

Kundanpassat och kostnads- effektivt husbyggande med industriella plattformar

Lars Stehn, Dan Engström, och Marcus Sandberg
Luleå tekniska universitet

Rikard Söderberg och Andreas Dagman
Chalmers

Mars 2014

Projektsammanfattning – Utfall

Syftet med projektet var att påbörja samarbetet vilket pekades ut i projektet *"LWE och Wingquist i skön förening - konkurrenskraftig produktion över gränserna"* (Vinnovas dnr. 2011-03406). Arbetet genomfördes i sex olika aktiviteter främst genom workshops mellan forskare från LWE/LTU och WQL/Chalmers. Utkomsten från dessa aktiviteter var: 1) gemensamma skrivelser för hur forskning och samverkan mellan verkstadsindustrin och samhällsbyggnadsindustrin till en strategisk agenda *"Industriella processer för bygg och förvaltning"* (Vinnovas dnr. 012-01815) och i en liggande ansökan till ett SIO program *"Smart Built Environment"* (Vinnovas dnr. 2014-01326), 2) Utredningsarbete att sammanfatta kunskaper och behov inom *"balans mellan kundkrav och lönsamhet"*, *"upplevd kvalitet och rationellt montage i industriella plattformar"*, 3) Utredning om och i så fall hur verkstadsindustriföretag ska samarbeta med husbyggnadsföretag, 4) Industri-seminarium 26 februari 2014 för fyra företag inom samhällsbyggnadssektorn och forskare från LWE och WQL.

Mål för projektet – uppfyllelse

Målen var att *skapa förutsättningar för nya affärsmodeller för byggplattformar* och en *industriell handlingsplan* mot en ökad kostnadseffektiv industriell byggproduktion. Handlingsplanen ska leda till *effekter på sikt* med 1) ett starkt svenskt kunskapsområde för konkurrenskraftig byggproduktion och 2) ökat branschövergripande företagsamarbete. Kunskaper hur man kan anpassa och vidareutveckla metoder och erfarenheter från verkstadsindustriell forskning inom upplevd kvalitet och rationellt montage till byggplattformar presenteras i slutrapporten. En industriell handlingsplan är vägen framåt för hur de nya affärsmodellerna och informationsstrukturerna inom det industriella byggandet ska utvecklas. En handlingsplan formulerad som ett 1:a utkast till en UDI-ansökan arbetades fram från industriseminarier och utredningsarbetet inom projektet samt inspelen till Agenda- och SIO-arbetena. Projektens mål att gemensamt och i samverkan mellan forskare från Byggkonstruktion och -produktion och Produkt- och produktionsutveckling arbeta fram en industriförankrad handlingsplan är därmed uppnått. Dock stötte del 2) av effekten av handlingsplanen på problem och var föremål för flera workshops. Orsaken går att finna i upplevd kvalitet, rationellt montage där *"bilindustriföretag"* i mer än 10 år utnyttjat och förädlat kunskap med *"husindustriföretag"* ännu inte påbörjat resan och där utmaningen ligger i anpassning, inte vidareutveckling. Vi såg därför inte en direkt möjlighet i dagsläget att *"bilindustriföretag"* jobbar samman med *"husindustriföretag"*.

Syfte och mål – uppfyllelse

Syftet var att påbörja samarbetet från projektet ”*LWE och Wingquist i skön förening - konkurrenskraftig produktion över gränserna*”. Målen var att *skapa försätningsättningar för nya affärsmodeller för byggplattformar* och en *industriell handlingsplan* mot en ökad kostnadseffektiv industriell byggproduktion. Projektet skapade: 1) Gemensamma skrivelser till en strategisk agenda ”*Industriella processer för bygg och förvaltning*” och till ett SIO program ”*Smart Built Environment*” och 2) En industriförankrad handlingsplan formulerad som ett 1:a utkast till en UDI ansökan.

Resultat och förväntade effekter – utfall

Handlingsplanen och det påbörjade samarbetet är goda resultat. Handlingsplanen ska leda till *effekter på sikt* med 1) ett starkt svenskt kunskapsområde för konkurrenskraftig byggproduktion och 2) ökat branschövergripande företagsamarbete. Handlingsplanen och SIO-programmet ger goda försätningsättningar för delen 1). Gällande delen 2) ser vi i dagsläget ingen utmaning för att bilindustriföretag” jobbar samman med ”husindustriföretag”.

Upplägg och genomförande – analys

Idén till projektet tillkom från Vinnovas interna kunskapsarbete från sina excellens-centers (WQL och LWE) och satsningen på konkurrenskraftig produktion. Genom att koppla ihop två oberoende industrigrenar och via ett katalyserade verktyg (detta projekt) söka akademisk samverkan har visat sig en effektiv metod för att få två annars helt skilda akademiska miljöer att samarbeta. Genomförandet baserades därför på att successivt påbörja samarbetet genom workshops, seminarier, d.v.s. att samla in data och analysera metoder som kan användas i mer långtgående FoI senare.

1 Inledning

Projektet var en fortsättning av projektet ”*LWE och Wingquist i skön förening - konkurrenskraftig produktion över gränserna*” (Vinnovas diarienummer 2011-03406). Arbetet bedrevs som sex aktiviteter vilka utgör strukturen på rapporten, se kapitel 2. Dessa sex aktiviteter är kopplade till de fyra arbetspaketen som föreslogs i ansökan.

Arbetspaket 0: *Branschövergripande samarbete.*

Arbetspaket 1: *Balans mellan kundkrav och lönsamhet.* Framtagande av krav som påverkar beslut i projekteringsfasen för olika marknader och olika hustyper/produkter.

Arbetspaket 2: *Upplevd kvalitet med industriella plattformar.* Framtagande av verktyg för hänsynstagande till upplevd kvalitet och vad som påverkar upplevd kvalitet i det industriella byggandet.

Arbetspaket 3: *Rationellt montage i industriella plattformar.* Demonstration av hur modellering och simulering av material, strukturer och produktion kan stötta rationellt montage.

1.1 Syfte, mål och nytta

Syftet med projektet var att påbörja samarbetet mellan forskningsmiljöer från Samhällsbyggande (industriella byggplattformar och LWE) samt Produkt- och produktionsutveckling (verkstadsindustrin och Wingquist) som pekades ut i projektet ”*LWE och Wingquist i skön förening - konkurrenskraftig produktion över gränserna*” (Vinnovas diarienummer 2011-03406).

Målen med projektet var att:

1. Skapa förutsättningar för nya affärsmodeller och informationsstrukturer för byggplattformar
2. Skapa en industriellt förankrad handlingsplan

Förutsättningar för nya affärsmodeller och industriell handlingsplan mot en ökad kostnadseffektiv industriell byggproduktion fokuseras i projektet till att anpassa och vidareutveckla metoder och erfarenheter från verkstadsindustriell forskning inom *upplevd kvalitet* och *rationellt montage*.

Projektets förväntade effekter på sikt är:

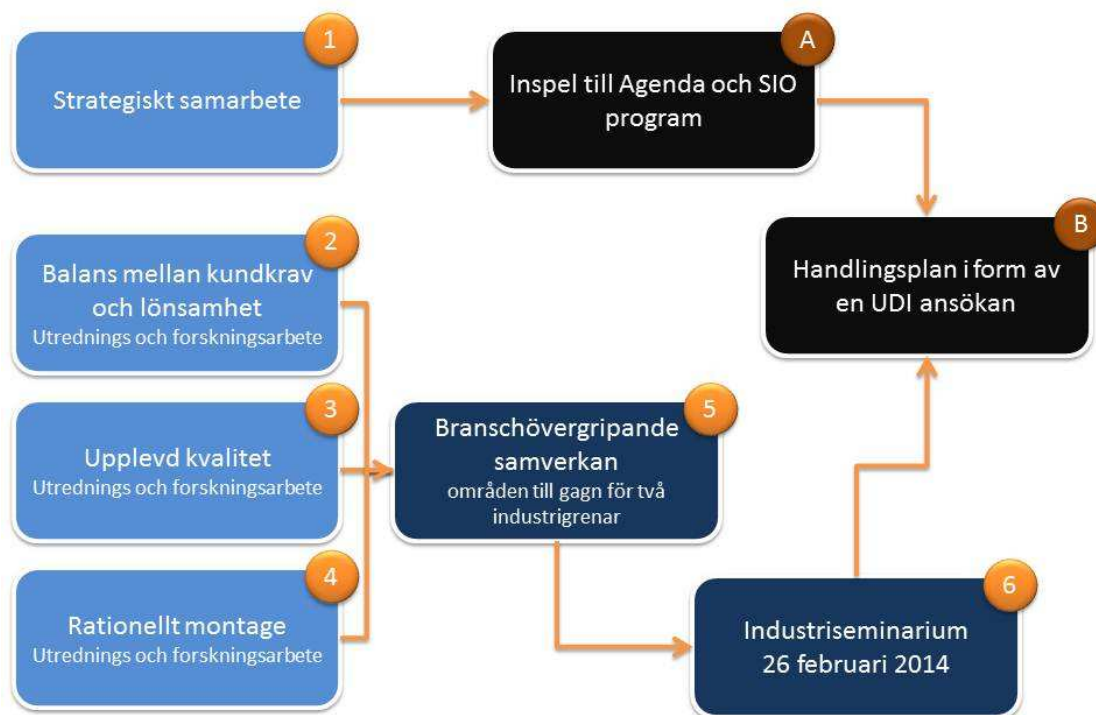
- Ett starkt svenskt kunskapsområde för konkurrenskraftig byggproduktion
- Ökat branschövergripande företagsamarbete och innovationer.

1.2 Projekttid och arbetsgrupp

Projektet genomfördes mellan 7 december 2012 – 30 mars 2014. Projektledare var Professor Lars Stehn, LTU och utförargruppen bestod av seniorforskare från LWE och Wingquist.

2 Genomförande

Arbetet mot de två målen bedrevs som sex aktiviteter (1-6) med två leveranser (A-B).



Aktivitet 1: Framtagande av gemensamma skrivelser för hur forskning och samverkan mellan verkstadsindustrin och samhällsbyggnadsindustrin till en strategisk agenda och i en liggande ansökan till ett SIO program. *Kapitel 3.*

Aktivitet 2-4: Utrednings och kvalificerat arbete att sammanfatta kunskaper och behov inom arbetspaket 1-3 vilket ledde fram till aktivitet 5. *Kapitel 4 och 5.*

Aktivitet 5: Syntesarbete för utredning om och i så fall hur verkstadsindustri-företag ska samarbeta med husbyggnadsföretag. Analysen av detta ledde fram till genomförandet och utformningen av aktivitet 6. *Kapitel 6.1.*

Aktivitet 6: Industriseminarium 26 februari 2014 för 4 företag inom samhällsbyggnadssektorn och forskare från LWE och Wingquist. Seminariet ledde fram till en gemensam handlingsplan, leverans B. *Kapitel 6.2.*

Leverans A: Inspelen och förslagen på aktiviteter, FoI projekt och metoder i agendan och SIO programmet utgör leverans A. Tankar och idéer från detta blev också inspel till leverans B. *Kapitel 3.1.*

Leverans B: En handlingsplan formulerad som ett 1:a utkast till en UDI ansökan. Målet är att denna ska skickas till Vinnova i augusti 2014. *Kapitel 6.3.*

2.1 Arbetsgrupp

LWE (medverkande från Byggkonstruktion och -produktion LTU)

Professor Lars Stehn, Adjungerad Professor Dan Engström, NCC Teknik & LTU, Tekn. Dr. Marcus Sandberg.

Wingquist (medverkande från Produkt och produktionsutveckling Chalmers)

Professor Rikard Söderberg och Tekn. Dr. Andreas Dagman.

3 Strategiskt samarbete

Inom LWE söktes och erhöles bidrag (Vinnovas diarienummer 2012-01815) för att arbeta fram en Strategisk FoI agenda. Agendan rapporterades in till Vinnova som *"Industriella processer för bygg och förvaltning - en forsknings- och innovationsagenda"* I samarbete mellan forskare från LWE/LTU och Wingquist/Chalmers utformades de delar i agendan som berör framtida samarbete mellan forskning och företag från verkstadsindustrin och samhällsbyggdaskonstruktionsindustrin. Agendan ingick sedan som bas tillsammans med BIM agendan i ansökan till SIO-programmet *"Smart Built Environment"*. SIO programmet ligger i Vinnovas beslutsprocess för närvarande (Vinnovas diarienummer 2014-01326).

3.1 Inspel till Agenda och SIO program

Industriella processer för bygg och förvaltning är en nationellt förankrad forsknings- och innovationsagenda inom samhällsbyggnadssektorn. Tidigare har utvecklingen bedrivits mycket fragmenterat med huvudsakligen produktionsfokus. I denna agenda har vi lyckats samla alla aktörer - byggherrar, fastighetsägare, konsulter, byggare och materialleverantörer, liksom behandla allt byggande - nybyggnad, underhåll, drift och ombyggnad, i både stora och små projekt inom hus- och anläggningsbyggandet. Vi har även knutit aktörer från andra branscher, företrädesvis verkstads- och IT-industrin, samt starka internationella forskningspartners till agendan.

Genomförandet av agendan sker i åtta olika arbetspaket. Arbetspaket 8 innefattar resultatet från samarbetet i detta projekt.

Innehållet i detta arbetspaket, som här redogörs sammanfattat och kortfattat, ser vi som leverans A.

Arbetspaket 8 i Agendan Industriella processer

Branschöverskridande kunskaps- och teknikutveckling:

Ökad strategisk och nyfikenstyrd FoI-samverkan utom samhällsbyggnadssektorn krävs för att kommersiell framgång.

Samverkan behövs främst med aktörer från andra branscher från två nya sektorer för att stötta och utveckla industriella processer inom byggande, förvaltning och underhåll:

- Externa aktörer med tydlig produktionsfokus t.ex. inom verkstadsindustrin. Den gemensamma nyttan är att samhällsbyggnadsbranschen tar in kunskap för att utveckla produktionsinnovationer och produktutveckling och verkstadsindustrin lär av byggandets unika hantering av projekt. Inget affärsmässigt konkurrensförhållande

råder varför båda branscherna gemensamt kan stärka Sveriges utmaning om konkurrenskraftig produktion och

- Externa aktörer med sin industriella verksamhet inom Internet of Things för att inkludera brukar- och förvaltningsaspekter i konceptens erbjudanden.

Det pågående samarbetet med Wingquist ska enligt planen fortsätta i och ett antal gemensamma och tänkbara Fol projekt finns formulerade under rubriken *Marknadsstrategier för plattformar*. Om c:a två år kan företagssamverkan från de två industrisektorerna ses som en reell möjlighet. Wingquist-laboratoriet står bakom en fortsatt handlingsplan för en branschövergripande kunskaps- och teknikutveckling. Exempel på framtagna och prioriterade Fol projekt är:

- Anpassning till, och implementering av, brukardrivna produkter (*mass customization*),
- Utveckling av produkter för effektivare montage, utbytbarhet och demontering (*design for de-assembly*) samt flexibla användning,
- Integrering, simulering och optimering av försörjningskedjor och produktionssystem ur olika perspektiv (miljömässigt, ekonomiskt och socialt),
- Skalbara produktionssystem som balanserar kundanpassning och samhälls krav (t.ex. pris, tillgänglighet, hållbarhet och säkerhet) mot skalfördelar och produkt mot tjänst och
- Scenarier för leverantörskedjor och rollfördelningen i och mellan företag: resurser och kompetenser.

SIO programmet bygger på agendan där dessa inspel finns invävda inom de öppna utlysningar som planeras ske. Kopplingen är tydlig mot två av SIO programmets fyra föreslagna fokusområden *”Effective and user-oriented processes”* och *”New business models”*.

4 Balans mellan kundkrav och lönsamhet

Kunskapssammanfattningen gällande balans mellan kundkrav och lönsamhet svarar på frågeställningen för:

Arbetspaket 1: Framtagande av krav som påverkar beslut i projekteringsfasen för olika marknader och olika hustyper/produkter

Nedan redogörs för delar av den kunskap som tagits fram inom LWE i fråga om balansen mellan kundkrav och lönsamhet.

Exemplet som används är Gustav Janssons doktorsavhandling *Platforms in Industrialised House-Building*¹ Gustav Janssons arbete vid LTU Träbyggnad rör användningen av plattformar i projekteringen av flerbostadshus. Avhandlingen visar:

- Skillnader i den fasta industrin och byggsektorn i hur man hanterar plattformar, och hur byggindustrin använder dem för att balansera kundkrav med lönsamhet.
- Kunskap om hur man gör plattformar mer flexibla och mer projektunika med bibehållen kontroll riktad även till den fasta industrins perspektiv.

¹ Nedladdningsbar <http://pure.ltu.se/portal/sv/publications/platforms-in-industrialised-housebuilding%28a40aba3e-7ee6-4a79-a53b-a82c85a9a70b%29.html>

4.1 Tekniska plattformars effektivitet

I den industriella systematiken gör man stegvis allt större kostnadssänkningar och kvalitetshöjningar genom återkommande förbättringar. Därför kräver arbetssättet att man gör investeringar i resurser som inte är konkret produktiva i varje enskilt projekt utan framför allt i resurser mellan projekt. Det är dessa resurser som dokumenterar, analyserar och sprider erfarenheter från projekt till projekt. I byggsektorn är länken mellan produktion och produktutveckling/ projektering oftast inte systematisk. Mätning av effekterna av kunskapsöverföring i form av ökad effektivitet sker heller inte.

Både industriella trähusbyggare som Lindbäcks Bygg och generella entreprenörer som NCC Construction Sverige AB arbetar intensivt med att förbättra sina produkter och processer. När det gäller erfarenhetsåterföring har branschen kommit så långt att man lärt sig att samla in erfarenheter i produktionen av tidigare projekt men saknar dock en planerad metodik för analys av dessa erfarenheter. Branschen som helhet saknar också vana vid systematisk återkoppling från förvaltning (drift och underhåll).

Det industriella byggandet behöver lära sig effektiva metoder för att hantera sina delprocesser och då särskilt att dra nytta av virtuellt byggande. Det generella byggandet behöver lära sig processeffektivisering (exempelvis mätning) och att lägga fokus på att optimera rätt saker för att få hela processen att gå snabbare.

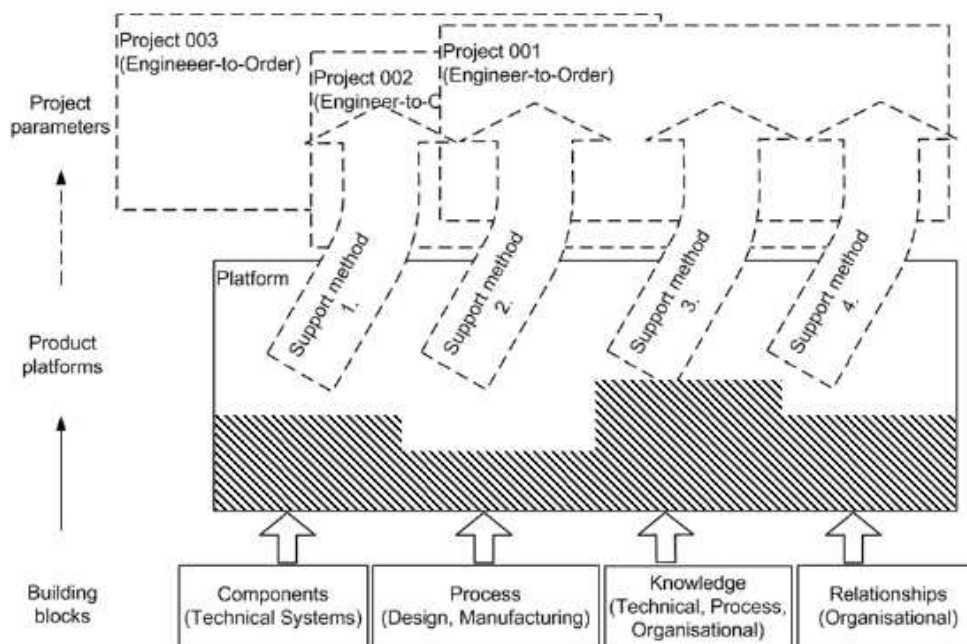
Gustav Jansson och forskargruppen vid LTU Träbyggnad placerar in byggandets strukturering i ett industriellt sammanhang. Det som karakteriserar byggsektorn till skillnad från andra industrigrenar är att kundordern inte är en diskret punkt utan ett område. Detta illustrerar det faktum att affärer görs där kundkraven varierar och utvecklas med tiden. Från den fasta industrin definieras plattformar som bygger på fyra tillgångar: teknik, process, kunskap och relationer. Tekniken är komponenter, processerna är metoder, kunskapen är förmåga att omsätta tillgångar i praktiken och nätverk är organisationens samverkan internt och med externa samarbetspartners.

Syftet med plattformar är skapa kundunikt värde på ett kostnadseffektivt sätt. Det gör man genom att hitta en balans i de fyra tillgångarna mellan:

- *Communalit*y (enhetlighet, det som återkommer från projekt till projekt, driver kostnadssänkningar) och
- *Distinctiveness* (särprägel, det som är unikt för varje projekt, driver kundvärdet variation).

Det kundunika hittar man i produktfamiljer, avsedda för olika marknadssegment i förberedda val som varje kund kan göra. Kombinationen av masstillverkning och kundunika val kallas ofta för mass customisation. Man använder alltså sin förmåga att förutse marknadsbehov i olika segment snarare än förmågan att anpassa sig för att möta varje kunds behov.

Långa cykeltider i bostadsbyggandet ställer krav på ett kontinuerligt flöde av kunskap mellan plattform och det dagliga arbetet inom byggprojekten. Plattformsversioner och produktvarianter fungerar därför inte metoder behövs därför för att stödja flödet av kunskap och information. Baserat på fallstudier på NCC och Lindbäcks Bygg tar Janssons modell tar hänsyn till detta.



Här är plattformarna delvis skrafferade för att markera att man bara når delvis till full standardisering inom de fyra tillgångarna. Produktfamiljerna är ersatta med systematiserad projektering för varje projekt. Systematiseringen och standardiseringen hittar man i de återkommande stödmetoderna (*Support methods* i bilden). Stödmetoderna är projekteringsstyrning, samverkansprojektering (så kallad Big Room-metodik), projektoptimering och kraviteration. De fyra olika stödmetoderna fokuserar på olika delar av värdekedjan. Systematiseringen nära kund blir därför inom ramen för processer, inte teknik.

5 Rationellt montage och upplevd kvalitet inom tillverkningsindustri

Kunskapssammanfattningen gällande upplevd kvalitet och rationellt montage inom tillverkningsindustrin svarar på frågeställningen för:

Arbetspaket 2: *Framtagande av verktyg för hänsynstagande till upplevd kvalitet och vad som påverkar upplevd kvalitet i det industriella byggandet.*

Arbetspaket 3: *Demonstration av hur modellering och simulering av material, strukturer och produktion kan stötta rationellt montage.*

Nedan redogörs sammanfattat den kunskap som Wingquist Laboratory (WQL) representerar i fråga om rationellt montage och upplevd kvalitet som kopplar mot frågeställningarna ovan. Wingquist Laboratory har en ledande roll i Sverige inom effektiv produktframtagning för tillverkande industrin. Inom ramen för WQL finns Wingquist Laboratory VINN Excellence center som är ett av totalt 19 VINN Excellence centers i Sverige.

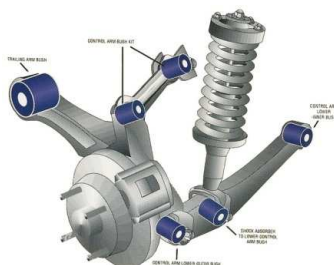
5.1 Inledning

Geometrisk variation hos de ingående delarna i en produkt samt den variation som uppkommer vid montering har varit ett stående spörsmål för tillverkningsindustrin allt sedan masstillverkningen början. Den geometriska variationen hos de ingående delarna likväl som variationen som uppkommer vid montering av delar-

na kommer att påverka produktkrav på monteringsbarhet, funktionen hos produkten samt den upplevda kvaliteten hos produkten. För att stävja problemet med variation används toleranser samt robust (förlåtande) konstruktion. Robust konstruktion innebär 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 såväl som funktionen hos produkten säkerställs samt att produkten upplevs som av god kvalitet hos kunden.



Assembly



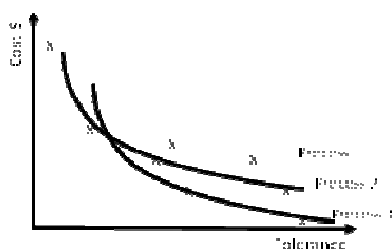
Function



Perceived quality

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

Den naturliga lösningen på problemet borde vara att minska på toleranserna för att säkerställa att produktkraven möts. Dock är det en stor risk att detta är ett kostsamt beslut då det finns ett starkt förhållande mellan ökad kostnad och minskad toleransvidd. Korrelationen mellan kostnad och variation följer en pareto front likt lösningen av ett optimeringsproblem. Beroende på maskin och bearbetningsprocesslösning kommer kurvan ha olika utseende.



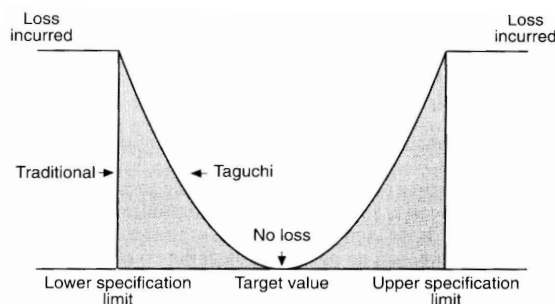
Kostnad som en funktion av toleransen

5.2 Rationellt montage inom tillverkningsindustrin

Variationssimuleringsmöjligheterna har förändrats i takt med ökad beräkningsprestanda i dagens datorer. Simuleringsmodellerna har gått från att behandla den geometriska variationen som stel (de i simuleringen ingående delarna betraktas som stela och inte deformerbara) till att i dag kunna behandla icke stela (eftergivliga) geometrier, delarnas geometri är möjliga att deformera. Detta har gjort analysmodellerna mer reaslistiska och analysresultaten mer tillförlitliga. Det har också möjliggjort simulering av den variation som uppkommer på grund av olika yttre påverkansfaktorer så som ex. termiska variationer hos produkten under både tillverkningsprocessen samt under produktens användningsfas. Materialen kommer, vid termisk påverkan, att antingen krympa eller expandera vilket kommer påverka den slutgiltiga produktens funktion eller utseende.

Inom kvalitetsområdet har Taguchis loss (förlust)-funktion varit av stor vikt. Den beskriver att kvaliteten hos en produkt inte omgående rasar vid en liten (tolerans) avvikelse från det tänkta mål värdet. Det är snarare så att förlusten snarare gradvis

ökar i förhållande till avvikelens storlek enligt figuren. Detta förhållande gäller för en produkts tekniska funktion såväl som dess upplevda kvalitet.

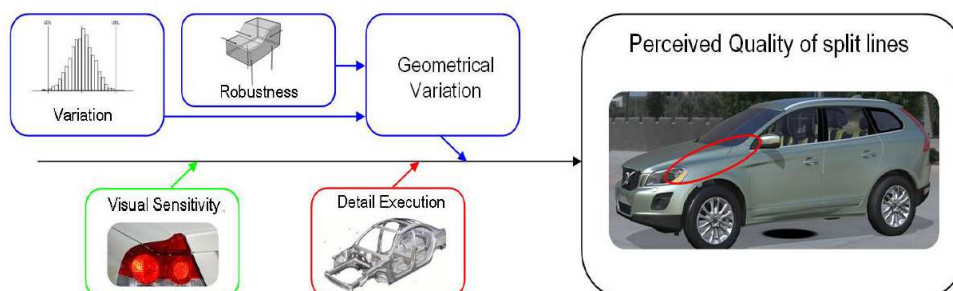


Loss-kurvan enligt Taguchi

5.3 Upplevd kvalitet

Kundens uppfattning om produktkvalitet är en nyckelfaktor för att skapa en framgångsrik produkt. I dagsläget räcker det inte att produkts kärnteknologi är av yttersta klass för att säkerställa att en produkt blir marknadsmässigt lyckosam. Upplevd kvalitet inbegriper alla de aspekter som skapar en känsla av god kvalitet hos en produkt. 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. I det projektet introducerades uttrycket visuell robusthet som också skall ses som en produktens egenskap. Visuell robusthet definieras som en produkts möjlighet att visuellt undertrycka geometrisk variation. Med andra ord lösningar som har en formgivning som är så utformad att eventuell geometrisk variation inte går att upptäcka för betraktaren eller att den inte upplevs som att den skapar en dålig upplevd kvalitet hos produkten. Geometrisk variation hos en produkt går primärt att upptäcka i de springor (delningslinjer) som finns mellan olika delar hos en produkt. I Figur 4 beskrivs de påverkansfaktorer som tillsammans skapar den upplevda kvaliteten. Påverkansfaktorerna beskrivs som följande:

- *Variation*: Tillverkningsystemets variation som påverkar delen/delarna samt hur stor tolerans som är bestämd.
- *Robusthet*: Ett sätt att utforma sin konstruktion så att den blir så okänslig som möjligt för variation.
- *Geometrisk variation*: Variationsutfallet hos produkten baserat på variationen i tillverkningsystemet samt konstruktionens robusthet.
- *Visuell känslighet*: Hur väl geometrisk variation hos produkten kan upplevas av betraktaren vilket påverkar produktupplevelsen negativt.
- *Detail Execution*: Hur väl producerad produkten är.



5.4 Mjukvarustöd

Inom ramen för forskargruppen geometrisäkring och robustkonstruktion, på Chalmers, har en uppsättning integrerade geometrisäkringsverktyg tagits fram (RD&T (Robust Design & Tolerancing) som stödjer geometrisäkringsprocessen från tidiga koncept stadier, till verifiering och pre-produktion och slutligen under produktion. Det är ett verktyg för statistisk variationssimulering som möjliggör simulering och visualisering av bearbetnings- och monteringsvariation virtuellt lång innan produkten har tillverkats. Verktöget stödjer konstruktion för robusta produkter, där en robust produkt i detta fall innebär att produkten blir producerad med planerad kvalitet även vid tillverkningsvariationer. Verktöget 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 i avseende på toleranser och variation. Verktöget kan importera geometriska modeller från andra CAD-program.

Se även: <http://rdnt.se/tool.html>

Precis som tanken med BIM där man har en informationsmodell som kan användas för att skapa olika resultat t.ex. 3D-modeller, VR-representationer, produktionskalkyler så kan RD&T läsa in data från verkstadsindustriens motsvarighet dvs PLM (Product Lifecycle Management) system, t.ex. Teamcenter Engineering från Siemens. Jämfört med off-the-shelf-program som t ex Revit, Tekla och ArchiCAD är stabilitetsanalysen, statistiska variationssimuleringen samt stöd för data och dokumenthantering i geometrisäkringsprocessen nytt. På forskningsnivå är det tänkbart att delar av denna funktionalitet finns tillgänglig för t.ex. stålbyggnad.

6 Branschövergripande samverkan

I kapitel 1 presenterades projektets mål vilka var att *skapa förutsättningar för nya affärsmodeller för byggplattformar* och en *industriell handlingsplan* mot en ökad kostnadseffektiv industriell byggproduktion. Kunskaper hur man kan anpassa och vidareutveckla metoder och erfarenheter från verkstadsindustriell forskning inom upplevd kvalitet och rationellt montage till byggplattformar presenterades i föregående kapitel (3-5).

En industriell handlingsplan är vägen framåt för hur de nya affärsmodellerna och informationsstrukturerna inom det industriella byggandet ska utvecklas.

Hur denna handlingsplan skulle utformas *diskuterades i flera workshops* i det vi kallar aktivitet 5 (se kapitel 2). Utgångspunkterna var två typer av frågor

Frågeställning 1: Utredning om och i så fall hur verkstadsindustriföretag ska samarbeta med husbyggnadsföretag

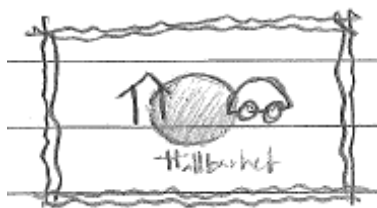
Frågeställning 2: Om inte svaret på frågeställning 1 är positivt så blir frågan om hur forskning riktad mot verkstadsindustriföretag ska överföras till husbyggnadsföretag.

6.1 Arbete med samverkansområden till gagn för två industrigrenar

Handlingsplanen (se kapitel 1) ska leda till *effekter på sikt* med 1) ett starkt svenskt kunskapsområde för konkurrenskraftig byggproduktion och 2) ökat branschövergripande företagsamarbete.

Delen 1 av effekten av handlingsplanen pekar på ett kunskapsöverföringsbehov från verkstadsindustrin som då kommer till nytta för både företagen och forskningen inom byggsektorn. Samarbete och benchmarking från verkstad till husbyggnad gynnar direkt företag inom husbyggnadssektorn. Forskningssamarbete skulle ge byggföretag och byggforskningen unika nya modeller till att utveckla komponenter och affärer och ledande forskning. Dock stötte delen 2 av effekten av handlingsplanen på problem och var föremål för flera workshops. Orsaken går att finna i målen och inriktningen i projektet - upplevd kvalitet, rationellt montage och påbörjade industriella byggplattformar. Frågan i detta sammanhang var: Vilken utmaning får "bilföretag" av ett samarbete i ett sammanhang där en part sedan mer än 10 år utnyttjat och förädlat kunskap med en part som inte påbörjat resan och där utmaningen ligger i anpassning, inte vidareutveckling?

En hypotes som dock testades var att ett gränssnitt av gemensamt intresse skulle kunna vara hållbarhetsfrågor. Inom båda industrigrenarna är denna fråga intressant gällande lägre CO₂ utsläpp (från bilar och driftsfasen för hus) och komponenter som går att återvinna och återbruka som två exempel. Hypotesen som testades illustreras i bilden nedan.



Kunskapsöverföring mellan bygg- och bilindustri med fokus på hållbarhetsaspekten.
Anteckningar från den 2 Maj 2013.

Genom en sammanställning av samtliga arbeten som gjorts inom LWE och WQL rörande forsknings och/eller utvecklingsprojekt initierade av industrin kunde konstateras att en absolut *överbärande majoritet* handlade om den ekonomiska dimensionen av hållbarhetens tre dimensioner (social, ekologisk och ekonomisk). Exempelvis forskning om metoder för ekonomisk effektivisering av byggandet eller den totala dominansen av den ekonomiska aspekten gällande rationellt montage ur perspektivet kassationer på grund av för stor geometrisk variation. Vi konstaterade därför att vare sig förmågan hos forskarna eller intresset bland våra gemensamma industripartners fanns för hållbarhetskopplingen.

Slutsatserna kring frågeställning 1 är således att vi inte såg en direkt möjlighet i dagsläget och hittar ingen utmaning i att "bilindustriföretag" jobbar samman med "husindustriföretag" och att därmed frågeställning 2 blir aktuell d.v.s. hur forskning riktat mot verkstadsindustriföretag ska överföras till husbyggnadsföretag. Med denna utgångspunkt, överföring av forskningskunskaper från verkstad till husbyggnad, lades industriseminarier upp.

6.2 Industriseminarium 26 februari 2014

Syftet på workshoppen var:

- Hur kan metoder för virtuell utveckling, framtagna i samarbete med fordonsindustrin, användas för effektiv byggproduktion?

Grundidén med seminariet var att i samverkan mellan byggföretag och forskare från Byggkonstruktion och – produktion (LWE/LTU) och Produkt och produktionsutveckling (WQL/Chalmers) ta ett första steg.

Deltagare: Stefan Dehlin Skanska, Dan Engström NCC, Roger Persson NCC, Helena Lidelöw Lindbäcks Bygg, Helena Eriksson PEAB, Andreas Furenberg PEAB, Lars Stehn LTU, Andreas Dagman LTU/Chalmers, Marcus Sandberg, LTU, Rickard Söderberg Chalmers.

Dagordning

Inledning:

- Varför är vi här (Sköna projektet I +II och koppling till SIO), kopplingen till Vinnova
- Koppling till SBUF och byggandet
- Hur relaterar detta till BIM?

Virtuellt Byggande - Simulering för effektiv produktion:

- Exempel på virtuell utveckling i fordonsindustrin + koppling till Atlas.

Bikupa:

- Hur kan metoder för virtuell utveckling, framtagna i samarbete med fordonsindustrin, användas för effektiv byggproduktion?

Summering av dagen

- Mötet var överrens om att sammanfatta seminariet som ett första utkast till en UDI ansökan. Följande ståndpunkter togs:
"Hellre ett mindre, smalare projekt med färre företag men där vi verkligen når får en starkt pilot inför nästa steg" och
"Vi bygger detta sakta och metodiskt, det har varit framgångsrikt inom andra industrigrenar i verkstadsindustrin"
- Företagen får sedan ta ställning till innehåll och förankra medverkan i denna ansökan. Planen är att via A ansökan som lämnas in i augusti 2014 forma konsortet och gå vidare med en B ansökan.

I kapitel 6.3 presenteras ett 1:a utkast till denna UDI ansökan vilket därför utgör en handlingsplan och leverans B i detta projekt

6.3 Handlingsplanen formulerad som en UDI ansökan

Handlingsplanen beskriven i termer av en UDI ansökan, som här redogörs sammanfattat och kortfattat ser vi som leverans B.

Virtuellt byggande- Simulering för effektiv produktion

Svensk projektsammanfattning

Industriellt byggandet i Sverige är på frammarsch och industriellt bostadsbyggande har potential att bli en svensk exportsuccé. Industriellt bostadsbyggande har stora möjligheter men också nya utmaningar. Det traditionella byggandet karaktäriseras av unika lösningar och ett arbetssätt som inte bygger på receptivitet. En av anledningarna till att gå

mot industriellt byggande är att nå skalfördelar i att öka på de repetitiva momenten. Vid en ökad andel repetitiva moment så ökar analys och simuleringsmöjligheterna och då specifikt virtuellt. Inom tillverkningsindustrin och speciellt fordonsindustrin så är virtuell simulering ett naturligt inslag för att säkerställa produktkvaliteten funktionellt så väl som estetiskt. Variationen från tillverkningsprocessen hos de ingående delarna såväl som vid monteringsprocessen kommer att leda till att slutprodukten kommer att avvika från den tänkta produkten. Denna uppbyggda kunskap inom tillverkningsindustrin är tillämpbar på byggindustrin men inte anpassad för denna. Inom ramen för detta forskningsprojekt har vi som mål att svara på frågan: *Hur kan metoder för virtuell utveckling, framtagna i samarbete med fordonsindustrin, användas för effektiv byggproduktion?*

Inom projektet skall en geometriseringsprocess för industriellt byggande tas fram. I jobbet att skapa en sådan process behövs en omfattande kartläggning av geometrirelaterade problem och dess orsak utformning, processer, aktiviteter etc.). Det behövs en anpassning av simuleringsverktygen från tillverkande industri till industriellt byggande vilket inbegriper bland annat nya materialmodeller.

I *Steg 1 – initiering* kommer projektkonsortiet tas fram och både företag samt forskare kan tillkomma.

I *Steg 2 – samverkansprojekt* kommer metoder och mjukvara börja utvecklas. Detta görs i första hand för byggnader men sedan även för anläggningar.

I *Steg 3 – följdinvestering* kommer ett företag som erbjuder tjänsten att hjälpa byggföretag att effektivisera sin produktion genom virtuellt byggande tas fram.

Mål för projektet

Ta fram metodbatteri och tillhörande mjukvara som möjliggör geometrisering inom byggindustrin och därmed effektiviserar produktionen.

Intresseväckande beskrivning

Sverige är duktiga på industriellt byggande internationellt sett. Genom att anpassa effektiva metoder och mjukvaror från verkstadsindustrin kan byggindustrin stärkas avsevärt. Dessa metoder och mjukvaror kommer sedan vara av stort intresse internationellt.

Sekretess?

Möjligt, men i dagsläget är det inte troligt.

Projektpartners kostnader och stöd

Total budget på 626 tkr varav 500 tkr från VINNOVA 125 tkr från deltagande företag.

Potential

Konkurrenskraftig produktion och Konstellationsbyggande och idéutveckling.

Bakgrund och state-of-the-art

"Svenska byggbolag är bäst i världen på att använda industriella metoder i bostadsbyggandet" (Dagens industri 18/3). Dock finns det potential att, genom kunskapsöverföring från tillverkande företag till byggbranschen, förbättra dessa processer avsevärt då mycket av projekterings eller monteringsfelen löses på plats med t ex mjukfogar, spikning och sågning. För kvaliteten är det viktigt att det verkligen bli 90 grader mellan väggar och golv i slutändan eller åtminstone minsta möjliga avvikelse från det nominella. Det som påverkar är monteringsordning och kopplingar mellan delar och dessa delar är möjliga att simulera. Dock kan det ibland vara motstridiga krav när en estetisk detalj ger en annan negativ effekt - kanske inte uppfyller energikraven. Detta måste också kunna balanseras.

Arbetet med produktplattformar inom byggindustrin har slått fast att det är möjligt att överföra kunskap från tillverkningsindustrin till byggindustrin, dock med viss anpassning. Mötet med kund skiljer sig på så sätt att inom byggindustrin är kunden van vid att anpassa sin lösning medan i tillverkningsindustrin är anpassningsmöjligheterna mer be-

gränsade. Dock är tillverkningsindustrin på väg mot större och större anpassningsmöjligheter och ett paradigmskifte är förestående. Detta innebär att vi går från massproduktion (mass production) till massanpassning (mass customisation). Industriell byggnation innebär att massanpassningen inom byggindustrin går mot massproduktion och med det en minskad möjlighet för kunden att välja och individanpassa sina produkter. Därför är inte alltid marknaden kanske stor nog för att motivera en större satsning på produktplattformar eftersom det kan minska kundens möjlighet till val.

Vid virtuell simulering av produktmodeller så är dessa nominella. I verkligheten så avviker dimensionerna på grund av tillverkningsvariation och slutresultatet kanske inte blir det som var efterfrågat.

70% av slutbesiktningen handlar om ytfinish. Resultatet på detta är till stor del beroende på robustheten i tillverkningsprocessen samt ingående toleranser samt processens variation. För att gå över till industriellt byggande krävs det att vi har återkommande moment (ex. löpande band inom tillverkningsindustrin) för att göra skalfördelar. Då uppkommer en mätbar variation som vi behöver förhålla oss till. Denna variation kan vi inte lösa på unika sätt varje gång utan försöka hitta lösningar på detta som är generiska. Genom virtuell simulering kan vi återskapa dessa situationer samt föreslå förändringar för att tillåta variation inom ett specifikt område.

Projektparter

LTU, Chalmers, Lindbäcks Bygg, NCC, Skanska och PEAB

Övriga aktörer som ni planerar att involvera under steg 1

Att besluta.

Projektplan och projektorganisation

I *Steg 1 – initiering* kommer projektkonsortiet tas fram och både företag samt forskare kan tillkomma. Inom Steg 1 kommer två workshops att hållas där den första fokuserar att ta fram ett fiskbensdiagram för påverkansfaktorer för upplevd kvalitet för byggnader. Den andra workshopen kommer att handla om att bygga upp konsortiet.

I *Steg 2 – samverkansprojekt* kommer metoder och mjukvara börja utvecklas. Detta görs i första hand för byggnader men sedan även för anläggningar.

I *Steg 3 – följdinvestering* kommer ett företag som erbjuder tjänsten att hjälpa byggföretag att effektivisera sin produktion genom virtuellt byggande tas fram. Företaget har en process de följer som stöttas av de framtagna metoderna samt mjukvaran och hjälper kunderna att ta fram en geometrisäkringsprocess. Företaget kommer att operera både nationellt och internationellt.

Teknik från verkstadsindustrin kan inte flyttas över i det format som det är utformat idag. Problemställningen, på en hög nivå, är den samma inom de olika branscherna men utmaningar vid anpassningen kommer att göra detta utmanande.

Då det traditionella byggandet är långt inifrån det industriellas så skulle ett delsteg kunna vara att i ett initieringsläge kolla på standardiserade delar att enas kring. Många av dessa delar produceras av underleverantörer varför dessa bör vara involverade inom ramen för ansökan. Stödet vid industriellt byggande ligger både på de som levererar den färdiga byggnaden men också på de underleverantörer som finns i dagsläget. Resultaten inom ramen för ansökan kommer att inbegripa stöd för kravsättning både i dialog med underleverantörer såväl som mot slutprodukt. Detta är viktigt för att kunna toleranssätta sina krav och på så sätt veta vad det är som man efterfrågar från sina underleverantörer. Inom tillverkningsindustrin jobbar man med kapabilitet (en process duglighet) och kapabilitetsindex $C_p = T/6\sigma$. Inom byggbranschen saknas data för T vid industriellt byggande.

Inom fordonsindustrin har man gått från tämligen stela material (stål) till mycket eftergivliga så som aluminium och olika typer av polymerer. Materialkaraktäristiken för dessa material skiljer sig från ex. stål varför simuleringsmodellerna har uppdaterats. När det gäller byggindustrin så är materialen radikalt annorlunda varför simuleringsmodellerna

för dessa behöver uppdateras. Betongelement är stela och är ofta förknippade med toleransproblem. Träkonstruktioner å andra sidan rör sig och ändrar form med tiden och är då förknippade med annan typ av problematik. Inom ramen för projektet ses dessa delar som utmaningar.

Oavsett produkt, ett fordon, en brödrost eller en byggnad, så finns det en slutkund. Det är denna kund som företagen försöker att göra nöjd genom sina produkter. I dagens samhälle, som präglas av upplevelser, så är denna kund i många fall inte nöjd med att produkten enbart fungerar. Att den ser välgjord ut (craftmanship inom tillverkningsindustrin) är en väldigt viktig parameter. Det samma gäller för byggindustrin. 70% av slutbesiktningen inom byggbranschen handlar om avvikelser kopplade till ytfinish. Avvikelser från nominella värden är inte diskreta (med en klar gräns) utan är relativa. För att modellera detta skulle Taguchis Quality loss kurva och metod vara ett möjligt angreppssätt. I denna teori/metod så förväntas kvaliteten bli gradvis sämre när man avviker från målet och inte ett diskret hopp.

Genom att använda garantiärenden och undersöka orsaken till avvikelserna skulle detta öka kunskapen kring variationsrelaterade defekter, en bottom-up approach. När dessa identifierats är det möjligt att hitta lösningar på dessa problem som kan vara att hitta en ny underleverantör eller ett nytt material. Detta leder till att företag blir skickligare på att ställa krav. Med denna kunskap skulle vi därför kunna få ett idealt system utan fel. Genom att simulera produktkoncept så går det att på ett tidigt stadium i produktutvecklingsprocessen utesluta dåliga lösningar. Bottom-up approachen kan sedan sprida sig uppåt i organisationen och så småningom leda till en ny process som är anpassad för geometrisäkring.

Då man inte är säker på vem som kommer att montera ihop delarna så krävs det olika typer av lösningar som säkerställer att slutresultatet motsvarar det som står i kravspecifikationen. Simuleringarna har till uppgift att i förväg visa på hur slutgiltigt koncept kan se ut med givna lösningar och processer. Variationen både hos infästningssystemet och delarna kommer att ge upphov till denna variation och på så sätt försvåra/göra det omöjligt att uppnå de fördefinierade kraven. Monteringsarbetet är inte heller standardiserat varför det krävs instruktioner eller självförklarande lösningar. Det har också visat sig att problem kopplade till variation påverkar arbetsmiljön för de som monterar ihop delarna vilket är kopplade till ökade kostnader. Identifiering i vilket steg i produktutvecklingsprocessen samt vem i värdekedjan som skall ta ansvar för geometrisk variationen är en aktivitet inom projektet.

I exemplet med dörrmontering och gångjärn så vet man inte vad det är som styr i det fallet. Beroende på avståndet mellan gångjärnen så kan det vara det övre som styr eller det nedre vilket påverkar hur slutresultatet kommer att bli. Att med hjälp av metoder och kunskap som redan upparbetats inom tillverkningsindustrin överföra dessa in till den industriella byggande skulle kunna ge denna process en brantare utvecklingskurva. Det finns mjukvaror tätt knutna till konsortiets som används redan idag av många stora företag inom verkstadsindustrin för att säkerställa att produktkrav relaterade till variation uppnås. Mjukvaran ger en tydlig bild av saker som behöver förbättras i produkten mha översiktligt användargränssnitt, effektiv beräkning och genomtänkt färgkodning.

I det första steget av detta projekt skall olika typer av kvalitetsbrister hos färdigställda hus identifieras och orsakerna till dessa skall tas fram. Detta skall sedan ligga till grund för de kommande simuleringmodellerna som skall utarbetas i den andra fasen som för att i tredje fasen implementera resultaten i industrin.

För att modellera detta skulle Taguchis Quality loss kurva och metod vara ett möjligt angreppssätt. I denna teori/metod så förväntas kvaliteten bli gradvis sämre när man avviker från målet och inte ett diskret hopp.

7 Slutsatser

Syftet med projektet var att påbörja samarbetet från projektet *”LWE och Wingquist i skön förening - konkurrenskraftig produktion över gränserna”*

Arbetet genomfördes i sex olika aktiviteter. Utkomsten från dessa aktiviteter var:

- Gemensamma skrivelser för hur forskning och samverkan mellan verkstadsindustrin och samhällsbyggnadsindustrin till en strategisk agenda och i en liggande ansökan till ett SIO program
- Utredningsarbete att sammanfatta kunskaper och behov inom ”balans mellan kundkrav och lönsamhet”, ”upplevd kvalitet och rationellt montage i industriella plattformar”
- Utredning om och i så fall hur verkstadsindustriföretag ska samarbeta med husbyggnadsföretag
- Ett industriseminarium för fyra företag inom samhällsbyggnadssektorn och forskare från LWE och WQL.
- En handlingsplan formulerad som ett 1:a utkast till en UDI-ansökan med bas i industriseminarier och utredningsarbetena samt inspielen till Agenda- och SIO-programmen.

Sammantaget anser vi att projektets syfte och mål har uppnåtts att att gemensamt och i samverkan mellan forskare från Byggkonstruktion och -produktion och Produkt- och produktionsutveckling arbeta fram en industriförankrad handlingsplan. Via Vinnovas initiativ att initiera och finansiera detta projekt bedömer vi att två oberoende industrigrenar kan kopplas ihop genom den påbörjade akademiska samverkan. Vi anser att detta katalyserande arbetssätt är en effektiv metod för att få två annars helt skilda akademiska miljöer att samarbeta.