ProduktionBygg

Slutrapport SBUF Utvecklingsprojekt 13036, 2015-05-15

Helena Lidelöw och Andreas Dagman, Luleå tekniska universitet

Sammanfattning

Inom projektet ProduktionBygg har fyra framtida riktningar studerats för att avgöra om de har potential att utvecklas till verkliga byggproduktionsmetoder som stöttar balansen mellan flexibilitet och standardisering:

- 3D-utskrifter inom byggande
- Robotar inom byggsektorn
- Geometrisäkring
- Big Data

Riktningarna har diskuterats och studerats i samverkan mellan fyra företag: NCC, Skanska BoKlok, Lindbäcks Bygg och PEAB. Vidare har fyra forskargrupper medverkat: Byggkonstruktion och –produktion samt Datorstödd maskinkonstruktion vid Luleå tekniska universitet och Energi och miljö samt Produkt- och produktionsutveckling vid Chalmers.

Resultaten visar att 3D-utskrifter inom byggandet har potential att komplettera nuvarande produktionsmetoder för specialkomponenter. Grundstenarna för en implementering finns: digitala modeller, materialkunskap och en allt starkare önskan om kundanpassning. Robotar inom byggsektorn är ett nygammalt område där utredningen konstaterar att traditionella robotar är användbara till specifika, enskilda uppgifter, men att de alltid måste specialanpassas till villkoren på byggplats. Servicerobotar är ett oprövat område inom byggandet, där återstår fortfarande att identifiera arbetsuppgifter som gör att nyttan uppväger kostnaden.

Geometrisäkring har redan testats inom byggindustrin för att simulera montage med gott resultat. Den allt vidare satsningen på industriellt byggande gör att geometrisäkring som bygger på upprepning av arbetsmoment blir aktuell som metod. Genom att simulera hur tillverknings-variation påverkar produktkvaliteten ökas möjligheterna att uppnå en avsevärt högre slutprodukt-kvalitet genom en förbättrad produktionskvalitet. Om man adderar en modell av plattformen (byggsystemet) ökar möjligheterna till god analys i produktutveckling och projektering avsevärt.

Big Data är ett område där byggindustrin inte gjort stora ansträngningar ännu. Många idéer finns kring hur analyser med Big Data-metodik kan göra att Internet of Things och Industri 4.0 blir relevanta begrepp även för byggindustrin. Ett par av dem är automatiska underhållssignaler från vårt järnvägsnät och styrning av värmesystem i stor skala. En annan vinkel är möjligheten att lära sig mer om det egna företaget genom att tillämpa analysen på all data som redan produceras t.ex. kring produktionsplanering, inköp och logistikhantering.

Utvecklingen inom ProduktionBygg fortsätter med en överhörning till SIO-programmet Smart Built Environment.

Innehållsförteckning

Sammanfattning 2
Innehållsförteckning 3
Inledning 4
Syfte 4
Metod 4
Resultat och analys 5
3D-utskrifter inom byggande 5
Tekniker 5
Material 5
Tillämpningar inom byggandet 6
Upphovsrätt 8
Robotar inom byggsektorn 9
Traditionell robot i industrimiljö 9
Servicerobotar 10
Drönare 10
Exoskelett 11
Tillämpning i byggindustrin 12
Geometrisäkring 14
Fixturer 15
Simulering 15
Upplevd kvalitet 16
Tillämpning inom byggande 16
Plattformar 17
Big Data 20
Tillämpning inom byggindustrin 21
Diskussion 22
Referenslista 23
Skriftliga källor 23
Hemsidor 24
Muntliga källor 25
Bilaga A – Dokumentation av Svenska Byggproduktionsdagen 26

Inledning

Produktionstekniken i Sveriges byggbransch behöver ständigt utvecklas. Inom begreppet produktion ingår förutom tekniska landvinningar också metoder för att genomföra produktionen effektivt och precist. En utmaning som många svenska byggföretag möter är frågan om att balansera standardisering med flexibilitet. Frågan är framtvingad av den begränsade marknad som Sverige är, där företagen måste satsa på standardisering för att hålla nere kostnaderna medan de samtidigt erbjuder flexibilitet för att möta marknadsnischen. Inom projektet ProduktionBygg har fyra framtida riktningar studerats för att avgöra om de har potential att utvecklas till verkliga byggproduktionsmetoder som stöttar balansen mellan flexibilitet och standardisering:

- 3D-utskrifter inom byggande
- Robotar inom byggsektorn
- Geometrisäkring
- Big Data

Riktningarna har diskuterats och studerats i samverkan mellan fyra företag: NCC, Skanska BoKlok, Lindbäcks Bygg och PEAB. Vidare har fyra forskargrupper medverkat: Byggkonstruktion och –produktion samt Datorstödd maskinkonstruktion vid Luleå tekniska universitet och Energi och miljö samt Produkt- och produktionsutveckling vid Chalmers.

Syfte

Syftet med arbetet har varit att analysera potentialen för fyra riktningar inom utvecklingen av byggproduktionsmetoder: 3D-utskrifter inom byggande, Robotar inom byggsektorn, Geometrisäkring och Big Data. Den Svenska Byggproduktionsdagen anordnades den 26/3 och dokumentation från denna finns i Bilaga A.

Metod

Eftersom arbetet innebär en framtidsspaning samtidigt som det ska leda till en bedömning av potentialen för olika metoder så har arbetet skett i nära samverkan mellan akademi och industri. Projektgruppen har träffats fysiskt och via telefon månadsvis. Förutom gruppens eget arbete har examensarbetare och samverkande partners engagerats. I mars 2015 anordnades den Svenska Byggproduktionsdagen med c:a 50 deltagare.

Samtliga möten och workshops har dokumenterats, se bilaga A för de informationsblad som skapats. Litteraturstudier har kompletterat projektgruppens möten. Studiet av litteratur har haft fokus på de fyra riktningarnas genomförbarhet och respektive områdes status idag.

Under arbetets gång blev det tydligt att den inriktning som området Big Data hade (miljö- och hållbarhetsdata) förvisso är en mycket intressant inriktning, men att den inte egentligen är en produktionsmetod utan hör hemma inom projekteringsmetodiken. Därför har arbetet med Big Data stannat vid en litteraturstudie. Sammankopplat med geometrisäkring har istället plattformsmodellering framförts som en möjlighet för byggindustrin att ta fram ett verktyg som kan hantera objekt och kraven som ställs på dessa objekt i en och samma virtuella modell. Därför har avsnittet om geometrisäkring kompletterats med ett underkapitel om plattformsmodellering.

Resultat och analys

3D-utskrifter inom byggande

3D-utskrifter eller additiv tillverkning är en teknik som har funnits sedan början av 1980-talet. Under de första decennierna handlade tillämpningen mest om att skriva ut prototyper i olika typer av plast. Inte förrän på 2010-talet började tekniken att skriva ut delar i metall att bli allmänt tillgänglig och det innebar att 3D-utskrifter gick från att bli en teknik för prototyptillverkning till att verkligen bli ett alternativ till mer traditionella tillverkningsmetoder (som ofta går ut på att omforma och/eller ta bort (subtrahera) material).

Alla 3D-utskrifter bygger på att det finns en 3D-CAD-modell som informationsbärare i botten. En allmänt tillgänglig programvara för att skapa sådana modeller är Google SketchUp. Det vanligaste filformatet är *.STL, men *.OBJ används också. Objekt kan också scannas med en 3D-scanner för att skapa punktmoln som sedan kan bli data i ett virtuellt objekt som kan skrivas ut. Även fotografering ur olika vinklar kan via fotogrammetri användas för att skapa 3D-objekten.

Innan modellen kan skrivas ut måste den justeras så att alla ytor verkligen sitter ihop (vanligt fel i 3D-scannade modeller). Sedan delas modellen upp i lager som skrivs ut, ett efter ett. Upplösningen är vanligen 100 µm tjocka lager och som en laserskrivare i X-Y-planet. Hög upplösning kräver längre tillverkningstid, vilket gör att man måste väga utskriftstiden mot att istället färdigbehandla ytan på annat sätt.

För konsumentmarknaden har de ständigt sjunkande priserna på skrivare och material medfört ett stort intresse. RepRap-projektet banade väg för detta 2005 genom att släppa kod för att styra skrivarna som Open Source.

Tekniker

3D-utskrifter kan åstadkommas genom olika tekniker. Material kan extruderas, sintras eller smältas samman.

Skrivarnas storlek varierar kraftigt och styr storleken på de objekt som kan skrivas ut. För byggande används tekniken contour crafting (Kohsnevis et al., 2001) där betong sprutas ut genom att munstycke som är monterat på en bockkran eller liknande.

För at öka hastigheten i utskrifterna förekommer skrivare med fler skrivarhuvuden så att flera likadana detaljer kan skrivas ut samtidigt. Ännu är inte 3D-skrivartekniken så snabb att den kan konkurrera med övrig tillverkning.

Material

Från att huvudsakligen ha varit en teknik att skriva ut plastdetaljer är det idag möjligt att skriva ut i följande teknik och material (Jarl, 2015):

- Bindemedelsbehandlade pulver (choklad, cement, gips). Fungerar som en bläckstråleskrivare
- Extruderande pastor (betong, smält polymer). Fungerar som en limpistol
- Lasersmältning av pulver (metallpulver, polymerer). Kallas sintring.
- Ljushärdande material (som t.ex. tandläkare använder)

Polymerer innefattar förutom olika typer av plaster och kompositer också trä-, glas- och kolfiber förstärkta polymerer. Vissa material kan vara vattenlösliga för att till exempel konstruera en stödstruktur som tas bort efter utskriften härdat. Ett material som diskuteras mycket för tillfället, inte bara för 3D-utskrifter, är PLA (polylaktid) eller stärkelsebaserad plast. Det är ett miljövänligt

material som framställs t.ex. från majsstärkelse eller rörsocker. Det är dock vattenlösligt över tid, (Jarl, 2015). PVA (polyvinylacetat) är bindemedlet i t.ex. trälim och är vattenlösligt fram tills det härdat, vilket gör att spill kan rengöras enkelt. PET-plast (som i drickflaskorna) är ett material som är enkelt att skriva ut och miljövänligt. Med rätt utformning kan strukturen bli lika stark som aluminium (Jarl, 2015).

Hållfastheten på de material som kan skrivas ut varierar. Metall som sintras får i princip samma hållfasthet som om metallen gjutits. Metallpulvret kan vara farligt vid inandning eftersom det handlar om små partiklar (Ny Teknik 2015). Utskrifter i betong får samma hållfasthet som ren betong om inte armering läggs in i strukturen.

Armering kan vara av flera typer. Antingen kombineras 3D-utskriften med en robotarm som lägger in armering på lämpliga ställen i strukturen eller så armeras materialet i sig självt med olika typer av fibrer. Den senaste utvecklingen leder mot 3D-skrivare som skriver ut i flera material eller växlar mellan olika material. Detta erbjuder möjlighet att skriva ut armering eller armeringslager.

Formar behövs alltid då strukturer som är horisontella och inte har understöd ska skrivas ut. Härdningstiden på materialet som skrivs ut avgör hur snabbt stödstrukturen kan tas bort. En fördel jämfört med gjutning är att i en 3D-utskrift kan material sparas på det sätt att objekten som skrivs ut inte behöver vara solida. Det blir heller inget spill i den materialbesparande processen eftersom inget material tas bort från ursprungsformen.

Tillämpningar inom byggandet

Modellbyggande går 50-80% snabbare än att bygga modellen för hand. Normalstor modell tar c:a 5 timmar att skriva ut och kostar 3.000-5.000 kr, (Jonsson, 2015).

För komponenter finns idag 3D-skrivare som skriver ut objekt på 4x2x1 m. Skrivaren kan arbeta på natten då den kan transportera undan färdiga element från skrivarplattan. Komponenter med strukturer är möjligt att skapa redan idag. Ett exempel är golvbeläggning som härmar t.ex. trä eller sten. En tanke är att kundanpassa golv till kunder genom direkt utskrift på plats. (Jonsson, 2015).

Precis som vid annan tillverkning av byggkomponenter kan delar prefabriceras och sedan fraktas till byggplats. Återvunnen betong har testats i denna tillämpning, (Morby, 2014). Materialbesparingen påstås vara mellan 30-60% då väggarna skrivs ut med en inre struktur som i figur 1.

Figur 1 Inre struktur i vägg av betong och koncept för byggplats, www.contourcrafting.org.

Contour crafting kallas en teknik där 3D-skrivaren följer konturerna på ett objekt, typiskt väggarna på ett hus. På detta sätt kan man bygga stommen till ett hus på 24 timmar. University of Southern California, (Khosnevis et al. 2001) föreslog denna teknik först. Figur 2 visar ett koncept för contour crafting där betongbilen levererar material till skrivaren som är monterad på räls.

Figur 2 Koncept för contour crafting, Yanko Design (2012).

Robotarmen som för skrivarhuvudet vid contour crafting kan också användas för att lägga in förstärkningar, balkar och andra element i strukturen. Genom att kombinera flera skrivarhuvuden kan hastigheten ökas.

3D-utskrifter av byggnader kan bli betydelsefulla vid katastrofhjälp där man kan skicka en 3D-skrivare istället för byggmaterial till platsen (Rouhana et al., 2014). Teknik finns framme för att omvandla sand till ”sandsten” genom att använda klorbaserade vätskor (Fabbaloo, 2013). Mindre avancerat kunde vara att använda det material som används på plats, vanligen lera blandat med halm. Att använda 3D-utskrifter för bosättningar på Månen och Mars intresserar NASA, (Made in Space, 2014).

Idag kan vi skriva ut färdiga mindre byggnader, se t.ex. Andrey Rudenkos ”3D-printed castle” på Youtube. De flesta projekt inom byggande är fortfarande av demonstrationskaraktär (Jarl, 2015), men tillämpningar av betydelse har hittats när skalan görs mindre. Exempelvis kan bevarandet av kulturbyggnader underlättas då objekt som måste restaureras kan scannas in med 3D-scanner och skrivas ut med 3D-skrivare.

En kompetens som idag saknas är förmågan att skala modeller mellan storlekar på objekt och de material som används. Det här kan vara en viktig kompetens inom byggandet eftersom skalan lätt kan bli stor och då förändras inte materialegenskaperna i samma hastighet (det här är ett känt problem för betong och trä där den s.k. volymeffekten påverkar skillnaden mellan tester i liten skala och verkningssättet i verklig konstruktion).

Energifrågan är en viktig aspekt att ta med sig i framtida utvecklingen eftersom alla processer där material smältes kräver mycket energi (Gilpin, 2014). Vidare är hälsofrågan för t.ex. astmatiker av vikt då material i pulverform används.

En idé som lanserats är möjligheten att i större anläggningskonstruktioner använda sig av sparkroppar för att sänka materialkostnad och vikt. Att skriva ut konstruktioner som följer den belastning som ligger på den (materialoptimering) ligger också nära till hands att föreslå.

En enkätundersökning om 3D-skrivare i byggbranschen genomfördes av Jonsson (2015) och den visade att:

1. Främsta användningsområdena idag är utskrift av modeller i skala och utskrift av reservdelar som är svåra att få tag på
2. Framtida användning är byggdelar som måste specialtillverkas. Detta har redan testats av Skanska i ett projekt i London (CM, 2015) där specialknutpunkter i komposit skrevs ut för en särskild takkonstruktion.
3. Utsmyckningar och kundanpassning t.ex. skriva ut på ytor eller göra trummor som stuckatur, handtag och golvplattor
4. Sparkroppar i anläggningar t.ex. broar

Hedström et al (2015) genomförde en enkätundersökning som fördjupade punkt 3 med sikte på att göra en personlig utformning av en studentlägenhet. De kom fram till det finns en betalningsvilja även hos studenter (upp till 250 kr) för att t.ex. få specialdesignade handtag, knoppar och andra detaljer. Fastighetsförvaltare tillfrågades om deras intresse och de var inte intresserade av att själva investera i tekniken, men kunde tänka sig att köpa och administrera tjänsten för att öka kundnöjdheten.

Upphovsrätt

När man arbetar med objekt som replikeras via en 3D-modell får upphovsrätt och mönsterskydd ny tolkning. För konsumentmarknaden har exempel som beskriver hur personer skriver ut designföremål presenterats. Ska produkter användas kommersiellt blir saker och ting i ett annat läge, då måste licenser lösas mellan skapande och producerande företag. Möjligen kan byggbranschen här ligga ett steg före – denna situation hanteras regelmässigt i alla byggprojekt där arkitekten utformar lösningar som entreprenören realiserar.

Robotar inom byggsektorn

Robotisering inom den fasta industrin har pågått under en längre tid i Sverige. Robotar utvecklades för att ta över repetitiva och farliga arbeten från människan. Numera används robotar allt mindre för att genomföra själva arbetsmomenten och alltmer för att skapa flöde i tillverkningen. För att bli en bra investering måste en robot ha repetition som sin grund. Med dagens styrteknik kan dock roboten ha över 200 olika sekvenser som kan utföras i valfri ordning. Idag (2015) är trenden att industrirobotar med stängsel och säkerhetsföreskrifter ersätts av servicerobotar som kan samverka med människan.

Frågan om robotar kan fungera inom byggsektorn har prövats förr, en diger sammanställning gjordes i Åhman och Johansson (1989). Eftersom den är något daterad görs ett försök att här sammanställa några av de trender som finns inom robotik med riktning på byggande idag.

Traditionell robot i industrimiljö

Den första industriroboten introducerades i slutet av 50-talet av George Devol och Joseph Engelberger och har under årens lopp blivet en allt större del av tillverkningsindustrin. År 1973 fanns det ca 3000 industrirobotar i användning år 2013 var denna siffra ungefär 1 500 000 industrirobotar (IFR, 2015). Typiska arbetsmoment för industriroboten idag är förflyttning av material (plockning), svetsning, målning, figur 3. Möjligheten att automatisera monotona, tunga, repetitiva och farliga moment med robotar har bidragit starkt till en förbättrad arbetsmiljö i fabrikerna. En normal robot har en livslängd på c:a 12 år (Bolmsjö, 2015). Investeringen ligger då på c:a 150.000 kr/år varav 20-25% är kostnaden för själva maskinen, medan resten är ingenjörs- och programmeringstid. Roboten programmeras ofta om för andra uppgifter. Det kan göras via en dator, men också ”live” direkt vid maskinen. Färdiga sekvenser kan kombineras i realtid för att skapa ett produktionsflöde. För att utnyttja robotens kapacitet maximalt placeras ofta flera produktionsmoment i en halvcirkel kring den, så att roboten kan medverka i flera delmoment under en tillverkningscykel.

Figur 3 Robot som hanterar många delmoment, www.enterprisetech.com.

Prefabindustrin som ju i grunden är en tillverkningsindustri inom byggandet använder robotar redan idag. När människan ska vara i närheten av en arbetande robot får den endast arbeta med

en högsta hastighet av 250 mm/s. Sensorer kan känna av när människan lämnar zonen och robotens hastighet ökar. Öppna ytor är bra utrymmen för robotar, vilket gör en arbetsuppgift som klinkerläggning och kakling rationell, detta fungerar idag i fabriksmiljö (Part AB, 2015). Andra tillämpningar som funnits länge är de spikportaler som villaindustrin länge använt sig av, där det finns en direkt koppling till CAD-systemet där husen ritas. En spikportal är avsevärt snabbare än en robot på att hantera spikning, medan roboten kan bli mer flexibel genom att t.ex. byta verktyg till fräs eller såg under processen. Verktyg som robotar använder måste generellt vara av bättre kvalitet än handverktyg för att klara belastningen och precisionen (Bolmsjö, 2015).

Servicerobotar

Robotar som istället för att vara förprogrammerade reagerar på sin omvärld via sensorer kallas servicerobotar. Dessa kan vara mer eller mindre avancerade. Ett enkelt exempel är en robotdammsugare eller –gräsklippare som känner av hinder i omgivningen och väljer en annan väg. En avancerad servicerobot kunde ha använts t.ex. vid kärnkraftsolyckan i Fukushima för att nå områden som är farliga för människan och genomföra avancerade uppgifter som att stänga av utrustning och lokalisera och laga skador. (Bolmsjö, 2015)

Den kognitiva egenskapen hos servicerobotar utvecklas snabbt. Steget mellan att ha kognitiv förmåga och att vara intelligent så att roboten blir självlärande är redan taget. Tvåarmade robotar finns idag som kan utföra enklare montageuppgifter i samverkan med människan, Figur 4. Lyfta och hålla är dock uppgifter som är avsevärt enklare för en robot att genomföra.

Figur 4 (a) Tvåarmad robot lanserad i april 2015, www.nyteknik.se, 2015-04-13
(b) Roboten YuMi i samverkan med en människa, (YuMi, 2015)

En servicerobot arbetar i sekvensen *sense – plan – act* och är autonom och mobil. Servicerobotar interagerar med sin omgivning och känner av den. Baserat på den information de inhämtar, analyseras situationen och roboten tar ett beslut om vilken aktion som är lämplig. Ett fält där samverkan med omgivningen utvecklats långt är autonoma bilar, där lansering på konsumentmarknaden troligen sker inom ett fåtal år. De standarder som utvecklats för att bilar ska kunna kommunicera med varandra och känna av omgivningen förs över direkt till servicerobotar (Bolmsjö, 2015). Utvecklingen inom robotik går alltmer mot automatik även i installationen – *plug and produce*.

Drönare

Fler och fler användningsområden hittas för drönare. Idag finns det fler piloter som flyger drönare än som flyger riktiga flygplan (Bolmsjö, 2015). Drönare används för filmning och övervakning samt militärt. De blir också starkare och kan användas för att transportera småsaker.

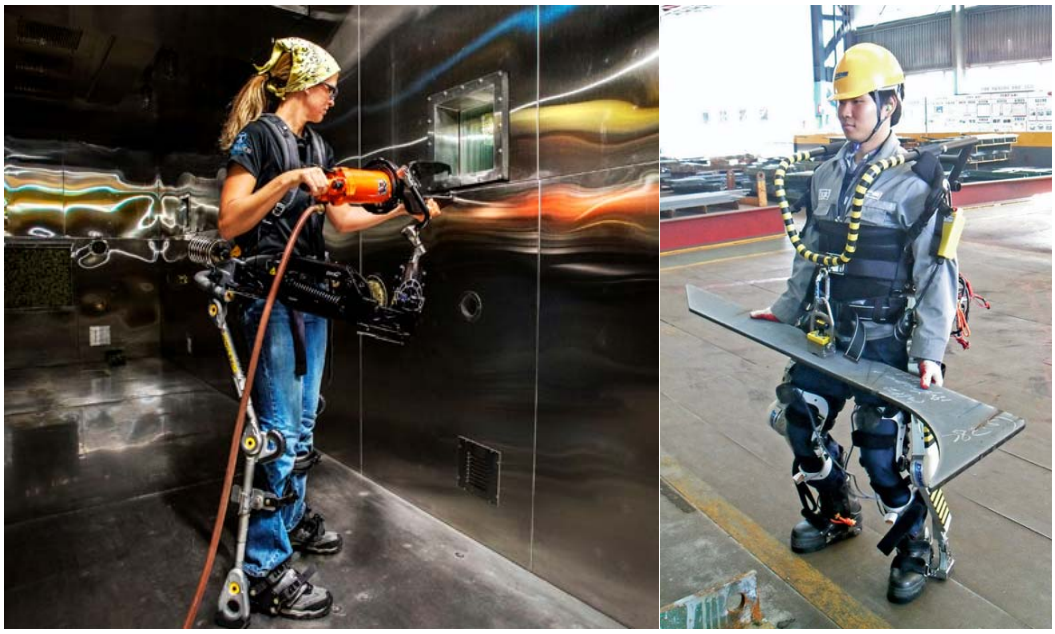
En särskilt användbar arbetsuppgift är inmätning som en drönare med stabiliserande funktioner styrda av gyro kan använda, figur 5.

Figur 5 Quadcopter med autogyro, www.quadcopters.co.uk.

Precisionen för drönare idag är tillräcklig för att man ska kunna göra en inmätning med laser monterad och få tillräckligt bra data för att sedan kunna göra en 3D-modell av t.ex. existerande byggnader. Tester har också gjorts där flera drönare samverkar för att bygga strukturer av tegel genom att hämta sten på marken och lägga sten vid sten i samarbete, www.gramaziokohler.com.

Exoskelett

Exoskelett är inte en robot utan en yttre stödstruktur som förstärker människans krafter. Om exoskelettet förses med hydraulik och krafttillförsel börjar konstruktionen likna en robot. Användningsområdena för exoskelett varierar. Inom sjukvården används de som stödstrukturer under rehabilitering medan industrianvändning kan handla om att ge människor extra kraft för tunga arbeten. I figur 6a visas ett exoskelett från Lockheed Martin (FORTIS) som fungerar utan strömtillförsel, medan i figur 6b visas ett exoskelett som används inom varvsindustrin.



Figur 6 (a) Exoskelettet FORTIS från Lockheed Martin (b) Exoskelett från Daewoo på varv i Sydkorea

För tunga arbeten kan exoskelett ha en avgörande betydelse för människans livslängd. Det kan också vara ett hjälpmedel som gör att kvinnor kan arbeta även med de tyngsta arbetsuppgifterna

– exoskelettet i figur 5a ökar styrka och uthållighet med 2-27 gånger. Exoskelettet från Daewoo har en batteritid på 3 timmar och används för tunga lyft.

Tillämpning i byggindustrin

En industrirobot av traditionell typ väger c:a ett ton. Den är inte anpassad för att stå på ett bygge där omgivningen förändras ständigt. Förutom vikten är robotens behov av fasta punkter för att orientera sig ett problem, samt att den elektronik som finns i roboten inte är kapslad för att klara väta. Robotar inom byggindustrin kan aldrig vara stationära och därför har de utvecklats för att göra repetitiva uppgifter där positioneringen är relativ och roboten är inbyggd för att skydda från väta. Robotar är mer vanligt förekommande inom husbyggnad jämfört med anläggningar, (Åhman och Johansson, 1989). Sverige bevakar sedan 1980-talet utvecklingen inom International Association for Automation and Robotics in Construction via BI:s FoU Väst, www.iaarc.org. Sverige är som land jämförelsevis lite robotiserat inom byggandet. Idag finns robotar som utför rivning, utgrävning, beläggning, tunneldrivning, betongtransporter, betongslipning, logistik, svetsning, brandskyddsmålning och underhåll.

Flera arkitekter arbetar med robotar idag för att knyta ihop design med tillverkning och skapa avancerade former. De flesta är på utvecklingsstadiet. Utvecklingen rapporteras i Association for Robotics in Architecture som också tar upp ämnen som vilka programvaror som är lämpliga att använda och vilka material som kan testas. Parametriserad arkitektur (via t.ex. Grasshopper) är nära länkat till utvecklingen inom robotteknologin.

Murning

Murning av fasader är en typisk uppgift som passar en robot väl. Roboten i figur 7 följer med saxlyften uppåt och murar fasaden vartefter.

Figur 7 Murningsrobot, SAM, Semi Automated Mason, www.construction-robotics.com

Liknande uppgifter är kakel- och klinkersättning som också bygger på repetition av arbeten som kräver geometrisk precision. Det eleganta i lösningen av murningsroboten är att den använder saxlyften som transportsystem, vilket inte är möjligt vid kakel- och klinkersättning. I det fallet handlar det inte heller om så stora ytor, vilket gör att antalet omställningar t.ex. mellan olika badrum blir relativt stort.

Betongarbeten

Vissa betongarbeten lämpar sig väl för robotar t.ex. pumpning, glättning och betongsprutning (Åhman och Johansson, 1989). Bilning i betong och armering är två andra områden som robotiserats med viss framgång. Att slipa och städa upp betongytor är också arbetsuppgifter som passar robotar. Det hela bygger dock på att utrymmet kring roboten är relativt fritt och att upprepningen är stor, figur 8.

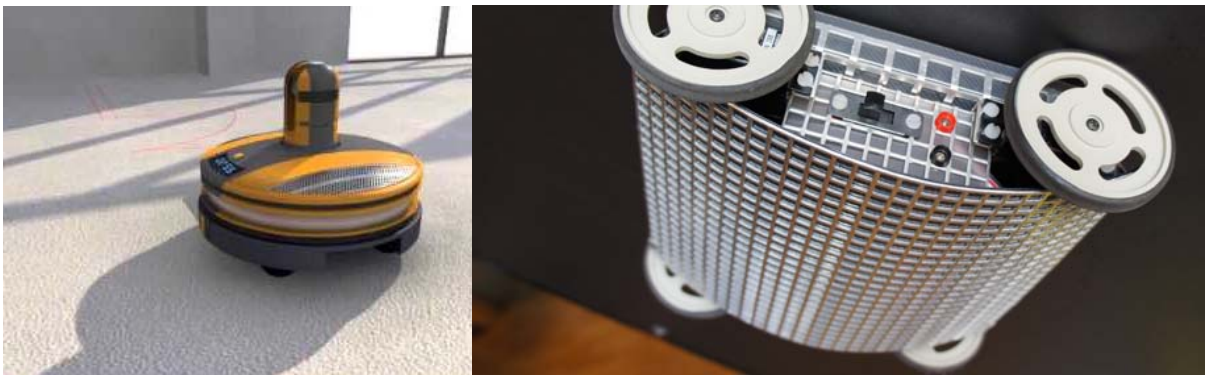
Figur 8 Robot som eftervibrerar betongyta, www.formconsult.se.

Spackling och gipsskivor

Hantering av gips är en process som prövats för robotisering (Åhman och Johansson, 1989). Många utvecklingsprojekt har genomförts inom området, men kravet på upprepande aktiviteter gör att det ibland blir svårt att få ut full potential av roboten. Spackling är en kopplad arbetsuppgift som lämpar sig relativt väl för robotisering.

Utsättning

Utsättning av innerväggar är en tidsödande arbetsuppgift som genomförs på en fri yta på bjälklaget. För den applikationen har roboten i figur 9 utvecklats. Den liknar en gräsklipparrobot, men istället för att klippa av gräs så sprutar den ut färg på de ställen där väggen ska sättas upp. Den är patenterad i Sydkorea och använder golvet som sin basyta och lokala koordinater för att orientera sig. DWG-filer utgör indata. Utsättning av ledningsdragning vore en annan viktig uppgift för den här typen av robotar, inte minst för att klargöra var olika underentreprenörer ska dra sina rör.

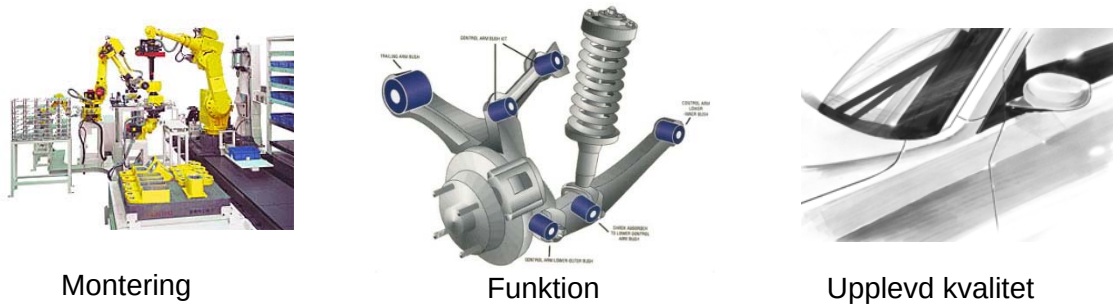


Figur 9 (a) Archibot, https://www.youtube.com/watch?v=0C5Byr7jvwE
(b) Robot utvecklad för att använda vakuum för att kunna klättra i tak, wired.co.uk

En möjlig utveckling vore att kombinera Archibot med roboten i figur 9b som har vakuumsugkoppar för att kunna hänga upp och ned i tak. För utsättning av ledningar och rör vore takytan en bättre yta att arbeta från.

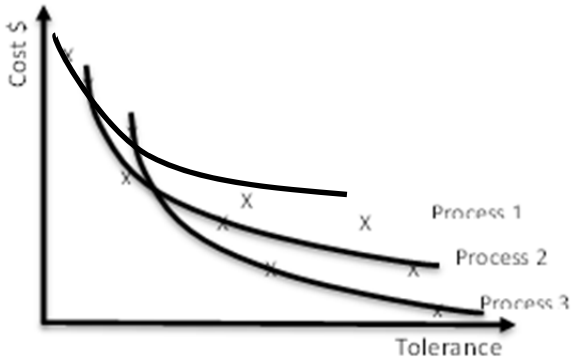
Geometrisäkring

Geometrisäkring kan beskrivas som de aktiviteter som ingår i ett företags process för att säkerställa en produkts slutkvalitet, (Söderberg et. al., 2006). Problemet med geometrisk variation har varit ett stående spörsmål allt sedan masstillverkningens början. Geometriska variationen hos de ingående delarna likväl som monteringsvariationen kommer att påverka produkten i form av monteringsbarhet, funktionen hos produkten samt den upplevda kvaliteten. För att stävja problemet med variation används toleranser samt robust (förlåtande) konstruktion, (Phadke, 1989). Robust konstruktion inbegriper lösningar som gör konstruktionen mindre känslig för variation. Håller sig processerna och de ingående delarna inom givna toleranser kommer produkten att gå att montera ihop, funktionen hos produkten säkerställs och produkten upplevs ha god kvalitet av kunden, se figur 10.



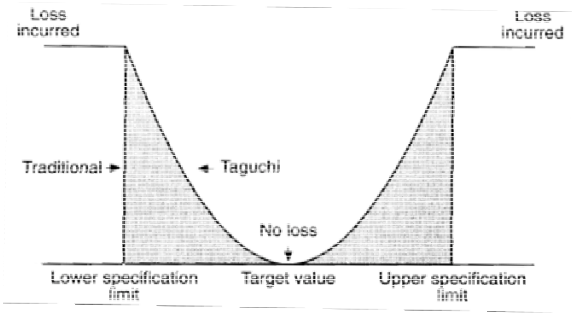
Figur 10 Geometrisk variation hos ingående delar samt som uppkommer vid montering påverkar monteringsbarhet, funktion samt upplevd kvalitet.

Den naturliga lösningen på problemet borde vara att minska på toleranserna för att säkerställa att produktkraven möts, men detta är oftast ett kostsamt beslut. Korrelationen mellan kostnad och tolerans är en ökad kostnad vid minskad toleransvidd, se figur 11. Sambandet ser olika ut för olika tillverkningsprocesser.



Figur 11 Kostnaden ökar vid minskad tolerans.

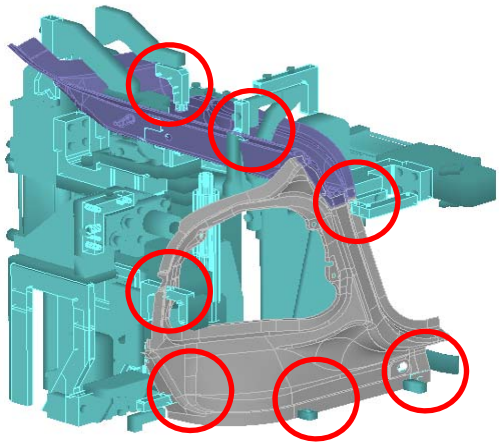
Inom kvalitetsområdet har Taguchis förlustfunktion (*loss function*) varit av stor vikt, se figur 12. (Taguchi et al, 2005). Den beskriver att kvaliteten hos en produkt inte omgående rasar vid en liten toleransavvikelse från det tänkta målvärdet. Det är snarare så att förlusten gradvis ökar i förhållande till avvikelsens storlek enligt figur 12. Detta förhållande gäller både för en produkts tekniska funktion såväl som dess upplevda kvalitet.



Figur 12 Förlustkurvan enligt Taguchi et. al., 2005.

Fixturer

För att kunna säkerställa att en produkt monteras som det är tänkt används idag fixturer. Fixturerna har till uppgift att fixera delarna och delmontagen hos en produkt vid sammanfogning så att de hamnar där det var tänkt. Fysiskt realiseras detta genom exempelvis pinnar och hål hos geometrin som skall monteras samt i fixturen, se figur 13. Dessa skall passa i varandra och på så sätt positioneras produkten.



Figur 13 Exempel på en tunnplåtsfixtur. (Edholm et. al. 2012)

Det är även viktigt att ha kontroll på hur fixturer och referenspunkter används genom hela tillverkningslinan så att variationen i de enskilda delarna och vid montering inte förstärks, (Edholm et al. 2009). Ett exempel är att antalet nya grepp och referenspunkter på produkten bör minimeras. Om tillverkaren av produkten har överblick över sina processer och montering ökar möjligheten att få en slutprodukt som möter de krav som ställts på den.

Simulering

På marknaden finns det ett antal programvaror som kan användas för att simulera geometrisk variation (RD&T 2015, VSA 2015, 3DCS 2015). Denna typ av simulering kallas också variationsanalys, (Chase och Parkinson 1991). Dessa programvaror har mer eller mindre integrerade geometrisäkringsverktyg som stödjer geometrisäkringsprocessen från tidiga konceptstadier, till verifiering och pre-produktion och slutligen under produktion.

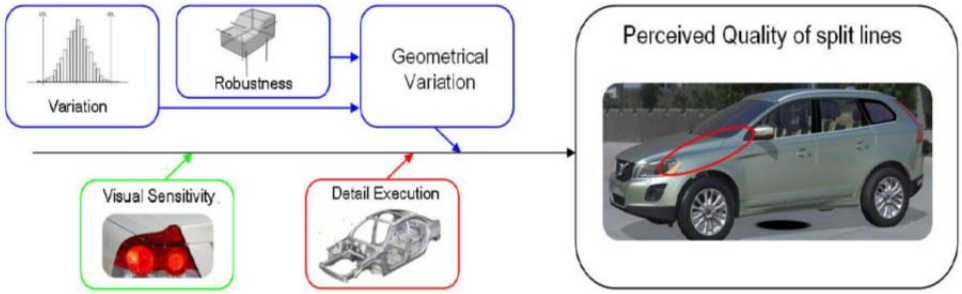
En programvara som hanterar geometrisk variation bygger på statistisk variationssimulering som möjliggör simulering och visualisering av bearbetnings- och monteringsvariation virtuellt långt innan produkten har tillverkats. Teorin är samma teoribas som används för att bygga upp de europeiska och svenska byggnormerna d.v.s. varje ingående del har en statistisk variation som

påverkar den slutliga bärförmågan – i det här fallet produktens geometriska kvalitet. De virtuella modellerna av en produkt används allt oftare som beslutsunderlag för företagsledningen varför simuleringsresultaten måste presenteras på ett så realistiskt sätt som möjligt, (Wickman et. al. 2014 och Juster et al. 2001). Det innebär fotorealistisk rendering av slutprodukten, figur 9.

Variationssimuleringsmöjligheterna har förändrats i takt med ökad beräkningsprestanda i dagens datorer. Simuleringsmodellerna har gått från att behandla delarna (geometrierna) som bygger upp produkten som stela (icke eftergivliga/deformerbara) till att i dag kunna behandla icke stela (eftergivliga/deformerbara) geometrier. Detta har lett till att analysresultaten är mer realistiska och tillförlitliga. Det har också möjliggjort simulering av den variation som uppkommer på grund av olika yttre påverkansfaktorer så som termiska variationer (delarna krymper/expanderar) hos produkten under både tillverkningsprocessen samt under produktens användningsfas, (Lorin et. al, 2013).

Upplevd kvalitet

Kundens uppfattning om produktkvalitet är en nyckelfaktor för att skapa en framgångsrik produkt. Upplevd kvalitet inbegriper alla de aspekter som skapar en känsla av god kvalitet hos en produkt, (Forslund 2011 och Crilly et. al. 2008). En producents möjlighet att förutspå och prediktera hur en konstruktion kommer att falla ut i produktion är en förutsättning för att uppnå god upplevd kvalitet. Geometrisk variation hos en produkt går primärt att upptäcka i de springor (delningslinjer) som finns mellan olika delar hos en produkt. De tre huvudfaktorer som påverkar den *upplevda kvaliteten* (se figur 14) är 1. *Geometriska variation* (består av variationsutfallet hos produkten baserat på variationen i tillverkningssystemet samt konstruktionens robusthet); 2. *Visuell känslighet* (hur väl geometrisk variation hos produkten kan upptäckas av betraktaren vilket påverkar produktupplevelsen negativt) samt 3. *Detaljutförande* (hur väl producerad produkten är).



Figur 14 Påverkansfaktorer för upplevd kvalitet, Forslund 2011.

Tillämpning inom byggande

Industriellt byggande i en större skala har varit aktuellt tidigare och ett av de mest intressanta koncepten var NCC Komplett. Där byggde man flerbostadshus på ett industriellt sätt för att på så sätt kapa kostnader och uppnå effektivitetsvinster. En stor del av tillverkningen och monteringen av byggdelar gjordes i fabriker. Som en del i det industriella byggandet användes inte snickare till att tillverka husdelarna i fabriken utan man använde verkstadsarbetare. Byggdelarna fraktades sedan ut till byggplatsen och monterades ihop på plats. Totalt byggdes 300 lägenheter i 16 bostadshus på det industriella tillvägagångssättet. Den idag nedlagda satsningen gav en stor mängd kunskap kring industriellt byggande som idag används i utvecklingen av det industriella byggandet (NyTeknik, 2012).

Inom ramen för NCC Komplett behandlades även området geometrisäkring. De områden som undersöktes var hur de individuella delarna skulle positioneras både individuellt och i relation till varandra för att få den efterfrågade slutprodukten. Det undersöktes även vilken monteringsordning av byggdelarna på byggplats som var optimal. Analyserna som låg till grund för detta arbete gjordes i en variationssimuleringsprogramvara, (RD&T, 2015). Programvaran möjliggör robust konstruktion genom: stabilitetsanalys, statistisk variationssimulering, realistisk visualisering samt stöd för data och dokumenthantering i geometrisäkringsprocessen. Det innebär t.ex. att användaren med hjälp av simulering kan säkra att geometrin för sin produkt blir korrekt avseende på toleranser och variation. Verktyget kan importera geometrimodeller från andra CAD-program, även de som används i byggindustrin.

Eftersom kundkraven på slutfinish i byggda produkter ständigt ökar är geometrisäkring ett område som tilldrar sig intresse från flera företag, bland annat modulbyggare och andra byggare med industriella byggsystem. Arbetet med NCC Komplett visade att simuleringar kan stötta även byggproduktion och den information som resulterar från modelleringen är värdefull för byggproduktionen ska organiseras och genomföras.

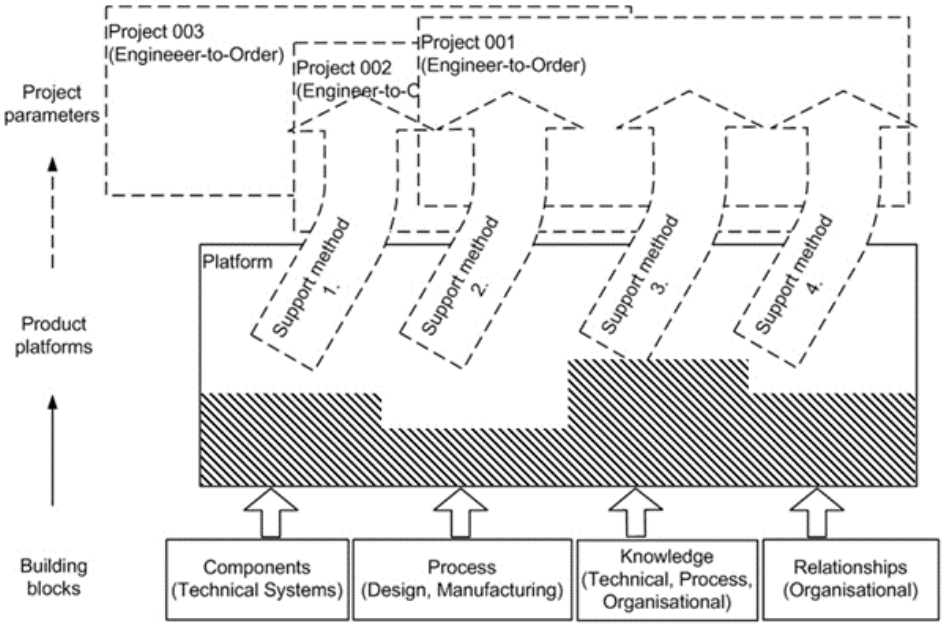
Nya materialmodeller

Då mycket av forskningen kring geometrisäkring har fokuserats på tillverkningsindustrin är underlaget till simuleringarna baserat på de behov som finns där. Vanliga material som används är stål, plast och kompositer. Inom byggbranschen är andra material av intresse. Det som i första steget specifikt har identifierats är materialmodeller för trä och betong som måste tas fram och anpassas för simuleringarna. Materialen inom byggindustrin erbjuder utmaningar som även utvecklar tillverkningsindustrin eftersom byggindustrins material har en lång användningstid där klimatet påverkar materialet på många sätt.

Plattformar

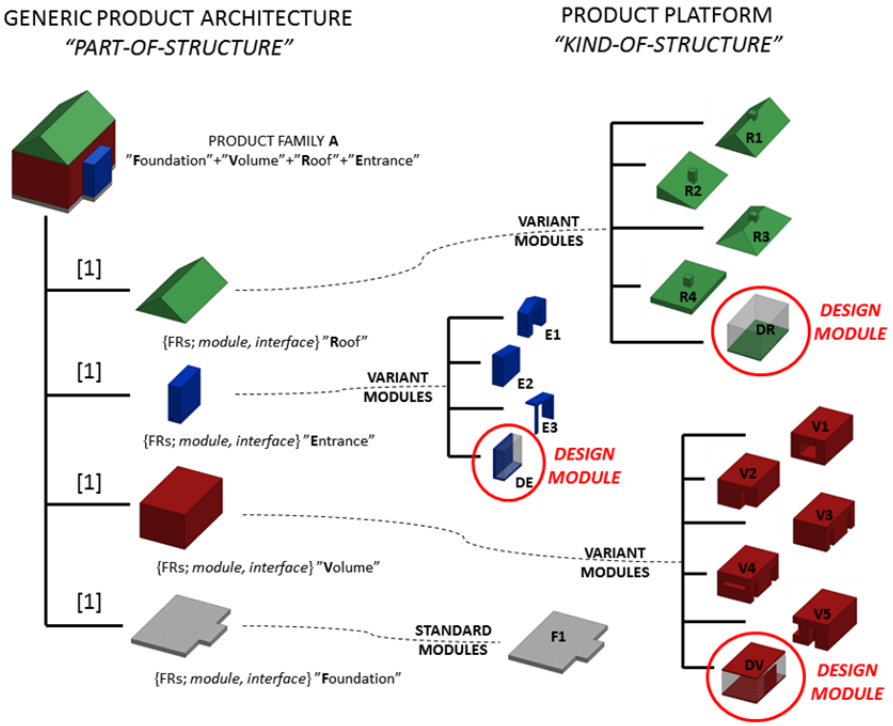
Geometrisäkring har störst förutsättningar att fungera om en produktplattform (ett industriellt byggkoncept eller ett byggsystem) är basen i tillverkningen. Tankarna kring produktplattformar och produktfamiljer har sitt ursprung från företag som, på grund av konkurrenssituationen, var tvungna att ta fram flera produktvarianter till sina kunder (Meyer and Utterback, 1992). Iden var att bestämma och använda ett antal gemensamma komponenter och kombinera dessa med variantspecifika komponenter och på så sätt skapa anpassade lösningar och samtidigt behålla kostnaderna på en lämplig nivå. Det finns dock begränsningar med plattformstänket. Det gäller att balansera mängden gemensamma komponenter med variantspecifika för att få en lämplig bandbredd på det produkterbjudande som man tänker sig erbjuda kunden, (Berglund och Claesson, 2005).

Inom byggande utvecklades det teoretiska plattformskonceptet för byggtillämpning av t.ex. Jansson et al. (2014) och Jensen et al. (2012). Arbetet resulterade i att byggandet måste arbeta med öppna plattformar och ständigt tillåta nya komponenter p.g.a. varierande kundkrav i byggprojekten. I figur 15 visas hur plattformens gemensamma delar föder byggprojekten med lösningar genom att använda projekteringsmetoder som balanserar standardisering och flexibilitet.



Figur 15 Plattformars tillämpning i byggindustrin, Jansson et al. (2014).

Jensen (2014) förde tanken vidare och visade hur plattformar framgångsrikt kan användas för att underlätta konstruktörens dagliga arbete genom att fördefiniera standardarbete och öppna upp för att använda konstruktörens kunnande till den kreativitet som krävs för att lösa de mer utmanande delarna i byggprojekten. Genom att parametrisera standardarbetsuppgifter kan konstruktören istället fokusera på att skapa s.k. designmoduler eller projektspecifika, unika lösningar som självklart ska stämma ihop med de standarddelar som används via fördefinierade eller förändringsbara gränssnitt, figur 16.



Figur 16 Produktplattform med unika designmoduler, Jensen (2014).

Plattformsmodellering

En av de svåraste utmaningarna att möta när man arbetar med industriella byggkoncept eller plattformar är de varierande kundkrav som finns i byggprojekten. Dessa gör det svårt att standardisera alla delar i plattformen och till fullo dra nytta av industrialiseringen. I direkt parallell till utvecklingen som Jansson (2013) och Jensen (2014) presenterade om metoder för att hantera varierande kundkrav har Claesson (2006) presenterat ett sätt att modellera själva plattformen så att den kan hantera både kravbild och komponenter på samma gång. Det innebär att förutom att ha standardiserade lösningar i plattformen så organiserar och hanterar man alla de kund- och normkrav som ställs på produkten. Lösningen med konfigurerbara komponenter skulle om den tillämpas i byggindustrin medge att en plattform inte längre är en samling fördefinierade komponenter som ständigt måste anpassas till en verklighet som inte ser riktigt likadan ut. Istället blir plattformen ett flexibelt instrument som används under projektering och produktutveckling för att utforma byggprojekten så att alla kundkrav kan mötas med effektivast möjliga produktionslösning. Plattformen innehåller därmed byggentreprenörens produktions-DNA.

Big Data

Big Data (BD) och *Internet of Things* (IoT) är idag områden som drar mer och mer uppmärksamhet till sig bland företag, akademi och andra organisationer. Big Data handlar om de stora mängder data som genereras av traditionella och digitala källor både inom och utanför ett företag. När Big Data diskuteras så är det i termer av *Volym* (mängden data), *Hastighet* (hastigheten som information skapas och rör sig i företaget) samt *Variation* (typen av tillgänglig data). Mängden möjligt lagringsutrymme 2007 beräknade till närmare 300 Exabytes och idag är denna siffra än större, (Hilbert, M. & López, P., 2011). 2012 så skapades 2,5 Exabyte (2.500.000 Terabyte) data varje dag och denna siffra fördubblas var 40:e månad (McAfee och Brynjolfsson, 2012). Den stora datamängden möjliggör, rätt analyserat, ett enormt beslutsunderlag och stora fördelar för den som kan göra detta.

I kölvattnet av Big Data finns även Internet of Things vilket innebär ett nätverk av olika fysiska saker med elektronik, mjukvara och sensorer inbyggda som är hopkopplade med varandra, figur 17. Exempel som tillämpas är sensorer som mäter när maskiner inom industrin slitits ut till den grad att de måste underhållas. Via sensorn kan kritiska nivåer på fördefinierade parametrar kommuniceras till en mjukvara som varnar för att den kritiska nivån är nådd. Ett optimerat underhåll som sker när det verkligen behövs är målet (Gubbi et al. 2013).

Figur 17 Kombinera data ger kunskap om den egna verksamheten. Foto av Pixomar, freedigitalphotos.net.

Inte bara tillverkningsutrustning kan kopplas upp till Internet, utan alla typer av maskiner. Termostater är ett populärt exempel som gör att värmen kan slås på i sommarstugan via Internet. Förlängningen av händelsen med termostaten i sommarstugan är att elleverantören samtidigt får information om att nu går belastningen på nätet upp. Om många sådana händelser kan samlas ihop via ett *Smart grid* i elnätet kan vår elanvändning optimeras så att energianvändningen minimeras (Parello et al. 2014).

När flera maskiner kan kopplas samman så att de kommunicerar med varandra uppstår Industri 4.0 där t.ex. olika delar av tillverkningslinan automatiskt kan berätta för andra delar om deras status och utnyttjandegrad (Severi et al. 2014). Industri 4.0 myntades i ett tyskt regeringsuppdrag 2011. Genom att använda konceptet Internet of Things för hela sin produktionslina kopplas alla resurser upp mot en virtuell fabrik som länkar samman resurser på samma sätt som de fungerar i flödet. Kommunikationen mellan resurserna gör att systemet kan ta decentraliserade,

automatiserade beslut om produktionen i realtid. För att vara flexibelt för kapacitetsförändringar bygger Industri 4.0 på modularitet i systemet. Möjligheten att erbjuda olika typer av tjänster baserat på den uppbyggda strukturen finns (Internet of Services).

All data som produceras i system där Internet of Things används kräver en metodik för att hantera data, men erbjuder också en möjlighet att använda data för analyser över tid om datamängden kan hanteras och filtreras. Metodiken är essensen i Big Data.

Tillämpning inom byggindustrin

Inom byggbranschen är det lätt att föreställa sig sensorer som håller koll på betongens stelnande under byggfasen eller byggnadsautomation (”Smarta hus”) i form av ex. värme och ventilationsstyrning (Memari et. al., 2014). Underhåll av anläggningar t.ex. järnvägar är också en naturlig tillämpning. Inte många företag, ens på internationell basis, arbetar aktivt med Big Data idag (2015).

Ovan exempel fungerar utan att delarna kommunicerar med varandra, det räcker att de kommunicerar med en enda nod för att ta ut fördelarna med byggnadsautomation och underhållsstyrning. Tillämpningen av nätverken, eller Industri 4.0, återstår ännu att utforma inom byggandet. Tankar i denna riktning kunde vara att man inom byggandet kunde arbeta för att på stadsdelsnivå optimera energianvändningen genom att koppla samma byggnader i samma exploatering till varandra så att t.ex. en gemensam vindkraftsanläggning kan utnyttjas optimalt. En annan tanke är att använda tekniken för att koppla samman flera passivhus till en enda fjärrvärmeanslutning och därmed attackera problemet att många fjärrvärmeverk inte vill leverera energi till villor eftersom energianvändningen är för låg.

En annan intressant tanke är att utnyttja tekniken för att optimera logistiken på ett bygge. Inte bara kan man veta exakt var olika resurser arbetar på bygget, utan man kan också ha kunskap om hur långt de kommit med sina arbetsuppgifter t.ex. hur djupt man schaktat eller hur många gipsskivor som tagits från lagret (som alla vet vara det ligger eftersom det är positionsbestämt). Flödesförbättringen som uppstår då material alltid finns tillgängligt på rätt plats är substantiell.

Vidare kan flödet av maskiner på bygget optimeras. Många byggplatser är trånga, med få tillfartsvägar. Genom att ha bilarna uppkopplade och deras destination känd så kan algoritmer för att optimera rutten föreslå hur alla lämpligast ska köra för att få bästa möjliga totala flöde (Datafloq, 2015).

En viktig poäng i utvecklingen är att presentationen av data till beslutsfattare på alla nivåer måste vara korrekt och förståelig. Här ligger stor del av arbetet i byggbranschen. Ett tydligt exempel omtalades i figur 10, där visualiseringen av vilken variation som uppkommer i springan mellan motorhuv och framskärm är den enda information beslutsfattare ser. Ingen statistik presenteras för dem. I full analogi med den utvecklingen dras slutsatsen att om Big Data och Internet of Things ska appliceras i större skala inom byggandet så måste slutresultaten kommuniceras på rätt sätt på rätt nivå.

Diskussion

Utvecklingen inom byggproduktionstekniken har länge varit beroende av tekniska innovationer som nya verktyg, men har också stöttats av processinitiativ som industrialiseringen av byggandet. Informationsteknik har vilat på BIM-idén d.v.s. att information ska länkas till virtuella objekt som bär information genom processen. Den här rapporten har visat att det finns andra vägar mot utveckling som bygger vidare på eller utvecklar redan befintliga satsningar inom byggproduktion.

3D-utskrifter är en teknik som ännu inte passar för serieproduktion. Utskrifterna är alltför långsamma för att en 3D-skrivare ska ta del av produktionsflödet som det ser ut idag. Att skapa ett parallellt inflöde till produktionen är därför en bättre strategi. Det kan handla om att tillverka unika delar i en fabrik utanför byggplatsen, men också att låta en skrivare arbeta de timmar som byggplatsen inte används (vilket är 2/3 av tiden). Eftersom modellering med BIM mera är regel än undantag så finns redan data i byggprocessen för geometridefinition av objekt. Det som behöver göras är att exportera dessa data till en programvara som bereder utskriften. På materialsidan är de material som är aktuella att skriva ut (betong, massor med träfiber, massor med gips) av den typ att byggmaterialbranschen redan har den kunskap som krävs kring viskositet, härdningstider, sprickbildningar m.m. Att göra en satsning på 3D-utskrifter handlar alltså om att integrera kunskap från ett par ämnesområden som redan är etablerade inom byggindustrin.

Robotar används redan idag inom byggandet för repetitiva uppgifter. Traditionella robotar gör sig bäst där de kan vara relativt stationära och i en skyddad miljö. Servicerobotar är ett oskrivet kort inom byggandet. Dessa robotar som samverkar med människan har utvecklats för att känna av sin omgivning och agera på dessa signaler. Idag finns inga servicerobotar som tagits fram för att klara miljön på en byggplats, utom en utsättningsrobot som fungerar likt en robotdammsugare. Noggranna analyser kring cost-benefit måste göras för roboten innan en investering.

Geometrisäkring är en metod som redan testats inom byggandet och visat sig vara effektiv. Med den snabba utvecklingen av industriellt byggande blir den alltmer aktuell. Den tydliga koppling som finns till plattformar som används av i stort sett alla större och många mindre byggföretag gör att metoden har en naturlig väg in i byggproduktionstekniken. Med geometrisäkring som metod kan en av de allra största fördelarna med industriellt byggande, precisionen, verkligen realiseras, mätas och simuleras. Med en plattformsmodell kan kunskap kring produktionens precision via geometrisäkring bli en del av en byggentreprenörens kunskap om den egna produktionsprocessen.

Stora delar av tillverkningsindustrin talar om Internet of Things, Big Data och Industri 4.0. Detta är till stora delar obruten mark för byggandet och även om många talar om potentialen så har få omsatt det till praktik. Kanske ligger den stora vinsten för byggandet inte i att koppla upp allting med varandra, utan istället att ta hand om den information som finns dold inuti företaget genom att göra metaanalyser av den egna verksamheten?

Utvecklingen inom ProduktionBygg ämnar fortsätta genom att söka en fortsättning hösten 2015 från VINNOVA. Samtidigt har ett stort utvecklingspaket SIO-programmet Smart Built Environment (SBE) beviljats med fokus på digitalisering och industrialisering av byggindustrin. Eftersom det är viktigt att använda resurserna utan att överlappa dem, kommer ProduktionBygg inte att fokusera på området Big Data då detta tydligt kan kopplas till SBE. 3D-utskrifter är inte ett område som SBE tagit upp i sitt ramverk, däremot pågår ett doktorandprojekt på KTH Arkitektur inom området, sponsrat av betongindustrin. Geometrisäkring som metod kommer troligen inte att ligga inom SBE utan utvecklas fortsatt inom ProduktionBygg liksom robotar.

Referenslista

Skriftliga källor

Berglund, F. & Claesson, A. (2005) Utilising the concept of Design's Bandwidth to achieve Product Platform Effectiveness, Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design, 15-18 August, Melbourne, Australia.

Chase, K. and Parkinson, A. (1991) A survey of research in the application of tolerance analysis in the design of mechanical assemblies, res. Eng. Design 3(1);23-27.

Claesson A (2006) A Configurable Component Framework Supporting Platform-Based Product Development. Dissertation, Chalmers University of Technology

Crilly, N., Maier, A. M., & Clarkson P. J. (2008) Representing artefacts as media: Modelling the relationship between designer intent and consumer experience. International Journal of Design, vol. 2 (3): 15-27.

Edholm, P., Söderberg, R. (2009). Locator management for platform-based architectures in PLM systems, 11th edition of The CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing. Annecy (France). March, 26th and 27th 2009.

Edholm, P. Lindkvist, L & Söderberg, R. (2012) Geometrical Coupling Analysis to Reduce Complete Assembly Line Complexity. Proceedings of the ASME International mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2012, November 9-15, 2012, Houston, Texas, USA.

Forslund, K., (2012) Evaluating the effect of Variation on Product Appearance through Visual Robustness. Doktoravhandling, Chalmers Tekniska Högskola.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S. & Palaniswami, M. (2013) Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems 29 (7): 1645–1660. doi:10.1016/j.future.2013.01.010.

Hedström P., Almblad C. & Sandström P. (2015) Kundundersökning om 3D-utskrifter i studentlägenhet. Studentarbete i kursen Utvecklingsprojekt K7006B, Luleå tekniska universitet.

Jansson G., Johnsson H. and Engström D. (2014) Platform Use in Systems Building. Construction Management and Economics, 32(1-2), pp. 70-82.

Jensen, P. (2014) Configuration of Platform Architectures in Construction. Doktorsavhandling, Luleå tekniska universitet.

Jonsson, E. (2015) 3D-skrivare – något för byggbranschen? En inventering av mognadsgrad, teknikutveckling och möjliga applikationer. Examensarbete, Luleå tekniska universitet, avd. för Byggkonstruktion och –produktion.

Hilbert, M. & López, P. (2011). "The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information". Science 332 (6025): 60–65

Khoshnevis, B., Russell, R., Kwon, H., & Bukkapatnam, S. (2001). Crafting large prototypes. IEEE Robotics & Automation Magazine, 8(3), 33-42. doi: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=956812

Lorin, S., Lindkvist, L., Söderberg, R. och Sandboge, R. (2013) Combining Variation Simulation With Thermal Expansion Simulation for Geometry Assurance. Journal of Computing and Information Science in Engineering, Vol. 13: (3): 031007-031014.

McAfee, A. and Brynjolfsson, E. (2012) Big Data: The Management Revolution, Harvard Businesss Review, October issue.

Memari, A., Huelman, P., Iulo, L., Laquatra, J., Martin, C., McCoy, A., Nahmens, I., and Williamson, T. (2014). "Residential Building Construction: State-of-the-Art Review." J. Archit. Eng. 20, SPECIAL SECTION: Housing and Residential Building Construction, B4014005.

Meyer, M H and Utterback, J M (1992) The product family and the dynamics of core capability. In: Massachusetts Institute of Technology, School of Management.

Phadke, M. S., (1995) Quality Engineering Using Robust Design (1st ed.). Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA.

Rouhana C.M., Aoun M.S., Faek F.S., Eljazzar M.S. & Hamzeh F.R. (2014) The Reduction of Construction Duration by Implementing Contour Crafting. In proceedings from the 22nd annual meeting in the International Group for Lean Construction (IGLC 22), June 25-27, 2014, Oslo, Norway.

Severi, S., Abreu, G., Sottile, F., Pastrone, C., Spirito, M. & Berens, F. (2014) M2M Technologies: Enablers for a Pervasive Internet of Things. The European Conference on Networks and Communications (EUCNC2014).

Söderberg, R., Lindkvist, L. och Carlson, J. (2006) Virtual Geometry Assurance For Effective Product Realisation. 1st Nordic Conference on Product Lifecycle Management - NordPLM' 06, Göteborg, January 25-26 2006

Taguchi, G., Chowdhury, S. & Hsiang, T. C., (2005) Taguchi's Quality Engineering Handbook, John Wiley & Sons Inc., Hobocken, New Jersey, USA.

Wickman, C., Wagersten, O., Forslund, K. och Söderberg, R. (2014) Influence of rigid and non-rigid variation simulations when assessing perceived quality of split-lines. Journal of Engineering Design. 25 (1-3): 1-24

Åhman P. och Johansson J.-O. (1989) Robotar i byggbranschen – möjligheter och användningsområden. Rapport FoU-Väst.

Hemsidor

3DCS (2015) Retrieved 7/5, 2015, from http://www.3dcs.com

CM (2013). Retrieved 2/1, 2015, from http://www.constructionmanager.co.uk/news/skanska-claims-industry-first-3d-printed-cladding/

Datafloq (2015) Big Data can help construction companies deliver projects on time. https://datafloq.com/read/big-data-construction-companies-deliver-projects-t/143. Hämtad 2015-05-14.

Fabbaloo (2013) Blog. Retreived 30/12 2014. www.fabbaloo.com/blog/2013/5/1/d-shapes-plans.html

Gilpin, L. (2014). Retrieved 1 24, 2015, from http://www.techrepublic.com:

http://www.techrepublic.com/article/the-dark-side-of-3d-printing-10-things-to-watch/

IFR. (2015). Industrial Robot Statistics. Retrieved 2015-05-11, from http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/

Made in Space (2014). www.madeinspace.org.

Morby, A. (2014). News. Retrieved 29/12, 2014, from constructionenquirer: http://www.constructionenquirer.com/2014/04/28/chinese-firm-prints-10-full-sized-homes-in-aday/

NyTeknik (2012), hämtad 2015-05-10, från NyTeknik 18/5 2012, http://www.nyteknik.se/nyheter/automation/processautomation/article3471187.ece

NyTeknik (2015), hämtad 2015-05-15, från NyTeknik 18/3 2015, http://www.nyteknik.se/tekniknyheter/article3893561.ece

Parello, J., Claise, B., Schoening, B. & Quittek, J. (2014) Energy Management Framework. IETF Internet Draft <draft-ietf-eman-framework-19>.

Part AB (2015) www.partab.nu. Hämtad 2015-05-05.

RD&T. (2015). Robust Design & Tolerancing, retrieved. 2015-05-15, from http://rdnt.se/index.html

VSA (2015) retrieved 2015-05-11, from http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/manufacturing-planning/dimensional-quality/variation-analysis.shtml

Yanko Design (2012) www.yankodesign.com, Retreived 1/1 2015.

YuMi (2015). Retrieved 2015-05-08. http://new.abb.com/products/robotics/yumi

Muntliga källor

Bolmsjö G. (2015) Robotar inom byggande. Professor i robotik, Högskolan Väst, talare på Svenska Byggproduktionsdagen, 2015-03-26.

Jarl, N. (2015) Är 3D-utskrifter något för byggbranschen? VD CreativeTools, talare på Svenska Byggproduktionsdagen, 2015-03-26.

Bilaga A – Dokumentation av Svenska Byggproduktionsdagen

ProduktionBygg

UTMANINGSDRIVEN INNOVATION STEG 1 VINNOVA 2015-02-01 NUMMER 3

Svenska Byggproduktionsdagen en succé!

Geometrisäkring nyckeln till exakt byggmontage

Idag har många byggare industriella koncept. Dessa kräver en helt annan precision än dagens byggproduktion klarar.

- Här ser vi hur vår kunskap kan bidra, säger Rikard Söderberg, prof. i produkt- och produktionsutveckling samt föreståndare för Wingquist Laboratory, Chalmers.

Produktkvaliteten i byggandet får ofta kritik. Ofta beror låg montagenoggrannhet på en dålig förplanering av arbetet. Metoder finns redan utvecklade och har testats bland annat av PEAB och NCC.

- Byggbranschen säljer ju bara protoyper, säger Söderberg. Branschens företrädare ler igenkännande. Besök har avlagts hos industriella byggare och det väckte många frågor.

- Ju fler gånger du måste greppa ett element på nytt, desto oftare tappar du referenssystemet, säger Andreas Dagman, lektor i datorstödd maskinkonstruktion vid LTU.

Ett robust koncept dämpar den variation som finns i systemet. Det kan åstadkommas t.ex. genom att flytta stödpunkterna till mer förlåtande positioner.

Rikard Söderberg och Andreas Dagman

De utmaningar som finns i byggbranschen handlar inte bara om den variation som finns i ingående material, utan också om rent organisatoriska frågor:

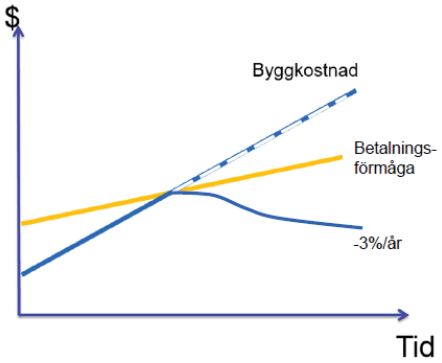
- Vem äger processen? För att styra behövs ägandeskap.
- Vilka aktiviteter sker när?
- Vad ska simuleras och vilken information behövs?
- Vilka materialmodeller ska användas?

Inom ProduktionBygg kommer geometrisäkring att utvecklas med fokus på materialmodeller för trä och inom industriellt byggande där ägandefrågan är tydligare.

Byggkostnaderna överstiger betalningsförmågan !

Om man jämför faktorprisindex för flerbostadshus med konsumentprisindex har vi sedan 1996 haft en situation då FPI är högre än KPI. Nu har prisstegringen på byggande gått så långt att kostnadsutvecklingen överstiger betalningsförmågan. Det får som konsekvens att byggherrarna inte får ihop sina kalkyler, vilket hämmar byggandet då projekt inte kan starta.

- 1990 kostade en bil 70% av en årslön, 2013 c:a 60%. Ett radhus kostade 3,9 årslöner 1990, men 7,4 årslöner 2013! konstaterar Jimmy Bengtsson, VD på Arcona.



Vad har gjort att byggkostnaderna dragit iväg? En faktor är att 38% av arbetet på byggplats är rent slöseri - vi väntar på rätt material, letar material, har ojämn tillgång till resurser o.s.v. Logistik är en viktig kompetens som idag knappt ses som en egen profession inom byggandet.

- Jag tror på att ha en lång planeringstid i utbyte mot en kort produktionstid, säger Jimmy Bengtsson. En upprepning i produktion är också otroligt fördelaktigt. Här handlar det om detaljer som ska trimmas in t.ex. att välja trådlösa installationer vilket frikopplar yrkesgrupper från varandra, fortsätter han.

Den verkligt stora potentialen ligger dock i att skapa rådighet i värdekedjan genom långsiktiga samarbeten mellan aktörerna. VD på Arcona:

- Jag uppskattar att vi kan nå en 20% sänkning av kostnaderna bara genom att etablera långsiktig samverkan mellan aktörerna. En annan tanke är att utnyttja arbetsdagen på bygge på ett annat sätt genom att ha två skiftlag som arbetar överlappande mellan 06.00 och 18.00.

- Hittills har vi inte haft tillräckligt tryck på oss för att genomföra förändringar, menar Bengtsson. Jag tror vi är där nu; en förutsättning för ett fortsatt sunt byggande är att byggkostnadsutvecklingen dämpas och följer KPI framöver.

Ska robotar egentligen jobba med logistik?

- Det är enklare för en robot att flyga över Atlanten än att plocka upp rätt nyckel ur fickan! säger Gunnar Bolmsjö, professor i robotik vid Högskolan Väst. Med det vill jag säga att upprepning är en grund för robotisering.

Och kanske ska byggbranschen flytta fokus från robotar som sätter kakel, spikar väggar, sätter tegel på fasader och t.o.m. sätter ut för innerväggar.

- Servicerobotar som samarbetar med människan är det senaste, fortsätter Gunnar. En robot som förbättrar flödet genom att lösa logistiska uppgifter som att hämta, lyfta, hålla i samverkan med människan är en stor möjlighet. Kostnaden för en robot kan skrämma många, men idag finns en andrahandsmarknad bland världens 1,5 miljoner robotar.

freedigitalphotos.net Victor Habbick

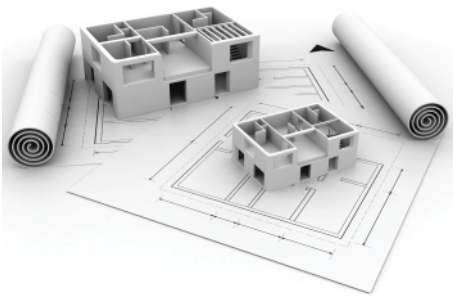
20-25% är själva inköpskostnaden och resten är ingenjörstid. Utvecklingen går snabbt inom standardiseringen för kommunikation mellan robotar. Autonoma bilar är ett exempel - konceptet 'plug and produce' blir alltmer en realitet.

- Byggbranschen kanske borde fundera på drönare som logistiskt verktyg, föreslår Gunnar Bolmsjö. Exoskelett bedömer dock jag som en idé som hellre bör utvecklas inom sjukvården.

3D-printing i byggbranschen - vad kan vi göra?

CreativeTools har tesen Allting 3D och arbetar med utveckling av mjuk- och hårdvara för 3D-utskrifter. Att skriva ut i 3D innebär att det blir inget spill och inga formar under produktionen. Många material kan användas:
- ljushärdande material, fotopolymerer som t.ex. används för att tillverka tänder
- pulver som smälts av en laser, används för metall och polymerer
- bindemedelsbehandlade pulver; gips, cement och polymer, fungerar som en bläckstråleskrivare
- extruderande trögflytande material som betong och polymerer, inblandning med träfiber

Teknologin för 3D-utskrifter är känd, det handlar om en ram och en lägesbestämning i tre dimensioner. Inom byggande har University of Southern California arbetat med contour crafting. Resultat kan ses på www.constructions-3D.com.



freedigitalphotos.net bluebay

- Man behöver inte skriva ut solida material, utan kan t.ex. göra hålrum eller skriva ut en form som senare löses upp eller bränns bort, fortsätter Nicklas Jarl, vice VD på CreativeTools.

Ett populärt material att arbeta i just nu är PLA som är stärkelsebaserad plast. Den är vattenlöslig över tid till skillnad från PVA som liknar trälim.

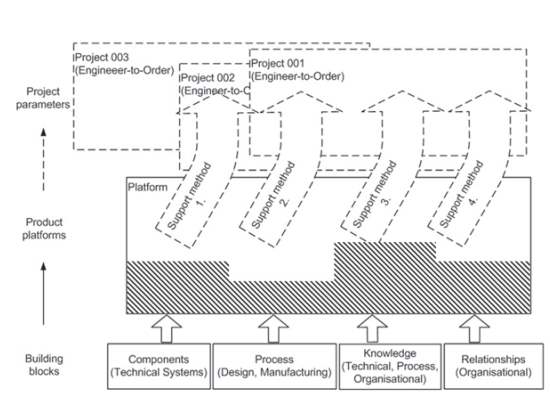
Inom byggande ser vi tre vägar framåt just nu:
1. Mindre byggnader som görs helt klara. Villor har redan skrivits ut i 3D.
2. Unika detaljer och utsmyckningar
3. Byggelement för större byggnationer som är för stora att transportera eller för komplicerade att tillverka på annat sätt (t.ex. konstruktionsoptimering).

För att klara utmaningarna krävs att man tekniskt klarar att skala modeller, vilket kan vara svårt. En viktig fråga är upphovsrätten som enkelt kan kullkastas med 3D-utskrifter. Den ledande forksninge finns idag i Ricardini i Italien, på flera universitet i USA och på Loughborough University i Storbritannien. I Kina verkar många privata intressen för utvecklingen inom 3D-utskrifter. Inom ProduktionBygg finns tankar på att använda 3D-utskrifter till Personalization - extrem kundanpassning.

Plattformar - inte bara för bilindustrin

Bilindustrin har länge använt plattformskonceptet som en framgångsrik produktionsbas för att förena flexibilitet med standardisering. Plattformar fungerar så att basdelar och tillvalsdelar identifieras. Vid skapandet av nya bilmodeller så återanvänds basdelarna i så stor utsträckning som möjligt, medan tillvalsdelarna kan tillhöra en eller flera modeller. Som ett exempel kan nämnas att bildelarna i Audis, Volkswagens, Skodas och Seats bilmodeller till 60% är likadana. Det här skapar stora möjligheter att få skalfördelar i inköp samt repetition i tillverkning och underhåll.

Byggandet arbetar generellt sett under en annan produktionsstrategi: engineer-to-order.
- Den här skillnaden mot bilindustrin gör att plattformar måste fungera på ett annat sätt i byggindustrin, säger Gustav Jansson, Luleå tekniska universitet. I min forskning har jag identifierat att vi måste ha projekteringsverktyg som länkar plattformen med de projektunika lösningar som krävs.
- Vi måste till och med tillåta designdelar! påstår Patrik Jensen, Tyréns. Designdelar är varken bas- eller tillvalsdelar, utan helt unika delar som används i projekten.



För att plattformar ska ta fart på riktigt i byggandet så måste en utveckling ske från att förstå vad plattformar är och tillämpa det i produktion till att också implementera plattformarna med full kraft också i projekteringen.
- Vi har förstås börjat titta på BIM-objekt som bärare av den informationen, fortsätter Jansson. Men vi ser dock att en viktig del saknas och det är den ständiga iteration mellan kravbild och lösning som är det dagliga arbetet inom projekteringen. En plattformsmodell som kan lösa det här problemet har tagits fram av Wingquist Laboratory på Chalmers.
- Ja, vi har en plattformsmodell där kravbilden hanteras objektorienterat, säger professor Hans Johannesson vid Produkt- och Produktionsinnovation på Chalmers. LTU och Chalmers förenar nu sina krafter för att skapa en plattformsmodell som klarar variationen och uniciteten i byggandet.

Svenska byggproduktionsdagen 26/3

Den 26/3 2015 samlades femtio representanter för byggindustrin i Näringslivets Hus för att diskutera framtiden för svensk byggproduktion.
- Det finns rätt dåligt med produktionsteorier för byggandet, säger Jan Byfors, teknisk chef på NCC. Vi får ständigt titta på tillverkningsindustrin för att lära oss.

Inom ProduktionBygg är målet att titta på svensk byggproduktionsteknik och föra den framåt.
- Vi vill se vad som finns 5-10 år framåt i tiden, säger Helena Lidelöw, projektledare. Därför är några av våra frågor helt nya för byggindustrin och kan kännas lite främmande.

Med den utveckling som nu sker är det dock hög tid att ta tag i byggproduktionstekniken. Det nyligen startade SIO-programmet Smart Built Environment har industriellt byggande och informationsteknologi som sina huvudspår.
- Vi ska se till att samverka så att inte resurserna riktas mot samma problem, fortsätter Lidelöw. Jag ser också att Produktionslyftet attraherar fler och fler byggföretag. Det ser jag som ett tecken på att byggföretagen tar produktionsutmaningen på stort allvar, fortsätter hon.

Vad händer nu?

Målet är att ProduktionBygg utvecklas till ett större program och går vidare till VINNOVAs steg 2 inom satsningen Utmaningsdriven Innovation.
- Ansökan ska lämnas in i slutet av augusti 2015. Vi siktar på att ha ett första utkast i början av juni, säger Helena Lidelöw.

Det är viktigt att de idéer som ska utvecklas inom programmet ska kunna kommersialiseras i slutänden. Därför bör de parter som ska står för kommersialiseringen anslutas till projektet redan nu.
- Vi är mycket intresserade av att komma i kontakt med er som är intresserade av att delta i utvecklingen! avslutar Lidelöw. 3D-utskrifter, robotar, geometrisäkring och plattformar är våra teman.

helena.lidelow@ltu.se