den Smarte fabrik: Udforskning af tilpasningsdygtige og fleksible produktionsløsninger

Af[1]: Agnieszka Radziwon[1], Arne Bilberg[1], Marcel Bogers[1]

[1]Mads Clausen Instituttet., Syddansk Universitet, Alsion 2, 6400 Sønderborg

Resumé

Vi lever i dag i en verden, som vi for blot ti år siden kun ville læse om i science fiction bøger. Flere og flere ting bliver smarte, og både forskere og ingeniører bestræber sig på at udvikle endnu mere end blot nye og innovative apparater; sågar vores boliger, fabrikker og byer bliver smarte. På trods af den konstante udvikling er mange koncepter endnu blot fremtidsvisioner, som kræver hårdt arbejde for at blive til virkelighed.

Denne artikel gennemgår brugen af tillægsordet smart i forbindelse med teknologien og har vægt på nyere studiers anvendelse af begrebet den smarte fabrik. På grund af manglende enighed om en fælles opfattelse af begrebet, foreslås en samlet definition. Begrebsdannelsen vil ud over at referere til litteraturens forskellige visioner for den smarte fabrik også kæde de vigtige egenskaber ved dette nye produktionsbegreb sammen med almindelig produktionspraksis og supply chain udviklingen. Efterfølgende vil forfatterne gennemgå udfordringerne ved anvendelsesmulighederne af den smarte fabrik i små og mellemstore virksomheder SMVer samt komme med forskernes bud på, hvordan de ser den smarte fabrik udviklet i fremtiden.

Dette kapitel vil fokusere på de tekniske såvel som de organisatoriske aspekter af produktion og fremtidens forsyningskæder. Kapitlet diskuterer organiseringsprincipper for kædesamarbejdet i forhold til sømløs kommunikation, samarbejde og fleksibel omstilling, i et netværk af distribuerede aktører.

Keywords: *Smart Factory; U-Factory; Real-Time Factory; Manufacturing of the Future; SMEs; adaptive; flexible; automation*

1. Inledning

Vi mennesker er nu til dags omgivet a mange ting, som vi kalder smarte. Næsten alle har f.eks. en smart phone, nogen har en smart bolig (Jiang et al., 2004), som er knyttet til et smart elforsyningssystem (Al-Ali et al., 2011). Regeringen i Sydkorea har sågar i samarbejde med den lokale industri annonceret et bygningsprojekt om den smarte by (Shin, 2009). For at kunne skabe den slags store smarte systemer, er der anvendt smarte apparater (Wahlster, 2013). Betegnelsen smart synes at blive misbrugt i forskellige sammenhænge, fordi betydningen i forbindelse med ting endnu ikke er klart defineret.

Smart bruges i visse sammenhænge om et selvstændigt apparat, der som regel består af en sensor, og/eller en aktuator, en mikrocontroller og en sender/modtager (Raji, 1994). Imidlertid bruges tillægsordet smart også ofte til at beskrive en genstand, som er forbedret ved indbygning af ekstra funktionaliteter, som muliggør sømløs kommunikation på flere platforme og øger genstandens beregningsegenskaber. Et sådan apparats intelligens kan synliggøres ved et netværkssamarbejde med andre smarte komponenter, der har evnen til at kontrollere komponenternes og systemets status og beslutte, om der skal ageres i forhold til dette (Raji 1994). Ikke overraskende betegnes sådan et netværk smart (Raji, 1994). Man kan også finde en henvisning til smarte ting som genstande, der kan lagre og forbinde beslægtet data samt give mennesker og maskiner adgang til dem (Wahlster, 2013). Der findes også smarte produkter, der er udstyret med hukommelse som en slags produkt-dagbog/-logbog (Wahlster, 2013).

Når det drejer sig om boliger, bruges smart ofte som synonym for overdrevent automatiseret (Ricquebourg et al., 2006;Raji, 1994). Det henviser også til boliger med systemer til overvågning og regulering af husholdningsapparater (Al-Ali et al., 2011). Det er vigtigt, at overvågningsfunktionen ikke begrænser sig til at tænde og slukke for apparater; apparater i en smart bolig skal kunne fungere halvautomatisk i forhold til foruddefinerede mønstre og

brugerkrav (Ricquebourg et al., 2006).

Den overdrevne brug af tillægsordet smart ses ofte. Eksempelvis skriver nogle forskere om smarte ”radio-frequency

---

1 Dette paper er en oversættelse af et paper med titlen: “The Smart Factory: Exploring adaptive and flexible manufacturing solutions” præsenteret ved den 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013. Paperet er tilgængelig på Procedia Engineering Volume 69, 2014

identification" tags (RFID) (Hameed et al., 2011). Selv om RFID tags lever op til flere af de ovennævnte definitioner for smarte apparater, er disse medfødte egenskaber for hver RFID tag, så hvis man tilføjer etiketten smart til RFID tags, bliver der tale om misbrug (eftersom der ikke er tale om videreudvikling af et basisprodukt.)

Det ses også, at forskere er begyndt at bruge betegnelsen smarte fabrikker om deres visioner for fremtidens produktion. Der findes dog ingen konsensus om en klar definition af smart i forbindelse med produktionsfaciliteter. Denne artikel vil derfor gennemgå en betydelig del af litteraturen og sammenfatte opfattelserne af den smarte fabrik med henblik på at præcisere betegnelsen og udvikle en fælles definition til gavn for fremtidens forskning på området.

2. Den smarte fabrik – et begrebs forskellige visioner

Betegnelsen den smarte fabrik anvendes af både industrielle og akademiske fagfolk, dog uden en konsekvent definition. Flere andre udtryk bruges i flæng om det same begreb: Den distribuerede fabrik ("U-factory") (Yoon et al., 2012), factory- of-things (Lucke et al., 2008), realtidsfabrikken (Zuehlke, 2010), eller fremtidens smarte fabrik (Hameed et al., 2011). Forskere omtaler den smarte fabrik som en teknologi (Madu et al., 1994), en fremgangsmåde (Zuehlke, 2010; Lucke et al., 2008), eller en model (Yoon et al., 2012).

2.1 Den begrebsmæssige ramme for den distribuerede fabrik

Yoon et al. (2012) har udviklet en begrebsmæssig ramme, som er baseret på produktdesign, produktion og genanvendelse ved hjælp af en såkaldt distribueret computerteknologi. Ifølge dem er de konventionelle produktionsmodeller som f.eks. fleksible, Lean, "holonic" og adrætte produktionssystemer ikke særligt lovende, når det gælder løsning af nutidens hyppige produktionsproblemer, som for eksempel unøjagtigheder i efterspørgselsprognoser eller besvær med individualiseret produktionskontrol. Forfatterne anerkender potentialet og mulighederne i Weisers ideer (1991), som lancerede begrebet med en distribueret computerteknologi i produktionen. De vigtigste kendetegn ved den distribuerede fabrik (som de ser som synonym for den smarte fabrik) er følgende: Information gennemsigtighed, selvstændig regulering samt bæredygtig produktion. De vigtigste redskaber til implementering af denne vision siges at være: Kompatibilitet med bl.a. RFID, distribuerede sensor netværk eller RTLS (Real Time Location System) teknologi (Yoon et al., 2012).

I følge Yoon et al.'s (2012) vision skulle den distribuerede fabrik være "en innovativ fabrik, der ser distribueret computerteknologi som drivkraft på produktionsgulvet i kombination med eksisterende elementer" (Yoon et al., 2012). De definerer således den distribuerede fabrik som "et fabrikssystem, hvor selvstændig og bæredygtig produktion finder sted ved at samle, udveksle og anvende informationer på en gennemskuelig måde, hvor som helst og når som helst, ved hjælp af netværksbaseret interaktion mellem mennesker, maskiner, materialer og systemer, baseret på distribueret teknologi og produktionsteknologi" (Yoon et al., 2012). Ikke desto mindre er idéen med den distribuerede fabrik endnu ikke realiseret. Desuden er det for at komme videre stadig nødvendigt at udvikle "software- og hardwareteknologi samt produktions-, informations- og distributionsteknologi og endeligt at kunne forbinde dem" (Yoon et al, 2012); noget som de planlægger at forske videre i. Det er så her vi stadig må vente på teknologien, der om 5-10 år formentligt giver os nye muligheder for at realisere visionen om den smarte fabrik.

2.2 Den smarte fabrik indlejret i et trådløst kommunikationsfundament

En anden vision om fremtidens fabrik er udsprunget af et samarbejdsinitiativ i Kaiserslautern i Tyskland (SmartFactoryKL, Technology Initiative) med videnskabelige (German Research Center for Artificial Intelligence DFKI) og industrielle (Siemens, Bosch, BASF og Endress – Hauser etc.) partnere. Visionen blev præsenteret af Detlef Zuehlke i tidsskriftet Annual Reviews in Control (2010). Målet var følgende: "Udvikling, anvendelse og formidling af innovative og industrielle fabriksteknologier samt at skabe fundamentet for hyppig anvendelse i teori og praksis" (Zuehlke, 2010). Zuehlke påpeger på en realistisk måde, at vi på nuværende trin i den teknologiske udvikling stadig befinder os langt fra Weisers vision om distribueret databehandling: "…når teknologien træder i baggrunden i vores hverdag" (Weiser, 1991).
I følge Zuehlke er den smarte fabrik et skridt i retning af konceptet "factory-of-things", som synes at minde meget om de såkaldte Internet-of-things teknologier (IoT). IoT opfattes i den forbindelse som et åbent netværk af ting, der er udstyret med tilstrækkelig data- og kommunikationskapacitet til at muliggøre uafhængig interaktion uden direkte menneskelig indblanding (Gubbi et al., 2013). I modsætning til Yoon et al. påpeger Zuehlke kraftigt de konventionelle

produktionsmodellers rolle; navnlig Lean teknologi, som ved hjælp af fremtidens smarte teknologi skulle kunne løfte produktionssystemer til et højere niveau. Forudsætningerne for den smarte fabrik er i følge Zuehlke følgende: En vis grad af intelligens indlejret i alle, sågar meget små, sammenkoblede enheder, mens nogle af de vigtige funktionaliteter bør komme fra RFID teknologi. Den smarte fabrik skal ikke nøjes med en modulopbygget struktur men også have et indbyrdes forbundet trådløst netværk, hvor hver enkelt enhed kan have sin egen IP (Internet Protocol) adresse (Zuehlke, 2010). Zuehlke påpeger få, men meget vigtige udfordringer ved dette visionære system - mangel på en decideret standardprotokol, kompatibilitet til at få enhederne til nemt at arbejde sammen, samt regulering, der tillader processtyring. Inden alle disse anordninger vil kunne danne den smarte fabrik, er det endvidere nødvendigt grundigt at teste driftssikkerheden og pålideligheden.

Næste generations produktionsfaciliteter studeres også på Stuttgart Universitet, hvor Lucke et al. (2008) prøvede at forbinde en fysisk verden (f.eks. placeringen af et værktøj) med en digital verden (elektroniske dokumentation) (Lucke et al., 2008) baseret på Weiser's metode for smarte omgivelser (1991). De definerer den smarte fabrik som "en fabrik, der bevidst om konteksten støtter mennesker og maskiner i udførelsen af deres opgaver […] ved hjælp af systemer, der arbejder i baggrunden; såkaldte stille-systemer ("calm systems") og kontekstbevidste applikationer."(Lucke et al., 2008). At være bevidst om konteksten betyder, at man har kendskab til placering og status af emner af interesse, hvor såkaldte stille-systemer udgør hardwaren og kontekstbevidste applikationer udgør softwaren (Lucke et al., 2008). Ifølge dem bør nøgleegenskaberne ved sådan et system være: Evnen til at indgå i realtidskommunikation og interaktion med de smarte omgivelser, hvor den relevante produktionsinformation er decentraliseret. Efter deres mening er trådløs kommunikation også nødvendigt; og Wi-Fi, Bluetooth, WIBREE or ZIGBEE kunne således bruges. Forskere har allerede udviklet software til anvendelse i den smarte fabrik: Nexus Platformen (Lucke et al., 2008). De elementer, som skal anvendes for at skabe den smarte fabrik bør fokusere på udførelse, vedligeholdelse og uddannelsesmuligheder i en produktionsvirksomhed (Lucke et al., 2008).

2.3 Den glokaliserede fabrik

En lidt anden vision for den smarte fabrik kommer fra Hadar og Bilberg (2012), som foreslår en decentraliseret produktionsproces. De fokuserer mere på fabrikkens funktion og definerer ikke dens aktuelle struktur. I stedet for at bygge få, centraliserede fabrikker til at indgå i den globale forsyningskæde, foreslår de at fokusere på en lokal organisering, hvor smarte faciliteter – rekonfigurerbare smarte fabrikker – ville være i stand til helt at forsyne et foruddefineret markedsområde. (Hadar & Bilberg, 2012). Forfatterne forsker i produktionsudfordringer i Vesteuropa med fokus på globale danske virksomheder, som står over for problemer relateret til globalisering og fragmentering af produktion, som gør produktionsprocessen endnu mere kompleks(Bilberg & Hadar, 2012). De foreslår den glokaliserede løsning, som kan anvendes af store virksomheder, der udover at agere på et globalt marked også har mange leverandører fra forskellige dele af verden (Hadar & Bilberg, 2012). På produktionsprocesniveau er smarte fabrikker kendetegnet ved at være selvforsynende enheder, som indkøber råvarer fra lokale leverandører. Disse lokale samarbejdspartnere og allierede skulle gøre leveringstiden kortere og minimere behovet for et stort lager, samtidig med at den individuelle tilpasningsevne og produktionsprocessens reaktionsevne øges takket være nærheden til både leverandører og kunder.

3. Den smarte fabrik – betydning og begrebsdannelse

Samtlige begreber og visioner, der er omtalt ovenfor, virker meget lovende for fremtidens teknologiske udvikling. Ikke desto mindre er der fortsat kun tale om en vision, selv om ingeniører og forskere arbejder videre med idéerne. På trods af engagement og succeshistorier er der stadig en lang og snørklet vej at gå, fyldt med udfordringer, der skal løses, inden den smarte fabrik bliver til virkelighed. Zuehlke vurderede i 2010, at det vil tage 5-10 år (Zuehlke, 2010).

3.1 Karakteristiske træk og egenskaber ved den smarte fabrik

De tidligere omtalte visioner for den smarte fabrik savner klare definitioner. De fokuserer tilsyneladende på uklare beskrivelser af den anvendte teknologi, som f.eks. distribueret (Lucke et al., 2008) og stille-systemer samt begrebsbevidste applikationer (Madu et al., 1994), i stedet for at fremlægge mere generelle egenskaber ved disse løsninger. Endvidere kunne man på baggrund af de føromtalte visioner få fornemmelsen af, at det (allerede forældede) Wi-Fi netværk og RFID tags synes at udgøre en forudsætning for at skabe eller implementere den smarte fabrik. At undervurdere fremtidige innovative løsninger og udelade andre forhold (f.eks. de organisatoriske) synes at være en betydelig begrænsning ved de præsenterede teorier, mest af alt fordi man så lukker øjnene for nye teknologimuligheder.

Der er mange teknologier, som kan bruges i opbygningen af den smarte fabrik, men i stedet for at gennemgå dem nøje, er fokus her på funktionaliteten, som fabrikken skal kunne beherske. Rapporten om fremtidens produktion i Europa påpeger, at produktionsvirksomheder bliver endnu mere afhængige af fleksible løsninger og lave omkostninger i fremtiden (Miles et al., 2003), så en ideel metode til opnåelse af begge dele på én og samme tid vil være at arbejde med moduler og platforme (Miles et al., 2003).

En anden tværvidenskabelig tendens, som understreges i den europæiske rapport (Miles et al., 2003), er samarbejde på tværs af forskellige typer af grænser; f.eks. de kulturelle, geografiske og tværfaglige. Takket være udveksling af viden på tværs af mange niveauer vil dette kunne skabe bedre resultater, når problemer skal løses. Den slags eksempler, som sker ved samarbejde, forekommer endnu ret sjældne i produktionens verden, dog er der rapporteret om samarbejde omkring produktionsprocesser (Cao & Zhang, 2011) og ingeniørvidenskabeligt samarbejde omkring vidensdeling (Guerra-Zubiaga et al., 2006). Forskerne foreslår derudover en kombination med fleksible og rekonfigurerbare produktionssystemer (ElMaraghy, 2005; Mehrabi et al., 2002; Malhotra et al., 2010) og understreger vigtigheden af smidighed og Lean (Aitken et al., 2002; Towill & Christopher, 2002). En helt ny produktionstrend, som meget nemt vil kunne relateres til den glokaliserede fabrik (Hadar & Bilberg 2012), er en produktionsløsning, der kan tilpasses og omstilles (Wang & Feng, 2011; Abele et al., 2002; Westkämper, 2007).

3.2 Definitionen af den smarte fabrik

Baseret på en litteraturanalyse af fremtidens produktionsløsninger synes de ideelle egenskaber for den smarte fabrik at relatere sig til evnen til at være fleksible, rekonfigurerbare, billige, tilpasningsdygtige, omstillelige, smidige og Lean. Én af måderne til at opnå nogle af disse funktioner kunne være at anvende en modulær struktur i forhold til produkt-/procesteknologien og organisationen. Vi anbefaler således følgende definition af begrebet ”Den smarte fabrik”:

> ***Den smarte fabrik er en produktionsløsning, der tilbyder fleksible og tilpasningsdygtige produktionsprocesser til løsning af problemer i produktionsfaciliteter med dynamiske og omskiftelige randbetingelser i en verden, der bliver mere og mere kompleks. Denne særlige løsning kunne på den ene side være beslægtet med automatisering forstået som en kombination af software, hardware og/eller mekanik, som skulle føre til en produktionsoptimering og en reduktion i unødig arbejdskraft og ressourcespild. På den anden side kunne den anskues som et samarbejde mellem forskellige industrille og ikke-industrielle partnere, hvor det smarte udspringer af dannelsen af en dynamisk og effektiv organisation.***

Hvis vi imidlertid bliver enige om, at tillægsordet smart anvendes til at karakterisere en enhed, der er forbedret ved hjælp af andre egenskaber med henblik på at forøge dens evner, så vil den nye begrebsdannelse af den smarte fabrik helt sikkert omfatte de eksisterende visioner.

4. Den smarte fabrik – en udvidelse til SMVer

Store virksomheder og organisationer, som ofte opererer på et globalt marked i komplekse forsyningskæder (eng.: ”supply chains”), er vigtige fællesnævnere for de visioner, der er omtalt i starten af artiklen. Anvendelsesmulighederne for samtlige de føromtalte smarte løsninger ved smarte fabrikker sigter mod at løse problemer for globale aktører. Den slags teknologier skal løse komplekse problemer i produktionsprocesser, men samtidig bevirker de teknologiske fremskridt, at det hele i sig selv bliver mere komplekst.

4.1 Smarte fabrikker og SMVer

Spørgsmålet er, om små og mellemstore produktionsvirksomheder SMVer i det hele taget ville have ressourcer til at realisere og vedligeholde idéen om den smarte fabrik? En stor ulempe ved litteraturens visioner for den smarte fabrik er manglen på løsninger, der egner sig til SMVer. De fleste har et behov for automatiseringsløsninger i produktionen, som kunne udvikles og anvendes med henblik på at optimere den nuværende drift. Den slags løsninger ville måske ikke være lige så teknologisk avancerede, som de visioner for den smarte fabrik, som vi hidtil har hørt om; men nøgleordet ville være rentabilitet, når det drejer sig om mulige økonomiske investeringer. Hertil

kommer, at de før omtalte løsninger er under udvikling af store organisationer eller til store organisationer. Den forskning, vi har udført blandt produktionsvirksomheder i den syddanske region har vist, at der på trods af stor viden, erfaring og kompetencer hos leverandørerne af industrielle automatiseringsløsninger til små virksomheder er behov for en indgående forståelse af netop deres problemer, behov og formåen. Hvis SMVer således udviklede smarte automatiseringsløsninger til SMVer, ville det nok være nemmere at realisere, fremfor når der er et misforhold i kompetencerne. Westhead og Storey har gjort sig lignende iagttagelser (Westhead & Storey, 1996), som understreger usikkerheden i omgivelserne samt kontinuitet i motivation og handling som afgørende og karakteristiske faktorer mellem store og små virksomheder.

4.2. Automatiseringsløsninger til SMVer

Der findes kun meget lidt litteratur om automatiseringsløsninger til SMVer. Wadhva kommer med nogle retningslinjer til fleksibel automatisering (Wadhwa, 2012), som er baseret på en model for deltagerorienteret forskning, og som kunne forbedre metalstøberiers reaktionsevne samt støtte interaktionen mellem forskellige samarbejdspartnere. I et forskningsarbejde, der ligeledes relaterer sig til metalstøberier, har Ribiero et al. (2006) udviklet en metode til benchmarking og er nået så langt som til at tilbyde en model til resultatmålinger. I et forsøg på at realisere den smarte fabrik i SMVer ville det blive muligt at producere mange forskellige produkter og samtidig øge udnyttelsen af maskiner samt mindske såvel lagerbeholdning som svartiden og levering af kundernes præferencer. For SMVer kunne det desuden sandsynligvis være en stor hjælp til styrkelse af konkurrenceevne og produktivitet. På såvel universiteter som i toneangivende industrivirksomheder diskuterer forskerne hyppigt fremtidens produktionsløsninger. Produktionsaktiviteter udgør hele 21 % af EU's samlede BNP (Wadhwa, 2012). Derudover resulterer de i ca. 20 % af samtlige jobs i industrien, som i vid udstrækning domineres af små og mellemstore virksomheder. (Wadhwa, 2012). Vi forudser derfor, at forskning, der primært udføres inden for produktionsløsninger til SMVer, har et stort potentiale, både hvad angår forbedring af kvalitet og leveringstid, og når det drejer sig om at genere velstand i al almindelighed.

5. Konklusion

Der er skrevet meget om diverse smarte løsninger uden at komme med en klar definition. Det er i øvrigt ikke usædvanligt at tillægsordet smart bliver misbrugt. Denne artikel fokuserer især på udtrykket smart i forbindelse med produktionsfabrikker og en udvidelse af konceptet. Hvis vi kunne vedtage en konsekvent definition for den smarte fabrik og videreudvikle den, ville det øge vores forståelse for denne spirende løsning i forhold til fremtidens produktion. Vi håber, at vi ved at kæde vores indsamling af eksisterende visioner for den smarte fabrik sammen med traditionelle produktionsteorier kan være med til, at vi som forskere flytter os i den retning.
Indtil videre er den smarte fabrik blot en stor åbenbaring af fremtidsudviklingen inden for produktionsfaciliteter. Begrebet mangler stadig at udvikle sig, inden det til fulde vil kunne anvendes i praksis i en industriel produktionssammenhæng. I forbindelse med løsningsmodeller til store virksomheder såvel som SMVer er de fleste teknologier lige knap klar til at kunne realisere fremtidens vision for smart produktion. Når det drejser sig om forskning til inden for automatisering og produktion, har det vist sig, at yderligere forskning er nødvendig på grund af en meget ringe opmærksomhed omkring denne gruppe samt en utilstrækkelig forståelse for dens fremtidige udfordringer og produktionsmuligheder.

Tak

Vi takker for økonomisk støtte fra Industriens Fond, Syddansk Vækstforum og Den Europæiske Regionalfond. En tak til Charlotte Bolding Andersen for oversættelsen af artiklen.

Kildehenvisning

Abele, E. et al., 2002. Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories, Chapter 1: Globalization and Decentralization of Manufacturing. World Trade, pp.4–13.

Aitken, J., Christopher, M. & Towill, D., 2002. Understanding, Implementing and Exploiting Agility and Leanness. International Journal of Logistics Research and Applications, 5(1), pp.59–74.

Al-Ali, A. et al., 2011. Smart home gateway for smart grid. In International Conference on Innovations in Information Technology (IIT). pp. 90–93.

Bilberg, A. & Hadar, R., 2012. Adaptable and Reconfigurable LEAN Automation - a competitive solution in the western industry. In FAIM 2012 22nd International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing. Helsinki.

Cao, M. & Zhang, Q., 2011. Supply chain collaboration: impact on collaborative advantage and firm performance. Journal of Operations Management, 29(3), pp.163–180.

ElMaraghy, H.A., 2005. Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms. International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 17(4), pp.261–276.

Gubbi, J. et al., 2013. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems.

Guerra-Zubiaga, D. et al., 2006. Knowledge Sharing to Support Collaborative Engineering at PLM Environment Practical Aspects of Knowledge Management. In Reimer, Ulrich, ed. Springer Berlin / Heidelberg, pp. 86–96. Available at: http://dx.doi.org/10.1007/11944935_8 http://www.springerlink.com/content/k4593858k240953t/fulltext.pdf.

Hadar, R. & Bilberg, A., 2012. Glocalized Manufacturing - Local Supply Chains on a Global Scale and Changeable Technologies. Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2012.

Hameed, B., Durr, F. & Rothermel, K., 2011. RFID based Complex Event Processing in a Smart Real-Time Factory. Expert discussion: Distributed Systems in Smart Spaces.

Jiang, L., Liu, D.-Y. & Yang, B., 2004. Smart home research. In Proceedings of International Conference on Machine Learning and Cybernetics. pp. 659–663.

Lucke, D., Constantinescu, C. & Westkämper, E., 2008. Smart factory-a step towards the next generation of manufacturing. In Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier. Springer, pp. 115–118.

Madu, C.N. et al., 1994. Integrating total quality management in the adoption of new technologies. Benchmarking for Quality Management & Technology, 1(3), pp.52–66.

Malhotra, V., Raj, T. & Arora, A., 2010. Excellent techniques of manufacturing systems: RMS and FMS. International Journal of Engineering Science and Technology, 2(3), pp.137–142.

Mehrabi, M.G. et al., 2002. Trends and perspectives in flexible and reconfigurable manufacturing systems. Journal of Intelligent Manufacturing, 13(2), pp.135–146.

Miles, I., ARC, M.W. & Flanagan, K., 2003. The Future of Manufacturing in Europe 2015-2020. EUROPE, 2015, p.2020.

Raji, R.S., 1994. Smart networks for control. Spectrum, IEEE, 31(6), pp.49–55.

Ribeiro, L.M. & Cabral, J.S., 2006. A benchmarking methodology for metalcasting industry. Benchmarking: An International Journal, 13(1/2), pp.23–35.

Ricquebourg, V. et al., 2006. The smart home concept: our immediate future. In 1st IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics. pp. 23–28.

Shin, D.-H., 2009. Ubiquitous city: Urban technologies, urban infrastructure and urban informatics. Journal of Information Science, 35(5), pp.515–526.

Towill, D. & Christopher, M., 2002. The Supply Chain Strategy Conundrum: To be Lean Or Agile or To be Lean And Agile? International Journal of Logistics Research and Applications, 5(3), pp.299–309. Available at: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1367556021000026736.

Wadhwa, R.S., 2012. Flexibility in manufacturing automation: A living lab case study of Norwegian metalcasting SMEs. Journal of Manufacturing Systems.

Wahlster, W., 2013. SemProM: Foundations of Semantic Product Memories for the Internet of Things, Springer.

Wang, L. & Feng, H.-Y., 2011. Adaptive manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, 30(3), p.117.

Weiser, M., 1991. The computer for the 21st century. Scientific american, 265(3), pp.94–104.

Westhead, P. & Storey, D., 1996. Management training and small firm performance: why is the link so weak? International Small Business Journal, 14(4), pp.13–24.

Westkämper, E, 2007. Strategic development of factories under the influence of emergent technologies. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 56(1), pp.419–422.

Yoon, J.-S., Shin, S.-J. & Suh, S.-H., 2012. A conceptual framework for the ubiquitous factory. International Journal of Production Research, 50(8), pp.2174–2189.

Zuehlke, D., 2010. SmartFactory—towards a factory-of-things. Annual Reviews in Control, 34(1), pp.129–138.