.

Mennesket er i stand til at manøvrere på de fleste af de terræntyper, der findes på en byggeplads, men som vi tidligere har været inde på, er et menneske ikke uden fejl. Heldigvis er mennesket for det meste god til at udbedre de fejl, som personen selv laver. Men nogle gange sker det, at en person på en byggeplads laver fejl, der influerer på andres arbejde samtidigt med på deres eget. Sidst ses der på, om håndværkerne er i stand, til hurtigt og effektivt, at registrere ændringer i byggeprojektet. Her vurderes det, at en håndværker sjældent kan se ændringerne på en tegning, men det kan også ske, at håndværkerne ikke har de rigtige tegninger, fordi der er sket justeringer i disse. Den samlede vurdering er derfor en middel talværdi.

En robot vil hurtigt og effektivt vil opdage, hvis der sker ændringer i tegningsmaterialet, da man kan forvente at robotterne regelmæssigt vil få opdateret tegningsmaterialet direkte fra modelserveren. Hvad angår manøvrering i terrænet vil man igen se, at robotterne er specialdesignet til netop den opgave de står overfor. Det vil sige, hvis man har brug for en robot, som skal kunne bevæge sig i råjord, ville det være tænkeligt, at denne robot har larvefødder, og er det på færdig trægulvsoverflade vil byggerobotten være udstyret med bløde hjul. Forskellighed som ses i de robotter, der er designet til opgaven, får disse til at få en højere talværdi end mennesket. (Saidi et.al., 2008), (Christensen et.al., 2008)

## MENNESKELIG INDIREKTE/DIREKTE ENGAGEMENT

Ved menneskelig direkte engagement forstås aktiviteter som skal udføres af et menneske, eksempelvis administrativt arbejde. Ved indirekte forstås handlinger, som er et biprodukt af en menneskelig handling, eksempelvis programmering af en robot

Når der arbejdes på en byggeplads, vil der normalt også foregå en masse administrativt arbejde. Dette er med til at sikre den kvalitet på byggeprojektet, som bygherre har betalt for.

Ved at bruge robotter vil der også være en del menneskelig aktivitet, da robotterne skal programmeres alt efter hvad de skal udføre. Desuden vil der også opstå større krav til arkitekten, da tegningsmaterialet skal udføres meget mere dybdegående end tidligere.

Eksempler på direkte administrativt arbejde, der bliver udført på byggepladser, kunne være: byggetilsyn og byggemøder.

Fordi der bruges mange ressourcer på at afholde møder og tilsyn vurderes det, at mennesket vil få en lav talværdi i grafen i dette område.

Ved et robotsystem vurderes det, at man ikke behøver den samme form for kontrol, hvad angår kvalitet og tid, som håndværkerne ved menneskeligt engagement. Det ville være muligt, på et hvilket som helst tidspunkt, at se fremskridtet på de opgaver der bliver arbejdet på, og at se hvor i projektet robotterne befinder sig. Dette kan opnås ved hjælp af et online MMI (Man Machine Interface), der nemmere og mere nøjagtigt er i stand til at kunne vurdere, om der skal "mandes op", altså om der skal sættes flere ressourcer til opgaven, eller om projektet forløber som planlagt.

(Yang et.al., 2004), (Boukamp et.al., 2007), (Leung et.al., 2008)

## KAN FUNGERE STABILT UNDER EKSTREME FORHOLD

Vi har tidligere i rapporten været inde på visse ekstreme forhold, hvor robotter kan arbejde. For at opsummere har dette primært været i Rummet, hvor man kan bliver udsat for områder, der er højradioaktive og med total mangel på ilt. Det er en selvfølge, at mennesker meget nødt skal arbejde i disse områder, uden nogen form for beskyttelse. Men der findes også ekstreme forhold her på Jorden, hvis man ser på det med arbejdsmiljømæssige øjne. (Scheinman et.al., 2008)

Eksempler på ekstreme forhold: under vandet, store kuldegrader, store varme grader, udendørs arbejde i regnvejr samt sne og slud.

Mennesket har faktisk brug for nogle meget specifikke omstændigheder for at kunne arbejde, forudsat at man ikke skal bruge hjælpeaggregater. Denne form for mangel på robusthed overfor vanskelige betingelser gør, at mennesket får en lav talværdi.

## EVNE TIL OPKVALIFICERING

Lige som alle andre brancher forskes der indenfor byggebranchen. Dette manifesteres blandt andet i de Byg-Erfa blade samt videnskabelige artikler, der regelmæssigt udkommer, samt i de foreskrifter, som de forskellige brancheorganisationer kommer med og sidst, men ikke mindst, i hvordan materiale producenterne foreskriver, at deres materialer skal bruges. Evnen til at opkvalificere ligger i, hvor lang tid det skønnes der går, før den udførende er i stand til at bruge den nye viden på et specifikt område. Dette kan være de nyeste tekniske krav, såsom overgangen til Eurocode, miljøkrav og generelle bygningsreglements krav. (Hertzberg et.al., 2008)

Et eksempel kunne være et forbud mod at benytte bruge farlige materialer som asbest eller PCB; et andet eksempel kunne være af mere håndværksmæssig karakter, hvor man udmelder, at træ der placeres udendørs, skal have afskåret oversiden i en 45 graders vinkel væk fra bygningen, for at vandet kan løbe af den selv samme overside – da dette vil give en længere holdbarhed for konstruktionen.

Det vurderes, at et menneske ikke kan opnå al viden i verden inden for én branche, da der sker udvikling på for mange områder på samme tid. Man siger, at det er svært at lære en gammel hund nye tricks, dette kan også overføres til håndværkere, da den danske byggebranche generelt er konservativ. Dette medfører at menneskets opkvalificeringsevne får en lav talværdi i grafen.

Ser vi på robotter, er det nemmere at opdatere softwaren end at opkvalificere mennesker, og det er nemmere at lære en robot nye vaner end et menneske. Det som robotten er afhængig af er mennesket, der skal programmere den. Hvis det tager det lang tid at programmere nye metoder til robotten, bliver den ligeledes ved de gamle vaner i længere tid, men så snart som programmet er i brug, arbejder robotten efter de nye retningslinjer. Derfor vurderes det, at robotsystemerne får en middel talværdi i grafen. (Hertzberg et.al., 2008), (Heikonen et.al., 2007), (Christensen et.al., 2008)

## ADGANG TIL BYGGEMATERIALER

Ved adgang til byggematerialer ses der på, om den udførende er i stand til at løfte de byggematerialer, der findes på byggepladsen, samt om den udførende er i stand til at kunne indbygge materialerne i bygningen, og endelig om der er tale om effektive arbejdsgange.

Eksempler på adgange til materialer: tunge løft af vinduer, gipsplader eller radiatorer, samt manøvrering af disse materialer på byggepladsen.

I arbejdsmiljølovgivningen ser man både, at der er begrænsninger på, hvor meget man må løfte, samt i hvilket højder man må løfte. Desuden er der også en begrænsning der siger, at man ikke må arbejde under knæhøjde, eller over skulderhøjde, da dette giver dårlige arbejdsstillinger. Kombinationen af, at et menneske hverken er i stand til, eller har tilladelse efter loven, til at tage materialedepotet med sig rundt på byggepladsen, samt begrænsningerne i arbejdsområdet gør, at en menneskelig arbejder ikke kan udføre sit arbejde lige så effektivt som en robot. Mennesket får altså en lav talværdi ved dette parameter.

Robotter kan designes så de er i stand til at løfte flere kilo end et menneske må eller er i stand til, og alt efter hvordan man designer robotten, kan denne også tage de materialer med, som robotten har brug for. Man kan sagtens forvente, at en byggerobot er i stand til at skrue samtlige skruer til en gipsplade i på samme tid, eller sprøjtemale en hel væg i en bevægelse. Derfor vil robotsystemet i dette tilfælde vil opnå en høj talværdi. (Saidi et.al., 2008)

## FØLSOMHED OVER FOR FUNKTIONSFEJL

Det vurderes her om den udførende er i stand til at udføre arbejdet, selv hvis der opstår en funktionsfejl. Desuden vurderes det også om byggeprojektet kommer til at lide under denne funktionsfejl.

Eksempler på funktionsfejl kunne være: menneske virus, sensorsvigt eller problemer med det hydrauliske system.

I det tilfælde hvor et menneske bliver udsat for en virus eller lignende, der kan resultere i "funktionsfejl" i det biologiske system, vil denne håndværker i mange situationer stadig være i stand til at fortsætte med arbejdet. I værste tilfælde vil håndværkeren kunne erstattes med en anden, så der ikke opstår noget produktionssvigt. Dette resulterer i en høj talværdi i grafen.

I et robotsystem vil en funktionsfejl have en direkte indvirkning på forlængelse af byggeperioden; en forlængelse der varierer alt efter varigheden af udbedringen. Hvis robotten er væk til reparation i 2 måneder kan man forvente, at byggeperioden bliver forlænget med de samme 2 måneder - med mindre man kan leje en ny robot i perioden. Dette placerer enkelt robotsystemet meget lav på vores skala. (Scheinman et.al., 2008)

## ANSKAFELSESPRIS INKL. OPLÆRING

Ved både robot såvel som menneske er der en periode, hvor virksomheden ikke tjener penge på "medarbejderen"/udøver. For nyansatte funktionærer siges det normalt, at der går omkring 18 måneder før virksomheden begynder at tjene penge på en nyuddannet funktionær (det har ikke været muligt, at finde tilsvarende tidsangivelse for bygningshåndværkere). Ifølge IDA lønstatistik bør en ingeniør uddannet i 2009 tjene 34.500 pr. måned, hvilket vil sige  $18 * 34.500 = 621.000$  kr. Drager vi en parallel til bygningshåndværkere, kan vi sige, at for en gennemsnitlig håndværker i samme periode, ligger beløbet i følge Dansk statistikbank på 34.175,10 pr måned. Hvilket vil sige, at man kan regne sig frem til, hvornår det kan betale sig at anvende en robot istedet for en håndværker.

Hvis vi skal sammenligne dette med investeringen i en byggerobot, bliver vi nødt til at se på [www.industribasen.dk](http://www.industribasen.dk), hvor det er muligt at købe nye og brugte industrirobotter - da man endnu ikke kan købe byggerobotter i Danmark, bliver vi nødt til at drage sammenligning til industrirobotter. Medianprisen på Industribasen, november 2010, var 301.000 kr. for industrirobotter årgang 2009.

## PRODUKTIVITET

Her tænkes der på, hvor meget man producerer pr. beskæftiget robot eller menneske løbet af en arbejdsdag.

Et eksempel, som vi tidligere har brugt, kan igen bruges her: opsætning af gipsplader eller maling af en væg.

Et menneske er på arbejdspladsen i omkring 8 timer, 5 dage om ugen. Hvor meget arbejde, der faktisk bliver udført i denne periode kan svinge meget, alt efter, hvor mange møder der bliver holdt, hvor meget snak der går med kollegaerne og om den pågældende arbejder har lyst til at arbejde. Igennem tiderne har der været utallige forsøg med forbedring af effektivitet, især kan der henvises til Taylorisme eller Scientific Management, hvor en række tidstagningsforsøg blev iværksat under industrialiseringen. Det vil nok altid være i arbejdsgiverens interesse, at få en arbejder til at producere tilstrækkeligt i forhold til lønnen. Derfor vurderes det, at mennesket får en lav talværdi ved dette parameter. (<http://da.wikipedia.org/wiki/Taylorisme>)

Ser vi på robotter kan man generelt sige, at de er i stand til at arbejde 24 timer i døgnet, 7 dage om ugen, og stadig være i stand til at aflevere fejlfrit arbejde. Derfor vurderes det, at robotsystemerne får en høj talværdi ved dette parameter, dog vil multirobotsystemet ved at bruge flere robotter få en større produktivitet og derved opnå en højere talværdi. (Moon, 2010), (Heikonen, 2007)

## SERVICE BEHOV

Ved service behov tænkes der "hvad der skal til, for at få arbejdet udført".

Eksempler på service behov: pauser, begrænset arbejdsperiode, social omgang med kollegaer, skift af vitale væsker såsom vand eller hydraulisk olie og udskiftning af beskadigede værktøjer mm.

Når man ser på et menneske er der forbavsende mange service behov. Igen er der arbejdsmiljølovgivningen, der giver nogle basale rettigheder i forhold til pauser og hviletid, hvilket gør, at mennesket får en lav talværdi ved dette, grundet et stort behov for blandt andet pauser.

Værdien ved robotsystemer vil være højere end mennesket. Grunden til, at der er en overvægt ved robotsystemet er, at man vil se kritiske skader og en nedslidning på robotsystemet, men i det lange løb, vurderes det ikke at være mere end ved et menneske, robotdele kan udskiftes. (Scheinman et.al., 2008)

## FEJL OVER TID

Når man ser på fejl over tid vurderes det, hvor mange fejl, der vil opstå efter en længere periodes arbejde.

Eksempler på fejl kunne være: udførelsesmæssige fejl, brug af forkerte materialer mm.

Det vurderes, at et mennesket ikke er ufejlbarligt, og hvis et menneske arbejder i længere perioder uden pause, ville der opstå flere og flere fejl. Udholdenhedsmæssigt vil et menneske ikke være i stand til at konkurrere med en robot, derfor vil et menneske få en middel talværdi.

En robot gør hvad den er forprogrammeret til og fraviger sjældent programmeringen, hvis denne er klart nok defineret. Derfor kan man argumentere for, at det faktisk ville være en menneskelig fejl, hvis robotten fejler. Ved fejl over tid vurderes det, at robotsystemet får en høj talværdi på grafen. (Scheinman et.al., 2008)

## POSITIV UDVIKLING AF LØBENDE UDGIFTER

Ved positiv udvikling af løbende udgifter forstås, at der kan ske stigninger i de løbende udgifter, der er forbundet med byggeopgaven.

Eksempler på positiv udvikling af løbende udgifter kunne være: lønvækst, stigning i pris til strøm eller for eksempel reservedele.

Lønstigninger til arbejdere er en del af virkeligheden på byggepladsen. Derfor vurderes menneskets talværdi for denne faktor lavere end en robots, da de samlede løbende driftsudgifter til mennesket overstiger dem til robotter.

## LØBENDE UDGIFTER

Ved løbende udgifter tænkes der på de udgifter, der løbende skal bruges på den, der udfører arbejdsopgaverne.

Eksempler kunne være udgifter til strøm, telefon samt lønudgifter.

Ser man på et menneske, vil der være forholdsvis store løbende udgifter, hvoraf vil den største udgift ville gå til løn, hvilket giver en lav talværdi.

Ved robotsystemet vurderes det, at talværdien vil være i den høje ende. Grunden til dette er, at et robotsystem generelt kun vil bruge strøm. Over en længere periode vurderes det, at udgifterne til vedligeholdelse ligeledes også er mindre end ved et menneske (for eksempel ferie og sygefravær). (Saidi et.al., 2008)

Med disse analyser tegner der sig et billede af, at det kan være hensigtsmæssigt at bruge robotter på danske byggepladser. I det kommende afsnit, hvor vi beskriver samarbejdet mellem robotter og mennesker, kommer vi videre ind på dette, for til sidst at runde af med, at beskrive en tænkt/teoretisk prototyporobot.

## DELKONKLUSION

Det er altså muligt at tolke brugen af et robotsystemer som et fornuftigt valg på danske byggepladser. Det er dog vigtigt at tage med i betragtningen, at robotterne vurderes ud fra succesparametre der gør, at resultatet bliver sammenligneligt, disse succesparametre kan ændres alt efter virksomhedens behov og den teknologiske udvikling.

I et tænkt fremtidsscenario kan man forvente, at man bruger robotter på danske byggepladser. Man skal dog være klar over, at ved implementeringen af robotter på byggepladsen, vil der komme en del mere arbejde for arkitekterne, som skal tegne deres tegninger meget mere nøjagtigt. Det vil så at sige være arkitekterne, som programmerer robotternes adfærd igennem den procesrækkefølge, der opsættes i byggemodellen. Det forventes at man igennem byggemodellen vil kunne tilføje informationer omkring procesrækkefølgen, meget som når man bestemmer lag eller stregtykkelse.

Grunden til, at det vil være optimalt at bruge arkitekten til at programmere robotterne er, at man kan ansætte håndværkere som konsulenter på tegnestuerne, i stedet for på byggepladsen, indtil arkitektfaget har fået integreret faget arbejdsproces som del af uddannelsen. På den måde kan man finde anvendelse for nogle af de håndværkere, som bliver til rådighed ved en eventuel reduktion af arbejdsstyrken på byggepladsen. Andre håndværkere kan bruges til at føre tilsyn med robotternes arbejde, og til at udføre basal vedligeholdelse af robotterne på byggepladsen.

Mange af de færdigheder som robotterne skal have, for at udføre arbejdet, kan være programmeret direkte ind i det værktøj, som de bruger til opgaverne, som en form for "plug and play" mekanisme. Mange af de opgaver robotten skal udføre, vil skulle deles op i mindre underopgaver, for at robotten kan udføre den samlede opgave. Dette gøres i et forsøg på at spare på robotens interne ressourcer, og kan hjælpe med til at sikre, at en

tømreropgave ikke bliver forvekslet med en anden ikke relevant tømreropgave, eller med en opgave fra en anden faggruppe. Ved at bruge robotsystemer kan man udføre mange opgaver direkte efter hinanden – det kunne for eksempel være som nedenstående figur, hvor man ser en gipsplade robot, en spartle robot, en filt robot og en malerobot arbejde lige efter hinanden.

Spørgsmålet er bare, hvor skal man benytte disse robotter henne? I afsnittet ser vi på en metode, der kan bruges til at vurdere hvilket fag, samt hvilke underopgaver indenfor dette fag, hvor det ville være interessant at begynde at implementere af robotter og robotteknologi.

Der er nogle fejl, som opstår på grund af den menneskelige faktor. Hvis man vil reducere dette, kan man se på, om en mulighed for at reducere fejl og for hjælpe håndværkerne, er at benytte sig af robotter på byggepladserne rundt om i Danmark.

Man kan ligeledes sige, af ifølge grafen i Analyse 3, har robotsystemet samlet set det største areal, hvilket vil sige, at robotsystemet er det bedste valg til byggepladser. Robotsystemet er på de fleste områder klart overlegen i forhold til mennesket, og dette kan være pegepind for, i hvilken retning vi bør bevæge os, når vi overvejer, hvorvidt vi skal bruge byggerobotter på de danske byggepladser eller ej; men ikke det endegyldige og entydige svar.

Når ny teknologi som nanorobotter er færdigudviklet, bør man inkludere disse i betragtningen, og lade dem blive vurderet på lige fod med de andre/tidligere løsninger. Når tidspunktet kommer, kan man så revurdere, om det er byggerobotsystemet eller for eksempel nanorobotter, der skal benyttes i byggeprocessen.

## SAMARBEJDET MED ROBOTTERNE

*I det følgende vil der blive set på, hvordan man kan kommunikere med byggerobotter, og hvorfor det forventes, at robotter er næste skridt inden for udviklingen af byggeindustrien. Der bliver også set på, hvilken type teknologi der skal anvendes for at få samarbejdet mellem robot og menneske til at fungere. Til sidst bliver der set på økonomi og produktivitet i henholdsvis byggesektoren og bilindustrien. Det beskrevne vil være med til at definere den endelige robot samt, hvordan man kan kommunikere med denne.*

## INDOOR POSITIONING SYSTEM

Når man arbejder og skal kommunikere til eller mellem robotter, er der visse ting en robot har brug for at vide. En af disse ting er, hvor i verden robotten befinder sig. Dette behøver ikke at være præcist, for robotten kan godt arbejde ud fra et relativt 0-punkt, kortlagt af et geostationært IPS (Indoor Positioning System). En anden oplysning er, hvor robotten skal hen, og også her kan man bruge IPS. (<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=indoor-positioning-system>)

Det geostationære IPS fungerer meget på samme måde som mobilmaster, hvor man ved mobilmaster kan triangulere en mobiltelefons position i forhold til tre telefonmaster, kan man også opnå en position i forhold til de geostationære modtagere. Når man arbejder i en betonbygning kan man forvente, at et geostationært IPS ville være et nødvendigt alternativ til det normale GPS, da man ved det normale GPS ikke ville kunne opnå signal i betonbygninger, og da nøjagtigheden dér kan variere på op til 5+ meter. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Indoor\\_Positioning\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Indoor_Positioning_System))

IPS fungerer ved, at i stedet for at få informationer omkring position fra satellitter, så lokaliserer IPS ved hjælp af WLAN (Wireless Local Area Network), også kendt under navnet Wi-Fi (Wireless Fidelity). Wi-Fi kan også benyttes til at have kontakt mellem robotterne, hvor de kan dele komplekse beregninger og beregning af realtime sensor output.

## KOMMUNIKATION MELLEML ROBOTTERNE

På den måde fungerer robotterne som både en håndværker, der producerer og som relæ mellem andre robotter. Relæet skal kunne videresende informationer til "hjernen" fra robotter der er uden for det Wi-Fi dækkede område. Det er hjernen, der fungerer som den server, der skal holde styr på alle aspekter i projektet, og som fordeler tunge beregninger ud til kollektivet. Nogle af de opgaver, der ville overgå til hjernen, ville være realtime sensor beregninger. Grunden til at realtime sensor beregninger er for komplekse

Et eksempel på en af de opgaver "hjernen" skal løse, kunne være sensor output. Dette er utroligt komplekse beregninger, som beskriver miljøet som robotten befinder sig i. Et tænkt scenarie kunne være, at robotten modtager afvigende sensor målinger. Grunden til dette er, at robotten arbejder meget højt oppe og, at der er meget vind. I dette tilfælde kunne robotten godt opleve, at der er stor modvind, eller at robotten bevæger sig hurtigere end forventet grundet medvind. For at robotten ikke skal køre udover kanten på bygningen, bliver hjernen nødt til, i real time, at beregne, hvornår robotten skal stoppe.

for robotten selv at håndtere er, at robotten ikke altid kan stole 100% på aflæsninger fra sensorerne, og beregningerne fortæller robotten, hvordan den skal reagere i forhold til den afvigende aflæsning. (Butler et.al., 2008)

Det formodes, at der vil blive reduceret på visse udgifter, når man begynder at bruge robotter i stedet for menneskelig arbejdskraft; men der vil også opstå nye udgifter til byggepladsen. En udgift, der vil kunne betale sig ville være, at lave en form for motorvej i bygningen, i form af magnetstriber lagt henover gulvet. Grunden til, at dette vil være en god ide er, at robotten mens den bevæger sig på magnet striben ikke behøver bruge sensorer, for at se om der er andre robotter i vejen. Det tænkes også, at robotterne skal kunne optage energi fra magnet striben, meget ligesom metroen, der får strøm igennem skinnerne eller radiobilerne fra Tivoli, København, der får strøm fra "baner" i loftet via deres antenner. (Minguez et.al., 2008)

Robotterne skal altså fungere som et relæ, for at kunne videresende IPS koordinater til andre robotter på området. Dette sker ikke kun når robotten er på magnet striben, men er en konstant handling for at sikre, at der ikke sker en kollision mellem robotterne. Men som tidligere beskrevet er dette ikke kun nødvendigt på grund kollisionsafværgelse.

## DET NÆSTE SKRIDT INDENFOR BYGGEMODELLEN

Et aspekt der gør det vigtigt, at robotterne kan fungere som relæ er, at det er vigtigt at robotterne ved, hvor langt de andre robotter er med deres arbejdsopgaver, for at kunne beregne den mest optimale arbejds gang. Den måde en byggemodell bliver tegnet på, kan med få modifikationer sikre, at robotterne ved, hvilke opgaver der kommer efter hinanden, og derved har man et 4D planlægningsværktøj, som kan beregne hvornår en opgave bliver udført, og også hvilken robot opgaven går til. På den måde kan en robot sætte opgaverne i kø, med henblik på en vurdering af i hvilken ende robotten skal starte sit arbejde, så den bliver færdig tættest på startpunktet til næste opgave. (Kim et.al., 2010)

Et eksempel kunne være, at man skulle tegne et gulv i sin byggemodell. Her ville personen, der skulle tegne denne konstruktion, tegne alt lige fra de "Knudsen kiler" som strøerne står på, til de fodlister der fungerer som den sidste finish. Hvis tegneren kunne programmere opgaverne så de var prioriteret, så ville robotten kunne bruge denne prioriterende rækkefølge som udgangspunkt til, at kunne udføre arbejdet.

I en byggemodell tegner man allerede nu i forskellige lag, og det er muligt at udtrække mængder, som kan bruges til at udregne pris. Det der mangler for at dette med succes kan bruges i en robot, er tid - ikke som i, hvor lang tid det tager at udføre en opgave, men nærmere som, hvornår en opgave skal udføres.

Den tekniske tegner arbejder allerede på et niveau, der vil understøtte brugen af robotter, men visse elementer skulle måske tegnes med en større nøjagtighed, og ligeledes ville det måske være et krav, at materialeproducenter udarbejdede deres materialer til tegneprogrammerne på en måde, som gjorde dem nemmere at anvende. Da det allerede er muligt at tage mængder ud af en byggemodell, er skridtet måske ikke så stort som det kunne lyde. (Kim et.al., 2010)

## SMARTPHONE OG BYGGELEDER

Smartphones bliver mere og mere en integreret del af vores samfund. Det er nu muligt at se en tegning over en bygning på ens telefon, og teknologien er stadig i en rivende udvikling. Stille og roligt bliver argumented reality eller layered reality, hvor det er muligt at se virkeligheden, kombineret med en digitale tegning, mere og mere integreret i vores samfund, og denne teknologi kan også være med til, at hjælpe en byggeleder på en byggeplads hvor der kun er robotter.

Det forventes, at der kun skal være robotter på byggepladsen, da der ellers vil være meget store krav til sikkerhed, når robotten skal omgås mennesker. Derfor vil det også være nemmest, at slukke for alle robotterne, når byggelederen kommer på besøg. Et besøg fra byggelederen er kun tænkt som noget, der behøver at ske i meget særlige tilfælde, eventuelt hvis mange robotter er ufunktionsdygtige.

Byggelederen vil kunne sidde fra sit kontor og enten fjernstyre en robot, eller se igennem robotens sensorer, hvad der foregår ude på byggepladsen. Derved eliminerer man behovet for, at byggelederen skal besøge byggepladsen. I de tilfælde, hvor byggelederen endeligt skal besøge byggepladsen, kan smartphonen igen tages i brug.

Et eksempel på, hvordan dette kunne foregå ville være, at byggelederen ankommer til byggepladsen, men før denne træder ind på pladsen, søger han for, ved hjælp af sin smartphone, at slukke for robotterne i den givne sektor, som han skal have adgang til. Hvis robotterne er informeret om, at byggelederen kommer forbi, har robotterne flyttet sig fra denne sektor, så robotterne kan arbejde på andre opgaver, indtil byggelederen er færdig med sin inspektion af byggepladsen.

Det forventes at byggelederen til tider skal komme og besøge byggepladsen, da robotterne unægteligt vil bryde ned fra tid til tid. (Scheinman et.al., 2008)

## MATERIALER OG RFID

Det er tænkt, at robotten skal kunne aflæse RFID chips eller strekkoder, og samtidigt have ret-tigheder til at ændre i den BIM, som der arbejdes ud fra. Grunden til, at robotten skal kunne aflæse RFID chips er med henblik på, at give robotten muligheden for at kunne registrere, hvilken type materiale robotten står overfor, så alt ikke skal fotoregistreres. Dette vil være tidsbesparende, da det på nuværende tidspunkt tager længere tid for robotten, at identificere et materiale ved fotogenkendelse alene, end ved at aflæse et RFID tag. (Ko, 2010), (Son et.al., 2010), (Ko, 2009),

I byggemodellen skal man begynde med nøjagtigt at indtegne materialelagre, med estimeret antal efter aftale med leverandøren, i den såkaldte leveranceplan. Det robotten skal bruge evnen til at kunne ændre i byggemodellen ville være, så robotten skulle kunne tælle ned i forhold til forbrug. På den måde kan byggelederen se, hvor meget, der går til spilde, og få et overblik over, hvornår der blev bestilt nye materialer. (Saidi et.al., 2008)

Samtidigt med at robotten kontrollerer materialets RFID, ville det være en god ide, hvis en ny type materialekontrol bliver indført. Her tænkes der på kontrol af vægten af det pågældende emne. Grunden til, at det kunne være en god ide, at veje materialet, der bliver benyttet er, at et materiale kan gå i stykker, eller fra fabrikantens side være fejlbehæftet. (Ko, 2009)

Hvis man tager en gipsplade som eksempel, ville det være tænkeligt, at gipspladen kunne knække, da én gips plade i sig selv er porøs overfor belastning fra siden af. I det tilfælde, hvor gipspladen er knækket, vil vægten være reduceret, alt efter hvor meget, der er knækket af.

Ved at benytte denne simple metode til at kontrollere materialerne, opnår man en mere sikker modtagekontrol. Robotten skal også kunne vurdere, om der er nogle overfladiske skrammer, eller om materialet på anden måde er skadet rent æstetisk. Den måde, hvorpå dette bliver gjort normalt, er ved at visuelt at bedømme, om det materiale man indbygger følger standarden.

## ØKONOMI

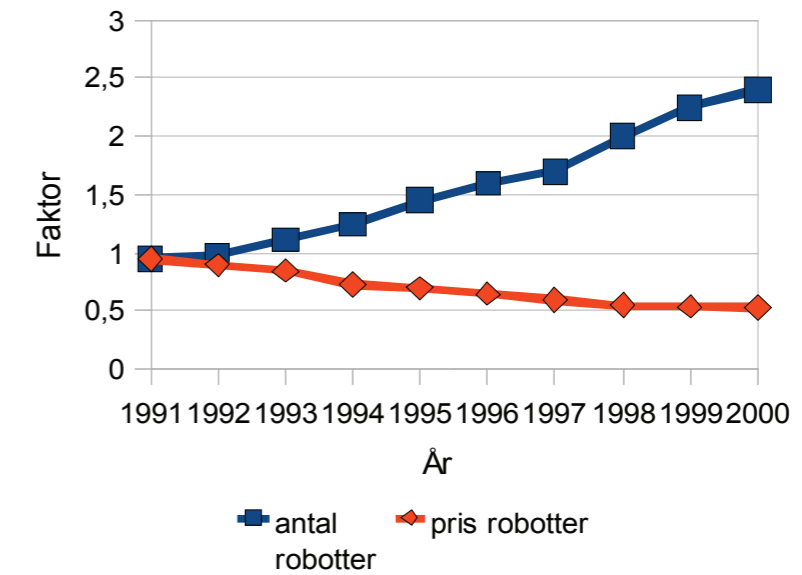
Som rapporten tidligere har været inde på, kan det forventes, at visse udgifter vil blive reduceret betragteligt - her tænkes der især på løn til personale. Men der er også andre udgifter, som er ret bekostelige og som det kunne være interessant at nedbringe.

Hvis man skal sammenligne byggesektoren med en anden industri, er den tætteste bilindustrien. Forskellen mellem byggesektoren og bilindustrien er primært, at bilindustrien har været industrialiseret i mange flere år. De sammenligningsområder, der kan findes mellem byggeri og bilindustrien er, at begge arbejder med produkter, der har en stor varians og meget specialiseret.

Et eksempel kunne være, at det er muligt at købe alt fra en Fiat Punto - hvilket kunne sammenlignes med et hønhuse fra 70'erne - til en Ferrari Enzo, der nærmere er at sammenligne med en arkitekttegnet villa med udsigt over Øresund.

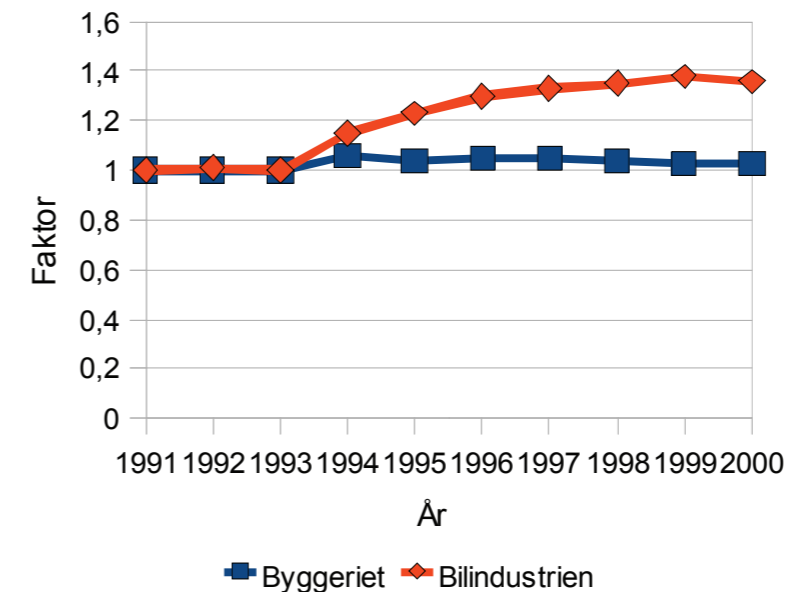
I bilindustrien ser man, at anskaffelsesudgiften på en robot var meget høj, dette ses i graf (14) på næste side. Efter robotter blev mere udbredt i bilindustrien, kan man se et fald i udgifterne til robotterne. Det ville være plausibelt at forvente, den samme trend i byggesektoren, måske ikke lige så markant på grund af, at biler bliver bygget på fabrik.

## Forhold mellem antal og pris



Figur (14) forhold mellem pris og antal robotter i den europæiske bilindustri  
Kilde: Balaguer og Abderrahim (1998)

## Produktivitet



Figur (15) Forholdet mellem produktivitet i bilindustrien og byggeriet  
Kilde: Balaguer og Abderrahim (1998)

Det man typisk ser er, at byggesektoren stadig benytter sig af de metoder man har brugt igennem de sidste mange hundrede år. Bilindustrien forsøger hele tiden at reducere produktions omkostningerne og få et bedre "flow" igennem produktionen, men denne innovation ses ikke på samme måde i byggesektoren.

På mange måder er bilindustrien mere innovative end byggesektoren. De effektiviseringssystemer som bliver implementeret igennem byggesektoren, blev først udviklet til bilindustrien, og sidenhen forsøgt tilpasset til byggeriet - dette kan dog medføre visse problemer, da man skal være 100 % engageret i systemet for at det virker. Der hvor problemerne har mulighed for at opstå, er når lederen af byggepladsen ikke

## PRODUKTIVITET

Hvis man bliver i samme tankegang, kan man også sammenligne udviklingen af produktiviteten mellem bilindustrien og byggeriet. Sammenligningen ses på hosstående figur nr. 15, her kan man se udviklingen for begge brancher. Der kan være mange grunde til, at der sker ændringer i produktiviteten, her kan nævnes implementeringen af effektiviserings managementsystemer såsom LEAN og JIT men til dels også på grund af implementeringen af robotter.



selv tror på effektiviserings systemet. I dette tilfælde vil de mennesker som arbejder under ham ligeledes begynde at tvivle på at det kommer til at virke. Byggesektoren har et notorisk ry for at være konservativ, hvilket kan afspejle sig i, at ændringer bliver svære at implementere da mange har modstand imod ændringerne. (<http://ing.dk/artikel/76041-byggebranchen-vender-ryggen-til-lean>)

Alt dette fører frem til at beskrive den tænkte prototyperobot, og dermed til at kunne besvare en del af problemformuleringen, nemlig spørgsmålet om "hvad er en byggerobot, og hvordan vil denne se ud?"

## REALISERINGEN AF DEN KONCEPTUELLE ROBOT

*I følgende afsnit, vil jeg beskrive en mulig robotløsning på opsætning af gipsplader. Jeg bevæger mig ind på, hvordan en robots fysiske udformning bør være, hvilke aktuatorer der skal være, programmering af robotten, og hvorfor samt hvilke sensorer der kunne være nyttige i denne sammenhæng. Dette er baseret på den konceptuelle model, som er beskrevet i afsnittet Biologiske modeller.*

Hvis vi skal se på byggerobottens kontekst, er der i denne rapport fokuseret på byggepladser i Danmark. Vi indsnævrer dette til at se på gipspladeopsætning. Det er uden betydning om vi ser på "standard" byggeri, eller på prestige byggeri, såsom Tietgenkollegiet, Bispebuen eller Zoologisk Haves nye elefanthus i København.

Det, der fokuseres på, er udelukkende opgaven, da robotten er i stand til at udføre begge dele, og udfører begge typer byggeri uden at diskriminere.

Hvis vi skal se nærmere på de aktiviteter, der eksisterer på en byggeplads i en robots kontekst, ville man kunne sige, at en robot i starten kunne fungere som et hjælpemiddel, for herefter langsomt at kunne overtage flere og flere af opgaverne fra håndværkerne, i takt med, at teknologien bliver udviklet. Som vi også var inde på tidligere i rapporten, er håndværkerens tid en bekostelig ressource på en byggeplads. Hvis en håndværker, i stedet for at lave gentagne arbejdsfunktioner, kunne bruge sin tid på at løse de problemer, der opstår for robotten, som en form for 'problem shooter' eller ekspert, i stedet for selv at være et værktøj, ville entreprenøren og bygherren kunne få mere værdi for sine penge.

Denne strategi er også velvalgt ud fra det faktum at byggebranchen ikke er den første branche til at udnytte ny teknologi (se figur nr. 2 Brug af IT brug i forskellige brancher). Der er klart en stor skepsis omkring ændringer i arbejdsgangene, men kan man påvise positive effekter af brugen af robotter, vil det være vanskeligt at ignorere dem, selv i en branche der traditionelt set ikke er teknologi-tung.

I samme devise kan robotter også være med til at hjælpe håndværkeren, i form af en reduktion af slidskader. Igennem tiderne har man set håndværkere blive slidt op på deres arbejde, hvilket fik arbejdsmiljøinstitutionen Arbejdstilsynet til at fremsætte målsætningen, der lød i stil med: 'man skal forlade byggepladsen i samme eller bedre stand, end da man kom'. En måde hvorpå man kan leve op til denne målsætning er, at håndværkeren udfører mindre fysisk arbejde, og robotten kan være det hjælpemiddel der skal bruges.

Det sidste aspekt jeg vil fokusere på, er det kvalitetsmæssige aspekt. Her er der flere artikler, som beskriver hvordan robotter meget nøjagtigt gentager den samme bevægelse igen og igen. For at tage et eksempel kan man bruge 'universal robots' UR-6-85-5-A, der er en standard industrirobot. Robottens gentagelser har en nøjagtighed på +/- 0,1 mm. (<http://www.universal-robots.com/Produkter/Produktblad-1.aspx>)

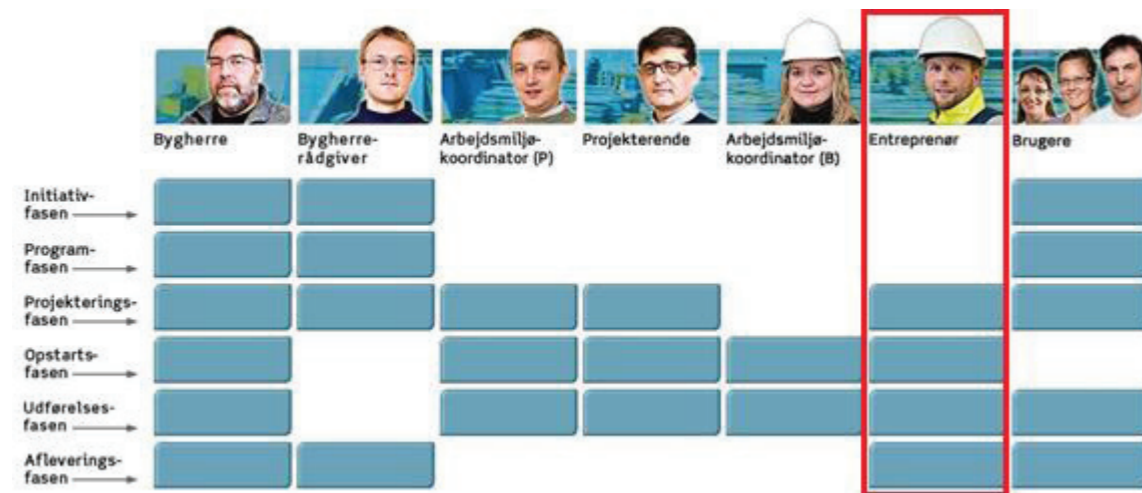
For at kunne identificere fællesnævnerne, hvor man kan sige, at robotterne kan bistå håndværkerne, bliver vi nødt til at se på:

**Hvilke opgaver, der skal løses på en byggeplads.**

**Hvad en robot er, og hvad en robot formår.**

**Hvilke hjælpemidler, der er tilstede i 2010/11.**

Jeg har valgt at analysere de processer, der indgår i den fysiske del af byggeprocessen, altså selve opførelsen af et byggeri. For forståelsens skyld er byggeprocessen blevet afbilledet på billedet "Byggeprocessen og byggeriets parter" med særligt fokus på entreprenøren rolle.



Figur (16) Byggeprocessen og byggeriets parter  
Kilde: <http://www.byggeproces.dk/>

Hvis vi ser på entreprenørens arbejdsopgaver strækker det sig over projektering, opstart, udførelse og aflevering, hvilket vi kigger nærmere på for at definere, hvor det kunne tænkes, at man kunne bruge robotter.

## PROJEKTERINGSFASEN

Som entreprenør kan man blive inddraget i projekteringen, dels ved et tidligt udbud og dels ved funktionsudbud, hvor det typisk overlades til entreprenøren at detailprojektere dele af projektet. I det tilfælde, at man bruger robotter, ville det være fordelagtigt at blive inkluderet så tidligt i processen som muligt, da man kan præge projektet til ens egen fordel. Eksempelvis ved at tegne præcise nok tegninger eller ved at lave en detailplanlægning for ens robotter.

(<http://www.byggeproces.dk/Entreprenoer/Projekteringsfasen.aspx>)

## OPSTARTSFASEN

I opstartsfasen er det vigtigt, at man som entreprenør bidrager med erfaringer. I entreprenørens egen organisation skal sikkerhedsarbejdet planlægges ud fra en arbejdspladsvurdering. Entreprenøren skal desuden overveje, hvordan konstruktionerne skal udføres samt bestille materialer til udførelsen. Sidst skal entreprenøren overveje, om der er særligt kritiske konstruktioner, der kræver særlig opmærksomhed. (<http://www.byggeproces.dk/Entreprenoer/Opstartsfasen.aspx>)

## UDFØRELSESFASEN

I udførelsesfasen er man som entreprenør med til at udføre byggeriet. Det er entreprenørens pligt, at udføre byggeriet efter udbudsmaterialet, da der er underskrevet en juridisk kontrakt som endegyldigt skal følges. Dette ville være et af de steder i processen, hvor man kunne implementere robotter i byggeprocessen, da det fysiske arbejde skal udføres i denne fase. (<http://www.byggeproces.dk/Entreprenoer/Udfoerelsesfasen.aspx>)

## AFLEVERINGSFASEN

Som entreprenør deltager man i afleveringsforretningen, som er der hvor man afleverer et nøgleklart byggeri til bygherren. Normalt påhviler det også entreprenøren at udføre 1-års og 5-års gennemgangene, der er inspektioner af bygningen efter 1 og 5 år for skjulte fejl og mangler. Her kunne man også tænke, at implementeringen af robotter kunne fungere, da man kunne inspicere og dokumentere konstruktionerne mere nøje, og eventuelt få adgang til steder, der normalt er utilgængeligt for mennesker. (<http://www.byggeproces.dk/Entreprenoer/Afleveringsfasen.aspx>)

Hvis vi ser på brugen af robotter i udførelsesfasen på byggepladserne, vil der være en masse produktionsmæssige opgaver, der kan udføres af robotter. For at forsøge at beskrive, hvad en robot kan på en byggeplads, må man først se på, hvad en robot er, for på den måde at finde ud af, hvad den er i stand til. Beskrivelsen af en robot er ikke en simpel opgave, da en robot er mange forskellige ting. Den snævre definition med, at det skal være en maskine man kan se og røre ved, som kan påbegynde opgaver på egen hånd, er nok ikke tilstrækkelig. For at kradsse i overfladen af, hvad en robot er, kan man sige, at en robot både kan have fysisk form, eller være foruden fysisk form, en såkaldt virtuel robot - dette komplicerer hele definitionen af, hvad en robot er.

Robotforskning har eksisteret i mange årtier, og man må forvente at der er nogle robotforskere som har brugt hele deres liv på at studere og arbejde med robotter. Disse robotforskere kan ikke levere en klar definition på 'hvad en robot er'. Udledt af dette samt min analyse, er den manglende definition forståelig, og er formentlig baseret i den varietet, der er i de opgaver, som robotter kan sættes til at udføre. I denne opgave kan vi dog forsøge at definere robotten ud fra det formål vi skal bruge robotter til på byggepladsen.

På byggepladsen har robotten behov for at være et hjælpemiddel, der kan agere med sit miljø. Desuden skal dette hjælpemiddel være i stand til at kunne påbegynde nye opgaver på egen hånd, når et menneske har givet specifikationerne for arten af arbejdet, samt oplysning om den placering, hvor maskinen skal arbejde. (<http://en.wikipedia.org/wiki/Robot#Definitions>), ([http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph\\_Engelberger](http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Engelberger))

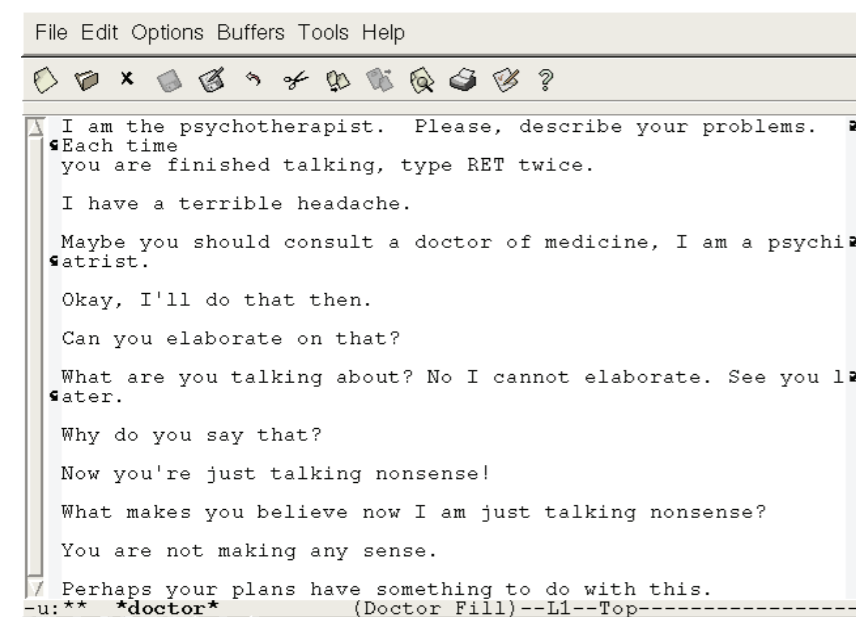
Men for at få en ide om, hvad en robot er, kan man se på det mest forenkede indenfor området, som kan give en idé om, hvad de forskellige elementer består af. En del af denne er den fysiske robot, hvor man kan se på bilindustrien, som vi tidligere også har været inde på. Fanuc har lavet en robot, der løser samtlige behov for bilindustrien, både hvad angår svejsning, montering, maling og pakning, og denne har ligeledes potentialet til at blive brugt indenfor byggeri. Det der gør robotten så alsidig er, at der kan installeres forskellig software og hardware alt efter behov. Udover det benyttes "point-and-shoot", hvilket betyder, at en håndværker lærer robotten præcis, hvordan denne skal udføre opgaven. Nøjagtigheden for robotens arbejde bliver udført med en fejlmargen på >2% og nedefter. Ved malerrobotterne ser man, at Muehlhan har skabt en malerrobot, der kan male vindmøller. Denne robot maler korrekt 100% af tiden i forhold til en dygtig industrimaler, der kan male korrekt omkring 70-80% af tiden. I denne kontekst, kan man sige, at en robot er et hjælpemiddel, der fungerer mere præcist end et menneske.

(<http://v4metal.industri-supply.dk/article/view.html?id=52074>),

(<http://www.fanucrobotics.com/Products/Robots/IndustryApplications.aspx>),

(<http://www.abb.dk/product/us/9AAC910011.aspx?country=DK>),

(<http://www.migatronik.dk/default.aspx?m=28&i=75>), (<http://www.muehlhan.dk/www/Pub921.asp>).



Kilde: <http://en.wikipedia.org/wiki/Robot>

En anden del af robotten er den virtuelle agent der er et aspekt indenfor robotteknologi, som denne rapport ikke fokuserer meget på, da man ikke umiddelbart kan bruge dem på en byggeplads. Det der er brug for på en byggeplads, er en robot, der kan agere med sine omgivelser. Laveste fællesnævner indenfor virtuelle agenter er ELIZA, der fungerer ved hjælp af mønstergenkendelse og

som ved omvendt ordstilling kan føre en samtale. Desuden bruger ELIZA også tidligere svar fra andre brugere til at svare nye forespørgsler. (<http://en.wikipedia.org/wiki/ELIZA>), (<http://en.wikipedia.org/wiki/Robot>)

Opgaverne for robotterne på byggepladsen strækker sig over en lang række forskellige byggefag, som har forskellige underopgaver. Hvis man udvælger et af byggefagene, kunne man for eksempel bruge tømrerfaget, da tømrerfaget stille og roligt bevæger sig ind over de andre faggrænser såsom byggemontageteknikerrollen eller blikkenslager faget, og tømrerne samler for eksempel tagrender eller opsætter gips og isolering og laver altså ikke længere "rent" tømrerarbejde.

(<http://www.ug.dk/uddannelser/erhvervsuddannelsereudveud/byggeoganlaeg/byggemontagetekniker.aspx>),

(<http://www.ug.dk/uddannelser/erhvervsuddannelsereudveud/byggeoganlaeg/vvs-uddannelsen.aspx>).

I tømrerfaget bliver der blandt andet udført opgaver indenfor tømrer og snedkerfaget. Et uddrag af disse kunne være:

- Isolering af vægge og lofter
- Montering af træelementer såsom vinduer, køkkener og spær.
- Udførsel af etagedæk
- Montering af gulve
- Udvendig beklædning
- Skillevægskonstruktion

Ser vi på indvendige skillevægskonstruktioner, er der en del underopgaver at udføre før væggen står færdig. Når man skal opbygge en skillevæg, vil man starte med at have et solidt og fugtsikkert grundlag at bygge på. Man har brug for at der er materialerne til rådighed og, at de er i nærheden af det sted, hvor de skal indbygges. Så kan man begynde med at udføre stolpekonstruktionen, der fungerer som skelet for skillevæggen. Stolperne består af enten metal eller træ. Mellemrummet, der kommer til at opstå mellem gipspladerne på hver side, bliver isoleret. Herefter beklædes skelettet med gipsplader. (Håndbog for byggesagkyndige §3.3), (<http://www.femsek.dk/sw53193.asp>).

Hvis vi skal overføre det til en byggerobot, kan man starte med at se på de hjælpemidler, der eksisterer i dag, og basere byggerobotten på disse. (Saidi et.al., 2008), (Christensen et.al., 2008), (Scheinman et.al., 2008)

Når man designer en robot, er der visse emner som er specielt vigtige. Jeg har tidligere været inde på, at en robot ikke skal se mere intelligent ud, end den faktisk er – forstået på den måde, at den ikke skal have en mund, hvis den ikke kan tale. Den fysiske fremtoning er altså en vigtig del af design parametrene, når man skal bygge en byggerobot. Det vi ser på i det efterfølgende, er nogle hjælpemidler, der eksisterer i dag til gipsplader, og det er tænkt, at ved at kombinere programmer med sensorer, ville man få en byggerobot. (Saidi et.al., 2008)

Hvis vi ser vores gipsplade monteringsrobot, fremover benævnt som gipsrobot, er det altså vigtigt, at den ikke ligner et menneske, og der er ikke behov for at udstyre den med mange af de kvaliteter, som et menneske besidder. Udover det, kan man enten designe den til et funktionsopdelt arbejde, eller et fagopdelt arbejde. (Scheinman et.al., 2008)

Forskellen mellem funktions- eller fagopdelt arbejde, er at funktionsopdelt arbejde bruger den samme robot, til udførelsen af mange opgaver inden for flere forskellige fag, i den klassiske opdelte byggebranche.

Dette er klart det mest fordelagtige i det lange løb, men hvis vi skal se mere lavpraktisk på implementeringen af robotter på danske byggepladser, bliver vi nødt til at tage små skridt, og fagopdele robotten i starten. Ved fagopdelingen af arbejdet til en robot, ser man på en specifik opgave, indenfor et specifikt fag, og finder en løsning på dette. Denne øvelse vil vi udføre i det efterfølgende.

Vores byggerobot skal have et indbygget gipspladedepot eller en palleløfter, da gipsplader ankommer på europaller. Byggerobotten skal være i stand til at have hele indholdet af pallen med sig rundt i bygningen, for at undgå at skulle hente materialer alt for tit. Dette giver visse begrænsninger til mobilitet, da en gipsplade måler omkring 900-1200 x 2400 mm, og derfor ikke kan komme ind af alle åbninger.



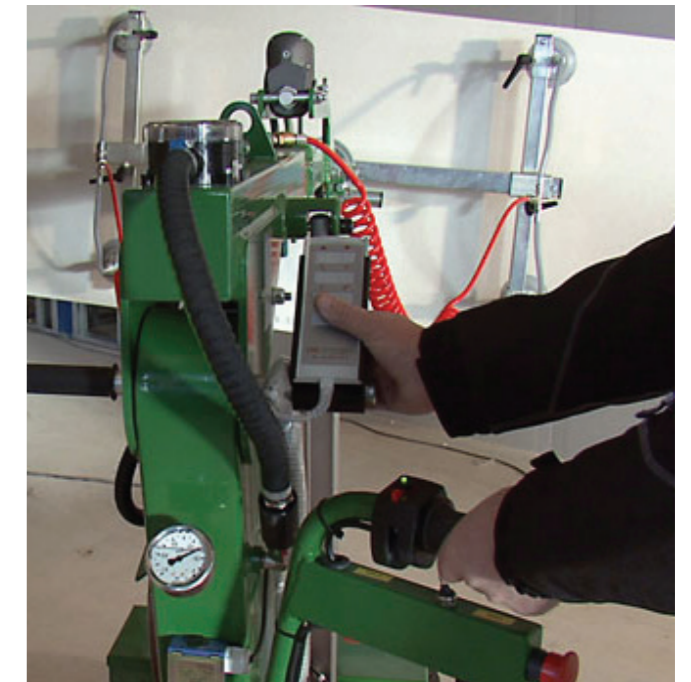
Billede (24) Elektrisk materialevogn – Ergomover 1500  
Kilde: <http://www.gmvas.dk/data/images/tilt-4.png>

Det er derfor en idé, hvis robotten kan dele sig i to, fordi det vil gøre det lettere for en potentiel køber, der derved kun skal træffe ét valg til den type robot, der kan løse hans problemer. Materialedepotsdelen af robotten kan blive efterladt et sted, hvor hele robotten ikke kan komme ind, dog uden at man skal have problemet med, at skulle hele vejen tilbage til det rigtige materialedepot efter hver enkelt gipsplade. På samme måde burde materialeoplagsdelen af robotten også selvstændigt kunne hente flere gipsplader, når robotten registrerer, at den er ved at løbe tør. For at robotten skal kunne hente flere materialer, skal den kunne kommunikere med andre robotter på pladsen, så det autonome materialedepot kan blive læsset med nye materialer og komme til og fra steder, hvor disse materialer bliver indbygget. Denne registrering af, hvor mange gipsplader der er tilbage, kan gøres ved hjælp af Rfid teknologi, som vi har været inde på tidligere i rapporten. (Ko, 2009), ([www.danogips.dk](http://www.danogips.dk))

Alternativt kunne man have to robotter omkring dette stykke arbejde: én der distribuerer gipsplader og en anden der monterer, for på den måde, at kunne specialisere robotten yderligere.

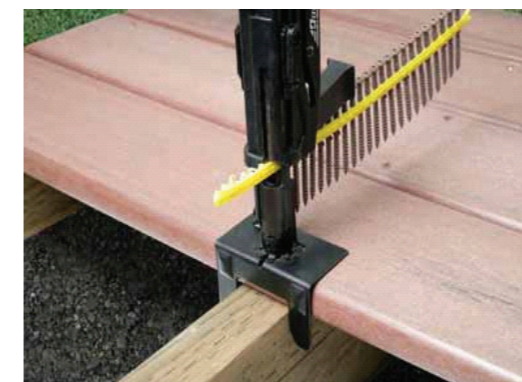
Robotten skal også være i stand til at tilskære gipsplader, så gipspladerne passer de steder de skal monteres. Da man både bruger gipsplader på væg og loft, bliver robotten nødt til at have et skærebord som både kan tilpasses gipspladsens højde og bredde. Og fordi en robot er i stand til at skære meget præcist, skal der være fuld bevægelighed over hele skæreflader, i tilfælde af, at en arkitekt mener, at der skal udskæres former, som ikke kun er horisontale og vertikale. Robotten skal også være i stand til at udskære runde former til for eksempel spotbelysning. Desuden skal robotten være i stand til at udskære alle andre 2D geometriske figurer. (<http://ing.dk/artikel/53826-malerobotten-programmerer-sig-selv?highlight=robotter>), (<http://www.muehlhan.dk/www/Pub921.asp>)

For at bevæge gipspladen over på skæreflader, skal robotten være i stand til at løfte gipspladen, uden at den knækker. Dette kan gøres ved at have sugekopper fordelt udover gipspladen, for at fordele kræfterne som gipspladen bliver påvirket med. Det skal på samme måde være disse sugekopper, der placerer den udskårne gipsplade der, hvor den skal monteres. Hele sugesystemet bevæges af eksempelvis et hydraulisk system, som vist på herstående billede. Sugestrukturen skal kunne bevæges uafhængigt af hinanden, for at få det bedste greb på den udskårne gipsplade. (<http://www.smartlift.dk/SEEEMS/3160.asp>)



Billede (25) gipspladeopsætningsmaskine – gipspladelift SL250  
Kilde: <http://www.smartlift.dk/SEEEMS/3160.asp>

Når gipsplader skal monteres, skal robotten sikre, at den kan opsætte dem i noget solidt, og ikke bare i den tomme luft eller i den isolering, der måtte være over gipspladerne. Gipspladerne skal også kunne placeres på alle tænkelige måder, og der er et behov for, at den arm, som sætter dem på plads har bevægelighed nok til, at kunne opsætte gipspladerne. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Six\\_degrees\\_of\\_freedom](http://en.wikipedia.org/wiki/Six_degrees_of_freedom)), (<http://www.solutions4u-asia.com/pdt/GT/LAB/R-6DOFiRobot.html>).



Billede (26) Eksempel på skruepistol – Simpson strong-tie Screw gun  
Kilde: <http://www.deckmagazine.com/images/articles/2010/1009/Deck-Expo-10-fig-7.jpg>

Da vi har at gøre med en robot, er man ikke bundet af de samme begrænsninger som ved mennesker, og dette bør man udnytte. Ved monteringen skal robotten have indbygget mindst 6 gipskruepistoler med auto-feed, der kan bevæges uafhængigt af hinanden, da en standard gipsplade skal have omkring 35-45 skrue for at være fastmonteret. I tilfælde af småt udskårne gipsplader, eller gipsplader, som ikke er standardudformet, vil det være en fordel, hvis man ikke benyttede samtlige skruepistoler på samme tid. (<http://www.gyproc.dk/montage/monteringsanvisning>)

Når man bruger dette robotsystem, kunne robotten også montere isoleringen. Der ville dog være visse krav til denne. Isolering kunne enten være polystyren isolering eller mineraluld med kraftpapir på den ene side, hvor sugestrukturen ville kunne holde fast. Isoleringsmaterialet ville kunne monteres og tilskæres på samme måde som gipspladerne. Det ville være en god ide, hvis gipsbeklædningen på den ene side af væggene bliver monteret før robotten indbygger isoleringen i bygningsdelen, da robotten kan placere isoleringen op mod gipspladen. Grunden til, at robotten skal indbygge isolering, frem for et menneske, er ikke på grund af vægten fra mineralulden, men mere for at reducere det ubehag, der er en konsekvens af at håndtere mineraluld.

Når man bruger dette robotsystem, kunne robotten også montere isoleringen. Der ville dog være visse krav til denne. Isolering kunne enten være polystyren isolering eller mineraluld med kraftpapir på den ene side, hvor sugekopperne ville kunne holde fast. Isoleringsmaterialet ville kunne monteres og tilskæres på samme måde som gipspladerne. Det ville være en god ide, hvis gipsbeklædningen på den ene side af væggene bliver monteret før robotten indbygger isoleringen i bygningsdelen, da robotten kan placere isoleringen op mod gipspladen.

Grunden til, at robotten skal indbygge isolering, frem for et menneske, er ikke på grund af vægten fra mineralulden, men mere for at reducere det ubehag, der er en konsekvens af at håndtere mineraluld.

For at bevæge sig rundt på byggepladsen, skal robotten være udstyret med en form for bevægeapparat. En tidligere succesfuld metode til at bevæge sig rundt på byggepladser er, at gøre brug af de såkaldte "larvefødder", der kan forcere forskelligt terræn, her iblandt løs jord eller på trapper. Der er også en anden fordel ved at bruge larvefødder, nemlig at der så er mindre risiko for at robotten vælter. Grunden til at robotten ikke vil vælter er, at man kan placere tyngdepunktet lavere end ved for eksempel en gående maskine, hvor man skal have tyngdepunktet cirka på midten eller i centrum af maskinen. Det lave tyngdepunkt vil også være fordelagtigt når gipspladerne skal placeres, hvilket vil tilføre stabilitet til robotten, når denne skal placere gipsplader.



Billede (27) loft til kip over 2 etager  
Kilde: <http://f.building-supply.dk/2k9bh9heb1uz48lb.jpg>

Det forventes at der skal placeres gipsplader fra rågulvoverflade til omkring 6 meter over rågulvoverflade, ved de lejligheder, der strækker sig over 2 etager, eller boliger hvor der er loft til kip. (Minguez et.al., 2008)

Hvis vi ser på hvilke sensorer der skal til, for at hjælpe robotten med at udføre sit arbejde, bliver den nødt til at have flere optiske sensorer, både på materialed Depotet, som autonomt skal kunne hente flere materialer, men også på monteringsdelen af robotten, som skal manøvrere i dørindgange uden at beskadige sit eget eller andres arbejde. Den optiske sensor kan også bruges til at lokalisere, hvor robotten kan skrue ind og få fat i noget solidt. (Christensen et.al., 2008)

Når en gipsplade skal monteres, ville det hjælpe robotten, hvis afstanden mellem gipsplade og montagested var kendt. På den måde kan robotten udføre hurtige bevæger indtil omkring 20 cm fra hvor gipspladen skal monteres, hvorefter robotten blidt kan placere gipspladen. Derfor ville en laserafstandsmåler være et must-have for denne robot. (Christensen et.al., 2008)

Som jeg har været inde på tidligere, ville det være en god ide, hvis robotten er i stand til at kommunikere med de andre robotter på byggepladsen, hvilket gør at der er behov for, at der bliver installeret intern kommunikation mellem robotterne, men også for ekstern kommunikation, så der kan sendes kontrol-, tilsyns- samt D&V-rapporter til de involverede parter.

Der er også brug for at der kvalitetssikres, hvilket kan gøres på det skærebord, der tidligere blev omtalt. Når en gipsplade tilskæres kan man måle, om arealet svarer overens med vægten, da det fra producentens side er opgivet hvor meget en gipsplade vejer, X kg/m<sup>2</sup>.



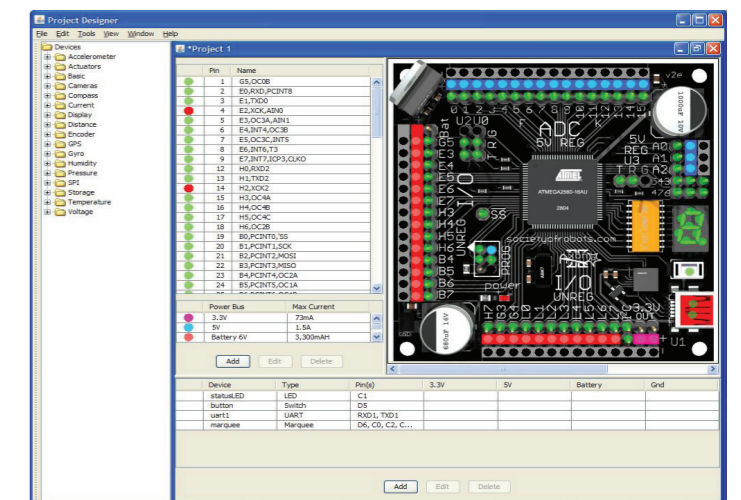
Billede(28) laserskærer  
Kilde: [www.hekl.dk](http://www.hekl.dk)

Der skal også måles hvor stor modstand der er, når man skærer, da klingens med tiden skal udskiftes. Her vil man kunne måle hvornår klingens bliver så sløv, at den river i stedet for at skære i materialet, og nå at udskifte den før dette sker, da alternativet ville ødelægge finishen på væggen/fladen. I fremtiden kan man forvente laserskærere på byggepladsen.

Ligeså skal skruepistolerne også genoplades med skruer, når disse bliver udtømt. Der er forskellige tilgange til, hvordan man vil gøre dette, enten ved at måle på omdrejningerne af skruemaskinen, da der vil være en reduktion af omdrejningerne når skruen får fat i materialet på grund af øget modstand. Robotten kunne eventuelt kontrollere antallet af skruer ved optisk kontrol eller ved, at robotten tæller hvor mange skruer, der er tilbage i forhold til, hvor mange skruer der er i et "magasin". Det sidste er den mindst gode ide, da skruer kan falde ud eller da det kan ske, at magasinet ikke pakket efter standarden.

Hvis man skal have en robot til at fungere i den virkelige verden, bliver man nødt til at se på, hvordan man samler en robot og på robotens programmering.

For at kontrollere at vi sammensætter vores robot på den rigtige måde, kan man bruge hjælpemidlet "Project Designer". Project Designer kan bruges til at simulere en augmented microcontroller i robotten. Project Designer simulerer et printkort i en robot, og kontrollerer indput/output portene for eventuelle fejl i opbygningen, så disse bliver opdaget før man står og samler den faktiske robot.



Billede (29) Project Designer  
Kilde: <http://webbot.org.uk/iPoint/37.page>

Der er to typer I/O porte, analoge og digitale. Analoge porte er 8, 16 eller 32 bit, betydende, at de har en rækkevidde fra 0 til enten 256 eller 4,294,967,295 forskellige værdier ( $2^8=256$ ;  $2^{32}=4,294,967,295$ ), hvor de digitale er 1 bit svarende til 2 forskellige værdier ( $2^1=2$ ). Analoge porte bruges til sensorer, for eksempel afstandsmåling, hvor digitale porte primært bruges til signal output eller til tænd/sluk knapper. Det er også muligt at tilføje f.eks. nye sensorer til programmet, som i sidste ende fungerer som en huskeliste til hvilke kommandoer, der skal programmeres når alt er tilsluttet. (<http://webbot.org.uk/iPoint/37.page>), ([http://www.societyofrobots.com/microcontroller\\_tutorial.shtml](http://www.societyofrobots.com/microcontroller_tutorial.shtml)), (<http://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller>)

Hvis vi ser på selve programmeringen af robotten, med fokus på, at man skal indbygge en gipsplade, er der en række forudsætninger, der skal være opfyldte for at kunne installere denne gipsplade, såsom et underlag og noget, som gipspladeskruerne kan fastgøres i. Den programmering vi vælger at benytte os af i dette tilfælde, giver robotten nogle regler som den kan arbejde indenfor, det er såkaldt "binær logic". Ved en denne type logik forstås, at robotten er i stand til at tænke binært, altså ja/nej eller tændt/slukket, hvilket tillader robotten at udføre arbejdet i forhold til de regler, som er opsat for robotten. (Leyh, 1995)

Et eksempel i binær pseudokode - casen er, at vores robot skal bevæge sig i en bygning:

Data fra sensorerne kan registreres mellem 0 og 255, robotten kan bevæge sig enten med 3 eller 30 km/t. I dette tænkte tilfælde beskriver sensorværdierne, hvornår robotten bevæger sig med 3 eller 30 km/t. Dette skiller så snart sensor aflæsninger ligger mellem 127 og 128 meter.

**if distance <= 127 m then go 3 km/t**

**if distance > 127 m then go 30 km/t**



Billede (30) CNC skæremaskine  
Kilde: <http://www.metal-supply.dk>

Til at udføre selve arbejdet vil vi bruge samme programmering, som man ser på en CNC skæremaskine. Det vil være en god ide, at bruge noget lignende, da vores gipspladerobot i så fald kan blive forbundet til en CAD tegning. Normalt vil en CNC maskine skære i et stykke træ eller metal, men det vigtige er, at CNC maskinen kan arbejde ud fra en tegning. Dette sker ved, at den person der bruger maskinen programmerer, hvordan værktøjet skal bevæge sig. Dette kan ligeledes gøres ved vores gipsplade maskine. (Smid, 2003)

Fanuc har lavet et programmeringssprog, der er i stand til at bruge makroer, hvilket er et simpelt input til en computer, der resulterer i et output bestående af en række instruktioner på maskinsprog. (Smid, 2003), ([http://en.wikipedia.org/wiki/Macro\\_\(computer\\_science\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Macro_(computer_science)))

Når man skal se på programmeringen af robotten, kan man benytte sig af samme metode som Fanuc bruger i deres industrirobotter, hvor robotten er i stand til at udføre mange forskellige opgaver, ved at udskifte selve programmeringen af robotten. På den måde skal der skiftes mellem for eksempel et gipsplade program og et isoleringsprogram. Det vil kræve, at et menneske programmerer robotten fra gipspladeprogrammet til isoleringsprogrammet, med mindre man vælger at benytte sig af flere robotter, hvor man med for eksempel 3 robotter kan udføre en skillevæg i én kontinuerlig proces, hvor der er én byggerobot med gipsplade program, der arbejder på den ene side af væggen, mens på den anden side, vil én isoleringsrobot og én gipsplade robot "lukke" konstruktionen. (<http://ing.dk/artikel/53826-malerrobotten-programmerer-sig-selv?highlight=robotter>)

Hvis man benytter 3 robotter ville håndværkerens arbejde med gipsplader og isolering "udføre sig selv", og han ville kunne blive brugt som ekspert og føre tilsyn med tillægger for robotens arbejde i tilfælde af, at arbejdet ikke blev udført planmæssigt, eller der opstår uforudsete problemer, der kræver en større indsigt i det monteringstekniske. Håndværkeren bliver altså kun brugt, når han skal se på et problem, eller hvis der er situationer, som robotten ikke selv kan håndtere. En håndværkers arbejdsopgaver kunne være at opsætte skellettet, som robotterne efterfølgende opsætter gipsplader på.

Et eksempel kunne være, at isoleringsrobotten ikke kan placere isoleringen, da der ikke er en gipsplade på den anden side af skillevæggen, eller at der ikke er isolering, så gipspladerobotten ikke kan placere gipsen. I denne type situationer kan håndværkeren, der har det store overblik, fortælle robotten hvordan den skal agere. Dette kan være i form af "point-and-shoot", hvor selve handlingen bliver programmeret ind i robotten, så denne problemstilling aldrig gentager sig.

Det ville ligeledes være en god ide, hvis der er erfaringsdeling mellem robotter, så håndværkeren ikke behøver lære samtlige robotter, hvordan man løser en given opgave. En metode til erfaringsdeling er beskrevet af Udeaja et. al., 2008. (Udeaja et. al., 2008), (<http://www.fanucrobotics.com/Products/Robots/IndustryApplications.aspx>)

## DELKONKLUSION

I stedet for at se på, hvilke behov der eksisterer på en byggeplads, har vi i dette afsnit set på, hvilke behov, der kan dækkes af eksisterende hjælpemidler, og forsøgte at skabe en robot ud af disse. De identificerede behov var:

- Entreprenøren har et behov for at komme tidligt ind i projekteringsfasen
- Robotten skal have fysisk form
- Robotten skal kunne gentage bevægelser med stor nøjagtighed
- Robotten skal være designet til opgaven

For at få en større fælles forståelse startede vi med at se på, hvad en robot er og fik defineret denne til at være et hjælpemiddel på byggepladsen, der er mere præcist end et menneske.

Med denne definition vil der opstå et nærmest symbiotisk samarbejde mellem robot og håndværker, da robotten ikke kan arbejde uden hjælp fra håndværkeren, og håndværkerens arbejde delvist bliver udført af robotten.

Vi så endvidere i afsnittet på, hvordan man kan skabe en robot fra eksisterende hjælpemidler ved at forbinde dette/disse med en AI og med aktuatorer samt sensorer. I dette blev der beskrevet en mulig måde til at programmere robotten på, i det givne tilfælde blev der brugt "binær logic", men "point-and-shoot" kunne også være en løsning til programmeringen af robotten. Hvis man vælger at bruge "point-and-shoot", blev det belyst, at man muligvis også kunne bruge erfaringsdeling.

Afsnittet beskriver også, hvordan en robot kan omprogrammeres alt efter behov, samt hvordan robotens microcontroller skal have de pågældende programmer installeret for at kunne fungere.

## KONKLUSION

Emnet for rapporten blev fra starten defineret som: hjælpemidler til håndværkerne på byggepladsen. Det hjælpemiddel jeg valgte at fokusere på var robotter, ud fra generel viden om, at man i flere andre brancher, herunder hos skibs- og bilfabrikanter, med stor succes har brugt robotter i produktionen. Igennem hele denne rapport er der tre gennemgående emner, som har påvirket hvordan rapporten udviklede sig. Disse emner har været fokuspunkter for hele rapportens forløb.

Et af fokusområderne for rapporten er, at opnå et bedre arbejdsmiljø på byggepladserne, ud fra tanken om, at håndværkerne, der bruger byggepladsen som deres arbejdsplads, fortjener et bedre arbejdsmiljø ud fra tesen, at "én ulykke, er én for meget". Det er forfatterens mening, at der er behov for et brugbart hjælpemiddel, som delvist kan erstatte håndværkere på selve byggepladsen, for på den måde at skabe et mere sikkert arbejdsmiljø.

Et andet fokusområde i rapporten er, at få en større indtjening i byggeriet. Der blev i rapporten set på, hvordan overskudsgraden for entreprenørerne i byggebranchen er meget lav. For at identificere, hvad der kan gøres ved dette, blev der set på prisudviklingen for arbejds løn sat op imod udgiften til byggematerialer, og det kunne påvises, at lønudgiften er den forholdsmæssigt mest stigende udgift, som kan reduceres kraftigt ved at bruge robotter.

Det sidste af fokusområderne var, at sikre en bedre kvalitet i byggeriet. Det er tanken, at man kan opnå en bedre kvalitet i byggeriet ved at programmere robotter til, at udføre arbejdet gentagne gange og meget præcist og ved at kontrollere, at de materialer, der bliver brugt i konstruktionerne er de rette, samt at konstruktionen er udført korrekt. Grunden til, at der er et behov for en bedre kvalitet, ligger meget tæt op ad både arbejdsmiljø og indtjening. Håndværkere har brug for hvile for at have et godt arbejdsmiljø, men dette sænker produktiviteten og derved indtjeningen. Derfor er der brug for et hjælpemiddel, der er i stand til at arbejde selvstændigt, så håndværkerens tid kan bruges mere effektivt. Igennem disse gennemgående emner, blev rapportens problemformuleringen belyst. Denne lød:

- Hvad er en byggerobot, og hvordan ville den se ud?
- Hvor langt er vi i udviklingen af byggerobotter?
- Er det muligt at bruge robotter på byggepladsen, og kan man ved at bruge byggerobotter som hjælpemiddel undgå skader på håndværkere, mens man samtidigt sørger for at entreprenøren tjener penge ved at bygge bygninger?

For at beskrive "Hvad er en byggerobot, og hvordan ville den se ud", blev der beskrevet forskellige typer robotter, for derved at danne en fælles forståelse og terminologi. Dette fungerede som fundamentet for gipsplademontierungsrobotten, også kaldet gipsrobotten, der blev beskrevet. Gipsrobotten er en tænkt robot, bestående af faktiske hjælpemidler og af robotdele, der tilsammen danner en byggerobot. Derved kunne det fysiske udseende beskrives, og det kunne defineres, hvad en byggerobot er.

Det andet problem i problemformuleringen " Hvor langt er vi i udviklingen af byggerobotter", bliver besvaret løbende igennem det meste af rapporten. I rapporten beskrives forskellen mellem en robot og en automation, samt hvilke former for AI, der har potentialet til at kunne bruges i en robot. Desuden beskrives nogle konkrete eksempler på byggerobotter i en historisk kontekst. Resultaterne af dette viste, at der er mange

succesfulde forsøg ved brug af robotter på byggepladserne. Især kan der fokuseres på gravemaskiner, som har opnået en større sikkerhed for håndværkeren samt en produktivitetsforøgelse på omkring 50 %. Det vil sige, at i udviklingen af byggerobotter har man udviklet prototyper, som fungerer bedre end mennesker og meget af den udvikling, der sker på området, er i form af algoritmer eller computerprogrammer til robotter, der kan give en kvalitets- eller produktivitetsforbedring.

Herved er det muligt at svare på det sidste spørgsmål i problemformuleringen, nemlig: "Er det muligt at bruge robotter på byggepladsen, og kan man ved at bruge byggerobotter som hjælpemiddel, undgå skader på håndværkere, mens man samtidigt sørger for, at entreprenøren tjener penge ved at bygge bygninger", idet en produktivitetsforøgelse på 50 % direkte oversat betyder flere penge til entreprenøren. Kombinerer man dette med det bedre arbejdsmiljø, som man også opnår ved at bruge byggerobotter, bliver anvendelse byggerobotter en klar gevinst for alle på byggepladsen.

## PERSPEKTIVERING

Jeg har i rapporten forsøgt at sætte konceptet byggerobot op imod erfaring med robotter fra andre brancher, for nemmere at sætte opgaven i relief til faktiske robotter, og for at skabe en validitet af opgaven.

I dag gør produktionsindustrier, som bil- og skibsindustrien, i stigende grad brug af robotteknologi. Generelt ser vi en større anvendelse af robotter i samfundet i trit med, at forskningen udvider rammerne for, hvad der er muligt.

Man kan sige, at det er en begyndende trend i tiden at bruge robotteknologi. Denne trend er dels et udtryk for, at det er blevet teknisk muligt at gøre dette, men er også et udtryk for, at der i den vestlige verden i disse år kommer færre og færre arbejdsdygtige, i forhold til det kraftigt voksende antal ældre borgere. Altså færre personer, som kan deltage aktivt i produktionen og i servicesektoren, og flere personer, som kræver dels økonomisk underhold, dels kan have et plejeb behov.

Det betragtes som meget relevant at bruge robotteknologi i sundhedsplejen, hvor vi blandt andet ser robotter på plejehjem, der er i stand til at underholde og forøge livskvaliteten for demente. Andre typer robotter, som eksempelvis robotstøvsugeren Roomba, kan gøre rent både på plejehjem og i private hjem. Man har sågar installeret robotteknologi i badeværelset, så det er muligt at blive soigneret i forbindelse med toiletbesøg, og at få et bad og en efterfølgende tørring, alene i kraft af installerede robotfunktioner, og altså helt uden deltagelse af for eksempel plejepersonale.

I takt med at antallet af erhvervsaktive i den vestlige verden falder, og med at folk lever længere, så der vil være et øget behov for gode og billige boliger, så er der et stort potentiale i, at tænke videre udnyttelse af robotteknologi i forbindelse med byggeri. Ud over robotter på byggepladsen, som varetager egentlige konstruktions- og eller vedligeholdelsesopgaver, så er det også oplagt, at tænke robotteknologi ind i byggeriet, i stil med ovenfor beskrevne "intelligente badeværelse".

Hvis man ser på robotteknologiforskning indenfor byggebranchen, er der også sket en udvikling. Selvom der endnu ikke er meget fokus på dette område i den brede byggebranche, så ser man i den nyere tid, at der har været forsket i automatiserede gravemaskiner, hvor resultaterne er meget overbevisende, både hvad angår produktivitet og sikkerhed.

Rapporten henvender sig bl.a. til entreprenøren, og man må desværre nok forvente en vis modstand mod indførelsen af byggerobotter lige netop i det led. Grunden til at det vurderes, at det kan opstå modstand her, skyldes det generelt lave teknologiske niveau, der er i byggebranchen. I rapporten blev det klarlagt, at der i byggebranchen kun er omkring 75 % af virksomhederne, som er forbundet til internettet. Så robotteknologi vil for mange derfor være et meget stort skridt.

Hvis man skulle ud og forsøge at sælge "robotter" til en entreprenør, må man forvente, at store entreprenører som NCC, i højere grad vil være villige til at eksperimentere med brugen af robotter på byggepladser, da de store entreprenører formodes at være længst fremme rent teknologisk, og derfor vil have kapaciteten til dette.

Rapporten beskriver et forsøg på at udforme en byggerobot. I rapporten har fokus været på en robot, der skal fungere som et hjælpemiddel til håndværkeren, og som også et

i stand til at udføre visse enkle arbejdsfunktioner alene, med det formål, at forbedre arbejdsmiljø, kvalitet og indtjening i byggebranchen, nærmere bestemt på byggepladsen. Denne tænkte prototype har naturligvis den begrænsning, at den kun er i stand til at opsætte gipsplader.

Vi har beskæftiget os med danske byggepladser, men da forhold som f.eks. arbejdsmiljølovgivning og tekniske godkendelseskrav til byggeri i Danmark er blandt de mest omfattende i Verden, så vil det være relativt uproblematisk at overføre rapportens tanker og løsningsmuligheder til omverdenen.



# ORDLISTE I ALFABETISK RÆKKEFØLGE

## A

- Agent - Ved agent forstås ikke en spion eller en agent provocateur, men et begreb inden for AI, der betegner en enhed i stil med en robot eller et computerspil.
- AI / Artificial Intelligence / kunstig intelligens - en den gren inden for datalogien, der beskæftiger sig med at få maskiner til at "tænke".
- Artificial Neural Networks - en matematisk metode, der fungerer som et datamodeleringsværktøj.
- Aktuator - styringsenhed der modtager et relativt svagt kommandosignal, fx fra et joystick eller en sensor, og omsætter dette til en kraftig mekanisk handling i et automatiseret eller fjernbetjent system.
- AR / Argumented Reality - en betegnelse for, hvordan man direkte eller indirekte kan se det fysiske miljø, kombineret med virtuelle computergenererede input, såsom lyd eller grafik.

## B

- Butterfly Effect - kaosteor; når en sommerfugl blafrer med vingerne på den ene side af jorden, sættes en kædereaktion i gang, der ender med en storm på den anden side af jorden.

## C

- CAD / Computer Aided Design - Computer tegneprogram.
- Cluster Intelligence - klynge eller sværm intelligens.
- Cognitive Approach - en metode til at opnå kunstig intelligens.
- Computational Approach - en metode til at opnå kunstig intelligens.

## D

- DOF / Degrees of Freedom - mulige bevægelser for, for eksempel, en robotarm.
- Dynamical Systems Approach - en metode til at opnå kunstig intelligens.

## E

- Exoskeletter - en betegnelsen for et mekanisk, stivgørende strukturelement, som sidder udenpå en organisme i stedet for indeni.

## G

- GPS / Global Positioning System - et globalt system til lokaliseringen af en position.

## H

- Haptic Control - feedback-teknologi, der udnytter en brugers følesans ved at udsende vibrationer.

## I

- IFC / Industry Foundation Classes - filformat til CAD-systemet.
- IPS / Indoor Positioning System - et lokalt system til lokaliseringen af en indendørs position.
- I/O port / input/output port - funktion til at forbinde et internt kredsløb til for eksempel en sensor.

## J

- JIT / Just in Time - en lagerstrategi, der forsøger at forøge en forretnings ROI (return on investment) ved at reducere de interne lagre samt omkostninger, der er forbundet til disse.

## K

- Klynge robot - en tilgang til robotteknologi, hvor man benytter mange fysisk simple robotter.
- Kunstig intelligens - en den gren inden for datalogien, der beskæftiger sig med at få maskiner til at "tænke".

## L

- Layered Reality - en betegnelse for, hvordan man direkte eller indirekte kan se det fysiske miljø kombineret med virtuelle computergenererede input, såsom lyd eller grafik
- LEAN - en forretningsfilosofi, der har til formål til at forenkle og effektivisere en produktionsproces.

## M

- M.I.T. - Massachusetts Institute of Technology.

## P

- PSO - Particle Swarm Optimizer.

## Q

- Quantum Approach - en metode til at opnå kunstig intelligens.

## R

- Relæ - et elektrisk komponent, der fungerer som en elektrisk styret kontakt eller omskifter.
- RFID / Radio-Frequency Identification - teknologi der benytter elektromagnetiske bølger til at udvæksle data mellem en terminal og et elektronisk RFID-tag, der er tilknyttet et objekt.
- RFID radar - en radar, der kan opfatte RFID tags og lokalisere dem i et 3D miljø.

## S

- SOMO - Self Organizing Map-based Optimization - en metode indenfor AI.
- Smartphone - en mobiltelefon med funktionalitet fra en personlig computer.
- S.W.O.R.D.S. - The Special Weapons Observation Reconnaissance Detection System.
- Sværmrobot - en tilgang til robotteknologi, hvor man benytter mange fysisk simple robotter.

## U

- UAV / Unmanned Aerial Vehicles - en ubemandet flyvemaskine.

## V / W

- WLAN / Wireless Local Area Network - trådløst netværk.
- WI-FI / Wireless Fidelity - et sæt standarder for trådløst datanet.

## KILDEFORTEGNELSE

Følgende er en beskrivelse af de bøger som har været med til at virke som inspiration til tilblivelsen af rapporten. Kilderne er beskrevet som følgende:

Vedrørende bøger og magasiner (i alfabetisk rækkefølge):

Forfatter efternavn, forfatter fornavn (publikations år) titel på publikation, forlag. ISBN nummer

Vedrørende afhandlinger:

Forfatter efternavn, forfatter fornavn (publikations år) titel på publikation, universitet

### BØGER:

Albus, James (1981), Brains behavior and robotics, BYTE Publications Inc. ISBN 0-07-000975-9

Anlægsforeningen i Danmark (2005) Anlægsteknik 2 - styring af byggeprocessen  
Polyteknisk forlag. ISBN 987-87-502-0966-9

Barnes, Nick; Lui, Zhi-Quang (2002) Knowledge-Based Vision-Guided Robots Physica-Verlag. ISBN 3-7908-1494-6

Bekey, George A. (2005) Autonomous robots, Asco typesettes. ISBN 0-262-02578-7

Bishop, C.M. (1995) Neural Networks for Pattern Recognition, Oxford: Oxford University Press. ISBN 0-19-853849-9

Brox, Piedad; Baturone, Iluminada & Sánchez-Solano, Santiago (2010) STUDIES IN FUZZINESS AND SOFT COMPUTING, springer verlag. ISBN 978-3-642-10694-1

Copeland, Jack (2003), Moor, James, ed., "The Turing Test", The Turing Test: The Elusive Standard of Artificial Intelligence, Springer. ISBN 1-40-201205-5

Duro, Richard J.; Santos, José; Graña, Manuel (2003) Biological inspired robot behavior engineering, Physica-Verlag. ISBN 3-7908-1513-6

Florczyk, Stefan (2005) Robot Vision, Wiley-VCH. ISBN 3-527-40544-5

Gurney, K. (1997) An Introduction to Neural Networks, London: Routledge. ISBN 1-85728-673-1

Heikonen, Pentti O. (2007) Robot brains: circuits and systems for conscious machines, John Wiley & Sons Ltd. ISBN 978-0-470-06204-3

Katok, Anatole & Hasselblatt, Boris (1996), Introduction to the modern theory of dynamical systems, Cambridge University Press. ISBN 0-521-57557-5

Kupperberg, Paul (2007) Careers in robotics, ReadHowYouWant publishing ISBN 978-1435841833

Nelson, Bradley J. & Dong, Lixin (2010) Handbook of Nanotechnology, Springer-Verlag. ISBN 978-3-642-02524-2

Patnaik, Srikanta (2007) Robot Cognition and Navigation, Springer-verlag. ISBN 978-3-540-23446-3

Philip L. Taylor & Olle Heinonen (2002), A quantum approach to condensed, Cambridge University Press. ISBN 0-521-77103-X

Rieth, Michael (2002) Nano-Engineering in science and technology, World Scientific Press Co. Pte. Ltd. ISBN 981-238-073-6

Siciliano, Bruno & Khatib, Oussama (2008) Handbook of Robotics, Springer-verlag. ISBN 978-3-540-23957-4

Smid, Peter (2003) CNC programming handbook: A comprehensive guide to practical CNC programming, Industrial press Inc. ISBN 0-8311-3158-6

Steels, Luc & Brooks, Rodney, ed. (1995), The Artificial Life Route to Artificial Intelligence: Building Embodied, Situated Agents, Lawrence Erlbaum Associates. ISBN 0-8058-1519-8

Thurén, Torsten (2009) Videnskabsteori for begyndere, Rosinante & Co. ISBN 978-87-638-0878-8

Trianni, Vito (2008) Evolutionary Swarm robotics, Springer-verlag. ISBN 978-3-540-77611-6

### OPSAMLINGSBØGER:

#### HANDBOOK IN ROBOTICS

Siciliano, Bruno & Khatib, Oussama (2008) Handbook in Robotics, Springer-verlag. ISBN 978-3-540-12957-4:

Meyer, Jean-Arcady & Guillot, Agnès (2008) Biologically Inspired Robots

Floreano, Dario; Husbands, Phil & Nolfi, Stefano (2008) Evolutionary Robotics

Saidi, Kamel S.; O'Brien, Jonathan B. & Lytle, Alan M. (2008) Robotics in Construction

Mataric, Maja J. & Michaud, Francois (2008) Behavior-Based Systems

Butler, Zack & Rizzi, Alfred (2008) Distributed and Cellular Robots

Minguez, Javier; Lamiroux, Florent & Laumond, Jean-Paul (2008) Motion Planning and Obstacle Avoidance

Hertzberg, Joachim & Chatila, Raja (2008) AI Reasoning Methods for Robotics

Scheinman, Victor & McCarthy, J. Michael (2008) Mechanisms and Actuation

Christensen, Henrik I. & Hager, Gregory D. (2008) Sensing and Estimation

#### AUTOMATION IN CONSTRUCTION

##### 2010

Björk, Bo-Christer & Laakso, Mikael (2010) CAD standardisation in the construction industry — A process view Automation in Construction, Volume 19, Issue 4, Juli, Pages 398-406

Chae, Sounggho & Yoshida, Tomohiro (2010) Application of RFID technology to prevention of collision accident with heavy equipment Automation in Construction, Volume 19, Issue 3, Maj, Pages 368-374

Chung, Jaeheon; Lee, Sang Heon; Yi, Byung-Ju; Kim & Whee, Kuk. (2010) Implementation

of a foldable 3-DOF master device to a glass window panel fitting task Automation in Construction, Volume 19, Issue 7, November, Pages 855-86

Duan, Q. & Warren, Liao T. (2010) Improved ant colony optimization algorithms for determining project critical paths Automation in Construction, Volume 19, Issue 6, Oktober, Pages 676-693

Hola, Bozena & Schabowicz, Krzysztof (2010) Estimation of earthworks execution time cost by means of artificial neural networks Automation in Construction, Volume 19, Issue 5, August, Pages 570-579

Kim, Kyoungmin & Kim, Kyong Ju (2010) Multi-agent-based simulation system for construction operations with congested flows Automation in Construction, Volume 19, Issue 7, November, Pages 867-874

Ko, Chien-Ho (2010) RFID 3D location sensing algorithms Automation in Construction, Volume 19, Issue 5, August, Pages 588-595

Moon, Sungwoo; Yang, Byongsoo; Kim, Jeonghwan & Seo, Jongwon (2010) Effectiveness of remote control for a concrete surface grinding machine Automation in Construction, Volume 19, Issue 6, Oktober, Pages 734-741

Oral, Emel Laptali & Oral, Mustafa (2010) Predicting construction crew productivity by using Self Organizing Maps Automation in Construction, Volume 19, Issue 6, Oktober, Pages 791-797

Sacks, Rafael; Radosavljevic, Milan & Barak, Ronen Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction Automation in Construction Volume 19, Issue 5, August 2010 Pages 641-655

Sluzek, Andrzej (2010) Novel machine vision methods for outdoor and built environments Automation in Construction, Volume 19, Issue 3, Maj, Pages 291-301

Son, Hyojoo; Kim, Changwan & Choi, Kwangnam (2010) Rapid 3D object detection and modeling using range data from 3D range imaging camera for heavy equipment operation Automation in Construction, Volume 19, Issue 7, November, Pages 898-906

Teizer, Jochen; Allread, Ben S.; Fullerton, Clare E. & Hinze, Jimmie (2010) Autonomous pro-active real-time construction worker and equipment operator proximity safety alert system Automation in Construction, Volume 19, Issue 5, August, Pages 630-640

Wu, Weiwei; Yang, Huanjia; Chew, David A.S.; Yang, Shuang-hua; Gibb, Alistair G.F. & Li, Qiming (2010) Towards an autonomous real-time tracking system of near-miss accidents on construction sites Automation in Construction Volume 19, Issue 2, Marts, Pages 134-141

Zavadskas, Edmundas Kazimieras (2010) Automation and robotics in construction: International research and achievements Automation in Construction, Volume 19, Issue 3, Maj, Pages 286-290

## 2009

Chen, Jieh-Haur; Yang, Li-Ten & Su, Mu-Chun (2009) Comparison of SOM-based optimization and particle swarm optimization for minimizing the construction time of a

secant pile wall Automation in Construction Volume 18, Issue 6, October, Pages 844-848

Eastman, C.; Lee, Jae-min; Jeong, Yeon-suk & Lee, Jin-kook (2009) Automatic rule-based checking of building designs Automation in Construction Volume 18, Issue 8, December, Pages 1011-1033

Grau, David; Caldas, Carlos H.; Haas, Carl T.; Goodrum, Paul M. & JieGong (2009) Assessing the impact of materials tracking technologies on construction craft productivity, Automation in Construction Volume 18, Issue 7, November, Pages 903-911

Kim, Changyoon; Kim, Hyoungkwan; Han, Seung H.; Kim, Changwan; Kim, Moon Kyum & Park, Sang H. (2009) Developing a technology roadmap for construction R&D through interdisciplinary research efforts Automation in Construction, Volume 18, issue 3, maj, Pages 330-337

Kim, Dongmok; Kim, Jongwon; Lee, Kyouhee; Park, Cheolgyu; Song, Jinsuk & Kang, Deuksoo. (2009) Excavator tele-operation system using a human arm Automation in Construction, Volume 18, issue 2, march, Pages 173-182

Ko, Chien-Ho (2009) RFID-based building maintenance system Automation in Construction, Volume 18, issue 3, maj, Pages 275-284

Lee, Ung-Kyun; Kim, Joo-Heon; Cho, Hunhee & Kang, Kyung-In (2009) Development of a mobile safety monitoring system for construction sites Automation in Construction, Volume 18, issue 3, maj, Pages 258-264.

Long, Luong Duc & Ohsato, Ario (2009) A genetic algorithm-based method for scheduling repetitive construction projects Automation in Construction, Volume 18, Issue 4, July, Pages 499-511.

Shina, Do Hyoung & Dunston, Phillip S. (2009) Evaluation of Augmented Reality in steel column inspection Automation in Construction, Volume 18, issue 2, march, Pages 118-129

Shina, Do Hyoung & Jangb, Won-Suk. (2009) Utilization of ubiquitous computing for construction AR technology. Automation in Construction Volume 18, Issue 8, December, Pages 1063-1069

Yurchyshyna, Anastasiya & Zarli, Alain. (2009) An ontology-based approach for formalisation and semantic organisation of conformance requirements in construction Automation in Construction Volume 18, Issue 8, December, Pages 1084-1098

Zhang, Xiaonan; Bakis, Nick; Lukins, Timothy C.; Ibrahim, Yahaya M.; Wu, Song; Kagioglou, Mike; Aouad, Ghassan; Kaka, Ammar P. & Trucco, Emanuele (2009) Automating progress measurement of construction projects Automation in Construction, Volume 18, issue 3, maj, Pages 294-301

## 2008

Baldwin, A.N.; Shen, L.Y.; Poon, C.S.; Austin, S.A. & Wong, I. (2008) Modelling design information to evaluate pre-fabricated and pre-cast design solutions for reducing construction waste in high rise residential buildings Automation in Construction, Volume 17, issue 3, march, Pages 333-341

Behzadan, Amir H.; Aziz, Zeeshan; Anumba, Chimay J.; & Kamat, Vineet R. (2008)

Ubiquitous location tracking for context-specific information delivery on construction sites Automation in Construction, Volume 17, Issue 6, August, Pages 737-748

El-Omari, Samir & Moselhi, Osama. (2008) Integrating 3D laser scanning and photogrammetry for progress measurement of construction work Automation in Construction, Volume 18, issue 1, December, Pages 1-9

Leung, Sze-wing; Mak, Stephen & Lee, Bill L.P. (2008) Using a real-time integrated communication system to monitor the progress and quality of construction works Automation in Construction, Volume 17, issue 6, August, Pages 749-757

Lu, Ming; Lam, Hoi-Ching & Dai, Fei (2008) Resource-constrained critical path analysis based on discrete event simulation and particle swarm optimization Automation in Construction, Volume 17, issue 6, August, Pages 670-681

Luu, Chris Duc Thanh & Ng, Shiu-tong Thomas (2008) Modeling subcontractor registration decisions through case-based reasoning approach Automation in Construction, Volume 17, issue 7, November, Pages 873-881

Malaguti, Fiorenzo (2008) Automation and robotic in construction: A new challenge for old and new industrialized countries Automation in Construction, Volume 17, issue 2, Januar, Pages 109-110

Molfini, Rezia M.; Razzoli, Roberto P. & Zoppi, Matteo (2008) Autonomous drilling robot for landslide monitoring and consolidation Automation in Construction, Volume 17, issue 2, Januar, Pages 111-121

Sasaki, Takahiro & Kawashima, Kenji. (2008) Remote control of backhoe at construction site with a pneumatic robot system Automation in Construction, Volume 17, issue 8, November, Pages 907-914

Shin, Do Hyoung & Dunston, Phillip S. (2008) Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability Automation in Construction, Volume 17, issue 7, November, Pages 882-894

Udejaja, Chika E.; Kamara, John M.; Carrillo, Patricia M.; Anumba, Chimay J.; Bouchlaghem, Nasreddine (Dino) & Tan, Hai Chen (2008) A web-based prototype for live capture and reuse of construction project knowledge Automation in Construction, Volume 17, issue 7, November, Pages 839-851

Woo, Sangkyun; Hong, Daehie; Lee, Woo-Chang; Chung, Jae-Hun & Kim, Tae-Hyung (2008) A robotic system for road lane painting Automation in Construction, Volume 17, issue 2, Januar, Pages 122-129

## 2007

Bernold, Leonhard E. (2007) Control schemes for tele-robotic pipe installation Automation in Construction, Volume 167, issue 4, juli, Pages 518-524

Bosscher, Paul; Williams II, Robert L.; Bryson, L. Sebastian & Castro-Lacouture, Daniel (2007) Cable-suspended robotic contour crafting system Automation in Construction, Volume 17, issue 1, november, Pages 45-55

Boukamp, Frank & Akinci, Burcu (2007) Automated processing of construction

specifications to support inspection and quality control Automation in Construction, Volume 17, issue 1, november, Pages 90-106

Kamat, Vineet R. & Lipman, Robert R. (2007) Evaluation of standard product models for supporting automated erection of structural steelwork Automation in Construction, Volume 167, issue 2, marts, Pages 232-241

Seo, J.W.; Haas, Carl & Saidi, Kamel (2007) Graphical modeling and simulation for design and control of a tele-operated clinker clearing robot Automation in Construction, Volume 167, issue 2, Januar, Pages 96-106

Yu, Seung-Nam; Jang, Jae-Ho & Han, Chang-Soo (2007) Auto inspection system using a mobile robot for detecting concrete cracks in a tunnel Automation in Construction, Volume 167, issue 4, juli, Pages 255-261

## 2006

Akinci, Burcu; Boukamp, Frank; Gordon, Chris; Huber, Daniel; Lyons, Catherine & Park, Kuhn (2006) A formalism for utilization of sensor systems and integrated project models for active construction quality control Automation in Construction, Volume 15 issue 2 marts, Pages 124-138

Alves, Nuno M. & Bártolo, Paulo J. (2006) Integrated computational tools for virtual and physical automatic construction Automation in Construction, Volume 15 issue 3, maj, Pages 257-271

Hirabayashi, Taketsugu; Akizono, Junichi; Yamamoto, Takashi; Sakai, Hiroshi & Yano, Hiroaki (2006) Teleoperation of construction machines with haptic information for underwater applications Automation in Construction, Volume 15, issue 5, september, Pages 563-570

Lee, Jeong-Ho; Yoo, Hyun-Seok; Kim, Young-Suk; Lee, Jun-Bok & Cho, Moon-Young (2006) The development of a machine vision-assisted, teleoperated pavement crack sealer Automation in Construction, Volume 15, issue 5, September, Pages 616-626

Lee, Sangwook; Chang, Luh-Maan & Skibniewski, Miroslaw (2006) Automated recognition of surface defects using digital color image processing Automation in Construction, Volume 15 issue 4, juli, Pages 540-549

## 2004 OG TILBAGE

Gambao, E.; Balaguer, C. & Gebhart, F. (2000) Robot assembly for Computer-integrated construction automation in construction volume 9, issue 5-6, September, pages 479-487

Leyh, Werner (1995) Experiences with the construction of a building assembly robot Automation in Construction volume 4, issue 1, March, Pages 45-60

Pritschow, G.; Dalacker, M.; Kurz, J. & Gaenssle, M. (1996) Technological aspects in the development of a mobile bricklaying robot Automation in Construction volume 5, issue 1, March, Pages 3-13

Yang, Q. Z. & Xu, Xingjian (2004) Design knowledge modeling and software implementation for building code compliance checking Building and Environment, Volume 39, Issue 6, June, Pages 689-698

## MAGASINER:

(December 1973) A: Sensory, Neural, and Behavioral Physiology, Journal of Comparative Physiology, Vol. 82 Issue: Number 4 s.379-406, 28p  
Insectes Sociaux; 05/01/1998, Vol. 45 Issue: 2 s.151-167, 17p

## AFHANDLINGER:

Howe, A. Scott (2007) Modular robots for self-constructing building systems, University of Hong Kong. <http://hdl.handle.net/10722/51687>

## INTERNETSIDER:

<http://da.wikipedia.org/wiki/RFID>  
[http://ethics.calpoly.edu/ONR\\_report.pdf](http://ethics.calpoly.edu/ONR_report.pdf)  
<http://ing.dk/artikel/99931-fremtidens-foererloese-robotter-opererer-i-svaerme> <http://www.homoartefakt.dk/>  
<http://ing.dk/artikel/88228-her-kommer-robotdragterne>  
<http://www.bmc-danmark.underudvikling.dk/images/31e854d9c06ac511559752cd55aa41a2GipsDK.pdf>  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Three\\_Laws\\_of\\_Robotics](http://en.wikipedia.org/wiki/Three_Laws_of_Robotics)  
<http://www.wired.com/gadgetlab/2009/07/robo-ethics/>  
<http://www.sfwriter.com/rmasilaw.htm>  
<http://ing.dk/artikel/101371-grundlov-for-robotter-giver-mennesket-ansvaret>  
<http://www.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109/MIS.2009.69>  
<http://www.youtube.com/watch?v=Zj6NTrUFSAQ&feature=related>  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Foster-Miller\\_TALON](http://en.wikipedia.org/wiki/Foster-Miller_TALON)  
<http://blog.taragana.com/index.php/archive/new-laws-for-responsible-robotics-may-soon-replace-asimovs-robo-guidelines/>  
<http://www.homoartefakt.dk/>  
<http://ing.dk/artikel/96411-krigsrobotter-gaar-amok-paa-mennesker>  
<http://ing.dk/artikel/96818-robotter-kan-goere-krige-mere-humane>  
<http://www.computerworld.dk/art/40910/vi-skal-alle-diskutere-robotter>  
[http://ethics.calpoly.edu/ONR\\_report.pdf](http://ethics.calpoly.edu/ONR_report.pdf)  
<http://politiken.dk/udland/1017257/draeberrobot-skal-bevogte-syd-korea/>  
<http://da.wikipedia.org/wiki/Myre>  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Pheromones>  
<http://animals.howstuffworks.com/insects/ant-info1.htm>  
<http://biology.arizona.edu/sciconn/lessons2/shindelman/background.html>  
<http://ing.dk/artikel/99931-fremtidens-foererloese-robotter-opererer-i-svaerme>  
[http://ieeesmc2005.unm.edu/smc\\_keynote\\_bekey.pdf](http://ieeesmc2005.unm.edu/smc_keynote_bekey.pdf)  
[http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2009/\\_STORY/091001-01-e.html](http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2009/_STORY/091001-01-e.html)  
<http://sciencelay.com/biology/marine-biology/why-do-fish-swim-in-schools/>  
<http://animals.howstuffworks.com/insects/bee1.htm>  
<http://www.vestrehus.dk/BOG1.pdf>  
<http://www.vestrehus.dk/Dyresider/myrer.htm>  
[http://www.swarm-robotics.org/index.php/Main\\_Page](http://www.swarm-robotics.org/index.php/Main_Page)  
<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=indoor-positioning-system>  
<http://thenextweb.com/2009/06/23/augmented-reality-beginning-tourism/>  
<http://www.berlingske.dk/nyheder/robotterne-kommer-her-er-de-danske-regler>  
<http://www.homoartefakt.dk/>  
<http://www.iaarc.org/>  
[http://www.iaarc.org/external/isarc2006-cd/www/ISARC2006/4Oct\\_Mr\\_Hasegawa\\_Special\\_Lecture.pdf](http://www.iaarc.org/external/isarc2006-cd/www/ISARC2006/4Oct_Mr_Hasegawa_Special_Lecture.pdf)  
<http://intechweb.org/downloadpdf.php?id=5555&PHPSESSID=72gf4sepfasa4sa1j34hkqncj2>

<http://da.wikipedia.org/wiki/Robot>  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Robot>  
<http://machinevision.dk/joomla/index.php?lang=en>  
[http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Rakennettu\\_ymparisto/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta\\_ja\\_aktivointi/Julkaisut/Automation\\_in\\_building\\_construction\\_State\\_of\\_Art\\_in\\_Japan.pdf](http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Rakennettu_ymparisto/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Julkaisut/Automation_in_building_construction_State_of_Art_in_Japan.pdf)  
<http://intechweb.org/downloadpdf.php?id=5556&PHPSESSID=c788ikq3r30u6fhncm3ou68b32>  
[http://books.google.dk/books?id=cpe8lK1O4WQC&pg=PA12&lpg=PA12&dq=building+construction+automation&source=bl&ots=ZqBgQyvtb8&sig=N1zNdwlHv5poextO4aHHT76-VA&hl=da&ei=uov2SvTML4GL-QaGxcX6DQ&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=10&ved=0CEgQ6AEwCQ#v=onepage&q=building%20construction%20automation&f=false](http://books.google.dk/books?id=cpe8lK1O4WQC&pg=PA12&lpg=PA12&dq=building+construction+automation&source=bl&ots=ZqBgQyvtb8&sig=N1zNdwlHv5poextO4aHHT76-VA&hl=da&ei=uov2SvTML4GL-QaGxcX6DQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=10&ved=0CEgQ6AEwCQ#v=onepage&q=building%20construction%20automation&f=false)  
<http://www.robocluster.dk/>  
[http://ethics.calpoly.edu/ONR\\_report.pdf](http://ethics.calpoly.edu/ONR_report.pdf)  
[http://library.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/8305539498e287a4c125746000389489/\\$File/Guide%20to%20the%2010%20good%20reasons%20to%20invest%20in%20robots.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/8305539498e287a4c125746000389489/$File/Guide%20to%20the%2010%20good%20reasons%20to%20invest%20in%20robots.pdf)  
<http://www.getrobo.com/getrobo/2009/11/toyotas-humanoid-to-explore-moon-by-2020.html>  
<http://www.abb.com/robotics>  
<http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>  
<https://esc-web.lib.cbs.dk/auth2.php?url=http://search.ebscohost.com/login.asp?&profile=web&defaultdb=afh&defaultdb=bth&defaultdb=eoah&defaultdb=sih-heni05af/53SEQRA8>  
<http://www.springerlink.com/esc-web.lib.cbs.dk/content/uexjuhlca5xvkg3a/fulltext.pdf>  
<http://www.springerlink.com/esc-web.lib.cbs.dk/content/uexjuhlca5xvkg3a/>  
<http://www.psykologibasen.dk/B.shtml#Behaviorisme>  
[http://www.swarm-robotics.org/index.php/Main\\_Page](http://www.swarm-robotics.org/index.php/Main_Page)  
[http://www.youtube.com/watch?v=X8fotfUEUCE&feature=player\\_embedded](http://www.youtube.com/watch?v=X8fotfUEUCE&feature=player_embedded)  
[http://www.youtube.com/watch?v=-ZLG9X1Hxao&feature=player\\_embedded](http://www.youtube.com/watch?v=-ZLG9X1Hxao&feature=player_embedded)  
<http://www.mechanicaldesignforum.com/forum/viewtopic.php?f=39&t=152>  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Turing\\_test](http://en.wikipedia.org/wiki/Turing_test)  
<http://www.inano.au.dk/viden-om/nanovidensbank/blog/tag/nanorobotter/>  
<http://www.sciencesite.dtu.dk/nano/Historier/Atomfabrikken/atomfabrikken.htm>  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Nanorobotics>  
<http://v4metal.industri-supply.dk/article/view.html?id=52074>  
<http://www.fanucrobotics.com/Products/Robots/IndustryApplications.aspx>  
<http://www.abb.dk/product/us/9AAC910011.aspx?country=DK>  
<http://www.migatronik.dk/default.aspx?m=2&i=75>, (<http://www.muehlhan.dk/www/Pub921.asp>)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Macro\\_\(computer\\_science\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Macro_(computer_science))  
<http://webbot.org.uk/iPoint/37.page>  
[http://www.societyofrobots.com/microcontroller\\_tutorial.shtml](http://www.societyofrobots.com/microcontroller_tutorial.shtml)  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller>  
<http://www.muehlhan.dk/www/Pub921.asp>  
<http://ing.dk/artikel/53826-malerobotten-programmerer-sig-selv?highlight=robotter>  
<http://da.wikipedia.org/wiki/Taylorisme>  
<http://www.vicosoftware.com>  
<http://www.cancer.dk/Hjaelp+viden/kraefftformer/kraefftsygdomme/lunge/aarsager+lunge/>  
<http://www.danskmatal.dk/~media/DME/Files/pdf/Pjecer/Miljoe%20og%20sikkerhedsarbejde/Svejsning2010.pdf>  
<http://www.danskbyggeri.dk/files/Filbibliotek/Analyser%20og%20Statistik/Regnskabsanalyse/yse%20-%202008.pdf>