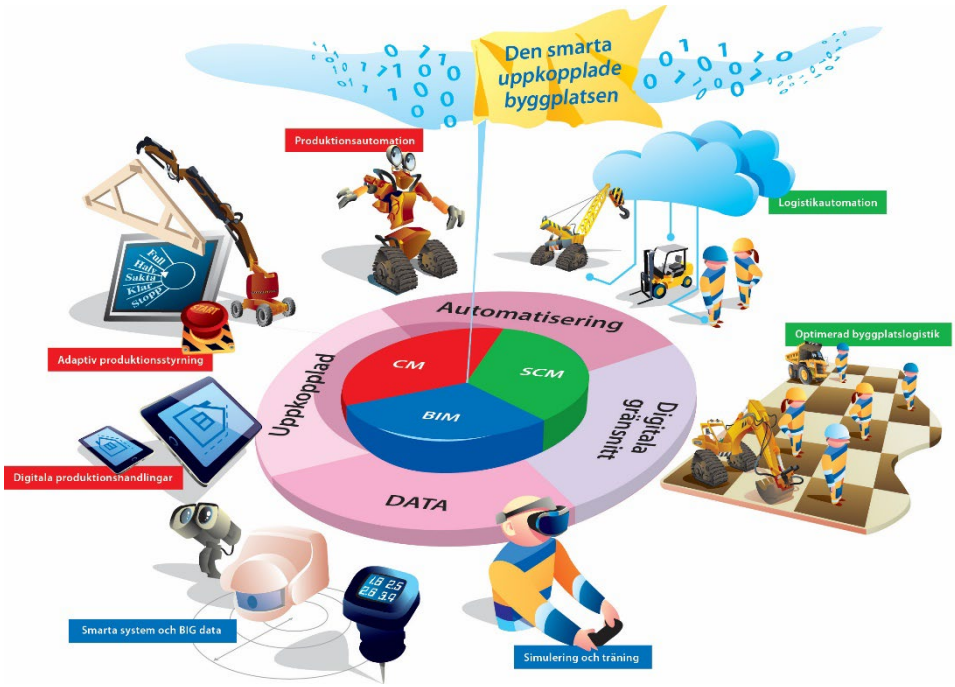
Uppkopplad byggplats - slutrapport

MARTIN RUDBERG OCH LARS STEHN

LINKÖPINGS UNIVERSITET

LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

SMART BUILT ENVIRONMENT
UPPKOPPLAD BYGGPLATS



Uppkopplad byggplats - slutrapport

En sammanfattning av av projektet Uppkopplad byggplats

Martin Rudberg och Lars Stehn

2022-02-10

Med stöd från
VINNOVA Sveriges innovationsmyndighet
Energimyndigheten
FORMAS
Strategiska innovations-program

1 Introduktion

1.1 Bakgrund, syfte och mål

Uppkopplad byggplats har genomförts som ett testbäddsprojekt om digitalisering av byggandet med fokus på byggplatsens planerings-, produktions- och försörjningsprocesser. Som testbäddsprojekt har Uppkopplad byggplats verkat som en plattform för att testa och utvärdera innovativa digitala tillämpningar, med ambitionen att skapa exempel på den uppkopplade byggplatsen, genom att ett antal ledande bygg- och IKT-aktörer har samverkat mot en gemensam målsättning. Denna målsättning har definierats som *hållbar effektivisering av byggandet med digitalisering som katalysator*. Denna övergripande målsättning har vidare brutits ned i följande punkter som projektet som helhet har strävat mot:

- Öka *nyttiggörandet* av teknik och digitalisering,
- Generera *ny kunskap* för deltagande organisationer, branschen, forskning och utbildning,
- Verka som en *katalysator för utveckling* av processer och verksamheter,
- Öka *samverkan* (akademi-näringsliv, näringsliv-näringsliv, akademi-akademi),
- Bidra till att generera *nya affärsmodeller* och *nya aktörer/aktörskonstellationer*.

Dessutom har de individuella testerna inom projektet genomförts med bas i de effektmål som har definierats av Smart Built Environment och den ursprungliga ansökan till Vinnova. Testerna har därmed strävat mot:

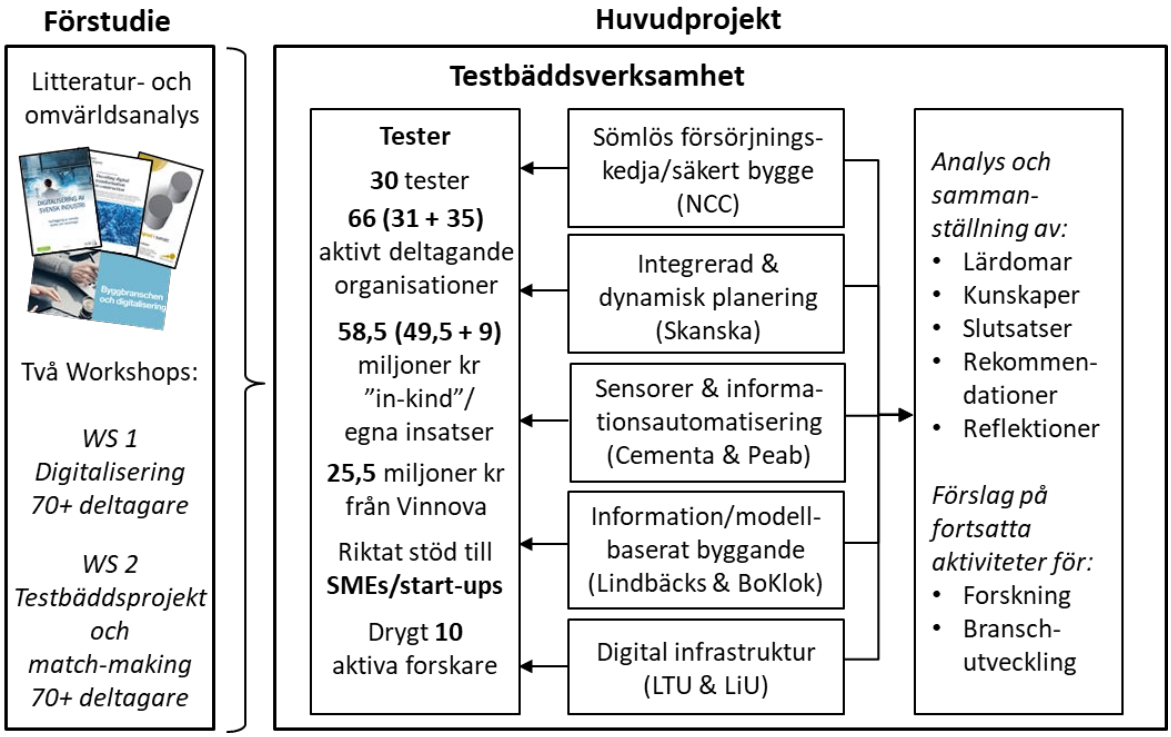
- Förutsägbara, snabbare, och effektivare *produktions- och informationsflöden*,
- Ökad *produktivitet* i flera delar av värdekedjan,
- Förbättrad *resurseffektivitet* avseende energi, transport och råvaror (minskad resursförbrukning),
- Ökad *säkerhet* med möjlighet att reducera antal tillbud och olyckor, samt
- Att *exemplifiera* vad en uppkopplad byggplats kan innebära.

Formellt ingick Uppkopplad byggplats som ett strategiskt projekt i Smart Built Environment med IQ Samhällsbyggnad som koordinator, men med finansiering från Vinnova via ett av Regeringskansliets strategiska samverkansprogram, *Uppkopplad industri och nya material*.

1.2 Genomförande, budget och finansiering

En översikt av projektets genomförande visualiseras i Figur 1. En förstudie genomfördes under 2017, vilken sedan resulterade i ett huvudprojekt som inleddes under 2018 och pågick under fyra år med avslut i december 2021. Ursprunglig budget för huvudprojektet

var 50,98 miljoner kr, varav Vinnovas finansiering var 25,49 miljoner kr. Resten utgjordes av egna insatser (”in-kind”) från de deltagande parterna. En del av projektbudgeten var också öronmärkt för att stötta start-upp-företag och SMEs. När projektet avslutas har de deltagande parterna varit mer aktiva och villiga att bidra med egna insatser. Det har också genomförts betydligt fler tester än vad som ursprungligen hade budgeterats för. Detta innebär att de deltagande organisationernas egna insatser summerar till drygt 58,5 miljoner kronor och att projektets hela omslutning därmed summerar till drygt 84 miljoner kronor (förstudien inte inräknad).



Figur 1: Översikt över projektets genomförande.

1.3 Huvudaktörer och deltagande parter

IQ Samhällsbyggnad har verkat som koordinator, medan projektledningen har delats mellan Linköpings universitet (LiU) och Luleå tekniska universitet (LTU), med Martin Rudberg (LiU) som formell projektledare och Lars Stehn (LTU) som bitr. projektledare. Vid sidan av dessa har projektet haft ytterligare fem huvudaktörer, som också har verkat som testbäddsledande organisationer: NCC, Skanska, Peab, Cementa, Lindbäcks Bygg och BoKlok (se också Figur 1). Dessutom har ytterligare projektdeltagare valt att gå med i projektet som formella parter, vilket har resulterat i att projektet som helhet har haft 31 olika organisationer som formella parter (se bilaga 1). Det är dock inte enbart de formella parterna som har bidragit med insatser i projektet, utan totalt har vi registrerat egna

insatser (”in-kind”) i de olika testarna för 66 organisationer (se bilaga 1), vilket alltså har resulterat i ett totalt värde för de egna insatserna på över 58 miljoner kr. Uppskattningsvis har någonstans mellan 400-500 personer på ett eller annat sätt varit involverade i testerna.

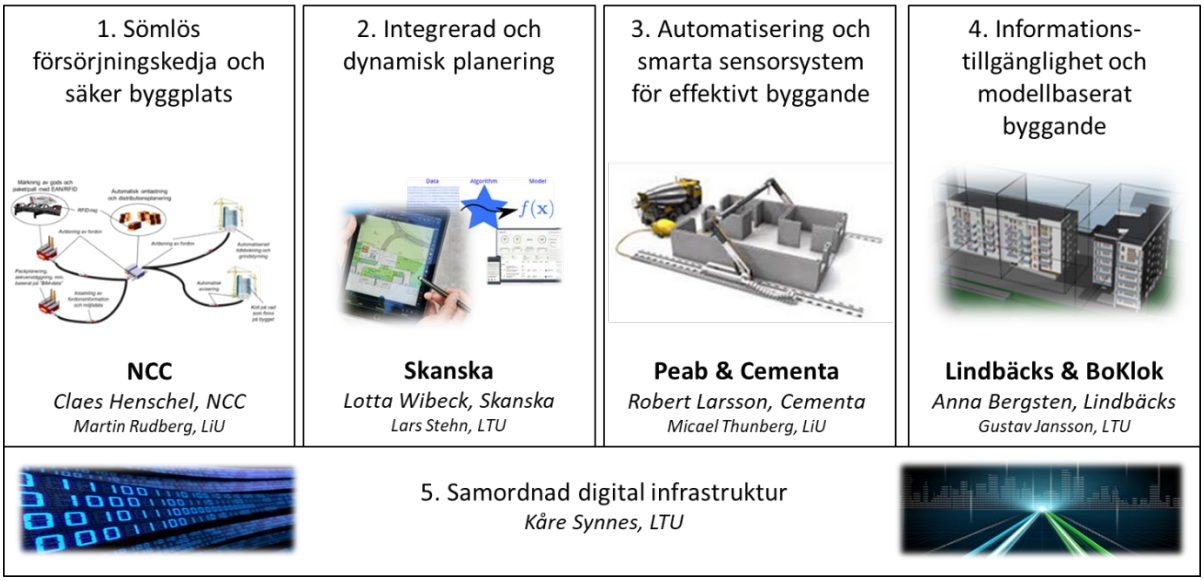
Projektet har haft en styrgrupp och de olika testbäddsprojekten har haft testbäddsledare från både byggföretag och akademi. Dessutom har forskare deltagit i testerna, samt analyserat och dokumenterat testerna och dess resultat. De personer som har varit verksamma och haft nyckelroller i dessa olika delar av projektet redovisas i bilaga 2.

2 Testbäddsverksamheten

Testbäddsverksamheten har fördelats på fem testbäddsprojekt, som alla har byggts upp enligt en hierarkisk struktur kring digitalisering. Dessa beskrivs i det följande.

2.1 Testbäddsverksamheten

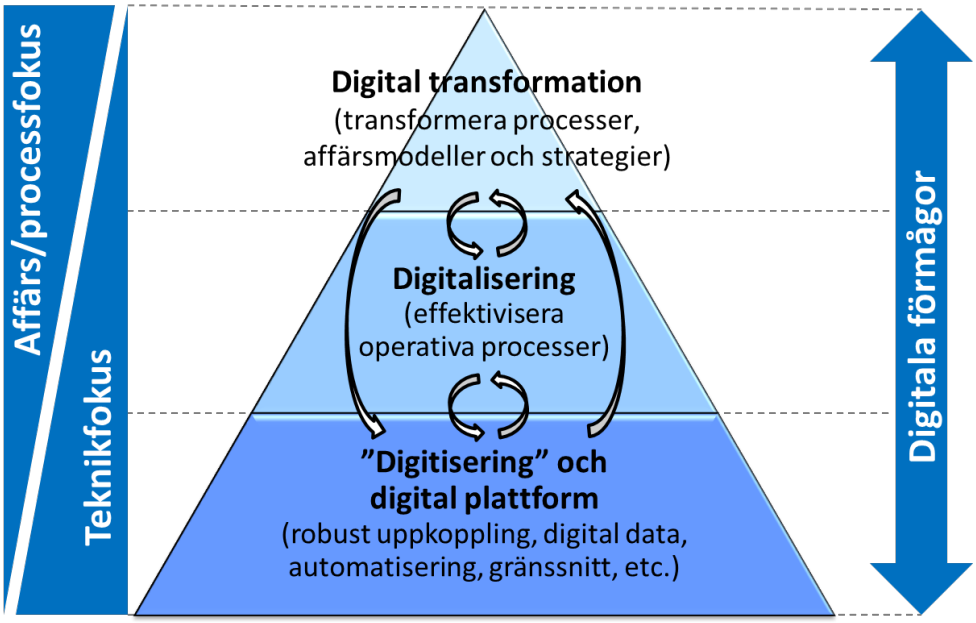
Testbäddsverksamheten har i huvudsak bedrivits inom fyra testbäddsprojekt, samt ett femte som förenar de övriga fyra testbäddsprojekten genom att fokusera på den digitala infrastruktur som behövs för att lyckas med digitalisering av byggandet (se Figur 2). Inom respektive testbäddsprojekt har ett antal tester av digital teknik genomförts i form av så kallade ”sprintar”. Dessa tester/”sprintar” har varit av olika natur och utformning och totalt har 30 tester definierats och genomfört i testbäddsprojekten. Gemensamt för testerna som har genomförts inom projektet är att de har koncentreras på byggplatsens planerings-, produktions- och försörjningsprocesser, och att de har bedrivits i samverkan mellan ett antal ledande bygg- och IKT-aktörer, samt universitet.



Figur 2: De fem testbäddsprojekten i Uppkopplad byggplats.

2.2 Testernas struktur och upplägg

Som bas för testernas struktur och upplägg definierades tidigt i projektet den så kallade ”digitaliseringspyramiden” (se Figur 3), med bas i nyckelbegreppen ”digitisering”, digitalisering och digital transformation. Strukturen innehåller tester av mer teknisk natur (”digitisering”), med målet att testa att tekniken är robust och fungerar i den omgivning som ett byggprojekt medför. Vidare inkluderar också testerna det vi definierar som digitalisering, vilket har tydligare fokus på processförbättring med stöd i ”digitisering”. Det är här vi räknar med att de effektmål vi eftersträvar kommer att uppnås. I en tredje nivå kan det också ske digital transformation, där processer eller hela organisationer förändras och nya affärsmodeller och strategier uppstår. Detta sista steg kan också medföra helt nya konstellationer av företag med helt nya affärsidéer.



Figur 3: ”Digitaliseringspyramiden”.

Projektet Uppkopplad byggplats adresserar framför allt de två första nivåerna – ”digitisering” och digitalisering – men det har under projektets gång även skapats förutsättningar för framtida digital transformation bland projektets deltagare eller som en följd av de tester som genomförs. Som framgår av Figur 3 har tester i basen av pyramiden ett tydligare teknikfokus, medan tester i mellannivån en kombination av teknik- och affärs-/processfokus. En viktig del av forskningen i projektet har, vid sidan av att stötta, dokumentera, följa upp och utvärdera, också varit att analysera behovet av digitala förmågor och kunskaper för att kunna skapa förutsättningar för förändring och utveckling av

branschen, samt att få vetskap om vilka kunskaper som behövs för att kunna göra nytta i en framtida digitaliserad byggbransch.

Totalt har 30 tester genomförts. Av dessa har 13 fokuserat på olika delar av pyramidens bas (mer teknikorienterade tester), medan 15 har fokuserat på pyramidens mellannivå (mer process- och affärsorienterade tester). Dessutom har två av testerna täckt in delar av hela pyramiden på en mer övergripande nivå.

3 Forskning och utveckling i testbädds-projekten

Nedan redogörs kort för testbäddsprojektens fokus och de genomförda testerna, följt av en kort resultatrapportering från dels de specifika testerna, dels projektet som helhet.

3.1 Testbäddsprojektens fokus och genomförda tester

De fem testbäddsprojekten har haft olika inriktning och fokus, men alla har genomfört ett flertal tester gällande både ”digitisering” och digitalisering. Alla testbäddsprojekt har alltså adresserat såväl basen som mellannivån av digitaliseringspyramiden (se Figur 3).

3.1.1 Testbäddsprojekt 1: Sömlös försörjningskedja och säker byggplats (testbäddsvärd: NCC)

Testbäddsprojektet har genomfört åtta tester uppdelade på två områden: 1) Utvärdering av applikationer och system för effektivare logistik, och 2) Digital teknik för att minska olyckor på byggarbetsplatser.

Inom det första området utvärderades applikationer och system för att skapa effektiv logistik och en sömlös försörjningskedja. Den centrala frågeställningen för tester som genomförts var hur digitaliseringen kan bli en katalysator och möjliggörare för den sömlösa försörjningskedjan, och vilka utvecklingsmöjligheter som skapas om vi har en digital representation av försörjningskedjan. Det andra området som testbäddsprojektet hanterade var att utvärdera om digitala tekniker kan öka säkerheten och minska mängden allvarliga och dödliga olyckor på byggarbetsplatser.

3.1.2 Testbäddsprojekt 2: Integrerad och dynamisk planering (testbäddsvärd: Skanska)

Testbäddsprojektet har genomfört sju tester uppdelade på tre områden: 1) Byggplatsens digitala infrastruktur, 2) Positionering av material och yrkesroller på byggplatsen, och 3) Effektivare byggplatser och integrerad planering.

Inom det första området var fokus på att utvärdera, testa och utveckla lösningar för hur man kan uppnå uppkoppling i byggproduktion, som kan anpassas efter byggprocessens olika faser. Den centrala frågeställningen var hur man tekniskt, praktiskt och ekonomiskt

kan uppnå en tillräcklig täckning så att digitalt beroende aktiviteter kan ske utan störningar i produktionen. Inom det andra området var syftet att testa och utveckla teknik för att positionera material, verktyg och yrkesarbetare. Inom det tredje området var fokus på att testa hur produktionsnära tjänster kan utvecklas för att stötta byggplatsens behov kopplat till integrerad planering. Syftet var att få en fungerande, integrerad planering, logistik och produktion, samt att via det kunna ”monitorera” framdrift mot tidplan, uppföljningar mot kontrakt och på sikt skapa förutsättningar för ökad produktivitet och automatiserade processer.

3.1.3 Testbäddsprojekt 3: Automatisering och smarta sensorsystem för effektivt byggande (testbäddsvärd: Peab och Cementa)

Testbäddsprojektet har genomfört åtta tester uppdelade på fyra områden: 1) Automatiserad informationskedja från ritning till robotiserad murning, 2) Trådlös styrning och övervakning av tunga lyft, 3) Digitala tekniker för att automatisera uttorkningsprocessen och realtidsuppdatering av prognoser för betong, och 4) Digitala sensorsystem för temperaturmätning för bättre kontroll av hållfasthetsutveckling för ny klimatförbättrad betong.

Inom det första området har en robot använts för att automatisera murläggning och studera informationsbehovet vid robotiserade byggmoment. Det andra området fokuserade på olika lyfthjälpmedel som med trådlös styrning kan minska tiden då personal behöver befinna sig i närheten av hängande eller osäkrad tung last. Dessa hjälpmedel gör det även enklare att justera hängande element så att montageprocessen kan gå fortare utan att göra avkall på säkerheten. Det tredje området fokuserade på hur uttorkningsprocesser kan förbättras genom att använda digitala tekniker för att mäta temperaturer och fuktighet i både omgivande luft och i betong, samt för att styra energianvändning hos torkutrusning. I det fjärde området fokuserar testbädden också på betonghärdning, men på egenskaper hos klimatförbättrad betong. Här används sensorer för att mäta luft- och betongtemperaturer i brokonstruktioner, samt att beräkna den aktuella hållfastheten i betongen.

3.1.4 Testbäddsprojekt 4: Informationstillgänglighet och modellbaserat byggande (testbäddsvärdar: Lindbäcks bygg och BoKlok)

Testbäddsprojektet har genomfört fem tester uppdelade på tre områden: 1) Nedströms flöde av information genom organisationen i form av planering, arbetsinstruktioner och standardiserade strukturer för informationsflödet, 2) Uppströms flöde av information med egenkontroll, dokumentation och kvalitetsuppföljning, samt 3) Nyttjande av sensorer för kvalitetssäkring av volymmoduler under transport och installation.

Testbäddsprojektet fokuserade på industriellt byggande som med tydliga flöden av material och komponenter i fabrik har visat sig mycket effektivt. Det visar på effektiviseringar genom standardiserat arbete och genom ett samlat kvalitetsarbete runt en produktionslina. Dock sker montage på byggplats, även för de industriella byggarna, i form av en projektbaserad organisation där platsens utformning påverkar planering och

byggplatsens logistik. Med bas i detta fokuserade testerna inom det första området på att utvärdera applikationer och system för att åstadkomma ett standardiserat arbetssätt på byggplats genom nedbrytning av processen. Inom det andra området undersöktes hur digitalisering kan nyttjas för dokumentation av egenkontroller och för att skapa spårbarhet för genomförda egenkontroller och för kvalitetsrelaterade erfarenhetsåterföringar. Slutligen adresserades i det sista området den utmaning som såväl industriella, som traditionella, byggare utsätts för: fukt och skador på material under transport och installation. I detta fall handlade det om volymmoduler som hade producerats i fabrik.

3.1.5 Testbäddsprojekt 5: Samordnad digital infrastruktur (testbäddsvärdar: LTU och LiU)

Det femte testbäddsprojektet var inte kopplat till något specifikt byggföretag, utan har spänt över de övriga fyra testbäddsprojekten (se Figur 2), med målet att undersöka förutsättningarna och möjligheterna med en samordnad digital infrastruktur. Totalt har tre studier, varav två tester, genomförts med syfte att: 1) stötta de tester som genomförs inom de övriga fyra testbäddarna, 2) bygga vidare på erfarenheter från andra industriområden (t.ex. processindustrin och gruvindustrin), samt 3) analysera behovet av teknisk utveckling inom digital teknik, såsom datakommunikation (WiFi-6, 5G) och gällande insamling, behandling och delning av data.

3.2 Resultat från testbäddsprojekten och testerna

På en övergripande nivå presenterades resultat från projektet och testbäddsprojekten via tre webinarier under hösten 2021. Det första webinariet presenterade resultat från testbäddsprojekt 2 (Skanska) och 4 (Lindbäcks och BoKlok), medan det andra presenterade resultat från testbäddsprojekt 1 (NCC) och 3 (Peab och Cementa). Det tredje och sista webinariet fokuserade på testbäddsprojekt 5 (Digital infrastruktur), samt på övergripande slutsatser och lärdomar från projektet som helhet. Totalt anmälde sig 280 deltagare till dessa webinarier och presentationerna finns tillgängliga via projektets hemsida (www.uppkoppladbygg.se/resultat), med totalt 173 visningar per 2022-01-04. På projektets resultatsida finns också ytterligare en inspelad presentation om hur digitalisering, VR, AR och AI har nyttjats i en del av testerna i pågående byggprojekt, och vilka effekter det kan få på en framtida, digitaliserad, byggarbetsplats (309 visningar per 2022-01-24).

På en mer detaljerad nivå har resultat från de flesta testerna redovisats i form av populärvetenskapliga publikationer (”white papers”, filmer, branschartiklar, mm), vetenskapliga publikationer (avhandlingar, journalartiklar, konferensartiklar, rapporter, mm), samt muntligen via konferenser, seminarier, mm. Alla resultat från projektets olika delar finns redovisade på projektets hemsida (www.uppkoppladbygg.se/resultat), och sammanfattas kortfattat nedan.

3.2.1 Populärvetenskapliga publikationer – ”white papers”

De 30 testerna som har genomförts under projektet har dokumenterats i 26 white papers, vilka presenteras i Figur 4 (samt i större format i bilaga 3). Vid sidan av dessa white papers har också en del filmer, artiklar i branschtidningar, mm, publicerats. Mer information om dessa finns på www.uppkoppladbygg.se/resultat.

De 26 white papers som är listade i Figur 4 är grupperade per testbäddsprojekt och kategoriserade baserat på 1) vilken del av byggprocessen de adresserar, 2) vilket effektmål de framför allt har gett resultat inom, 3) vilket digitaliseringsfokus som har gällt, samt 4) om de adresserar transformation i form av nya affärsmöjligheter. Notera att kategoriseringen är gjord så att max ett huvudområde per kategori anges, även om många av testerna och white papers egentligen beskriver och ger rekommendationer till flera områden inom respektive kategori. Vad som framgår av kategoriseringen är att white papers, och därmed testerna inom projektet, framför allt har fokuserat på produktion (byggprocessen), produktivitet och säkerhet (processeffekter) och digitala tillämpningar (digitaliseringsfokus). Vid sidan av dessa har också digital infrastruktur, nya affärsmöjligheter och planering fått ett relativt stort fokus.

			Byggprocess			Processeffekt			Digitaliseringsfokus			Transformation
WP #	**Testbäddsprojekt**	**Titel**	Planering	Produktion	Logistik	Säkerhet	Produktivitet	Hållbarhet	Infrastruktur	Tillämpningar	Upplevelse	Nya affärsmöjligheter
1	1 - NCC	Säker under lyftkranen		X		X				X		
2		Smart leveranscontainer			X		X			X		X
3		Modernised inspection process		X			X			X		
4		SmartHelmets and BuildingCloud Technologies		X		X				X		X
5		Säker inpassering på bygget		X		X				X		X
6		Säker vid arbetsfordon på bygget		X		X				X		
7	2 - Skanska	Digitala materialflöden - tekniska lösningar för ökad kontroll			X		X			X		
8		Mätning av digital mognad på byggplatser	X				X				X	
9		Agil digital tjänsteutveckling för byggplatser		X			X			X		
10		Uppkopplad på byggplats		X					X			
11		Hänsyn till individer när digital teknik införs		X			X				X	
12		Kundvärden genom PropTech								X		X
13	3 - Peab & Cementa	Optimalt byggklimat - slutrapport		X				X		X		X
14		Mätning & simulering av temperatur och hållfasthet i projektet Karlatornet	X				X			X		
15		Test av trådlösa fuktsensorer		X					X			
16		Effektivare och säkrare lyft		X		X				X		
17		Digital transformation och affärsmodeller								X		X
18	4 - Lindbäcks & BoKlok	Minimera tolkningar på byggarbetsplats – Interaktiva arbetsinstruktioner/VR		X			X			X		
19		Spårbarhet av genomförda arbetsmoment på byggarbetsplats	X			X				X		
20		Lätt att göra rätt – Digitalt stöd för systematiskt arbete av egenkontroller	X			X				X		X
21		Visualisera informationsflödet på byggplatsen	X				X			X		
22		Uppkopplad till byggplats - Sensorered mätning av klimatdata i moduler			X	X				X		
23	5 - Digital infrastruktur	Principle form of Big IoT Data Analytics on construction sites							X			
24		Digitally Constructive Ecosystems							X			
25		Gemensam och öppen digital infrastruktur							X			
26		Vägval mot digitalisering av byggplatser							X			
	Huvusakligt fokus i genomförda tester		***5***	***12***	***3***	***8***	***9***	***1***	***6***	***18***	***2***	***7***

Figur 4: White papers: testbäddsprojekt, titel och klassning.

3.2.2 Vetenskapliga publikationer

I enlighet med det som beskrivs nedan i kapitel 4.3 var akademins uppgift i Uppkopplad byggplats primärt att mäta, följa upp och driva systematiseringsarbete mellan olika sprintar. Erfarenheterna från sprintarna dokumenterades som synteser, och då primärt i

white papers för att komma till nytta inom branschen. Vid sidan av dessa white papers har också tio vetenskapliga artiklar och en doktorsavhandling publicerats (se bilaga 4). Ytterligare fem artiklar är under vetenskaplig review för publikation och en licentiat-avhandling kommer att publiceras under våren 2022. Den vetenskapliga produktionen har fokuserat på att bygga förklaringsmodeller om de två nedersta nivåerna i digitaliserings-pyramiden (Figur 3), samt kritisk granskning och utvärdering av testerna för internationell och forskningsbaserad kunskapsspridning.

4 Lärdomar

Projektet slutrapporterades via en serie webinarier under hösten 2021, då det tredje och sista webinariet fokuserade på mer övergripande lärdomar från projektet (se webinarium 3 i december 2021 på www.uppkoppladbygg.se/resultat). Redovisningen av de över-gripande lärdomarna koncentrerades kring tre områden: erfarenheter kring hur man åstadkommer en uppkopplad byggplats, hur testbäddsmetodiken i sig fungerade och hur organiseringen av projektet stöttade syftet. Dessa erfarenheter diskuteras i det följande.

4.1 Vad är, och hur når man, en uppkopplad byggplats?

Inom Uppkopplad byggplats utgick testerna från att söka tekniker och metoder för att digitalisera byggplatsen. De två nedersta nivåerna i Figur 3 var i fokus med utgångspunkt i byggprojektets logik. Viktiga lärdomar framkom kring hur såväl den digitala infra-strukturen som enskilda digitala tillämpningar kan passa för både byggprojektet och de individer som verkar på byggplatsen, men även kopplat till byggföretagets mera permanenta organisation. Centrala frågeställningar visade sig vara:

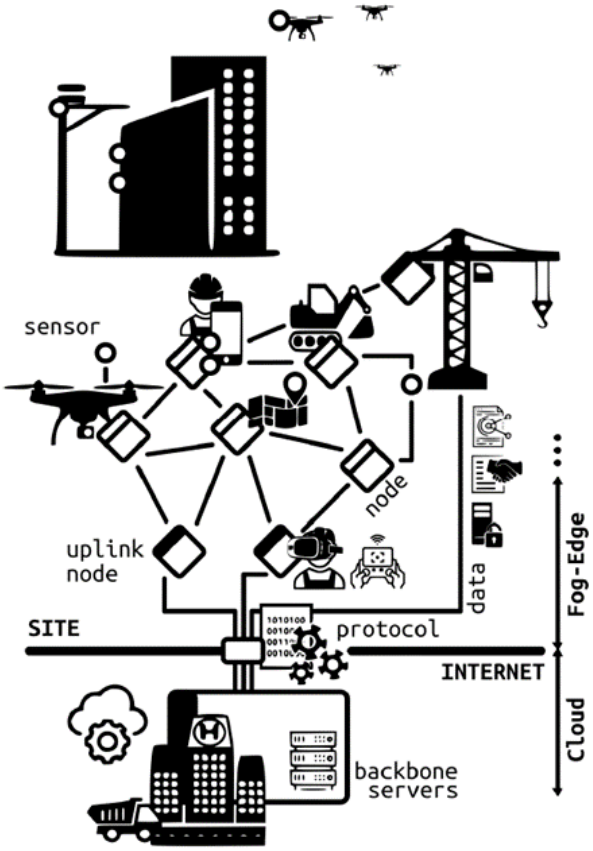
1. Hur en uppkopplad byggplats kan byggas upp och vilken roll den digitala infrastrukturen kan fylla,
2. Hur den digitala infrastrukturen bör byggas upp för att bäst stödja den uppkopplade byggplatsen, och
3. Hur en uppkopplad byggplats kan länkas (tekniskt och organisatoriskt) till byggföretagets organisation och nätverket av leverantörer och andra aktörer.

Lärdomar runt dessa frågeställningar utvecklas nedan.

På en uppkopplad byggplats (Figur 5) kommunicerar, människor, maskiner, delsystem och komponenter med varandra. Kritiska komponenter är försedda med uppkopplade sensorer och vi har inbyggda system för säkerhet, övervakning, automation, styrning och upp-följning av produktionen, liksom efterkontroll och optimering av olika flöden.

Uppkopplingen inkluderar alla personer oavsett roll och oavsett om man är entreprenör, underentreprenör eller leverantör. Individen på ett bygge ska:

- Uppleva att man är ständigt uppkopplad oavsett var man är på bygget,
- Per automatik se den information man måste ha tillgång till,
- Samarbeta, dela information och erfarenheter på ett enkelt sätt,
- Hitta, uppdatera och lägga till information inom ca. 10 sekunder, samt
- Uppleva att man arbetar i ett enda system,



Figur 5: Generisk struktur för en uppkopplad byggplats.

På byggplatsen (site) används ”Edge Computing” för att bygga redundans för kritiska tjänster och system. Molnsystem (”Backbone servers”) nyttjas ”off-site” för system-avlastning av resurskrävande processer, centraliserad översikt och delning av information mellan olika byggprojekt. Allteftersom teknologin mognar, kommer robot-, kommunikations- och mätstrukturer (”IoT”), spridda beräknings- och lagringsresurser (Edge computing), samt molnsystem (”Cloud”) att kunna växa samman till ett kontinuerligt spektrum av resurser med olika egenskaper som lämpar sig bäst för olika ändamål.

Testerna som genomfördes i projektet var medel för att ta steg mot att skapa en uppkopplad byggplats, enligt vad som har beskrivits ovan. Fyra övergripande lärdomar kan dras från projektet:

- Öppenheten i ekosystemet bestående av bygg- och tech-bolag var viktigt,
- Individen, den digitala tekniken, byggplatsen och byggföretaget måste hänga ihop,
- Data börjar ses som värdefullt, t.ex. genom att få kunskaper via sensorer, samt
- Två huvudsakliga sammanlänkade vägval för uppkoppling av byggplatser

Dessa lärdomar utvecklas och beskrivs i följande text.

4.1.1 Öppenheten i ekosystemet bestående av bygg- och tech-bolag

Digital teknologi och digitala system finns etablerade, men tekniken var generellt sett inte tillräckligt mogen för att direkt kunna användas på en enskild byggplats. Dessutom upplevdes tekniken ofta som för dyr för enskilda projekt och inte tillräckligt anpassad och robust för byggets tuffa miljö och röriga struktur. Samtidigt springer digitaliseringen så snabbt i samhället att byggföretag kände att de behövde välja digitaliseringslösning för att inte tappa fart.

Öppenhet och samverkan mellan byggbolag och tech-bolag var en bra väg för att möta dessa hinder. De ekosystem som fungerade bra byggde på följande principer:

- Dela med sig av insikter och problem – ”är man stor måste man vara snäll”,
- Ta till sig kunskaper och insikter i ekosystemet – ”ensam är inte stark”.

4.1.2 Individen, den digitala tekniken, byggplatsen och byggföretaget måste hänga ihop

Lärdomarna från att genomföra tester, i skarpa byggprojekt, för att bygga upp förmågor (tekniska och organisatoriska) pekar på att förändringsresan byggföretagen bör ta måste innehålla aspekter runt:

- Tekniken (den nya digitala anpassad mot den gamla ”analoga”),
- Individen som påverkas av digitiseringen, och
- Organisationen (både byggplatsen och byggföretaget) som ska stötta förändringen mot digitalisering.

Byggföretagens förändringsresa bör formas av följande slutsats från testerna:

- Individers engagemang och byggprojektets digitala mognad var viktig för rätt tajming och val av tekniknivå i projektet

4.1.3 Data börjar ses som värdefullt, t.ex. genom att få kunskaper via sensorer

För att skapa möjligheter till en förändring mot en uppkopplad byggplats måste man, samtidigt som teknikutvecklingen går snabbt, backa upp denna med en långsiktig plan, en s.k. master-data strategi, för hur man ska samla nya data och hämta data från gamla system. Master-planen ska innehålla både strategi för data och kopplad hårdvara (sensorer, skanners, etc.). Från flera av testerna växte insikterna fram att:

- Skapa värde av data – ta fram en plan för vad och hur data skall användas

4.1.4 Två huvudsakliga sammanlänkade vägval för uppkoppling av byggplatser

Digitaliseringen spänner över hela byggsektorn. Eftersom en uppkopplad byggplats influeras av t.ex. standardiseringsbeslut, övergripande branschdirektiv och digitala trender i hela samhället ser vi två kopplade vägval.

- Samarbeta över branschgränser och med myndigheter för att koppla samman digitala system horisontellt med öppna API: er, samtidigt som vi behöver
- Skapa en samarbetsplattform för att bygga en öppen digital plattform vertikalt och fasa ut stängda system.

4.2 Testbäddsmetodiken och erfarenheter från att genomföra testerna

Eftersträvade effekter av projektet var formulerade som processeffekter. Dessa utgjordes av minskning av byggtid och kostnader, eller ökning av byggplatsproduktivitet, minskning av säkerhetsrisker och klimateffekter, samt en påbörjad förändrad affärslogik. Utfallet av testerna speglas av det faktum att det var testbäddarna själva som initierade och genomförde testerna av digital teknik. Projektet Uppkopplad byggplats lades upp och genomfördes som en ”bottom-up” approach, d.v.s. projekt- och byggplatslogiken fick bestämma fokus för digitaliseringen. Utformningen av projektet medgav att bedömningar av vilken processeffekt som eftersträvades, eller om krav på och kapacitetstestningen av en digital infrastruktur eftersträvades gjordes, av byggplatsorganisation kopplat till byggföretagen. Resultatet av de effekter och tekniker man ansåg vara nödvändiga, eller enkla att utvärdera etc., ses i Figur 4. Helt klart är att fokus för att stötta digitala förmågor handlade om att ha byggproduktionen i fokus (12 White papers med lärdomar) och i byggproduktionen söka minimering av skaderisker (säkerhet) och ökning av produktivitet (8 respektive 9 White papers med lärdomar). Betydligt mindre fokus och intresse lades på att söka resurs- och klimatreducerade effekter. En lärdom är således att utformningen och genomförandet av Uppkopplad byggplats erbjöd byggföretagen stora frihetsgrader och att testerna i mångt och mycket kom att handla om en robust uppkoppling och möjligheter att öka produktiviteten. Figur 4 visar att intresset för byggföretagen var där digitalisering kan skapa mest nytta – byggplatsens projektfokus på kort till medellång sikt fick råda.

Två övergripande lärdomar från att genomföra testerna i projektet var:

- Testa, men med eftertanke, i byggprojekten, och att
- Vissa tester gick direkt från testning till användning och implementering.

4.2.1 Testa, men med eftertanke, i byggprojekten

Testbäddar med sprintar bör ske nära tillämpningen. I byggsammanhang är detta att vara nära och ute i byggprojekten. Testbäddsmetodiken fungerar mycket bra genom att byggprojekten är skarp produktion. Med understöd från akademisk uppföljning och analys

fick testbäddsföretagen en bra bild av vad man bör och vad man inte bör gå vidare med. Byggprojektens autonomi (självständighet gentemot byggbolagen) skapar dock en tvådelad situation för en testbädd. De utgör dels drivkraften för att skapa bättre processer för den dagliga verksamheten (Figur 4), men de utgör samtidigt hinder för att införa ny teknik via den strikta projektekonomin som sätter gränser. Kopplingen till byggbolagen är avgörande för dels ekonomisk stöttning, dels upp-skalning. Som metodik fungerade testbäddssprintar bra och under beaktande av denna autonomi fick vi följande lärdomar:

- Våga testa, rigga testerna ordentligt och testa i skarpa byggprojekt, men inte för många tekniker och samarbeten samtidigt,
- Få med slutanvändarna – det driver digitaliseringen av byggarbetsplatsen,
- Det måste finnas en organisation som nyttjar resultaten och sprider dessa mellan byggprojekten.

4.2.2 Vissa tester gick direkt från testning till användning och implementering

Syftet var att testa, utveckla och utvärdera digitala tillämpningar, men vi såg också implementering som en direkt effekt av de genomförda testerna. Från de exempel som uppstod gällande användning och implementering kan man konstatera att:

- De industriella husbyggarna har en kort väg från ett (lyckat) test till implementering och faktisk användning,
- Även mer traditionella byggbolag har påbörjat en organisering för att kunna ”skala upp” de testade digitala teknikerna.

4.3 Projektets organisering

Projektet organiserades och genomfördes på ett sådant sätt att det nådde en hög grad av medfinansiering och ett mycket stort industriengagemang. Detta är en indikation på att innehållet och genomförandet attraherade företag till medverkan och att testerna i huvudsak var fokuserade på nyttiggörande. Nedbrutet fanns ett antal organisatoriska verktyg för att stötta testbäddarna med tanken att de skulle verka som katalysatorer för digitalisering på byggplatser. Dessa verktyg sammantaget visade sig väl fungerande för spridning av kunskaper om digital teknik på byggplatser (mellan olika företag), ökad samverkan mellan akademi och näringsliv, men även mellan näringsliv-näringsliv som spände över branschgränser. Respektive testbäddsprojekt hade möjligheter att äska resurser från den s.k. SME-fonden (dedikerade resurser till SMEs inom tech- och byggsidan) och FoU-resurser från akademin för att mäta, följa upp och driva systematiseringsarbete mellan olika sprintar. Dessa resurser fanns inom projektbudgeten och kunde nyttiggöras genom transparenta beslut i projektets styrgrupp. Därmed skapades en öppenhet om deltagande och inriktning i testerna, men också dedikerade medel i testerna som underlättade för byggprojekten att utföra testerna. Detta var viktigt med tanke på

byggprojektens normalt begränsade möjligheter till teknikutveckling under skarp gång. Konsekvenserna av att testbäddarna gavs en beställarfunktion i projektet var att:

- Forskarna satte sig medvetet i baksätet, d.v.s. den tillämpningsansats som valdes var nyttoinriktad i första hand och den forsknings som utfördes var därför av typen följeforskning (med en s.k. induktiv forskningsansats) med validering och syntetisering av alla testbäddsresultaten i efterhand. En relativt hög TRL-nivå uppnåddes därför både i individuella tester med även för projektet som helhet, och
- En agil projektform/testbäddsmetodik uppnåddes genom att inte på förhand låsa tester enligt en linjär metod utan tester och resurser tillsattes allteftersom lärdomar och insikter växte efter genomförda tester (t.ex. via SME-fonden).

5 Rekommendationer, utbildnings-insatser och fortsatt arbete

Baserat på erfarenheterna från Uppkopplad byggplats presenteras rekommendationer kring vad som behövs för att driva på utveckling inom byggandets digitalisering och för att etablera uppkopplade byggplatser på bred front. Likaså lyfter vi behov av utbildningsinsatser och det fortsatta arbetet med byggandets digitalisering som har sprungit ur projektet Uppkopplad byggplats.

5.1 Rekommendationer

Fredagen den 18/6 2021 var projektet och projektledare Martin Rudberg inbjuden Regeringskansliets avdelning för samhällsplanering och bostäder för att presentera resultat från projektet, samt rekommendationer kring nödvändiga satsningar för att öka på takten gällande byggandets digitalisering och för att koppla upp byggplatserna. Nedanstående åtta punkter sammanfattar dessa rekommendationer.

- **Stärk forskningen om digitalisering i samhällsbyggandssektorn/byggandets digitalisering**
  Forskningen om byggandets digitalisering och digitalisering är fortfarande i sin linda. Många goda initiativ finns, men forskningen behöver stärkas gällande allt från grundforskning (algoritmer, material, teknik, robust uppkoppling, mm) till tillämpad forskning (tester, effektanalyser, kunskapsgenerering, mm) och implementering/ realisering (implementeringsstöd till SMEs, affärsmodeller, standarder, mm).
- **Etablera stöd för fortsatt testbäddsverksamhet**
  Vi har bara skrapat på ytan med våra ca 30 tester i Uppkopplad byggplats. Det är kanske inte testerna i sig som är det viktigaste, utan den kunskap, de erfarenheter, de nätverk och den "attention" som testerna ger som är det som skapar förändring och utveckling. Testerna löser inga branschproblem i sig, men om vi inte gör något

så lär utveckling stå still. Goda exempel och "learnng by doing" är viktiga ingredienser i alla förändringsprocesser.

- **Kunskapsgenerering, kunskapsspridning och utbildning**
  Inom Uppkopplad byggplats har vi börjat att bygga upp kunskap kring det vi kallar "digitala förmågor", både hos de deltagande aktörerna och hos de akademiska parterna. Dessa förmågor handlar såväl om kunskap om digital teknik, förutsättningar/möjligheter för digital teknik i den kontext som byggandet innebär, men också om kunskap kring (digitala) förändringsprocesser, affärsmodeller, mm. Teknik och standarder är viktiga att satsa på, men det är individer och organisationer som förändras och utvecklas. Där behövs kunskap, förmågor och utbildning.
- **Etablera stöd det ”livslånga lärandet"**
  Detta kopplar till ovanstående och spänner över de utbildningar vi har på universiteten, YH-utbildningar, mm, till att kunna läsa fristående kurser, uppdragsutbildningar, mm, för att kunna "uppgradera" befintlig personal när digitaliseringen gör intåg. Här handlar det ju om att förvalta och nyttja det humankapital som redan finns i branschen när digitaliseringen gör sitt intåg på bred front. Detta är en stor branschutmaning och något som behöver statligt stöd för att lyckas med.
- **Skapa förutsättningar för utveckling i nya eko-system**
  Vi har på nära håll noterat den förändringskraft som finns i de eko-system som har uppstått runt de olika testbäddsprojekten i Uppkopplad byggplats. Vi har hjälpt till med uppstart, former och lite vitamininjektion i form av medel/pengar, men sedan har dessa ekosystem nästan blivit självspelande pianon. Detta skapar fantastiska förutsättningar för utveckling, förändring, mm, som river traditionella murar, pyramider, mm. Här behövs riktade medel och stöd för att initiera och förvalta dessa eko-system (möjligtvis med en neutral part - universiteten - som "moderator"), tills eko-systemen får tillräcklig livskraft själva.
- **Skapa forum för branschen att mötas**
  Det kan vara i form av Kompetenscentrum (KC), riktade medel, eller annan form, men det finns ett stort värde i att statliga finansiärer satsar på att förvalta den (branschgemensamma) kunskap som finns och säkerställa att den fortsätter att utvecklas. Digitaliseringen är inte statisk, utan en högst dynamisk process med en väldigt hög klockfrekvens. Därmed blir vi inte "färdiga" med digitaliseringen, precis som att man aldrig blir färdig med någon utvecklings- eller förändringsprocess.
- **Glöm inte bort förankringen i produktionen och byggplatsen**
  Som man säger på Toyota: "Go to Gemba!". Det är i produktionen det verkliga värdet skapas, utvecklingen och förändringen sker, samt där vi har flest av de som skall vara en del av förändringen - de som bygger projekten. Och det är också här vi får direkt feedback kring hur det vi implementerar, testar, utvecklar, etc., faktiskt funkar. Forskningen visar att de mest lyckosamma företagen i en bransch som förändras är de som har "tät koppling" mellan utveckling och produktion.

5.2 Utbildningsinsatser

Resultaten från projektet Uppkopplad byggplats kommer naturligtvis att lyftas in i de kurser och den utbildning som bedrivs av de akademiska parterna LiU och LTU, på motsvarande sätt som alltid görs när akademiska lärosäten är inblandade i forsknings- och utvecklingsprojekt. Vid sidan av detta har projektet resulterat i två tydliga leverabler kopplad till utbildning:

- Deltagande i ”DigiVeckan” med fokus på fortbildning och livslångt lärande
- En ny 2-årig masterutbildning i ”Digitaliserat byggande” vid LiU

5.2.1 Deltagande i ”DigiVeckan”

Deltagare från projektet Uppkopplad byggplats var medverkande i skapandet och planeringen av Digitaliseringsveckan 2021, också kallat ”DigiVeckan”[1]. DigiVeckan anordnades av Byggföretagen den 20-24 september 2021 för byggföretag som ville påbörja den digitala förändringsresan. Under DigiVeckan deltog projektet med lektionspass för att stärka branschens livslånga lärande.

Vid ett av passen introducerades vad som krävs för att lyckas med att koppla upp byggplatser under temat: ”Att lägga pussel – vilka bitar behövs för att koppla upp bygget?”, se vidare film på https://youtu.be/CTMrw-PGMsY. Vid ett andra pass lyftes frågor kring vad som är nycklarna för att komma igång att agera hållbart, för att skala upp, samt hur akademin/lärosäten bör förändra sin utbildning för att rusta studenter bättre för att driva digitalisering av byggandet. Se vidare film på: https://vimeo.com/showcase/8863368/video/618753765.

5.2.2 Masterprogram i Digitaliserat byggande vid LiU

Under projektets gång lyfte de deltagande företagen avsaknaden av en utbildning som stödjer det nya behov av kunskaper och digitala förmågor som digitaliseringen medför. Som ett direkt resultat av projektet har därför en ny 2-årig masterutbildning tagits fram i samverkan mellan branschföreträdare för såväl bygg- som tech-sektorn och akademin. Masterprogrammet (120 hp) i Digitaliserat byggande startar vid LiU hösten 2022 med målet att ta in 30 studenter under första året och inom en femårsperiod bygga ut programmet till att omfatta 60 studenter. Programmet riktar sig till de studenter som har en grundexamen (kandidat) inom byggteknik, samhällsbyggande, eller motsvarande.

Syftet med programmet är att möta de utmaningar och behov som byggsektorns pågående digitalisering medför. Utbildningen ger breda kunskaper om digitalisering och hur den kan användas inom tre kärnområden: byggandets planering, produktion och försörjning. Mer information om programmet finns på www.liu.se/digibygg.

[1] https://byggforetagen.se/digitaliseringsveckan/

5.3 Fortsatt arbete

Projektet Uppkopplad byggplats har vid sidan av att vara ett testbäddsprojekt med fokus på byggandets digitalisering också verkat som en plattform och smältdegel för nya idéer och utvecklingsprojekt. När projektet avslutas kan konstateras att två ”spinn-off” projekt har initierats med stöd av Smart Built Environment. Dessutom startas ett nytt strategiskt projekt inom ramen för Smart Built Environment, som en direkt fortsättning på Uppkopplad byggplats – ”Digital transformation av byggplatser”. Dessa fortsättningsprojekt beskrivs kortfattat nedan.

5.3.1 ”Spinn-off”-projekt med ursprung i Uppkopplad byggplats

Det första ”spinn-off”-projektet initierades som en utveckling från det testbäddsprojekt som Cementa och Peab har varit värd för söktes, och erhölls medel, för projektet ” IoT/Big Data with advanced analytic tools in the construction industry: Studies in climate-improved concrete”, med Scott Fowler från LiU som projektledare.[2] Projektet syftar till att utveckla maskininlärnings-(ML-)metodiker kring den sensordata som genereras från bl.a. ingjutna sensorer, vädersensorer, mm, och med ett speciellt fokus på klimatförbättrad betong och möjligheter att optimera betongbyggnadsprocessen ur såväl effektivitets- som hållbarhetsperspektiv. Projektet startade under hösten 2021 och löper i en första fas över ett år.

Det andra ”spinn-off”-projektet är sprunget ur NCC testbäddsprojekt och deras samarbete med Scharc kring att öka säkerheten på byggarbetsplatsen. Som en del några av testerna användes en prototyp till en ”smart” hjälm (Smart Helmet) med funktioner som identifiering/lokalisering, falldetektion, sensorer för mätning av partiklar, buller, mm. Scharc, med VD och projektledare Sven Staiger, sökte och erhöll medel i Smart Built Environments utlysning ”Innovationsidéer”, hösten 2021, och kommer att utveckla Smart Helmet vidare mot en färdig produkt.

5.3.2 Projektet Digital transformation av byggplatser

I takt med att projektet Uppkopplad byggplats gick in i en avslutande fas under 2021, initierades en dialog med Smart Built Environment kring möjligheterna att bygga vidare på erfarenheterna, resultaten, kunnandet och de digitala förmågor som har byggts upp inom projektet och de eko-system av företag och organisationer som är kopplade till Uppkopplad byggplats. Som ett resultat av denna dialog startade så det strategiska projektet ”Digital transformation av byggplatser” med fokus på den översta nivån på ”digitaliserings-pyramiden” (se Figur 3) och på att skapa exempel på digital transformation av byggplatser. Projektet startade formellt den 1/12 2021 och löper över drygt två år till den 31/12 2023. Stommen i projektet blir två testbäddsprojekt, som blir en direkt fortsättning från Uppkopplad byggplats, med NCC som värd för det ena och Cementa, Peab Sverige och Peab

[2] https://www.smartbuilt.se/in-english/projects/open-call-9/iot-big-data-with-advanced-analytic-tools-in-the-construction-industry-studies-in-climate-improved-concrete/

Anläggning som gemensam värd för det andra. LiU och LTU fortsätter att samarbeta som akademiska parter i projektet, med LiU som formell koordinator och projektledare. Mer information om det nya projektet sinns på den redan etablerade hemsidan för Uppkopplad byggplats: www.uppkoppladbygg.se .

Bilaga 1

Följande 31 organisationer har deltagit som formella parter i projektet. Deras gemensamma insats motsvarar drygt 49,5 miljoner kr.

- Ahlsell
- Beijer Byggmaterial AB
- BoKlok
- Buildsafe
- Cabnet
- Celsicom
- Cementa
- Cognibotics
- Cramo
- ElectroTech i Kalix
- Equipmentloop
- EZE System
- Fojab Arkitekter
- Fujitsu
- Inomec
- IQ Samhällsbyggnad
- Lambertsson
- Lindbäcks bygg
- Linköpings universitet
- Lunds tekniska Högskola
- Luleå tekniska universitet
- NCC
- Nordtec
- Peab
- Qlocx
- Ramirent
- Scharc
- Skanska
- AB Smidmek
- Thomas Concrete group
- TPO

Dessutom har också följande 35 organisationer deltagit med egna insatser i projektet, utan att vara registrerade som formella parter. Denna insats motsvarar drygt 9 miljoner kr.

- Abetong
- Alimak
- Arrow
- Atea
- Autodesk
- Betongindustri
- BIM Virtual
- Bluebeam
- Business Vision
- Cisco
- Combain
- Coredination
- Esri
- Finja Betong
- Hexagon
- HiQ
- Hilti
- IX
- Leica
- Microsoft
- Mobilaris
- Myloc
- Openspace
- Oracle
- Praetexo
- Reconstruct
- Sigma/Nexer IT
- Skanska Rental
- Swerock
- Systown AI
- Telenor
- Tele2
- Wip
- Wittra
- XER

Bilaga 2

Projektets organisation har utgjorts av följande huvudaktörer och huvudpersoner.

Projektledning:

Projektledare	Martin Rudberg, LiU
Bitr. projektledare	Lars Stehn, LTU
Testbäddsvärdar	
• Testbäddsprojekt 1: NCC	Claes Henschel, NCC Martin Rudberg, LiU
• Testbäddsprojekt 2: Skanska	Lotta Wibeck, Skanska Lars Stehn, LTU
• Testbäddsprojekt 3: Peab & Cementa	Robert Larsson, Cementa Micael Thunberg, LiU
• Testbäddsprojekt 4: Lindbäcks & BoKlok	Anna Bergsten, Lindbäcks Bygg Jerker Lessing, BoKlok Gustav Jansson, LTU
• Testbäddsprojekt 5: Digital infrastruktur	Kåre Synnes, LTU

Vid sidan av ovanstående personer har även Kajsa Simu (NCC) och Helena Lidelöw (Lindbäcks Bygg) tidigare varit verksamma som testbäddsledare.

Projekstyrgrupp:

Christina Claeson-Jonsson, NCC	Carolina Adell, Telia
Sofia Skoglösa, Skanska	Anita Aspegren, IQ Samhällsbyggnad
Andreas Furenberg, Peab	

Vid sidan av dessa har Jan Byfors (NCC) och Kajsa Simu (NCC) varit med i styrgruppen under delar av projekttiden.

Deltagande forskare:

Följande personer har deltagit aktivt som forskare i projektet och i de olika testbäddsprojekten:

Linköpings universitet (LiU):

- Martin Rudberg, professor
- Scott Fowler, bitr. professor
- Micael Thunberg, lektor
- Ahmet Sezer, bitr. lektor
- Yashar Gholami, doktorand

Luleå tekniska universitet (LTU):

- Lars Stehn, professor
- Kåre Synnes, professor
- Ulf Bodin, bitr. professor
- Gustav Jansson, lektor
- Robert Pilstål, Post Doc
- Jarkko Erikshammar, adj. adjunkt
- Brian Wernicke, doktorand
- Raafat Hussamadin, doktorand

Vid sidan av dessa har även Anna Fredriksson (LiU) och Diana Chroneer (LTU) varit verksamma under kortare tid i projektet.

Bilaga 3

			Byggprocess			Processeffekt			Digitaliseringsfokus			Transformation
WP #	**Testbäddsprojekt**	**Titel**	Planering	Produktion	Logistik	Säkerhet	Produktivitet	Hållbarhet	Infrastruktur	Tillämpningar	Upplevelse	Nya affärsmöjligheter
1	1 - NCC	Säker under lyftkranen		X		X				X		
2		Smart leveranscontainer			X		X			X		X
3		Modernised inspection process		X			X			X		
4		SmartHelmets and BuildingCloud Technologies		X		X				X		X
5		Säker inpassering på bygget		X		X				X		X
6		Säker vid arbetsfordon på bygget		X		X				X		
7	2 - Skanska	Digitala materialflöden - tekniska lösningar för ökad kontroll			X		X			X		
8		Mätning av digital mognad på byggplatser	X				X				X	
9		Agil digital tjänsteutveckling för byggplatser		X			X			X		
10		Uppkopplad på byggplats		X					X			
11		Hänsyn till individer när digital teknik införs		X			X				X	
12		Kundvärden genom PropTech								X		X
13	3 - Peab & Cementa	Optimalt byggklimat - slutrapport		X				X		X		X
14		Mätning & simulering av temperatur och hållfasthet i projektet Karlatornet	X				X			X		
15		Test av trådlösa fuktsensorer		X					X			
16		Effektivare och säkrare lyft		X		X				X		
17		Digital transformation och affärsmodeller								X		X
18	4 - Lindbäcks & BoKlok	Minimera tolkningar på byggarbetsplats – Interaktiva arbetsinstruktioner/VR		X			X			X		
19		Spårbarhet av genomförda arbetsmoment på byggarbetsplats	X			X				X		
20		Lätt att göra rätt – Digitalt stöd för systematiskt arbete av egenkontroller	X			X				X		X
21		Visualisera informationsflödet på byggplatsen	X				X			X		
22		Uppkopplad till byggplats - Sensorered mätning av klimatdata i moduler			X	X				X		
23	5 - Digital infrastruktur	Principle form of Big IoT Data Analytics on construction sites							X			
24		Digitally Constructive Ecosystems							X			
25		Gemensam och öppen digital infrastruktur							X			
26		Vägval mot digitalisering av byggplatser							X			
	Huvusakligt fokus i genomförda tester		***5***	***12***	***3***	***8***	***9***	***1***	***6***	***18***	***2***	***7***

Bilaga 4

Vetenskapliga publikationer

Fowler, S., Baravdish, G. and Baravdish, G. (2020). “3D Imaging of Sparse Wireless Signal Reconstructions via Machine Learning,” IEEE International Conference on Communications (ICC), Dublin, Ireland, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICC40277.2020.9148682.

Fowler, S., Baravdish, G. and Rudberg, M. (2019). “Optimizing Compressed Sensing for seeing through walls based on Wireless Signals,” IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), Barcelona, Spain, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISCC47284.2019.8969738.

Fowler, S., Baravdish, G. and Baravdish, G. (2019). “Compressed Sensing of Wireless Signals for Image Tensor Reconstruction,” IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Waikoloa, HI, USA, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/GLOBECOM38437.2019.9014260.

Gholami, Y., Rudberg, M., Fredriksson, A. and Simu, K. (2019) “Decoupling the delivery process in a construction supply chain employing a smart delivery container”, Proceedings from PLANs Forsknings- och tillämpningskonferens 2019, Linköping, pp. 163-180

Hussamadin, R., Viklund Tallgren, M. and Jansson, G. (2020). “A conceptual model for transformation of bill of materials from offsite manufacturing to onsite construction in industrialized house-building”. In 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2020), 27-28 October, 2020, Kitakyushu, Japan (pp. 1106-1113). International Association on Automation and Robotics in Construction.

Hussamadin, R., Mukkavaara, J. and Jansson, G. (2020).”A method to produce & visualize interactive work instructions for modular products within onsite construction”. In 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2020), 27-28 October, 2020, Kitakyushu, Japan (pp. 48-55). International Association on Automation and Robotics in Construction.

Lei, M., Yu, B., Fowler, S., Zhang, X. and Lu, C. (2021). "Throughput maximization in backbone-assisted wireless powered communication networks with successive interference cancellation", accepted to IEEE Communications Letters, 10.1109/LCOMM.2020.3006101

Sezer, A.A. Rudberg, M. (2021). “Developing Bluetooth communication technologies for safer construction sites: Experiences and learnings” CIB International Conference on Smart Built Environment, Dubai, 2021.

Sezer, A. A., Thunberg, M. and Wernicke, B. (2021). "Digitalization Index: Developing a Model for Assessing the Degree of Digitalization of Construction Projects." Journal of construction engineering and management 147.10 (2021): 04021119.

Wernicke, B., Stehn, L., Sezer A.A. and Thunberg, M. (2021). “Introduction of a digital maturity assessment framework for construction site operations”, International Journal of Construction Management, DOI: 10.1080/15623599.2021.1943629.

Doktorsavhandling

Wernicke, B. (2020). “Diversity of Flow in Production Improvements in House Building”, Dissertation, Luleå University of Technology, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering.

SMART BUILT ENVIRONMENT

UPPKOPPLAD BYGGPLATS

LINKÖPINGS UNIVERSITET

LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

Med stöd från

VINNOVA Sveriges innovationsmyndighet

Energimyndigheten

FORMAS

Strategiska innovations-program

Smart Built Environment c/o IQ Samhällsbyggnad | Drottninggatan 33 | 111 51 STOCKHOLM | info@smartbuilt.se | 070-645 16 40 | www.smartbuilt.se