



CHALMERS

Digitala arbetssätt i projekteringsprocessen

En studie som undersöker implementeringen av generativ design

Kandidatarbete vid civilingenjörsprogrammet inom Samhällsbyggnadsteknik

LINN KÄRVEGÅRD, ANTON LJUNGBERG, JON RYMAN,
SANNA SUDJADA & NEO TACKING

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2022

www.chalmers.se

KANDIDATARBETE ACEX10-22-22

Digitala arbetssätt i projekteringsprocessen

En studie som undersöker implementeringen av generativ design

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

LINN KÄRVEGÅRD, ANTON LJUNGBERG, JON RYMAN,
SANNA SUDJADA & NEO TACKING



CHALMERS /

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2022

Digitalisering: Digitala arbetssätt i projekteringsprocessen
En studie som undersöker implementeringen av generativ design

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

© LINN KÄRVEGÅRD, ANTON LJUNGBERG, JON RYMAN, SANNA SUDJADA,
& NEO TACKING 2022

Kandidatarbete ACEX10-22-22/ Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik,
Chalmers tekniska högskola 2022

Handledare: Mikael Viklund Tallgren, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik,
Costruction managment

Examinator: Caroline Ingelhammar, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik,
Construction managment

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Telephone +46 (0)31 772 1000

Sammanfattning

Att digitalisering utvecklar och driver stora delar av vårt samhälle framåt, råder i dagsläget inga större tvivel kring. Trots det är digitaliseringsgraden i den svenska byggsektorn låg och de digitala arbetsätten kantas av en rad utmaningar. Det finns ett behov av att införa generativa designmetoder i projekteringsprocessen. Generativ design är en designprocess som på ett datordrivet sätt, kan generera fram de lösningar som existerar för en produkt. Med processen skapas möjligheten till att upptäcka fler genomförbara lösningar.

Syftet med detta arbete är att först och främst skapa en nulägesbild över hur arbetet med digitala arbetsmetoder i byggprocessens projekteringsfas fungerar, samt vilka utmaningar som föreligger. Därefter undersöks vilka arbetsmoment i projekteringsprocessen som kan effektiviseras genom en ökad eller ändrad användning av de digitala arbetsätten. Slutligen utvärderas huruvida en implementering av konceptet generativ design kan bidra till en effektivare projekteringsprocess. För att uppnå syftet gjordes först en kvalitativ litteraturstudie, med syfte att ge en grundläggande bild och djupare förståelse kring digitala arbetssätt inom projekteringsprocessen. Därefter genomfördes en kvalitativ intervjustudie med åtta semistrukturerade intervjuer, där respondenter som på olika sätt arbetar med digitalisering i projekteringsprocessen svarade på våra frågor.

Resultatet från intervjuerna visar på att användningsgraden av digitala verktyg i projekteringsprocessen upplevs vara hög, men på många vis ineffektiv. Det finns en enighet kring att överlämningen av information mellan olika discipliner är den del i processen som är mest bristfällig, och behöver effektiviseras. De intervjuade är i stor utsträckning positiva till en implementering av generativ design i projekteringsprocessen. Det väntas mer eller mindre på att arbetssättet får ett genomslag som gör att användningen ökar. Efter en utvärdering av resultaten, blir slutsatsen att generativ design allra troligast kommer att kunna bana väg för ett effektivare och mer produktivt arbete med digitala arbetsmetoder i byggprocessens projekteringsfas.

Digital Working Methods in the Design Process
A study regarding the implementation of generative design

Degree Project in the Engineering Programme Civil and Environmental Engineering

© LINN KÄRVEGÅRD, ANTON LJUNGBERG, JON RYMAN, SANNA SUDJADA
& NEO TACKING 2022

Degree Project ACEX10-22-22/ Department of Architecture and Civil Engineering,
Chalmers University of Technology 2022

Supervisor: Mikael Viklund Tallgren, Department of Architecture and Civil Engineering,
Construction management

Examiner: Caroline Ingelhammar, Department of Architecture and Civil Engineering,
Construction management

Department of Architecture and Civil Engineering
Chalmers University of Technology
SE-412 96 Göteborg
Telephone +46 (0)31 772 1000

Gothenburg, Sweden 2022

Abstract

There is currently no major doubt that digitalization is developing and driving the society of today in a forward direction. Despite that, the extent of digitalization in the Swedish construction sector is low and the digital working methods are paved with several challenges. There is a need to introduce generative design methods in the design process. Generative design is a design process that in a computer-driven way, can generate the solutions available for a specific product. The process creates the opportunity to discover more feasible solutions.

The purpose of this work is firstly to create a current representation of how the work with digital working methods in the design phase of the construction process works, and what current challenges there are. Subsequently, the work steps that could be improved with an increased or changed way of using digital working methods are identified. Finally, it is evaluated whether an implementation of generative design in the design process could contribute to more efficiency. In order to achieve the purpose, a qualitative literature study has been made. The literature study provided essential knowledge and a deeper comprehension of the digital working methods in the design phase. Later on, a qualitative interview study with eight elected respondents was made. The interviews were semi structured and made with people, who in different ways work with digitalization in the design process.

The results from the interviews show that the degree of use of digital tools in the design process is perceived to be high, but in many ways inefficient. It is agreed that the transfer of information between different divisions is the part of the process that is most inadequate and needs to be improved. The respondents are in most cases positive about the implementation of generative design in the design process. It is highly expected that the usage of the working method will increase. After an evaluation of the results, the conclusion is that generative design will most presumably be able to pave the way for more efficient and more productive work with digital working methods in the design phase of the construction process.

Förord

Följande kandidatarbete har genomförts vid institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik på avdelningen Construction Management. Kandidatarbetet omfattar 15 högskolepoäng och ingår i civilingenjörsprogrammet inom samhällsbyggnadsteknik på Chalmers Tekniska Högskola.

Vi vill rikta ett stort tack till de intervjurespondenter som har ställt upp och bidragit med nya insikter och kunskaper till vårt arbete. Vi vill även rikta ett tack till vår handledare Mikael Viklund Tallgren för den vägledning vi fått under hela arbetets gång. Vidare vill vi tacka avdelningen för fackspråk och kommunikation för den handledning vi fått genom rapportskrivandet.

Linn Kärvegård, Anton Ljungberg, Jon Ryman, Sanna Sudjada, Neo Tacking

Chalmers Tekniska Högskola

Göteborg, 12 maj 2022

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Problemformulering	2
1.4	Avgränsningar	2
1.5	Etiska aspekter	3
2	Teori	4
2.1	Kunskapsläge kring digitala verktyg i byggbranschen	4
2.2	Projekteringprocessen	4
2.2.1	Initiala skedet	5
2.2.2	Projekteringsskedet	5
2.3	Arbete med digitala arbetsmetoder i projekteringsprocessen	6
2.3.1	Effekten av en implementering av digitala verktyg	8
2.4	Utmaningar och hinder för en ökad implementering av digitala verktyg	9
2.4.1	Tekniska utmaningar	9
2.4.2	Organisatoriska utmaningar	10
2.4.3	Ledarskapsmässiga utmaningar	10
2.4.4	Juridiska utmaningar	11
2.4.5	Ekonomiska utmaningar	11
2.5	Generativ design	12
2.5.1	Implementering av generativ design	12
2.5.2	Effekterna av en implementering av generativ design	13
3	Metod	15
3.1	Litteraturstudie	15
3.2	Intervjustudie	16

4	Resultat	17
4.1	Respondenter	17
4.2	Bakgrund	17
4.3	Dagens digitala verktyg	18
4.4	Utmaningar	18
4.5	Inställning bland disciplinerna	19
4.6	Generativ design	21
4.7	Följder och förändringar	22
4.8	Framtiden	23
4.8.1	Behov av statliga/ kommunala påtryckningar	24
5	Diskussion	26
5.1	Kompetensnivån som hinder för digital utveckling	26
5.2	Avsaknaden av krav på digitalisering	26
5.3	Problematiken kring informationsöverlämning	27
5.3.1	Sociala aspekter	27
5.3.2	Tekniska aspekter	27
5.4	Höga licenskostnader som hinder för implementering	28
5.5	Effektivisering som minskar lönsamhet	28
5.6	De olika disciplinernas inställning till digitala arbetssätt	29
5.7	Generativ design och dess möjligheter	29
5.7.1	Resurs- och tidseffektivitet	30
5.7.2	Algoritmer som ersätter arkitekter	30
5.8	Generativ design i framtiden	31
5.9	Metodreflektion	31
6	Slutsats	33
6.1	Framtida forskning	34
7	Referenser	35

8 Bilagor	37
8.1 Intervjufrågor	37
8.2 Textutskick till interjvurespondenter	39

1 Inledning

I detta kapitel ges en introduktion till kandidatarbetet. Här beskrivs bakgrunden till det ämnesområde som arbetet kommer att undersöka. Även arbetets syfte och problemformulering redovisas i kapitlet. Slutligen redogörs även för avgränsningar som har gjorts, samt vilka etiska aspekter som har tagits i beaktning.

1.1 Bakgrund

Digitalisering som fenomen driver stora delar av den utveckling som sker i samhälle och näringsliv idag (Samuelson, 2021). Den svenska samhällsbyggnadssektorn är här inget undantag. Faktum är att det inom sektorn, under de senaste decennierna har skett stora förändringar i sättet att nyttja informations- och kommunikationsstrategi. Att digitalisering fungerat som ett av de viktigaste medlen råder det också en allmän övertygelse om.

Byggsektorn som är en av de största och mest omfattande sektorerna i Sverige ligger fortfarande efter många andra branscher vad gäller utvecklingen och implementeringen av digitala arbetssätt (Industrifakta, 2017). Användningen beräknas däremot öka de nästkommande åren, eftersom det för nuvarande bedrivs ett flertal satsningar och initiativ som har ett tydligt fokus på just digitalisering. Fokus ligger på hur digitaliseringen kan verka som en av de allra främsta drivkrafterna till en förändring och utveckling inom sektorn.

En ökad digitalisering i branschen innebär inte endast en omställning av befintliga arbetsmetoder, utan det kan också komma att bana väg för nya möjligheter till att utnyttja ny teknik (Jongeling, 2008). En lyckad implementering kan alltså exempelvis medföra en utformning av helt nya arbetsmetoder. Det finns en mängd studier som visar på vilka fördelar en ökad användning av exempelvis byggnadsinformationsmodellering kan medföra till byggprocessens olika aktörer.

Byggnadsinformationsmodellering, även kallat BIM, fungerar som ett helhetsbegrepp som relaterar till skapandet och hanteringen av all information som kopplas till en byggnad (Akademiska Hus m. fl., 2018). BIM ligger till grund för stora delar av den digitala utvecklingen i en byggnads hela livscykel (Borrman m. fl., 2018). Mer specifikt har BIM till exempel möjliggjort en förbättring i informationsöverlämningen mellan olika discipliner i olika projektskeden. Att metoder som BIM förbättrar informationsöverlämningen mellan aktörer i de olika delarna råder inte heller några tvivel kring. Genom att minska pappersbaserade tvådimensionella ritningar kan också bortfallet av viktig information i överlämningen mellan olika aktörer minskas.

Den digitala utvecklingen har med sin forskning pekat på att det finns ett behov kring upptäckande genom generativa designmetoder, i de allra tidigaste stadierna i projekteringsprocessen (Mukkavaara och Sandberg, 2020). Generativ design är en term som används för att beskriva olika metoder som på ett datordrivet sätt, kan generera de genomförbara lösningar som existerar för en produkt. Det huvudsakliga målet med generativ design är att tidigt skapa möjligheten till att upptäcka fler genomförbara lösningar.

Många av de fördelar som i dagsläget realiserats med en ökad digitalisering i byggsektorn knyts främst till projekteringsprocessen (Linderoth, 2013). Exempelvis har möjligheten att genomföra samgranskningar och kollisionkontroller inneburit att merarbete i senare skeden som produktion kunnat undvikas. Möjligheten att kunna visualisera olika delar av en byggnad i ett tidigt skede betyder att framtida brukare av modellen kan ge omedelbar respons, istället för att det senare upptäcks att en lösning som redan är färdigbyggd inte är funktionell utan behöver förändras.

Slutligen kan sägas att det råder en allmän övertygelse kring det faktum att digitaliseringen är ett fenomen som drivit utvecklingen i byggbranschen framåt. Trots detta kan utmaningar och hinder för en ökad implementering ofta göra sig sedda. Detta framförallt med tanke på den förhållandevis låga graden digitalisering jämfört med andra branscher. Om generativ design kan vara det enkla svaret på frågan kring strävandet mot en mer digital byggbransch, kan därmed föras vidare diskussion om.

1.2 Syfte

Syftet med kandidatarbetet är att först och främst skapa en översiktlig kartläggning över hur användandet av digitala verktyg ser ut i projekteringsprocessen i den svenska byggbranschen idag. Vidare skall undersökas vilka arbetsmoment som skulle kunna effektiviseras med en ökad implementering av digitala verktyg. Slutligen skall utvärderas vad ett införande av generativ design i projekteringskedet innebär för ingenjörer och arkitekter.

Målet är sedan att kunna identifiera vilka påföljder och eventuella utmaningar som en omställning eller ökad implementering kan komma att ge upphov till. Här skall såväl tekniska, som organisatoriska, ledarskapsmässiga, juridiska och ekonomiska aspekter tas i beaktning och undersökas.

1.3 Problemformulering

Med ett övergripande huvudmål och syfte som bakgrund är arbetet ämnat att mynna ut i följande tre delproblem där vart och ett av problemen undersöks parallellt. Problemen verkar i många fall ihop, och i rapportens senare delar vägs och värderas de gentemot varandra. De specifika frågorna redovisas nedan.

- Hur ser användandet av digitala verktyg ut i projekteringsprocessen idag och vilka utmaningar finns för en ökad implementering?
- Vilka moment i projekteringsprocessen skulle kunna effektiviseras med en ökad användning av digitala verktyg?
- Vad skulle en implementering av generativ design i projekteringskedet komma att innebära? Kan detta skilja sig åt mellan olika yrkesroller i branschen?

1.4 Avgränsningar

Kandidatarbetet har begränsats till att hållas på en nationell nivå. Ett globalt perspektiv hade hypotetiskt sett kunnat ge en bredare och mer målande bild av frågeställningarna, men för att kunna genomföra en betydligt djupare analys på ämnet utefter de resurser som finns, har därmed beslutats att hålla arbetet inom ramarna för den svenska byggsektorn.

Fokus i arbetet har lagts på att se till projekteringsprocessen inom byggprocessen samt hur beställarens påverkan tas i beaktning. Produktion och förvaltning har lämnats utanför arbetet. På samma vis motiveras även denna avgränsning med det faktum att en hänsyn till fler delar av processen hade skapat ett ämnesområde alldeles för stort för att rymmas inom ramarna för kandidatarbetet.

Tekniskt specifika detaljer som härrör olika digitala programvaror har inte tagits med i rapporten. Programspecifika kunskaper är inte något som påverkar analysen i sin helhet och av den anledningen har de uteslutits.

1.5 Etiska aspekter

I de intervjuer som genomförts med olika branschrelevanta personer har specifika personuppgifter utelämnats, då dessa inte ger någon vidare kredibilitet eller relevans till rapporten som helhet. Kort sagt redogörs i rapporten endast för de berörda personernas yrkesroll och vilken bransch de är verksamma inom.

2 Teori

I detta kapitel ges en teoretisk översikt. Först beskrivs kunskapsläget kring digitala verktyg. Därefter beskrivs det nuvarande arbetet med dessa i projekteringsprocessen, samt vilka utmaningar och hinder som finns för en ökad implementering. Slutligen ges en mer specifik beskrivning av generativ design och hur en implementering av arbetssättet kan påverka arbetet i projekteringsprocessen.

2.1 Kunskapsläge kring digitala verktyg i byggbranschen

Användandet av digitala verktyg i byggbranschen har under de senaste decennierna ökat i omfattning, och att det fungerat som en av nycklarna till effektivare organisationer, råder det heller inga större tvivel kring (Thydell, 2017). Det finns en rad projekt där digitaliseringen, mer specifikt BIM har utnyttjats i stor skala, och resultaten pekar oftast på en vinning i såväl tid som kostnad. Men trots de positiva följder som digitaliseringen har inneburit, har också en hel del hinder och utmaningar kunnat göra sig sedda på vägen mot en ökad implementering och användning av verktygen.

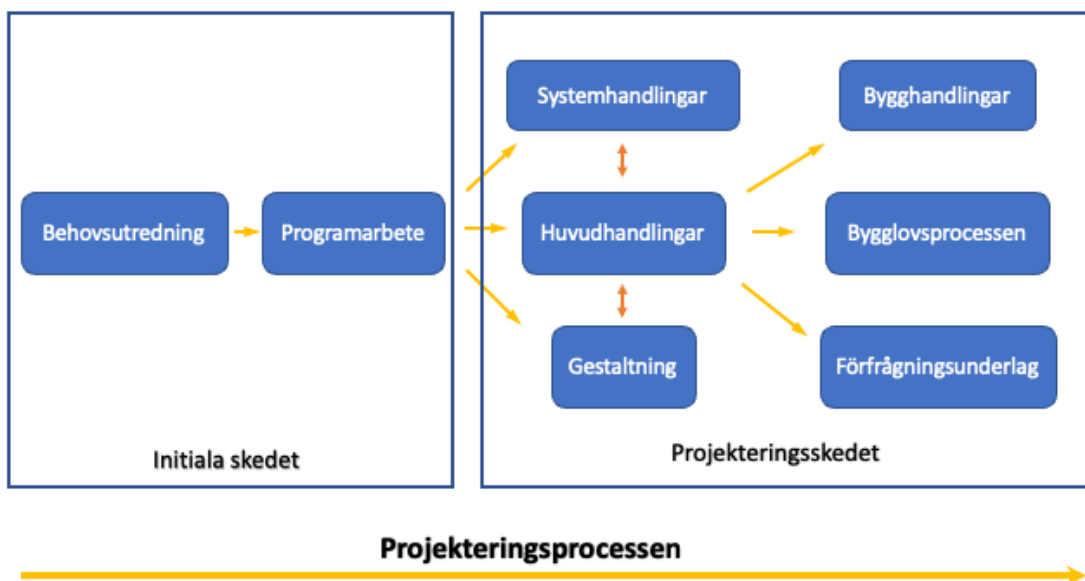
De digitala verktyg som i dagsläget fungerar som standard hos en övervägande del av de större arkitektkontoren och byggnadskonsulterna, anses de flesta ha en mycket god funktionalitet för de områden som omfattas av till exempel BIM-konceptet (Thydell, 2017). Däremot utgörs detta inte av en garanti som säger att kunskapen kring att använda de digitala arbetssätten på ett välfungerande och effektivt sätt alltid finns där. Således anses därför kunskapsnivån kring de digitala verktygen, ofta vara avgörande i frågan om hur stor omfattningen av verktygens användning blir.

För att skapa kunskap kring någonting, krävs i grunden ett intresse (Linderoth, 2013). För att ett intresse kring att driva på den digitala utvecklingen skall bildas, krävs bland annat erfarenheter och pilotprojekt. Som alltid med nytillkomna arbetsmetoder förekommer det en inlärningsprocess (Dolk och Ziervogl, u. å). Hur lång eller komplicerad denna inlärningsprocess blir, kan därför tänkas bero av det intresse som möter de mer nytillkomna, digitala arbetssätten.

En uppskattning kring den egentliga kunskapsnivån i branschen, kan här vara svår att ta fram. Detta eftersom branschens olika aktörer sällan delar jämförande data som rör något som just kompetensnivåer. Däremot kan sägas att digitaliseringsgraden inom byggbranschen i Sverige är, och har länge varit låg i jämförelse med andra branscher (Industrifakta, 2017). Huruvida den låga digitaliseringsgraden beror på en förhållandevis låg kunskapsnivå i branschen, kan diskuteras vidare.

2.2 Projekteringprocessen

Projekteringsprocessen är den del i en byggnadsprocess där en idé om en byggnad, alternativt en form av infrastruktur identifieras samt vilket behov det kan förfylla (Hansson m. fl., 2015). Då både behov och idé konkretiserats påbörjas projekteringskedet bestående av flertalet delprocesser, som gemensamt skall resultera i ritningar och beskrivningar av projektet. Nedan kommer delprocesserna behovsutredning, programarbete, systemhandlingar, huvudhandlingar, gestaltning och bygghandlingar beskrivas, se figur 1.



Figur 1: Projekteringsprocessens olika skeden, inspirerad av Hansson m. fl. (2015).

2.2.1 Initiala skedet

Det initiala skedet är det första utav två huvudskeden inom projekteringsprocessen, se figur 1. Det initiala skedet påbörjas med att en behovsanalys genomförs där behovet utreds mer i detalj samt att faktorer så som kostnader och tidsåtgång tas i beaktning. Dessa analyser genomförs till en början utifrån diverse nyckeltal som vidare kommer utgöra ett viktigt underlag vid formulering av byggnadens framtida verksamheter och behov, skriver Hansson m. fl. (2015). Om resultaten från genomförd analys tillgodoser behoven kan ett beslutsunderlag utformas. I presenterat beslutsunderlag skall en preliminär budget och tidplan innefattas samt en redogörelse för nuvarande behov och behov som kan komma att behöva uppfyllas. Viktigt att erhålla från redovisat beslutsunderlag är att dess precision är beroende av det underlag som uträkningarna är baserade på. Ifall mer omfattande analyser genomförs, möjliggör det för att ett mer exakt beslutsunderlag kan presenteras.

Då behovsanalys och beslutsunderlag är utförda och framtagna kan programskedet påbörjas vilket även återges i figur 1. Syftet med programskedet är att formulera ett program som är baserat på ett utförligare utredningsarbete (Hansson m. fl., 2015). Inom denna fas av projekteringen fördjupas de tidigare genomförda behovsanalyserna med krav om genomförandetid, funktionskrav kopplade till den tänkta verksamheten och budgetkrav. En fördjupande analys som är central i programarbetet är bland annat lokalplaneringen där areabestämmelser utförs för diverse verksamheters funktionskrav (Hansson m. fl., 2015). Ur lokalplaneringen utformas ett lokalprogram som skapar ett viktigt underlag för framtagningen av skisser på lokalen. Ur lokalprogrammet kan även viktiga analyser kring programareor samt serviceareor genomföras. Det slutgiltiga målet med programskedet är att presentera det beslutsunderlag som beställaren skall ta ställning till. Ifall beslut tas om att fortsätta projektet övergår projekteringsprocessen i ett nytt skede.

2.2.2 Projekteringskedet

Efter att det initiala arbetet är avslutat övergår projekteringsprocessen till projekteringskedet som innefattar flertalet delprocesser vilket illustreras i figur 1 (Hansson m. fl., 2015). Projekteringskedet präglas framförallt av att utveckla olika handlingar utifrån att man skall tillgodose för de krav som redogjorts i programskedet. I kommande stycken förklaras de ingående delprocesserna i

projekteringskedet.

Utifrån de olika kraven som presenteras i byggnadsprogrammet skapas möjligheter till att påbörja utformningen av byggnaden, det vill säga gestaltningen (Nordstrand, 2008). Syftet med att utforma och konstruera byggnaden på olika sätt är att väga olika förslag gentemot varandra. Utifrån de olika gestaltade lösningarna skall slutligen ett alternativ väljas ut, som då blir projektets huvudalternativ och därefter skall utvecklas vidare. I gestaltningskedet är det arkitekten som bär huvudansvaret för byggnadens framtida utformning och orientering. Löpande under gestaltningskedet deltar dock flertalet projektörer för att säkerställa att den tänkta gestaltningen är genomförbar, utifrån de bärande konstruktionssystemen och de olika tekniska installationssystemen. Vid framtagandet av huvudalternativet bearbetas även lösningar på problem som topografi, planlösning, inre kommunikation med mera. Samtliga av dessa lösningar tas fram tillsammans mellan arkitekten, byggherren och projektörer. Det slutgiltiga resultatet från gestaltningskedet presenteras sedan via handlingar innehållande flertalet ritningar och illustrationer. Denna dokumentation kallas vanligtvis för förslagshandlingarna.

Som tidigare nämnt arbetar projektörer med att utveckla byggnadens bärande konstruktionssystem och de olika tekniska installationssystemen. Dessa presenteras i form av systemhandlingar, se figur 1. Likt gestaltningskedet präglas framtagningen av systemhandlingarna i att tillgodose för de krav som beskrivits i byggnadsprogrammet (Hansson m. fl., 2015). Genom att dimensionera för kraven ur byggnadsprogrammet samtidigt som det anpassas mot förslagshandlingarna kan byggnadens ingående system dimensioneras och sedan presenteras i form av systemhandlingar. Systemhandlingar är viktiga då de utgör underlaget för den kvarstående detaljutformningen av projektet och för vidare korrektioner av kostnads- och tidskalkyler. Vidare förklarar Hansson m. fl. (2015) att systemhandlingarna utgör en fortsatt precisering av förslagshandlingarna med avseende på byggnadens utformning och system.

Efter att systemhandlingarna blivit färdigställda innebär det att byggnadens eller anläggningens form är fastställd. Det resulterar i att detaljutformningen av projektet kan påbörjas med syftet att producera fram projektets bygghandlingar, vilket även är den mest omfattade delen i projekteringen skriver Nordstrand (2008). Bygghandlingarna i sin tur innefattar samtliga av de nödvändiga lösningar och handlingar som i detalj redogör för produktionen av projektet (Hansson m. fl., 2015). Dessa handlingar och lösningar presenteras i sin tur i form av diverse ritningar, beskrivningar och förteckningar. Ritningarna illustrerar det som behöver presenteras grafiskt för att genomföra produktionen, beskrivningarna redogör för bestämningen av produkten i textform och förteckningar beskriver de produkter som inte har utrymme att enbart kunna sammanställas av en beskrivning. Nordstrand (2008) beskriver även att bygghandlingarna skall vara utformade så att entreprenörer kan inhämta information om storlek, kvalitetsbestämmelser och utformning. Detta eftersom de sedan ligger till grund för entreprenörens kostnadsberäkningar som är en essentiell del i kommande anbudsgivning.

2.3 Arbete med digitala arbetsmetoder i projekteringsprocessen

Projekteringsprocessen är för nuvarande den del i byggnadens livscykel som innehar flest tillämpningar i form av digitala programverktyg (Thydell, 2017). Det är även i denna del av byggprocessen där fördelarna som kommit med digitaliseringen, har visat sig tydligast (Linderoth, 2013). Thydell (2017) anger också att ju tidigare i en projekteringsprocess som utmaningar och förbättringsmöjligheter för slutresultatet upptäcks, desto större blir möjligheten till att förändringen genomförs. Vidare beskrivs att det i många fall blir mindre kostsamt att genomföra en förändring när den upptäcks vid ett tidigare skede.

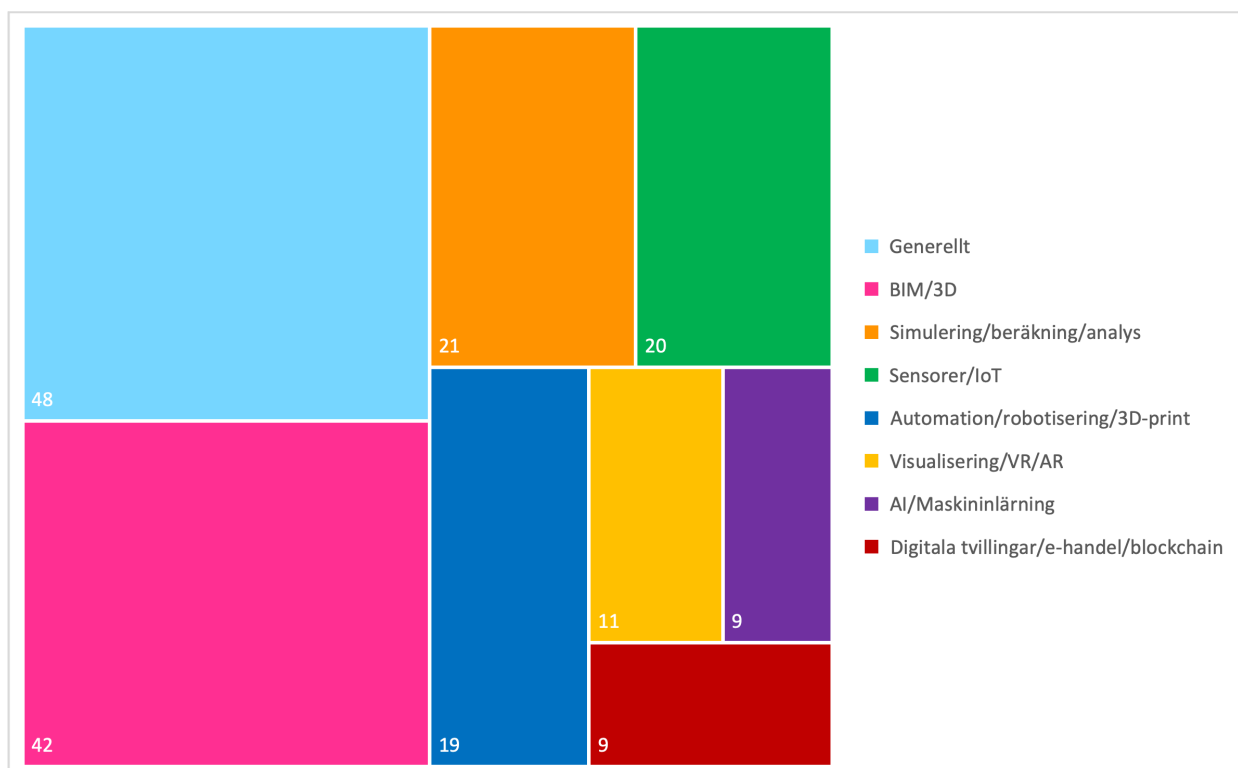
Ett arbete med digitala verktyg i projekteringsprocessen är någonting som i hög grad har visat sig avvika från den traditionella projekteringen (Thydell, 2017). Det har här handlat om att fokus i arbetsinsatsen, skiftats mer till den tidiga delen i processen. Medan stora delar av den traditionella projekteringen har riktat ett fokus på produktion och revidering av ritningar, har man kunnat färdigställa detta redan tidigt i en mer digitaliserad projektering. Vidare förklarar Thydell (2017) hur koncept som BIM, mer specifikt BIM-projektering här kunnat bana väg för att fokus som tidigare lagts på ritningsproduktion, istället kunnat läggas vid modellering och design av såväl arkitektoniska som tekniska lösningar. Fortsättningsvis beskrivs att produktionen av bygghandlingar, i väl genomförda BIM-processer på så vis kunnat ske mer eller mindre automatiskt, som en följdverkan av de upprättade modellerna.

För att ställa de olika digitala koncepten mot varandra och bland annat jämföra utbredningen av dess användning, lät Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (2021) ta fram en rapport, baserad på en studie som undersökt olika digitaliseringsinitiativ i den svenska byggbranschen. Av de specifika teknikområdena, visades i studien att BIM var det område som utmärkte sig som det koncept där flest initiativ har tagits (Samuelson, 2021). På en andra plats efter BIM, med hälften så många initiativ, kom kategorin som i undersökningen innefattade koncepten simulering, beräkning och analys. Tätt därefter kom sensorer och IoT samt automation, robotisering och 3D-print. Det kan alltså konstateras att trots det att utvecklingen som härrör BIM har pågått i flera decennier, har den visat sig fortfarande vara det område som får störst fokus. I figur 2 visas antalet projekt fördelade över de olika digitala initiativen. Här åskådliggörs att BIM är det specifika teknikområde där flest initiativ har tagits. Detta efter den allmänna kategorin som i undersökningen benämns som Generellt, se figur 2.

Studien genomförd av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (2021) visade också på en bedömning av vilka effekter som olika projekt avser att uppnå. Här handlade det om vilka effekter som adresserats till följd av att driva på den digitala utvecklingen. Effekterna delades i undersökningen in i effekter som rör produkten, samt effekter som rör processen. Undersökningen visade att det totalt sett var närmare tre gånger så många effekter som adresserat processen än som adresserat produkten. Bland dem som adresserat processen var påverkan på kostnader, effekten som flest ville uppnå. Med andra ord resulterade undersökningen i att digitaliseringen för en majoritet i branschen ämnar till att gynna en effektivare process. I processen är det framförallt en vinning i ekonomi man strävar efter att uppnå.

En projekteringsprocess där digitala arbetssätt tillämpas innefattar betydligt fler intressenter och aktörer än vad den traditionella projekteringen gör, och beskrivs därför i vissa fall som ett stäffliknande förlopp (Thydell, 2017). Här beskrivs också hur fokusskiftet fungerat bidragande i inkluderandet av fler aktörer i processen. Vidare nämner Thydell (2017) att man på senare tid kunnat se hur beställare och entreprenörer funnit ett ökat intresse i att öka den direkta inblandningen i hela projekteringen, inte minst i de tidiga stegen.

Som studien genomförd av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (2021) indikerar är det BIM och 3D som används främst inom branschen. Det är dock viktigt att ha i beaktning att det råder skillnader i vilken form av BIM-implementering som ett företag använder sig av. Oesterreich och Teuteberg (2019) beskriver att de finns olika mognadsnivåer av BIM-implementering som bestäms utifrån uppfyllda kriterier. De som primärt urskiljer de tre första nivåerna är skillnader i mjukvara och interoperabilitet. För de två kvarstående mognadsnivåerna belyser Agarwal m. fl. (2016) att BIM-implementeringen först utvecklas vidare genom att tidsplanen för det rådande projektet kan appliceras och kopplas samman till samtliga komponenter. För att uppnå den fulla mognadsgraden krävs att även kostnadskalkylen kopplas samman.



Figur 2: Visualisering skapad efter resultat från en undersökning gjord av SBUF. Varje ruta representerar här det antal projekt som i undersökningen adresserat viss digital teknik.

2.3.1 Effekten av en implementering av digitala verktyg

Som tidigare nämnts i avsnitt 2.3 används idag flertalet olika digitala verktyg inom byggprojektering. Utifrån Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (2021) studie framkom det att BIM är det arbetskoncept som flest initiativ tagits inom. Att nyttja BIM löpande under projekteringsprocessen möjliggör för en förbättrad informationsdelning enligt Borrman m. fl. (2018). Som tidigare belysts i avsnitt 2.2 är flera aktörer involverade i projekteringen som gemensamt skall sammanställa byggnadens utformning och system. Via att gemensamt arbeta med BIM förbättras informationsdelningen mellan aktörerna och därmed minskar risken för att information går förlorad (Borrman m. fl., 2018). Genom att skapa och arbeta med BIM ges även möjligheten att kontinuerligt extrahera information från modellen.

Att arbeta med BIM inom projektering förbättrar även möjligheterna att visualisera projektet skriver Azar (2011). Att övergå från mängder av olika 2D-ritningar till att istället arbeta med en gemensam 3D-modell underlättar att förstå projektet (Linderoth, 2013). Förståelsen ökar både för projektörerna och arkitekten men det är framförallt den förbättrade möjligheten att på ett enklare sätt visualisera projektet för beställaren och den framtida brukaren. Genom att involvera dessa parter mer aktivt i processen kan en bättre förståelse för projektet utformas, som i sin tur resulterar i att mer feedback och synpunkter framkommer under projekteringen. Flertalet av dessa kan sedan implementeras och på så vis förbättra det slutliga resultatet genom att tillgodose givna önskemål och därav skapa en högre kvalitet Linderoth (2013).

En annan viktig aspekt som BIM kan bidra med under projekteringsprocessen är kollisionskontroller (Hansson m. fl., 2015). Att kunna genomföra kollisionskontroller löpande under projekteringen bidrar till att uppnå en effektivare projektstyrning. Då kollisionskontroller möjliggör, likt sitt namn, att analysera och identifiera delar i modellen som hamnar i konflikt med varandra. Genom att i ett tidigt skede identifiera kollisioner kan lösningar snabbare appliceras, vilket sparar både tid och pengar i jämförelse med att upptäcka projekteringsfelen i ett senare skede. Kostnaden för att korrigera en teknisk konsult eller arkitekts arbete är väsentligt mindre i jämförelse med projektets totalkostnad (Hansson m. fl., 2015).

Som beskrivs i slutet av avsnitt 2.3 kan det råda skillnader i mognadsnivå av den BIM-implementation som råder. Inom projektering nyttjas ibland en kombination av 2D-ritning och BIM. Denna typ av arbetsprocess är ett välkänt tillvägagångsätt för att introducera BIM och därigenom förenkla övergången mot den arbetsmodellen menar Sundquist m. fl. (2020). Samtidigt poängterar de att detta tillvägagångsätt kan på samma vis förhindra den tekniska utvecklingen, då traditionella arbetsmetoder i form av 2D-ritningar fortfarande accepteras, i stället för att nya arbetsvägar forseras fram.

2.4 Utmaningar och hinder för en ökad implementering av digitala verktyg

Trots alla fördelar som arbetet med digitala verktyg har inneburit i projekteringsprocessen, har också en rad utmaningar och hinder visat sig i arbetet mot en ökad implementering och användning (Jacobsson och Linderoth, 2018). I denna del avses att beskriva dessa utmaningar utifrån de tekniska, organisatoriska, ledarskapsmässiga, juridiska samt ekonomiska aspekter som föreligger.

2.4.1 Tekniska utmaningar

Att reda ut de tekniska utmaningarna är det första steget och en grundförutsättning för att de digitala arbetssätten skall kunna få ett större genomslag (Linderoth, 2013). I projekteringsprocessen är det främst kompatibiliteten mellan underlag och programvara som är svår att åstadkomma (Thydell, 2017). Med en rad olika slags konverteringar och exporter, förekommer i många fall informations- och funktionsförluster, vilka behöver åtgärdas inför projekterings början. Att lyckas identifiera dessa typer av förluster innan projekterings början, och samtidigt kunna kompensera med såväl ekonomiska som tidsmässiga resurser, blir därför avgörande när det handlar om att öka effektiviteten för ett projekt där man använder digitala arbetssätt.

En annan teknisk utmaning handlar om det krav på fil- och programformat som finns vid slutleveranser (Thydell, 2017). Till exempel utfärdar en hel del beställare ofta bestämmelser om slutleveranser i vissa, specifika filformat, som ibland också ska göras i specifika programvaror. Vidare beskriver Thydell (2017) att många projekt ofta löper under en tidsperiod på fem år eller mer, och då märker man ofta att både filformat och hela programplattformar, i vissa fall har ersatts eller till och med utgått när man kommer till slutet av projekttiden. Av den anledningen kan det anses bättre att ställa krav som istället utgår från kvaliteten på filer och modeller, snarare än de specifika kraven på format.

Ytterligare en utmaning som kan tänkas bero av de tekniska förutsättningar som kommer med digitaliseringen, är att man i vissa fall väljer att förlita sig på de digitala verktygen (Boverket, 2018). Boverket lät år 2018 ta fram en rapport där syftet var att kartlägga diverse fel och brister inom byggsektorn. I rapporten adresserades bland annat en rad utmaningar för projekteringskedet i synnerhet. Det framgick i texten att branschaktörer tenderar att känna relativt stor oro för generationsskiftet. Här menar man bland annat på att projektering i vissa fall sker med marginaler som är för små för att fungera i produktion. Detta beskrivs vidare som ett vanligt förekommande fel när en oerfaren projektör förlitar sig helt och hållet på olika digitala programverktyg.

2.4.2 Organisatoriska utmaningar

En digitaliseringsdriven utveckling som är gynnad av framgång, ses ofta gå ofta hand i hand med märkbara förändringar på ett flertal olika strukturella nivåer (Jacobsson och Linderoth, 2018). På organisatorisk nivå betyder en framgångsrik digitalisering förändringar som kan röra allt från organisationsstruktur, arbetsflöden, regler och policys till rutiner och organisationskultur.

En tendens till att varje aktör i processen optimerar den egna insatsen i projektet, märks tydligt vid det digitala arbetet (Jacobsson och Linderoth, 2018). Vidare kan detta innebära en fragmentering av branschen i helhet. Bland annat handlar det om en bristfällig integration mellan projekteringsfasen och produktionsfasen. Dessutom har en variation i värderingar och normer mellan olika yrkesgrupper och kunskapsområden gjort det svårare att samarbeta över just olika yrkes- och kunskapsgränser. Här menar man på att en kombination av projektorganisering och det traditionella fokus som ofta ligger på lägsta anbud, har lagt grund för en bransch som karaktäriseras av kortsiktiga relationer, som ofta är marknadsbaserade. Detta kan då tänkas hindra olika aktörer i branschen från att samarbeta, för att tillsammans och långsiktigt lyckas utveckla kunskaper kring hur digitaliseringen skulle kunna utveckla branschen.

Flera företag i branschen kännetecknas ofta av en så kallad ”doer-mentalitet”, som innebär att det finns en tendens till att innovationer som ger omedelbar nytta accepteras mer eller mindre direkt (Löwstedt m. fl., 2014). Tekniska innovationer som tvärtom kräver en mer ingående förändring, har visat sig vara avsevärt svårare vad gäller att få ett genomslag. Detta kan också betraktas vara en av de betydande anledningarna till att digitaliseringen inom sektorn fortfarande är förhållandevis låg (Jacobsson och Linderoth, 2018). Att förhållningssättet ser ut som det gör, anses ha förklarliga skäl, eftersom låga vinstmarginaler och oklarheter kring vem som gynnas påverkar incitamenten för utvecklingen.

En ytterligare utmaning som visat sig förekomma vid den digitaliseringsdrivna utvecklingen är det att det ofta saknas ett bestämt, externt förändringstryck (Jacobsson och Linderoth, 2018). Något som avsaknaden av beställarkrav kan här upplevas som ett indirekt hinder för företag, när det kommer till användningen av digitala koncept som BIM. Implementeringen av koncept som BIM, anses ofta som ett sätt att hänga med i den tekniska utvecklingen, istället för att underlätta strategiskt sett (Bosch-Sijtsema m. fl., 2017).

2.4.3 Ledarskapsmässiga utmaningar

När det i projekteringsskedet talas om användningen av digitala koncept så som BIM, råder ofta en föreställning hos olika grupper om att denna typ av projektering skulle vara mer tidskrävande (Linderoth, 2013). Första gången någonting som BIM skall användas på en arbetsplats, konstaterar projektledare ofta just frågan om tid vara ett vanligt förekommande argument. Denna föreställning är en utmaning som projektledare i flera fall har behövt arbeta bort hos projektets olika aktörer.

För att genomföra en omställning till att arbeta med digitala verktyg, krävs det att ledare på alla nivåer behöver ha en samstämmighet och förståelse för vilka beslut om strukturella förändringar som kan behöva fattas (Linderoth, 2013). Med andra ord handlar utmaningen här om att komma till insikt med hur man skall kunna arbeta på ett nytt och mer effektivt sätt, istället för att fokusera på att förbättra de redan befintliga arbetssätten.

Vidare är ett betydande hinder också ovissheten kring vilka roller som skall ansvara för, hantera, utbildna och utveckla arbetet med digitala verktyg på en arbetsplats (Doubouya m. fl., 2016). Likaså

märks också en avsaknad av tydliga ansvarsområden och rollbeskrivningar för dessa. I dagsläget har rollerna tilldelats en rad olika namn, BIM-koordinator, BIM-strateg och BIM-ledare är bara några exempel.

I en undersökning utförd av Bosch-Sijtsema m. fl. (2017) framgår att man inom företaget ofta upplever en brist på efterfrågan om att använda digitala koncept. Mer specifikt tar enkätrespondenter från undersökningen upp att man anser det vara upp till arbetsgivaren att ställa krav på en användning av exempelvis BIM, för att just användningen av BIM skall kunna öka. Utan krav, menar man alltså på att användningen ofta tenderar att utebli.

2.4.4 Juridiska utmaningar

Hanteringen av information på ett modellbaserat sätt har visat sig kunna leda till olika konsekvenser av juridisk karaktär (BIM Alliance m. fl., 2016). Traditionellt sett har ritningar och mer textbaserade dokument fungerat som juridiska handlingar. När den huvudsakliga informationen nu i många fall istället återfinns i modeller som är kopplade till olika databaser, kan avsaknaden av den juridiska grunden för modellerna alltså verka hämmande i en övergång till mer modellbaserade verktyg.

I dagsläget ställs hos de allra flesta kommuner och myndigheter fortfarande krav på att handlingar levereras i pappersformat (Andrée, 2019). Digitala modeller gjorda i till exempel 3D efterfrågas och godtas i regel inte. I en studie genomförd av Smart Built Environment (2017) nämner intervjuade konsulter inom samhällsbyggnadssektorn att just myndighetskraven på analoga handlingar, ofta fungerar som hinder i processen mot en ökad digitalisering inom sektorn.

Det har även visat sig kunna förekomma vissa oklarheter och diskussioner kring ägandeskapet av en viss modell (Linderoth, 2013). Här handlar det framförallt om frågan som handlar om vem som äger modellen, designen och konstruktionen (Sardi och Svärd, 2017). Även frågor som vem som ska betala för vad och vem som bär ansvaret för noggrannhet och aktualitet av en viss modell tenderar att uppkomma.

2.4.5 Ekonomiska utmaningar

Det går att identifiera en rad ekonomiska hinder som hör till en ökad digitaliseringsgrad inom den svenska byggsektorn (Andrée, 2019). I en undersökning genomförd av Bosch-Sijtsema m. fl. (2017) framgår att det i många fall upplevdes för kostsamt för medelstora företag i den svenska byggsektorn att investera i exempelvis BIM-programvaror. Vidare beskrivs hur både utbildningskostnader och licenskostnader, tenderar att hindra en ökad implementering. I undersökningen beskrivs även att man inte alltid ser några direkta eller tydliga fördelar med BIM och av den anledningen inte anser det vara en bra idé att investera i någonting, där man inte ser en tydlig vinning i ekonomi.

Utöver de direkta kostnaderna som en implementering av de digitala verktygen kommer med, kan man också se ett hinder i form av det standardiserade betalssystem som i dagsläget tillämpas för konsulter inom sektorn (Byggherrarna Sverige AB, 2021). För konsulttjänster tillämpas vanligen avtalsvillkoren som heter Allmänna bestämmelser för konsultuppdrag eller ABK 09 (Hansson m. fl., 2015). För att ABK 09 ska gälla, behöver det återopas i kontraktet eller beställningen då en konsultupphandling genomförs. Allra vanligast är att arkitekter och konsulter arbetar efter timlön (Ework Group, 2021). Av den anledningen kan digitala verktyg som kommer med tidseffektivitet, innebära lägre löner för konsulter och arkitekter.

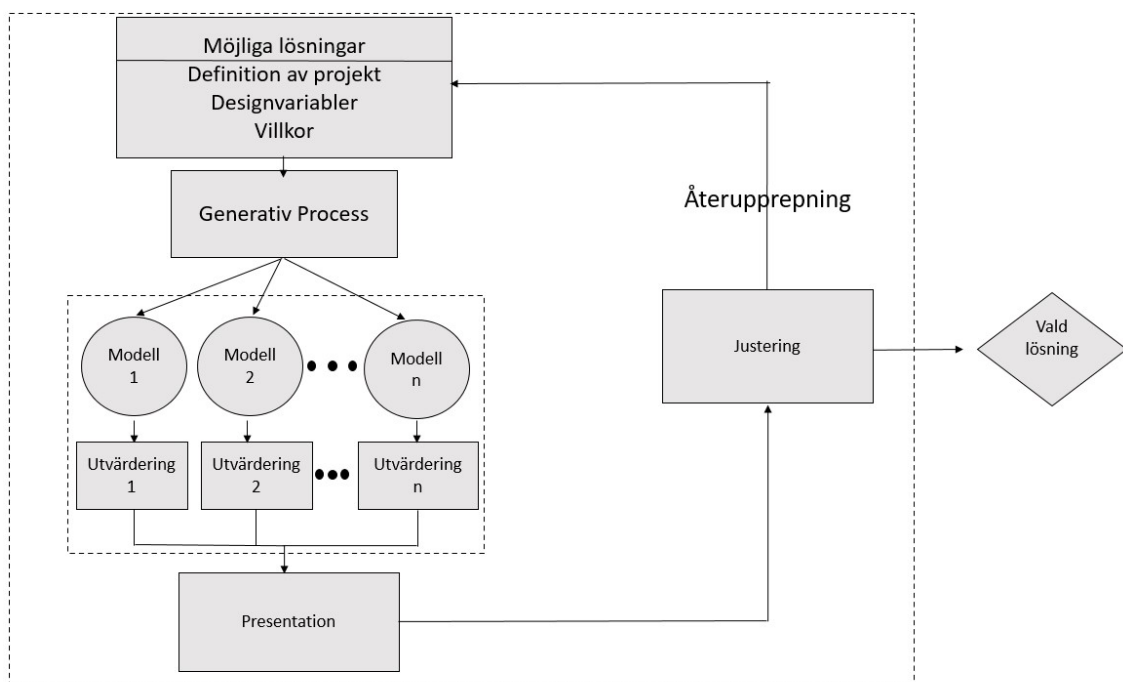
2.5 Generativ design

Generativ design och dess implementering undersöks som ett exempel av en implementering av ett digitalt verktyg. För att undersöka generativ design definieras först processen. Därefter presenteras ett ramverk för implementering av generativ design. Slutligen redogörs påverkan av implementering av generativ design genom olika fallstudier där implementering av generativ design har använts. Således studeras och presenteras litteraturen kring implementeringen av generativ design.

Arbetet följer Mukkavaara och Sandbergs definition av generativ design. Det beskrivs som användandet av datorbaserade metoder med konstruktörers samverkan för att skapa rimliga lösningar som ger upphov till utforskning av en konstruktions möjliga lösningar med målet av att hitta nytänkande lösningar (Mukkavaara och Sandberg, 2020).

2.5.1 Implementering av generativ design

I Mukkavaara och Sandbergs artikel presenteras de ett ramverk för processen av generativ design, likt figur 3. En implementering av generativ design i ett projekt, definierar först projektets möjliga lösningar. De möjliga lösningarna definieras i sin tur av projektets definition i programmet, dess designvariabler och dess villkor. Projektets definition i mjukvaran grundar sig i hur det utformar sig i programmet och ligger till grund för hur designvariablerna och villkoren interagerar med projektet. För att utforska projektets möjliga lösningar införs variabler i designprocessen, det vill säga designvariabler. Designvariablerna antar värden inom angivna intervall, och de kan exempelvis styra byggnaders mått och egenskaper. Villkoren för projektet är olika begränsningar på sammansättningen av flera designvariabler, exempelvis antalet våningar för en byggnad. Alltså behöver de möjliga lösningarna av projektet definieras innan de önskvärda lösningarna kan tas fram.



Figur 3: Ramverk för generativ design, inspirerat av Mukkavaara och Sandberg (2020).

Enligt Mukkavaara och Sandbergs ramverk för generativ design, se figur 3, behöver även en generativ process finnas, för att kunna generera fram lösningar (Mukkavaara och Sandberg, 2020). Lösningarna kan genereras fram genom antingen genetiska algoritmer eller stickprov. Genetiska algoritmer innefattar algoritmer som följer konceptet evolution (MathWorks, 2022). Användaren bestämmer algoritmens miljö och mål, och algoritmen skapar lösningar utefter detta. Lösningarna

genereras fram iterativt, där varje iteration anpassar sig mer och mer till miljön, tills målet är uppfyllt. Alltså styr den genetiska algoritmen den utforskande processen fram till målet (Mukkavaara och Sandberg, 2020). Användaren kan således skapa optimala lösningar till olika problem genom iterativa processer med hjälp av genetiska algoritmer. I en stickprovsmässig generering av lösningar skapas lösningar genom slumpen i programmet, och användaren styr den utforskande processen. En användning av genetiska algoritmer kräver en större kompetens inom programmering kontra en användning av stickprovsmässig generering som är mer användarvänlig. Alltså kan olika projekts lösningar genereras fram med hjälp av antingen genetiska algoritmer eller stickprov, beroende på vad ändamålet är och kompetensnivån av användaren.

När projektets möjliga lösningar har definierats och en generativ process har etablerats kan lösningar genereras fram och utvärderas. Lösningarna som genereras fram är generella, vilket innebär att lösningarna presenterar ingen data (Mukkavaara och Sandberg, 2020). Detta medför att en mättningsprocess behöver implementeras, för att få fram de olika lösningarnas respektive egenskaper. Genom mättningsprocessen kan exempelvis vikt, area, energianvändning med mera utvinnas från lösningar. Utifrån lösningarna och deras egenskaper kan användaren påbörja en utforskande process. Den utforskande processen sker i två steg, först presenteras lösningarna för användaren och användaren kan utvärdera lösningarna. Därefter kan användaren justera projektets möjliga lösningar för att få mer lämpliga lösningar. Användaren återupprepar hela processen av generativ design tills en lösning som är tillfredsställande har erhållits. Således är generativ design en iterativ och utforskande process där lösningar genereras fram som sedan utvärderas och ändras av användaren tills ett önskat resultat är uppnått.

En ytterligare generativ design process är parametrisk design. Parametrisk design har ett liknande förlopp som generativ design, då möjliga lösningar, villkor och intervall av värden används likadant (Lee och Ostwald, 2020). Skillnaden mellan parametrisk design och generativ design återfinns i skapandet av lösningar, då vid generativ design genereras alla möjliga lösningar iterativt, medan vid parametrisk design skapar användaren lösningar själv.

2.5.2 Effekterna av en implementering av generativ design

Implementering av generativ design kan ha en påverkan på aktuella arbetsroller i tidiga skeden av designprocessen. Arkitekters och deras process av att skissa fram ritningar kan påverkas av implementeringen av generativ design enligt tre scenarion: Digitala verktyg förhindrar arkitekters kreativa process av att skissa; Digitala verktyg kan bidra till den kreativa processen genom att bidra arkitekter med skissverktyg; Generativ design kan ersätta den traditionella skissprocessen och designprocessen görs enbart generativt, genom att digitala verktyg genererar skisser åt arkitekten (Abdalla m. fl., 2021). Om generativ design ersätter den traditionella skissprocessen, ersätts processen av att rita fram en skiss med att generera fram en skiss. Detta medför att arkitekten inte längre skapar skisser, utan istället bestämmer vilka skisser som är lämpliga. Rollen som arkitekt blir således en beslutstagarroll, vilket kan innebära att nya roller inom tekniskdesign uppstår i designprocessen. Alltså kan implementering av generativ design i designprocessen påverka och ändra olika roller i tidiga skeden av designprocessen.

Implementering av parametrisk och generativ design inom byggbranschens kan även bidra till ett effektivare informationsflöde (Pasetti Monizza m. fl., 2018). Inom beslutsprocesser där information behöver definieras mellan parter i byggbranschens värdekedja, kan parametrisk och generativ design bidra till en högre effektivitet i informationsflödet. Detta i jämförelse med traditionella metoder, såsom 2D-ritningar. Implementering av generativ och parametrisk design bidrar med att omvandla informationsflödet inom byggbranschen till enbart digitalt. Ett digitalt informationsflöde är ett

mer effektivt informationsflöde i förhållande till traditionella metoder av informationsdelning, som exempelvis ritningar. Alltså kan en integrering av parametrisk och generativ design effektivisera informationskedjan inom byggbranschen.

Beslutstagare i projekteringsprocessen kan använda sig av generativ design för att göra välgrundade beslut. I en artikel skriven av Vahdatikhaki m. fl. (2022) implementerades generativ design för att hitta den optimala placeringen av solpaneler på en byggnads fasad ur ett ekonomiskt perspektiv. I artikeln implementerades generativ design genom att först simulera solstrålningen på en byggnad. Därefter placerades solpanelerna ut på bygganden där panelerna hade störst effektivitet. Från detta erhöles en optimal placering av solpaneler på fasaden. Vidare i artikeln studerades det hur den optimala placeringen av panelerna ändrades beroende på storleken av panelerna. Genom att ändra storleken på vardera solpanel genererades det fram nya optimala placeringar av solpanelerna. Med hjälp av generativ design kunde Vahdatikhaki m. fl. (2022) generera fram optimala placeringar av solpaneler, oberoende på storleken av panelerna. Alltså kan beslutstagare göra välgrundade beslut genom att utforska optimala lösningar av olika problem via generativ design.

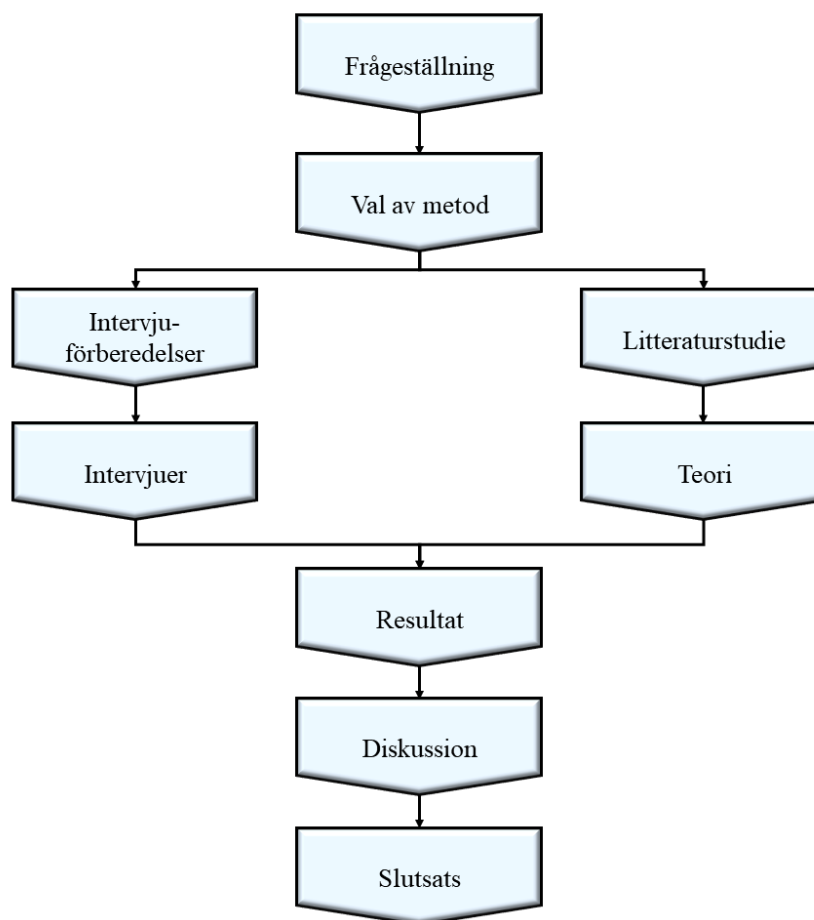
Ytterligare forskning visar att generativ design kan tillgodose visuella och kvantitativa referenser till beslutstagare. Zhang m. fl. (2021) skapade en generativ algoritm för planlösningen av bostadshus och gjorde en fallstudie som undersökte dess värmelast vid olika planlösningar. Genom generativa algoritmer genererades 1595 olika planlösningar för byggnaden i fallstudien, och den optimala lösningen sänkte värmelasten med 4,2 procent. De generativa algoritmerna tog även fram visuella referenser för de olika lösningarna. Vidare i artikeln förklaras det att generativa algoritmer kan hjälpa arkitekter med deras designbeslut. Genom dessa algoritmer kan det genereras ett flertal olika lösningar via den generativa processen. Lösningarna som genereras fram kan agera som visuella och kvalitativa referenser för arkitekter. Dessa referenser kan sedan användas som grund i arkitekters designbeslut. Alltså kan generativ design skapa visuella och kvalitativa referenser för beslutstagare, vilket kan bidra till en mer välbeggrundad beslutsprocess.

Generativ design kan även bidra till att minska behovet av högkvalitativt råmaterial i byggbranschen. Genom att implementera generativ design i byggbranschen ökar dess resurseffektivitet, genom att reducera överflödigt användande av högkvalitativt råmaterial (Pasetti Monizza m. fl., 2018). Monizza m. fl. utförde även en fallstudie som undersökte om implementering av parametrisk och generativ design kunde effektivisera massproduktionen av limträ. I fallstudien designades limträbalkar genom generativa algoritmer. Balkarna testades för diverse laster och resultatet av fallstudien påvisade att användandet av högkvalitativt råmaterial för limträbalkar kan reduceras med 98 procent. Implementering av generativ design kan således minska överflödigt materialanvändande.

Implementering av generativ design inom dimensionering av byggnaders planlösningar kan bidra till alternativa planlösningar som sänker energiförbrukningen. Genom att implementera generativ design kunde Rocha och Leitão (2017) förbättra en byggnads energiförbrukning genom genetiska algoritmer. I studien användes generativ design för att utforska olika planlösningar för respektive våning av byggnaden. Genom genetiska algoritmer genererades det fram olika planlösningar av respektive våning. Efter att de olika planlösningarna togs fram, evaluerades varje lösning genom att simulera energiförbrukningen för respektive lösning. Resultatet visade att alternativa planlösningar kan skapas genom generativ design. Dessa planlösningarn hade betydligt mindre energiförbrukning än de aktuella planlösningarna. Alltså, kan byggnader dimensioneras mer energieffektivt genom implementering av generativ design.

3 Metod

Kandidatarbetet bygger huvudsakligen på en undersökning som genomfördes med hjälp av en litteraturstudie samt en intervjustudie. Med dessa delar som grund, kunde senare en analys och slutsats formuleras. I detta kapitel beskrivs det hur metoderna användes i projektet. Arbetets sammanställda metod kan ses i figur 4.



Figur 4: Flödesschema av kandidatarbetets tillvägagångssätt.

3.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien genomfördes framförallt i de tidiga delarna av arbetsprocessen. Syftet med studien var att skapa en grundläggande bild och djupare förståelse kring digitala arbetssätt inom projekteringsprocessen.

Till en början söktes litteratur kring projekteringsprocessen och digitala verktyg på mestadels digitala källor. Detta för att påbörja en instudering, samt skapa en grundläggande förståelse. Därefter genomsöktes mer noggrant utvald litteratur, såsom vetenskapliga artiklar, branschrapporter och facklitteratur, där största fokus lades på vetenskapliga artiklar. Litteraturstudien har gjorts kvalitativt, vilket innebär att ämnesrelevant information på ett noggrant sätt, genomsökts och valts ut innan det använts i projektet (Bryman, 2016).

Med tanke på att arbetet rör ett ämnesområde som är under ständig utveckling, var det viktigt att se till att källorna som användes var aktuella. I och med att stora delar av publikationerna på ämnet i dagsläget sker digitalt, är många av de källor som använts i arbetet också digitala. Källorna som användes, hittades framförallt genom sökningar via databaser som Google Scholar, Asce Library, ScienceDirect och via böcker. Sökningarna har gjorts både på svenska och engelska, med söktermer

som till exempel building information modelling, generative design, implementation, resistance och construction.

3.2 Intervjustudie

Studien är en kvalitativ undersökning baserad på åtta strategiskt utvalda respondanter. Att urvalet är strategiskt utvalt innebär att respondenter medvetet handplockats (Gunnarsson, 2020). Det var av högsta vikt då ämnet är nytt och kunskapen därför begränsad för de som inte aktivt arbetar med digitalisering, vilket tydliggjordes under studiens gång. Därför har respondanter som aktivt arbetar eller arbetat med digitalisering valts för att säkerställa relevanta svar. Då arbetet fokuserar på projekteringskedet har respondenter från olika discipliner involverade i projekteringskedet valts.

Då respondenterna hade olika bakgrunder och kunskapsnivån skiljde sig åt, valdes semistrukturerade intervjuer vilket innebär att intervjuaren utgår från förberedda frågor men har möjligheten att anpassa frågorna efter personen som intervjuas och därmed skapa en mer öppen diskussion (Bryman, 2016). Respondenterna kontaktades via mail eller sociala medier med en förskriven text som kan ses i bilaga 8.2 för bokning av tid till intervju. Därefter skickades en förberedande ämnesbeskrivande text med frågor ut till respondanterna fyra dagar innan intervjuerna.

Intervjuerna genomfördes digitalt via programmen Zoom och Teams. Intervjuerna röstinspelades och transkriberades efteråt för att kunna sammanställa all data. Intervjuerna analyserades sedermera med fokus på skillnader och likheter mellan de olika respondenternas svar vilket presenteras i resultatet. Intervjuerna har efter upprepade lyssningar tematiserats där respondenternas svar kodats in i resultatet i form av kategorier istället för att presentera intervjuerna i sin helhet. Detta för att göra det lätt att avläsa hur respondenten svarat beroende på dess roll och ämne på frågan. Resultatet analyserades senare med utgångspunkt i teorin för att dra slutsatser om framtiden och besvara frågeställningarna vilket presenteras i slutsatsen.

4 Resultat

Resultatet består av den insamlade informationen från de genomförda intervjuerna. Kapitlet redovisar resultaten av den empiriska studien som insamlats genom intervjuer. Inledningsvis presenteras respondenternas bakgrund och deras syn på dagens digitala verktyg i projekteringsprocessen. Vidare presenteras åsikter och kunskap om generativ design och avslutningsvis deras tankar om framtiden.

4.1 Respondenter

Tabell 1: Förklaring av respondentbenämning

Respondent	Företag	Yrkesroll	Utbildning
A	Universitet	Föreläsare	Arkitekt, Ingenjör inom teknisk fysik
B	Arkitektkontor 1	Kontorschef	Arkitekt
C	Arkitektkontor 2	Digitaliseringsledare	Arkitekt & teknisk doktor
D	Entreprenadföretag	Digitaliseringschef	Ingenjör inom väg & vatten
E	Konsultfirma 1	Digitaliseringsledare	Arkitekt
F	Konsultfirma 2	Innovationsledare	Ingenjör inom automation & mekatronik
G	Konsultfirma 2	VVS-projektör	Ingenjör inom väg & vatten
H	Arkitektkontor 3	Kontorschef	Arkitekt
I	Konsultfirma 1	CAD-projektör	Ettårig KU-Utbildning

Tabell 1 visar hur respondenterna anonymiserats och hur de kommer att hänvisas till i rapporten. Respondenterna är noga utvalda inom ämnet för att kunna ge oss så relevant resultat som möjligt. De intervjuade består av både arkitekter, ingenjörer och digitaliseringsledare. Detta val gjordes för att få en så bred inblick som möjligt och för att studera ifall resultaten skiljs åt.

4.2 Bakgrund

Respondenterna var av olika bakgrund och hade varierande erfarenhet inom ämnet. Gemensamt var alla högskoleutbildade och hade arbetat inom branschen i ett flertal år. Respondenternas inriktning på utbildning skiljdes däremot åt och beskrivs nedan.

Arkitekter: Respondenterna A, B och H var utbildade arkitekter från Chalmers och hade alla lång erfarenhet i arbetslivet. De har följt utvecklingen och den ökade implementeringen av digitala verktyg sedan inledningen av 2000-talet. Respondent B och H har även erfarenheter som kontorschefer medan Respondent A arbetat som föreläsare på Chalmers de senaste åren.

Ingenjörer: Utbildningen skiljde sig åt mellan respondenterna. Respondent F var utbildad automation- och mekatronikingenjör, hade tidigare arbetserfarenhet inom fastighetsautomation och är numera innovationsledare. Respondent D och G var båda ingenjörer inom väg och vatten från Chalmers medan Respondent I läst en ettårig KU-utbildning i Stockholm och är idag CAD-projektör. Arbetslivserfarenheten skiljdes sig dem mellan men de hade alla över tio års erfarenhet och var mycket involverade i sina företags val och användning av digitala verktyg.

Digitaliseringsledare: Båda var utbildade arkitekter där Respondent C även var utbildad teknisk doktor tidigare på KTH men numera på Chalmers. Respondenterna C och E har länge arbetat med att utveckla, ta fram och skapa nya verktyg till arkitekter och projektörer.

4.3 Dagens digitala verktyg

För att få en klar bild av vilka program som används och hur bra de funkar i dagsläget efterfrågades respondenternas åsikter om dagens digitala verktyg. Flera av programmen som benämns användes av alla discipliner men det gick också att se tydliga skillnader i användandet sett till respondenternas fokusområden.

Arkitekter: De program som används är Revit, Sketchup, Rhino, ArchiCAD och Adobeprogrammen. Adobeprogrammen används ofta då grafiken i ritningsverktygen inte är tillräcklig för presentationer. Respondent H menar att licenskostnaderna är dyra och väljer därför ofta att satsa på ett fåtal program. De stabila verktygen som Revit har begränsade valmöjligheter för design och programmen som tillåter kreativa lösningar kraschar ofta och producerar inte tillräckligt bra ritningar. Samtidigt som verktygen blir bättre menar Respondent A att det är betydelsefullt att kunna arbeta både med fysiska modeller och 3D-modeller. En övergripande åsikt bland arkitekter är som Respondent B belyser, att det är viktigt att känna penna mot papper när man skissar.

Ingenjörer: De program som används är Revit, Tekla, Rhino, AutoCAD och MagiCAD. Likt arkitekterna har företagen satsat på licenser inom ett antal program som de förhåller sig till. De större företagen har avdelningar som utvecklar programmen och de anställda utökar själva det tillgängliga programbiblioteket som alla på företaget kan ta del av beskriver Respondent I. Tillgången till verktyg är inget problem utan de flesta önskar att de program som finns istället ska bli mer utvecklade förklarar Respondent F och G. Enligt Respondent D är kravställningen från beställaren bristfällig. Försöker de höja nivån för projeköterna så är de inte speciellt intresserade och beställaren är heller inte intresserad av att betala.

Digitaliseringsledare: De program som används är Grasshopper, Rhino, Revit, Bentley Openbuilding. Digitaliseringsledarna har stor kunskap inom de existerande digitala verktygen, deras fokus ligger framförallt på att utveckla verktygen och göra dem bättre. De arbetar mycket med att programmera plug-ins i Grasshopper för att komplettera programmen. Att ett verktyg är så stort att det nästan har monopol på marknaden kan vara problematiskt menar Respondent E då det kan hämma utvecklingen.

4.4 Utmaningar

För att förstå implementeringsgraden av nya verktyg fick respondenterna beskriva vilka problem de ser i dagsläget och vilka utmaningar som finns för en högre implementeringsgrad. Frågan var öppen för tolkning och därför skiljer sig respondenternas svar åt, vilket gav ett brett spektra att fortsätta intervjun kring.

Arkitekter: Problemen i dagsläget menar Respondent H är stora licenskostnader för verktyg som är långsamma i sin programutveckling, det krävs avancerad utbildning för att känna att man bemästrar programmet. Fördelarna är att det är stabilt, pålitligt, precist och används av många olika tekniska konsulter. Respondent H skulle gärna ha ett program som gör det enklare att vara mer fri i skapandeprocessen. Detta för att kunna använda unika former samtidigt som programmet fortfarande är driftsäkert.

Respondent H belyser att det ibland blir problem för nästa aktör då de lämnar över en IFC-modell. Till exempel om de har en avancerad trappa som en smed ska tillverka, då ger de istället ut sin fil då det behövs mer information. Respondent H säger att "Det är dumt att en IFC fil lämnas över då nästa aktör behöver rita upp en egen modell, den processen skulle kunna effektiviseras". Detta

håller även Respondent A med om och menar att det kan skapa en brist när kommunikationen inte når hela vägen fram. Att arkitekten kan ha lagt mycket tid på att få ett visst intryck i rummet medan en installatör vill arbeta så smidigt och effektivt som möjligt.

Ingenjörer: Ett dilemma i dagens projekteringsprocess är modellöverlämning mellan olika skeden. Enligt Respondent D fungerar modellöverlämningen ”bedrövligt”. Det händer att beställaren kan få köpa tre modeller av samma projekt då aktörerna inte arbetar i samma modell. Först en modell i tidigt skede när man lämnar in för bygglov. Därefter skapas en ny modell för systemhandlingarna men det är inte säkert att dessa kan byggas. Därför kan beställaren behöva köpa ännu en modell i bygghandlingsskedet. Det är informationen som läggs in som är kritisk. Problemen med verktygen som finns i dagsläget kan vara tudelade menar Respondent F. Användarna behöver lära sig mer om programmering men samtidigt behöver programmen kanske förbättras.

Hade alla varit överens om vad man kallar en yttervägg och standarden i exempelvis väggen så hade det varit enklare att arbeta mot samma modell. Som man jobbar idag så innebär det att när Arkitekt 2 tar över från Arkitekt 1, så är det inget som säger att Arkitekt 1 har gjort som Arkitekt 2 önskar. För att Arkitekt 2 då ska känna sig säker på vad det är för handling som behövs så får man börja om från början. - Respondent F

Enligt Respondent I är det viktigt att skapa samma förutsättningar för alla att kunna jobba tillsammans i ett projekt oavsett program, disciplin och varifrån de jobbar. Ett stort problem med digitala verktyg idag är hur modeller och ritningar ska bevaras. Om filerna som lagras i arkiven ska öppnas om exempelvis 50 år, behöver filformatet vi använder idag även fungera i framtiden. Respondent G menar att det finns svårigheter i att hålla informationen uppdaterad och få den att stämma överens med verkligheten. Många jobbar under vissa standardavtal där rätten till originalhandlingar är väldigt stark. Därmed kan det vara mer komplicerat att lämna över modeller då det är konsulternas äganderätt. Alla arkitekter kan inte programmera och där finns en jättetröskel enligt Respondent D. Att använda för många verktyg funkar inte då varje verktyg kräver utbildning, det är istället bättre med ett fåtal verktyg som funkar bra.

Digitaliseringsledare: Ett problem som uppstår när olika program diskuteras är den betydelsefulla prioriteringen av vilken information som ska föras vidare belyser Respondent C. Tidigare har ett program använts i tidigt skede, när sedan ett annat program används skapas ny modell på grund av informationsbrist. Ett annat problem är att det går alldeles för långsamt vid överlämningar till nästa aktör och mellan olika verktyg. Utbytet av information måste förbättras, att bygga modeller i ett verktyg och kunna analysera dem i ett annat måste gå betydligt snabbare. Respondent E uppfattar att problem kan uppstå när information bortfaller i de skeden när om konsulter byts ut. Kontrakten är ofta skrivna i olika skeden och i varje nytt skede bygger de flesta upp en ny modell. En IFC-modell är statisk och går att analysera men aldrig att direkt arbeta vidare med som modell.

4.5 Inställning bland disciplinerna

Då en del av kandidatarbetets syfte var att identifiera hur olika roller kommer att förändras var respondenternas syn på hur långt de olika disciplinerna kommit i digitaliseringen viktig. Respondenternas svar var till stor del överensstämmande med varandra dock fanns ett fåtal undantag.

Arkitekter: Arkitekterna är överens om att de anser att arkitekter har kommit längst i utvecklingen av digitala verktyg då de har börjat använda parametrisk design i yrket. Det skiljer sig dock vilka de anser släpar efter där Respondent B anser att installationsavdelningarna varit sena i

utvecklingen och Respondent H anser att det är produktionen som har längst kvar i utvecklingen. Även om Respondent H anser att unga byggarbetare numera börjat använda sig av digitala verktyg och öppna upp modeller ute i produktion, vilket ställer högre krav på modellen men även är ett steg i rätt riktning.

Respondent A tror att inställningen till nya digitala verktyg är mycket annorlunda mellan olika discipliner. Att ingenjörer direkt ser nyttan med programmen medan arkitekter ofta värderar aspekter som inte går att mäta numeriskt. Hur det skulle skapas motstånd kan bero på hur verktygen tillämpas och implementeras. Äldre personer är oftast mer konservativa än de yngre menar Respondent A. Tveksamhet till generativ design anser Respondent A kan komma från personer med högre medelålder.

Ingenjörer: Respondent I tycker att det är stor skillnad mellan vissa discipliner, till exempel de som arbetar med landskap arbetar helst bara i 2D. Anläggning ligger dessutom långt bakom konstruktion. Det hade kunnat förbättra situationen för de som jobbar ute i produktion, samt kunnat snabba på processen att få fram bättre handlingar på ett enklare sätt menar Respondent I. Det finns vissa discipliner som alltid ligger lite i framkant, som syns tydligt och blir kravställande. Det är arkitekter och konstruktörer menar Respondenterna F och G. Där arbetar dem redan med parametrisk design medan installatörer inte kommit lika långt och Respondent G uttrycker ”Vi ser inte att det finns något motstånd, så länge kunden får sin leverans så är det inte bekymrade över hur vi kommit fram till det. Därmed blir det slutligen en intern fråga”.

Att installatörerna är de som kommit längst och har bäst förutsättningar anser däremot Respondent D. De som ritar i Magicad och Revit har sedan länge väldigt hög detaljeringsgrad på deras 3D-modeller. Problemet är att man fortfarande ritar utifrån ett 2D-perspektiv, men får ett 3D-objekt. Även konstruktörer som ritar i Tekla har också ritat på en väldigt detaljerad grad. Konstruktörerna har kommit väldigt långt, även vid prefabricering. Att installatörer är de som kommit längst och arkitekter ligger längst bak i utvecklingen resonerar Respondent D. Respondent D formulerar även att det är ganska irrelevant hur teglet ska se ut i 3d-modellen och säger ”visst de är snyggt men det ger inte så mycket”.

Det är generationen som tar sig ut i arbetslivet nu som ska slå sig fram för den här typen av tankegång belyser återigen Respondent D. Byggbranschen är mycket traditionell, saker görs av tradition för att arbetarna känner sig trygga i den processen. Det är just att utmana byggbranschen som gör att Respondent D stiger upp på morgonen och tar sig till jobbet. Respondent D uttrycker ”Potentialen i vad som skulle kunna hända, branschen är fortfarande ofantligt långt efter industrin men det finns potential om man bara vill”.

Digitaliseringsledare: Enligt digitaliseringsledarna har digitaliseringen gått olika snabbt, inte bara mellan olika discipliner utan även vilken typ av projekt man arbetar med. Arkitekter till småhus har exempelvis inte samma behov som arkitekter till stora sjukhus. Generationsskillnader är även en stor påverkan menar Respondent C. De äldre arkitekterna sitter på kunskap men har svårare att förstå sig på alla verktyg medan de unga har lätt för verktygen men inte lika mycket erfarenhet och kunskap.

Som Respondent E säger så arbetar arkitekter och konstruktörer väldigt tätt med varandra jämfört med andra discipliner, deras problem i projekten är oftast detsamma. Arkitekter och konstruktörer jobbar väldigt mycket framåt med frågor inom digitalisering, gällande installatörer är det inte lika aktuellt. Det har med arkitekternas kärnverksamhet att göra och att de är ett jättespännande område resonerar Respondent E. Fortsättningsvis menar Respondent E att det alltid finns en oro över att automation skulle kunna ta bort ens jobb även om parametrisk design ses mer som ett hjälpmedel.

4.6 Generativ design

Kunskapen om generativ design och dess syfte varierar mellan de intervjuade. De flesta är överens om att det är framtiden och något som företag inom projektering måste implementera för att hänga med i utvecklingen. Det är inget som går att förhandla kring om det kommer ske, utan de flesta väntar bara på att det ska slå igenom. Synen på hur det kommer implementeras skiljer sig dock åt.

Arkitekter: Arkitekterna vi intervjuade var väldigt intresserade kring parametrisk och generativ design men hade inte provat på det själva. De hade sämre inblick i hur det fungerade, men var positiva kring att det kan användas som ett framtida hjälpmedel. Respondent H har via hjälp av konsulter analyserat modeller med hjälp av parametrisk design men.

Ingenjörer: En gemensam nämnare mellan ingenjörerna är att generativ design är något de flesta bevakar. Modeordet i branschen är just nu parametrisk design och vissa av dem har provat att använda det. Exempelvis har Respondent I provat i ett projekt att räkna på röstöd som stod på betongstöd där det minsta möjliga betongfundamentet kunde itereras fram. Alltså för att ta fram hur mycket armering och betong som behövdes för att optimera materialförbrukningen sett till hållbarhet och konstruktion. En annan ingenjör som använt det är Respondent D. Respondent D har kunnat ta fram vägbroar genom parametrisk och generativ design. Arbetet effektiviserade radikalt och det gick att göra ändringar som annars varit väldigt tidskrävande. Respondent D var övertygad om att detta skulle bli vår framtid. Flera tittar på det som bolag, hur de ska kunna använda och utnyttja det, däribland Respondenterna F och G.

Om vi ska få datorn att hjälpa oss så måste vi ge den rätt förutsättningar. Vi kommer från en bransch där den personliga kontakten och det mänskliga mötet har varit väldigt viktigt och att man inte alltid haft de hårda svaren som en dator behöver.

- Respondent F

Enligt Respondent F är det viktigt att man vet indatan och hur processen går till. Gränssnittet för programmering är nödvändigtvis inte så svårt men det är en helt annan typ av gränssnitt än vad ingenjörer är vana vid. Det är mer ett organisationellt krav på företaget att hjälpa ingenjörerna att ta till sig det sättet att arbeta menar Respondent G. Projekteringsskedet skulle kunna effektiviseras tveklöst. Respondent D uttrycker ”Vi ser det som ett kommande hjälpmedel”. Det skulle kunna få fram fler förslag på kortare tid och det ger förutsättningar för en helhetsbild på vad det ungefär skulle kunna resultera i. Man skulle få fler alternativ att välja på ur ett kostnadsperspektiv, ett energiperspektiv eller ur ett ljusinsläppsperspektiv. Arbetet för arkitekter skulle underlättas men framförallt ge bättre underlag åt beställaren avslutar Respondent D.

Digitaliseringsledare: Båda digitaliseringsledarna har väldigt bra kännedom inom ämnet och företagen överlag. Enligt dem är generativ design att man använder parametrisk design fast man jobbar med parameterintervall där datorn själv undersöker alla tänkbara alternativ i det parameterintervallet. Respondent C menar att efter något designats erhålls en analys, nästa steg är att automatiskt generera många varianter och därefter välja bland alternativen. De respondenter som programmerar och utvecklar egna program gör det för att underlätta för sina företag. I de projekt där Respondent C och E har använt generativ design har de kunnat göra konstruktioner och ritningar som inte gått tidigare. De har kunnat undersöka geometrier som är väldigt komplexa väldigt enkelt tack vare programmen. Den största faktorn är att de kan göra förändringar i projekt väldigt smidigt och det sparar otroligt mycket tid. Det gör att arkitekter och konstruktörer kommer närmare varandra också.

4.7 Följder och förändringar

På frågan om projekteringskedet kommer att förändras så var de flesta respondenterna överens. De ansåg att skillnader kommer att uppstå i framtidens arbetsuppgifter i jämförelse med de nuvarande. Hur det kommer förändras är svårt att förutse men alla har fått förmedla sin åsikt.

Arkitekter: Respondenterna B och H tror nödvändigtvis inte att nya roller kommer skapas, utan att det kan bli förändrade arbetsuppgifter. Därmed tror de inte att några roller kommer försvinna utan att verktygen ska hjälpa till med att effektivisera arbetet och skapa fler valmöjligheter för beställaren. Istället för att ta fram några få förslag kommer de kunna sälla bland många fler förslag och förändra parametrarna enkelt. Ifall generativ design effektiviserar arbetet skulle de båda hellre lägga sin tid på gestaltning eller att designa. Inmätning och omvandling till BIM-modell men även katalogisering med avseende på återbruk vore väldigt användbart att få mer automatiserat menar Respondent H. Annars tror de att programmen är mest användbara för konstruktörer i nuläget. Som mycket annat måste digitaliseringen fungera kommersiellt och påvisa ekonomiska och hållbara fördelar i jämförelse med konventionella metoder. Däremot anser Respondent A att det inte går utesluta att det kommer bli nya roller och att situationen mellan hur olika aktörer bidrar kommer förändras. Det skulle mycket väl kunna bli nya roller. Mycket är redan förprogrammerat idag, på samma sätt kommer det bli med generativ design.

Ingenjörer: Ingenjörerna ser redan idag att den klassiska projektledaren som både leder tekniken och avtalsdelen är på väg bort samt att den delas upp i två roller. Respondent D resonerar att det krävs troligtvis en ny process eller en annan införsäljning. Det skulle absolut kunna förändra processen och dess arbetssätt i större perspektiv. För att kunna göra det behövs andra resurser så att det skulle kunna utnyttjas.

Skulle det gå att generera fram x antal husbyggen med x antal utnyttjandegrad eller effektivitet så skulle det ge ett mervärde i säljprocessen. Det medför fler jobb utifrån att det går att generera fler alternativ. Det skulle även hjälpa beställaren att ta ett bra beslut utifrån utnyttjandegraden. - Respondent D

Även Respondenterna F och G ser det som en självklarhet att generativ design skulle förändra arbetsuppgifter eller roller. Det påverkar hur processen går till idag och det blir en organisationell fråga av rang. Respondent G uttrycker ”Om någons uppgift delvis försvinner, hur ser medarbetarna på det då? Hur kan arbetsuppgifterna ersättas med andra nya uppgifter för att bevara rollen exempelvis?” Respondent G beskriver att kunden vill ha någon form av hus byggt eller ombyggt och att det ska finnas en viss prestanda. Det ska vara bra inneklimat, bra luft och allt som lagstiftaren nämner. Hur det uppfylls är för beställaren tämligen ointressant, dock behöver de efteråt veta hur huset är byggt. Det måste finnas dokumentation för att kunna förstå husets konstruktion. Då blir pris självklart ett konkurrensmedel, om du kan komma fram till samma produkt till en bråkdel av priset så skulle det öka möjligheter att göra affärer tveklöst menar Respondent G.

Digitaliseringsledare: När programmen inom generativ design är mer användarvänliga, kommer arkitekterna få ett verktyg som underlättar deras arbete men på vägen dit kan det absolut finnas behov av nya roller som kompletterar menar Respondent E. Vissa arkitekter kan idag programmera men det är en smal sektor. Först när programmen blivit mer intuitiva så kommer både parametrisk och generativ design få en betydligt större genomslag än idag. Respondent C säger att ”Det finns en hög tröskel så fort du behöver gå in och programmera, för arkitekter är inte programmerare och då blir det problematiskt”. Respondent C påvisar detta då den största nya rollen som skapats är arkitekter som även jobbar med utveckling av digitalisering, alltså arkitekter som lärt sig programmera. En sådan roll existerar redan på företaget men det finns även nya roller inom hållbarhet som

till exempel digital hållbarhetsspecialist.

4.8 Framtiden

Slutligen fick respondenterna fritt spekulera kring vad framtiden inom digitalisering och mer specifikt generativ design har att erbjuda. Respondenternas svar fokuseras därför på olika ämnen även om de alla var överens om att generativ design är framtiden för projekteringsprocessen.

Arkitekter: Alla tre Respondenter anser att branschen ligger efter men att det finns goda möjligheter för förändring. Alla tror på att utvecklingen är på gång att möjliggöra saker som inte gått tidigare. Respondent H skulle vilja se en möjlighet att använda programmen till redan befintliga byggnader där man använder punktmolnsinmätning. Respondent H uttrycker ”Att kunna få dessa punkter till vektoriserade ytor hade underlättat betydligt. Antingen behöver någon investera extremt mycket pengar i utvecklingen eller att någon hittar ett sätt att fortfarande få betalt samtidigt som man utvecklar programmen”. Men oavsett hur det går till så kommer det ge otroliga möjligheter till mer skulpturala och materialeffektiva byggnader. Respondent B avslutar med att beskriva att världen är så komplex så man kommer alltid behöva den mänskliga förmågan att välja unika val för varje projekt.

Ingenjörer: Alla ska kunna jobba tillsammans i modellen önskar Respondent I som påpekar ”Att man kan livemodellera ihop, exempelvis arkitekter, installatörer och konstruktörer kan jobba på samma ställe, samt att lägga in de olika skedena med tid och kostnad (5D)”. Aktörer från olika delar av världen hjälper varandra och tar del i projekten. Respondent I hoppas på mer samverkansprojekt, mer projekt där entreprenörerna blandas in tidigt. De unga som kommer in numera är medvetna om att de agerar för framtiden, de inser att de betalar sig själva genom att bygga upp samhället med skattepengarna menar Respondent I.

Respondent D hoppas att det kommer hända någonting stort och att vi vågar utmana framtiden, branschen och de traditionella byggarbetsätten. Att till exempel ifrågasätta att bygga med betong. Respondent D menar att det kanske inte måste finnas ett kök i alla lägenheter i framtiden om maten blir hemlevererad. Respondent D frågar sig om det är valbart hur en lägenhet ser ut, hur vi bor eller hur vi lever. Det är ganska stora processer som måste ändras innan andra system eller nya arbetssätt tillkommer. Men att det blir en annan process än idag är övertygande enligt Respondent D. Respondent D uttrycker ”Webbaserade programvaror kommer vara vår framtid och en ökad prefabricering i större utsträckning. Det blir mer som ett lego, men som de ser ut nu så köper du legosatser och en bågfil så får du såga sönder legobitarna för att få dem att passa, det är för dåliga precisioner”.

Respondent D tycker även att utvecklingen i dagsläget är för långsam men den är absolut på väg att förbättras, de senaste åren har de börjat ske en förändring. Innan var det svårt att få ihop en modellsamordning, så de har skett en stor förändring men ett litet motstånd för att projektören tycker att det krävs mer arbete och att de behöver lägga ner mer tid än vad som behövs. Man sitter fortfarande och filar ihop det på 2D-ritningen för man får det inte riktigt att funka i 3D-modellen så ett visst motstånd finns men det går framåt. Respondent D uttrycker ”Det kommer självfallet även behövas ett nytt betalningssystem, om det som tagit längre tid nu kan effektiviseras så kanske man får sälja en produkt som konstruktör och det är helt nytt”.

Vi är relativt nära någon typ av brytpunkt, där generativ design kommer att bli mer accepterat än vad det varit hittills anser Respondent F och G. De ser fram emot att se vad följderna kommer bli, hur byggprojekt organiseras och så vidare. Även om utvecklingen börjat ta fart har den inte

fått fullt genomslag ännu. Även de tror absolut att betalningssystemet kommer förändras, dock är det idag svårt att ta betalt för fasta priser. Respondent G säger att ”Vi vet aldrig om vi kommer bygga mer eller mindre i framtiden men att man kan bygga klokare eller bättre, att man får fler alternativ, kan göra hållbara val, minska mängden material eller optimera ytor”.

Digitaliseringsledare: Det finns lite olika scenarier menar Respondent E, verktygen måste främst bli mer användarvänliga och då tros det stora genomslaget komma. Samtidigt kan projektgrupper komma att kompletteras med denna kompetens. Fortsättningsvis menar Respondent E att det givetvis finns effektivitetsvinster, kanske ännu mer i ett senare skede av projektet. Enligt Respondent C kan man antingen se på det som att verktygen underlättar för arkitekterna men de hoppas även att verktygen gör att man kan lösa uppgifterna på ett bättre sätt. Det finns team som kan designprocessen väldigt väl och utvecklar verktyg som de sedan delar med sig av. Man kan tänka sig att verktygen ändrar vilka erbjudanden konsulterna har till kunderna. Eftersom konsulter idag får betalt per timme, kan de behöva sälja sin tjänst på ett annat sätt.

4.8.1 Behov av statliga/ kommunala påtryckningar

Arkitekter: Generativ design kommer ske över tid men staten kommer troligtvis ha något med processen att göra då det kommer behöva ske regleringar menar Respondent A. Troligtvis kommer det att bli en juridisk fråga om bland annat vilka kvalitéer som behöver standardiseras. Det är något som är så stort att staten på något sätt måste styra vissa delar, menar återigen Respondent A. Respondent B och H menar är av samma inställning men att det blir en fråga om konkurrens. Därmed kommer det ske av sig självt då fler och bättre program kommer att komma. Då måste företagen hålla sig uppdaterade och följa med i utvecklingen. De tror dock att det fortfarande kommer att vara arkitekterna som tar fram parametrarna så deras roll kommer fortsatt väga tungt. Respondent H nämner att digitalisering är den självklara vägen framåt, men att de stora aktörerna på marknaden måste utvecklas. Respondent H skulle gärna arbeta närmare med konstruktörerna i ett gemensamt program då det hade kunnat bidra till att effektivisera arbetet.

Ingenjörer: Två av ingenjörerna tror att det skulle behövas påtryckningar av staten eller kommunen för att digitala verktyg ska implementeras i företagen. Respondent D anser detta eftersom det inte finns några lagkrav. Norge och Finland har exempelvis lagkrav på vilken information en modell ska innehålla. Eftersom Sverige inte tagit beslut ännu vad en modell måste innehålla så har vi inte heller något riktigt mandat till att säga vad som gäller. Det finns helt enkelt ingen svensk standard på hur 3D-modellen ska se ut. Det borde absolut finnas ett kravställande som gör att det är tydligare varför man gör saker och vad kravet innebär menar Respondent D. Respondent I resonerar på samma sätt att det gäller att ”rätt folk” kommer in på kommunerna och de statliga verken. Det behövs mer tillit till de anställda menar Respondent D. Vidare fortsätter Respondent D med att det behövs en starkare beställarorganisation där de vågar vara modiga i sina beslut. Respondent F och G är av en annan åsikt där förstnämnda uttrycker att ”Det hade kanske kunnat främja implementeringen men de flesta skulle bli stressade ifall ens konkurrens skulle börja arbeta med det. I övrigt tror jag att det är marknaden som kommer styra detta, möjligen om den offentliga sektorn beställer på ett sätt som kräver generativ design”.

Digitaliseringsledare: Respondent E tror också att drivkraften finns hos konsulterna och när verktygen tillåter det så kommer det implementeras. Det som hindrar det mest idag är att tröskeln är för stor, kunskapsmässigt. Det är en gräns som är ganska svår att ta sig över. Respondent E uttrycker ”För att du ska bli bra på det måste du jobba med det hela tiden och då är det svårt för de flesta arkitekter att ta det till sig. Ett litet arkitektkontor har kanske inte resurser eller det blir en större kostnadsfråga för dem att kunna implementera detta”. Däremot menar Respondent

C att reglering skedde i Danmark gällande BIM, men i Sverige ligger kommunerna snarare efter i utvecklingen gällande digitalisering och därmed även kravställningar. Respondent C avslutar med att säga ”Marknaden styrs av pengar och pengar kommer inte rädda planeten utan den behöver regleras”.

5 Diskussion

Ur resultaten från intervjustudien har en tydligare inblick givits kring de digitala verktygen och arbetsätten som råder inom branschen. I flera fall stämmer den informationen som angivits i teorin väl överens med den verklighetsbild som respondenterna beskriver. Det förekommer dock ämnen där teorin och resultaten går isär samt där det uppkommer meningskiljaktigheter mellan respondenternas intervjusvar. Den sammanlagda informationen från både teorin och resultatet har lett till att syftet kunnat uppnås. I följande kapitel kommer informationen som berör frågeställningarna kring nulägesbilden om digitala verktyg och dess utmaningar, möjligheten att effektivisera projekteringsprocessen och slutligen hur en implementering av generativ design hade påverkat branschen att diskuteras.

5.1 Kompetensnivån som hinder för digital utveckling

Ur arbetets huvuddelar går det att tyda hur frågan om kompetens ofta fungerar som hinder för den digitala utvecklingen. I såväl teorin som intervjustudien framgår det hur kunskapen kring de olika digitala arbetsätten ofta är avgörande, när man talar om i vilken utsträckning verktygen används. I avsnitt 2.1 går det att läsa att Linderoth (2013) beskriver hur bildandet av kunskap i många fall grundar sig i ett intresse. Inlärningsprocessen kan på så vis tänkas påverkas av hur just intresset för användningen ser ut. I intervjustudien beskrivs bland annat av Respondent E hur den kunskapsmässiga tröskeln att överkomma, är det största hindret för att de digitala arbetsättens användningsgrad skall öka. Vidare förklaras att de digitala arbetsätten kräver övning och konsekvent arbete för att processen ska fungera.

Med ovan som bakgrund går det att uttyda att intresse och inställning hos olika discipliner, är avgörande när det handlar om i vilken utsträckning de digitala arbetsätten används. I flera av intervjuerna blir det också tydligt hur inställningen tenderar att variera mellan de olika disciplinerna. Att inställningen varierar kan tänkas gå i linje med de intressen som varje disciplin har. Med andra ord är det inte speciellt förvånansvärt om en ingenjör till exempel, skulle se på en specifik digital programvara som mycket användbar, medan en arkitekt tvärtom, hade kunnat bedöma den ointressant.

5.2 Avsaknaden av krav på digitalisering

I teorin framgår att man inom företag tenderar att uppleva brist på efterfrågan kring att använda digitala arbetsmetoder. Här framkommer att det anses vara arbetsgivarens uppgift att ställa krav på att digitala verktyg används. Man menar på att utan någon form av högre påtryckning, är risken stor att användningen uteblir. Ur intervjuerna kan man se att det råder varierande uppfattningar kring om man ser exempelvis kommunal påtryckning vara någon lösning i frågan om en ökad användningsgrad och eventuell standardisering.

I intervjustudien efterfrågades om det behövs krav från kommunerna för att implementeringen av nya digitala verktyg ska ske. Svaren var varierade men det framgick att en orsak till den långsamma utvecklingen var de låga kraven på bygghandlingar. Kraven för bygglov är enbart planritning, sektionsritning och fasadritning. Alltså vill beställaren ha en 2D-ritning, vilket bekräftas av Respondent H som säger att beställaren alltid inledningsvis vill ha 2D-ritningar. Detta blir då mycket bakåtsträvande då arkitekterna arbetar i 3D. Hade valet funnits att kunna lämna in en 3D-modell hade beställaren haft möjligheten att uppdatera sig i takt med branschens utveckling. Som Re-

spondent D sa så har de digitala verktygen utvecklats snabbare än behovet från beställaren. För att hela arbetssättet ska utvecklas behöver alla delar av projekteringsprocessen utvecklas, annars uppstår klyftor som vi idag ser vid överlämningar där information bortfaller och som Respondent D sa behöver beställaren ofta beställa minst tre modeller i slutändan istället för att originalmodellen utvecklas.

Samtidigt som beställaren inledningsvis endast efterfrågar en 2D-ritning, beställs vanligtvis en 3D-modell efter att bygglov blivit beviljat. Då är det enligt Respondent H bara att ”hoppas vara kvar i projektet” när projektet kommer till skedet då arkitekterna har en färdig modell de kan ta betalt för.

5.3 Problematiken kring informationsöverlämning

Flera av respondenterna från intervjuerna nämner att överlämningen mellan olika aktörer i projekteringsprocessen är ett betydande problem man kunnat identifiera vid arbetet med digitala programvaror. Likaså går det i teorin att läsa detta som ett betydande hinder för en välfungerande digitalisering.

5.3.1 Sociala aspekter

I teorin förklaras den bristande integrationen mellan de olika aktörerna som något som beror på att varje enskild aktör ofta tenderar att optimera den egna insatsen, snarare än att tänka på helheten. Från intervjustudien framkommer att problematiken kring överlämningarna främst beror av tekniken. Exempelvis beskrivs det av flera respondenter hur det gemensamma filformatet IFC på flera sätt anses vara bristfälligt, vilket leder till att det blir svårt med obrutna informationsöverlämningskedjor.

Problem i överlämningarna mellan olika aktörer kan också tänkas bero på mer underliggande faktorer så som skillnader i normer och värderingar. Aspekter som dessa kan tänkas ligga latent, och att de av den anledningen inte nämndes i någon av intervjuerna. Generationsskiftet kan här anses vara en bidragande orsak till just det att samarbetet mellan olika aktörer ofta blir bristfälligt. I teorin, under avsnitt 2.4.2 beskrivs hur branschen karaktäriseras av kortsiktiga relationer, som i många fall endast är marknadsbaserade. Relationer av bristande karaktär, kan här tänkas leda till att kommunikationen aktörer emellan, påverkas på ett negativt vis. Från intervjustudien bekräftas även detta där byggbranschen beskrivs som väldigt traditionell och där den äldre generationen ofta gör saker efter tradition för att de känner sig trygga i den processen.

5.3.2 Tekniska aspekter

I teorin belyses att BIM förbättrade informationsöverlämningen vilket skiljer sig från svaren i intervjustudien där merparten av respondenterna kritiserar informationsöverlämningen idag. De menar att det ofta saknas information så nästa aktör inte kan fortsätta på den befintliga modellen, eller att programmen inte kan hantera samma typer av filer. Ofta används då en IFC-fil som skickas över som kan beskrivas som modellernas version av en PDF. Modellerna kan inte redigeras av nästa aktör utan är som Respondent I säger ett ”dött format”. Respondent I tar upp att programmen behöver fungera tillsammans så att alla olika aktörer ska kunna arbeta i samma modell. Hur det ska kunna fungera är en viktig framtidsfråga som aktualiserar om det i branschen behövs ett filformat som alla använder. Det kräver även att de olika disciplinerna uppdaterar sig i samma takt för att

kollisioner inte ska uppstå.

Andra problem som existerar enligt Respondent C är att konsulter idag jobbar under standardavtal som heter ABK09, allmänna bestämmelser för konsulter och där är rätten till originalhandlingar väldigt stark. De handlingar som konsulter tar fram är deras äganderätt och därför har de ett högt värde för dem, vilket leder till att konsulter i vanliga fall inte vill lämna ut handlingarna på det sättet. Det är alltså även en juridisk fråga som påverkar informationsöverlämningen.

Att det är en juridisk fråga bekräftas av Respondent I som menar att modellen kan innehålla data som företagen själva tagit fram och sedermera använder sig utav för att skilja sig från andra företag. Samma är det med verktygen som företagen själva utvecklar, de delar inte med sig av dem för att de ska ha de bästa verktygen på marknaden. Därmed blir det tydligt att det finns utvecklingspotential i informationsöverlämningen.

5.4 Höga licenskostnader som hinder för implementering

Ur resultatet framgår att licenskostnaderna för olika digitala programvaror ofta upplevs som mycket kostsamma. Det leder till att företagen tvingas satsa på ett eller ett fåtal program som ska fungera för alla discipliner. Programmen är ofta begränsade i den mån att de inte lyckas uppfylla disciplinernas olika behov. Respondent H menar att en programvara som till exempel tillåter kreativa lösningar, kanske inte fungerar lika bra för ritningsproduktion. På detta vis kan en programvara tänkas gynna en del discipliners arbete, medan den för andra discipliner snarare upplevs oanvändbar. Till exempel efterfrågade arkitekterna i resultatet mer kreativa möjligheter inom programvaran medan ingenjörerna inte ansåg det vara lika nödvändigt.

Att höga licenskostnader fungerar som hinder för en ökad implementering av digitala arbetssätt framgår även i teoriavsnittet 2.4.5, där det redogörs för en undersökning som gjorts av Bosch-Sijtsema m. fl. (2017). Här skrivs att det finns en tendens hos företag, kring att inte vilja investera i en programvara där man inte sett märkbara fördelar. Vidare kan det tänkas att ledare inom branschen bör bära ett större ansvar kring att peka ut fördelar med digitaliseringen för sina anställda.

Vidare kan det diskuteras huruvida stora respektive små företag påverkas på olika sätt av de höga licenskostnaderna. Responent E nämner i en intervju att ett mindre arkitektkontor exempelvis, inte alltid har de resurser som krävs för en implementering av de digitala verktygen. Här kan då tänkas att ett stort företag med goda vinstmarginaler inte tvekar när det kommer till implementering av en ny digital programvara. För mindre företag, kan alltså ett beslut om en sådan investering vara av större betydelse för företaget som helhet. Om de höga licenskostnaderna resulterar i att bara en del företag har råd att investera i programvarorna, kan detta tänkas leda till en segregation inom sektorn. En segregation som eventuellt kan föra olika aktörer inom sektorn i olika riktningar när man talar om den digitala utvecklingen. Detta kan i sin tur även tänkas skapa svårigheter för samarbete företag emellan.

5.5 Effektivisering som minskar lönsamhet

I dagsläget tar konsulter och arkitekter betalt per arbetad timme. De nya digitala verktygen som utnyttjar parametrisk eller generativ design bidrar som nämnts i avsnitt 2.5 till en effektivare projekteringsprocess. Projekt som tar mindre tid för konsulter och arkitekter gynnar alltså inte lönsamheten trots att resultatet i slutändan potentiellt blir bättre. Som Respondent F diskuterar i resultatet kan ett nytt betalningssystem behöva införas. Ett alternativ som existerar är att branschen förhandlar

fram olika fastpris för genererade modeller. Respondent D talar från egen erfarenhet att det som förr har tagit flera veckor att få fram ritningar till, nu kan ta en bråkdel av tiden. Då får man helt plötsligt sälja en produkt som konstruktör och det skapar ett helt nytt tänk. Respondent D menar att det behövs någon som kavlar upp armarna, som vågar förändra och utmana. Det står klart att ett nytt system behövs men hur det kommer att se ut återstår att se.

5.6 De olika disciplinernas inställning till digitala arbetssätt

Inställningen tycks variera både ur ett organisatoriskt perspektiv och ur ett individperspektiv. I litteraturen, avsnitt 2.4.2 förklarar Jacobsson och Linderoth (2018) att det till en början tycks råda ett allmänt tvivel kring implementering av nya tekniska innovationer om de ej kan få en direkt effekt. Alltså innovationer som kräver en större förändring av organisationens arbetssätt eller struktur för att kunna tillämpas möter större motstånd inom branschen. Det kan dels ses i den långsamma tillämpningen av BIM och möjligtvis även påverka generativ designs intåg i branschen. Vidare tycks även de anställda inom de olika disciplinerna ställa sig skeptiska till nya arbetsmetoder. Ur resultatet, huvudsakligen i 4.6, framkommer det att ingenjörerna i allmänhet är positivt inställda till digitala förändringar i branschen. Samtidigt som målbilden tycks vara optimistisk uttrycker Respondent D en viss frustration med de nya arbetsmetoderna, så som 3D-modellering. Övergången från 2D-ritningar till 3D-modeller upplevs idag inte vara helt problemfri. Därav kräver projekteringen mer tid och därför anses arbetsmetoden inte i alla lägen vara gynnsam.

Att projekteringen blir mer tidskrävande beror dock sannolikt på fler aspekter. Till att börja med kräver de digitala arbetsmetoderna som 3D-modellering inlärning och på så sätt behöver kompetens etableras, som belyses i 5.1. Dessutom är inställningen hos dels beslutstagaren inom det projekterande företaget, men även hos beställaren avgörande. Om det inte återfinns en samstämmighet och förståelse hos de beslutfattade kring en förändring i projekteringen resulterar det i ett ineffektivt arbete. Det är därför viktigt att insikt infinner sig för att främja en förändring inom projekteringen.

I teorin beskrivs även att om projekteringen blir mer detaljrik, via nyttjandet av digitala verktyg motverkar det att produktionsfel uppstår. Att upptäcka dessa fel i ett tidigt skede är dessutom mer ekonomiskt lönsamt än att upptäckten sker vid ett senare skede i byggprocessen, vilket beskrivs av Thydell (2017) i 2.3. Därför är beställarens roll betydelsefull för att främja en mer omfattande projektering. Om projekteringen tillåts, eller till och med uppmuntras av beställaren att bli mer detaljrik, kommer det sannolikt resultera i att implementeringen av digitala verktyg ökar utifrån en ökad efterfrågan. Genom att uppnå en högre detaljrikedom i projekteringen ger det i sin tur förbättrade förutsättningar för en mer kostnadseffektiv byggprocess.

5.7 Generativ design och dess möjligheter

Ur intervjustudien framgår det tydligt att samtliga av respondenterna ser en positiv potential i att applicera generativ design i branschen. Dessa åsikter stämmer även väl överens med den studerade litteraturen. Om generativ design kan appliceras i branschen upplevs det att flera moment inom projekteringen kan effektiviseras. I projekteringsprocessen utmärker sig flera skeden för att visa potential för att kunna dra nytta av den nya tekniken. Det skede som framförallt utmärker sig utifrån teoriavsnittet om projekteringsprocessen, är under bearbetningen av lokalplaneringen. Lokalplanering syftar till att beräkna den arean som verksamheterna från behovsanalysen kräver. Om denna planering av ytor istället kan utformas via en implementering av generativ design kan betydligt fler lösningar genereras.

Även om det tidigare varit möjligt att låta en arkitekt rita samma mängd av lösningar hade det varit betydligt mer tidskrävande i jämförelse med generering. Utifrån det faktum att generativ design möjliggör att lösningar kan genereras på kortare tid, tillåter det att mer arbetstid kan spenderas till andra uppgifter, se avsnitt 2.5.2 (Abdalla m. fl., 2021). Utifrån litteraturen är det troligt att mer tid hos bland annat arkitekten kommer bestå av att evaluera de olika lösningsförslagen som generats utifrån de parametrar, som är inom ramen för funktionskraven. Både Respondent B och H beskriver i avsnitt 4.7 om en förhoppning att kunna spendera mer tid till gestaltning och design. Samtliga av dessa förändringar bör i sin tur resultera i en lösning som är av högre kvalitet. Detta har möjliggjorts via ett bredare beslutsunderlag och ett projekt som kan produceras snabbare.

Viktigt att ha i åtanke med det nuvarande arbetet med både parametrisk och generativ design är att branschen befinner sig i startgrupparna. Exempelvis förklarar arkitektrespondenterna i avsnitt 4.6 att de ännu inte prövat arbete med generativ design. Av de respondenter har arbetat med generativ design hade samtliga mestadels arbetat med det i utvecklingssyfte. Därav är det svårt att med säkerhet kunna definiera, utifrån resultaten var i branschen de kan tänkas appliceras. Uppkomsten av nya arbetsmetoder blir därför delvis spekulativ. Även om resultaten och teorin uppvisar en enighet kring dess potential är det fortsatt svårt att redogöra för exakt vilken effektiviseringspotential processerna kan få.

5.7.1 Resurs- och tidseffektivitet

Att generativt producerade modeller kommer i mängder där arkitekten får sälla ut de bästa förslagen är bra för kunna välja ut den mest estetiskt tilltalande byggnaden. Men det finns fler potentiella nyttor än så. Då programmet ska ta fram många olika förslag kan man på så sätt också prioritera förslaget med lägst materialförbrukning. Respondent I nämner i intervjustudien ett projekt där mängden armering i betongfundament optimerats genom generativ design. Från intervjustudien går det att konstatera att hållbart byggande är en mycket aktuell fråga. Om nya digitala verktyg skapar möjligheten att avläsa modellernas klimatavtryck förbättras förutsättningarna för ett hållbart byggande. Respondent G konstaterar att det oavsett mängden som byggs i framtiden kräver att det byggs klokare. Med detta menas att man får fler alternativ till att kunna göra hållbara val, minska mängden material och optimera ytor.

I intervjustudien beskriver Respondent D tillika ingenjör hur stomsystemet i broar genererats fram på en bråkdel av tiden. Det har tidigare varit tidskrävande att manuellt räkna och modellera. Den största vinningen för arkitekter är troligtvis att de kan göra förändringar i projekt väldigt smidigt, där sparar de mycket tid. På så vis kan de presentera många olika förslag. Respondent D menar att i tidigare projekt har kommunikation mellan arkitekter och konstruktörer skett via parametriska skript. När då även konstruktörernas för in sin information i modellen kan de säkerställa att inga kollisioner uppstår, en möjlighet som är mycket värdefull. Det gör att arkitekter och konstruktörer kan kommunicera på ett bättre sätt.

5.7.2 Algoritmer som ersätter arkitekter

I intervjustudien påstår Respondent D att det kanske skulle gå att helt undvika arkitekters involvering. Då många projekt ser mycket lika ut skulle därmed genererade projekt utan involvering från arkitekter kunna produceras utan arkitekters involvering för till exempel lägenhetshus och funktionsbyggnader utan krav på stor variation. Det skulle dock kunna resultera i okreativa projekt och städer i slutändan. Respondent B menar att det behövs en arkitekt då datorn aldrig skulle kunna förstå exakt hur arkitekten vill designa exempelvis en trappa. Frågan som då uppstår är hur viktigt

det egentligen är hur noggran trappans design är.

5.8 Generativ design i framtiden

Från intervjustudien framgår det att användarvänligheten behöver förbättras för att en bredare implementering av generativ design skall ske. Enligt digitaliseringsledarna i kapitel 4.7 av resultatet är kompetensnivån inom programmering bland arkitekter är låg, vilket medför att programmeringskompetensen som krävs för att applicera generativ design behöver sänkas. Under de tidiga skeden, det vill säga möjliga lösningar och generativ process, se figur 3, av generativ design är behovet av programmeringskompetens som högst. Under definitionen av möjliga lösningar behöver användaren kunna definiera projektet i sig och dess designvariabler samt villkor i programmet. Under den generativa processen behöver användaren kunna manövrera en genetisk algoritm om den vill hitta optimala lösningar. Om användarvänligheten under dessa skeden av generativ design förbättras kan användaren fokusera på att evaluera lösningar som genereras fram, istället för att mer tids läggs på skapandet av lösningar. Således behöver användarvänligheten av generativ design förbättras för att främja en ökad implementering.

Ett annat alternativ för att erhålla en ökad implementering av generativ design är att delegera den programmeringsintensiva delen av generativ design till en programmerare. Respondent E samt Abdalla m. fl. (2021) menar på att, för att en implementering av generativ design ska ske behöver processen delas upp. Generativ design delas då upp genom att en programmerare ansvarar för att generera fram lösningar och en arkitekt eller ingenjör ansvarar för att utvärdera lösningar och ge direktiv till programmeraren. Detta resulterar i att kompetensnivån inom programmering som krävs av arkitekter och ingenjörer inte behöver förändras, men istället behöver ytterligare en arbetsroll i värdekedjan tillföras.

5.9 Metodreflektion

Kandidatarbetet bygger huvudsakligen på en undersökning genom en litteraturstudie och en intervjustudie. Under intervjustudien utsågs respondenter från olika yrkesroller och med olika erfarenheter. Detta motiverades med att studien skulle bli mångsidig och inkluderande. Det medförde dock att svaren mellan olika discipliner skiljde sig åt. Ifall studien enbart hade fokuserat på exempelvis arkitekter hade diskussionen troligtvis sett annorlunda ut. Den skulle inte varit lika omfattande då arkitekterna som intervjuades i vårt fall inte innehade samma kunskap inom ämnet som digitaliseringsledarna och ingenjörerna. Deras synpunkter var bland annat att generativ design var en kostnadsfråga vilket inte överensstämmer med var övriga respondenter ansåg. Enligt ingenjörerna var det en fråga om kompetens och utbildning. De två digitaliseringsledarna som intervjuades hade spetskompetens inom området och deras roll i studien blev därför mycket värdefull. Deras svar var utförliga och tillförde betydelsefull information till arbetet.

Vid urvalet av intervjurespondenter togs ett beslut som tidigare nämnt att eftersträva en mångsidighet. Anledningen till detta urval grundar sig i att få en bredare förståelse för projekteringsprocessens helhet. Strategin bakom urvalet gav dock sämre förutsättningar för att uppnå en god datasaturering inom projektets tidsram, vilket innebär att oavsett om fler respondenter intervjuas kommer ingen ny relevant information tillkomma och därmed är studien klar för att analyseras. Om enbart en disciplin hade undersökts hade det sannolikt resulterat i en bättre datasaturering. På liknande sätt hade datasatureringen även förbättras och blivit mer exakt desto fler respondenter som deltagit i studien. Det aktuella urvalet ansågs dock nödvändigt för att upprätthålla rapportens syfte och kvalitet.

Valet av semistrukturerade intervjuer möjliggjorde ett flexibelt samtal men gav samtidigt möjlighet till jämförelse mellan olika respondenters syn på samma frågor. Vi kunde anpassa frågorna utefter deras kunskap och erfarenhet. Det skulle eventuellt blivit enklare att sammanställa all data och jämföra deras svar ifall vi valt strukturerade intervjuer. För oss var det viktigt att kunna nyttja deras spetskompetenser och därmed ansåg vi att semistrukturerade intervjuer var det lämpligaste. Tanken från början var att studien skulle kompletteras med en enkätstudie. Detta valdes bort under processens gång då fokus istället lades på att utföra en så kvalitativ studie som möjligt. Eventuellt skulle det varit ett bra komplement för att styrka argumenten som presenteras i diskussionen men med tanke på tidsramen för arbetet valdes det bort.

Litteraturstudien består främst av vetenskapliga artiklar, läroböcker och digitala källor. Ämnesområdet är under ständig utveckling, och därför var det viktigt att kontrollera att källorna som användes var aktuella. I vissa fall har de utvalda källornas varit skrivna utanför Sverige, men har använts då de ansågs bringa nödvändig information. Det upplevdes även att de majoriteten av källorna inom ämnet belyste byggprocessen som helhet. Därför var det viktigt att välja ut de delar av källorna som enbart behandlade projekteringsprocessen.

En del källor som skrivits inom ämnet var något åldrade och eftersom ämnet kontinuerligt utvecklas kan det konstaterats att deras relevans har påverkats. Trots denna eventuella påverkan i relevans användes en del av dessa källor i arbetet. Detta motiveras med att de ändå gav en god bakgrund för rapportens senare diskussion. Gällande källorna som studerat den generativa designprocessen upplevdes dessa tvärtom vara av ny och spekulativ karaktär. Eftersom ämnet kring generativ design fortfarande är nytt, inom branschen, har få studier data om en praktisk implementation. Således ansågs dessa nödvändiga och relevanta som underlag till rapporten.

6 Slutsats

Syftet med rapporten har varit att kartlägga användandet av digitala verktyg inom projekteringsprocessen. Utifrån kartläggningen har sedan moment inom projektering identifieras som kan effektiviseras av digitala verktyg. Ett tydligt fokus har även lagts på att analysera generativ designs potential inom projektering och vilka följder som skulle kunna tillkomma med en implementering. I följande kapitel kommer slutsatser om rapportens frågeställningar kring nyttjandet av digitala verktyg i projekteringsprocessen och vilka hinder som motverkar en fortsatt digitalisering. Beskrivning av moment som kan effektiviseras med digitala verktyg och slutligen vad en implementering av generativ design i projekteringskedet redogörs. Ytterligare presenteras de områden vi finner att framtida forskning bör riktas mot.

Hur ser användandet av digitala verktyg ut i projekteringsprocessen idag och vilka utmaningar finns för en ökad implementering?

Ur litteraturen finner vi att byggbranschen har en låg implementationsgrad av digitala verktyg i förhållande till andra branscher. Det som dock framkom ur intervjustudien var att implementeringen var tydligt etablerad men att dess fulla potential har ej kunnat utnyttjas på grund av flertalet hinder. Utifrån den tudelade informationen erfar vi att de hinder som återfinns har påverkat att den utbredda digitaliseringen inom projektering ej framkommit i teorin.

Baserat på en granskning av projekteringsprocessen har hinder uppmärksammats inom flertalet områden. Med avseende på de tekniska utmaningarna finner vi främst problematik med kompatibilitet kring programvaror och filformat, men även bristande kompetens i att nyttja verktygen. Gällande organisatoriska och ledarskapsmässiga utmaningar grundar de sig i stor utsträckning på den mentalitet som råder. I de fall ett digitalt verktyg kräver organisatoriska förändringar för att implementeras, tycks det möta ett tydligt motstånd. Mentaliteten i branschen är även tydligt influerad av sociala aspekter. Branschen har tidigare beskrivits bestå av kortsiktiga relationer vilket ger en negativt påverkan på kommunikationen aktörer emellan. Slutligen återfinns även juridiska utmaningar kring äganderätt som försvårar utvecklingen. Att det råder avsaknad på krav om bland annat 3D-modeller resulterar i att efterfrågan är låg, vilket ej främjar användandet av digitala verktyg. Sammantaget kan det konstateras att flera hinder finns men att dessa går att överkomma.

Vilka moment i projekteringsprocessen skulle kunna effektiviseras med en ökad användning av digitala verktyg?

Tidigt i arbetet med kandidatrapporten upptäcktes att fokuset inom projekteringsprocessen borde justeras om från att söka en högre implementeringsgrad till att snarare effektivisera de nuvarande digitala arbetsätten. Både teorin och resultat pekar tydligt på att informationsöverlämningarna mellan olika discipliner är det moment som är i störst behov av en effektivisering. Informationsöverlämningen är ett moment som löpande uppkommer inom projektering och kan enbart effektiviseras om de tidigare nämnda hindrena motverkas. Genom att etablera en förbättrad informationsöverlämning är vi övertygade om att hela projekteringsprocessen kommer att gynnas.

Vad skulle en implementering av generativ design i projekteringskedet komma att innebära? Kan detta skilja sig åt mellan olika yrkesroller i branschen?

Arbetet har påvisat att implementering av generativ design kan bidra till att skapa tids- och resurseffektiva lösningar som är högkvalitativa. Genom intervjustudien har det klargjorts att digitaliseringsledare, ingenjörer och arkitekter inom byggbranschen ser stor potential i generativ design. Intervjurespondenterna ansåg att potentialen i generativ design ligger inom effektivisering

av tidskrävande moment och möjligheter att skapa bredare beslutsunderlag, som bidrar till beslut av högre kvalitet. I teorin presenterades även studier som påvisade att generativ design kan effektivisera tidskrävande moment och skapa bredare beslutsunderlag. Utöver detta, påvisade teorin att generativ design kan öka effektiviteten av resursanvändning och informationsflöden inom projekt. Implementering av generativ design i projekteringskedet kan således bidra till att hitta tidseffektiva, resurseffektiva och högkvalitativa lösningar i de olika delprocesserna inom projekteringskedet.

En implementering av generativ design skulle komma att påverka yrkesrollerna hos ingenjörer och arkitekter, genom att deras arbetsuppgifter ändras till att primärt evaluera lösningar. I intervjustudien framfördes det dock att programmen som använder sig av generativ design måste bli mer användarvänliga för att få en bredare implementering. Teorin visade även att programmerare kan komma att inkluderas i projekteringsprocessen som en alternativ lösning, för att möjliggöra en implementering av generativ design. Rollerna för arkitekter och ingenjörer i de tidiga skedena av projekteringskedet kan då ändras till att bli enbart evalueraderoller. Således möjliggör en implementering av generativ design att ingenjörer och arkitekter kan lägga störst fokus på att evaluera lösningar istället för att lägga tid och resurser på att producera lösningar.

6.1 Framtida forskning

Utifrån det underlag som analyserats i rapporten har ett flertal områden som vi finner av stort intresse framkommit. Sammantaget ser vi att generativ design är ett verktyg med stor potentiell nytta. Tidigare i rapportens diskussion omnämns möjligheten att förbättra materialåtgången i projekt via användning av generativa design metoder. Inom detta område ser vi gärna att framtida forskning riktas till att utforska möjligheten att göra materialåtgången mer effektiv och på så vis även projektet mer hållbart.

Vidare ser vi att effektiviseringspotentialen är stor men en fråga för framtiden är hur mycket processen faktiskt kan komma att effektiviseras till följd av generativ design. Utmaningen här blir att samla in data som kan påvisa hur stor kostnads- och tidsbesparing som går att erhålla, från en implementering av färdigställda verktyg inom generativ design. Huvudsakligen ses en stor potential med generativ design. Vi tror på en framtid där denna process kommer vara av stor betydelse för att effektivisera projekteringsprocessen.

7 Referenser

- Abdalla, S. B., Rashid, M. & Ara, D. R. (2021). Plausibility of CAAD in Conceptual Design: Challenges in Architectural Engineering for Early-Stage Digital Design Tools. *Journal of Architectural Engineering*, 27(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000457](https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000457)
- Agarwal, R., Chandrasekaran, S. & Sridhar, M. (2016). *Imagining construction's digital future* (tekn. rapport).
- Akademiska Hus, Fortifikationsverket, Riksdagsförvaltningen, Specialfastigheter Sverige & Statens fastighetsverk. (2018). *Strategi för BIM i förvaltning och projekt* (tekn. rapport). BIM Alliance.
- Andrée, M. (2019). *Slutrapport DigSam - AP 1 Upplevda juridiska hinder för en digital samhällsbyggnadsprocess* (tekn. rapport). Smart Built Environment.
- Azar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks and Challenges for the AEC Industry.
- BIM Alliance, Byggherrarna, Installatörsföretagen, Svenska Teknik&Designföretagen, Sveriges Byggindustrier & SBUF. (2016). *BIM - påverkan på affär och avtal* (tekn. rapport).
- Borrman, A., König, M., Koch, C. & Beetz, J. (2018). *Building Information Modeling Technology Foundations and Industry Practice*. Springer.
- Bosch-Sijtsema, P., Isaksson, A., Lennartsson, M. & Linderöth, H. C. (2017). Barriers and facilitators for BIM use among Swedish medium-sized contractors - "We wait until someone tells us to use it". *Visualization in Engineering*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40327-017-0040-7>
- Boverket. (2018). *Kartläggning av fel, brister och skador inom byggsektorn* (tekn. rapport).
- Bryman, A. (2016). *Social Research Methods*. Oxford university press.
- Byggherrarna Sverige AB. (2021). *Vägledning Om tillämpning av självkostnadsprincipen* (tekn. rapport).
- Dolk, G. & Ziervogl, M. (u. å). *BIM-projektering i praktiken* (doktorsavhandling). Högskolan i Halmstad.
- Doumbouya, L., Gao, G. & Guan, C. (2016). Adoption of the Building Information Modeling (BIM) for Construction Project Effectiveness: The Review of BIM Benefits. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 4(3), 74–79. <https://doi.org/10.12691/ajcea-4-3-1>
- Ework Group. (2021). Vad kostar det att anlita en konsult idag? <https://blog.eworkgroup.com/se/kostnad-konsult>
- Gunnarsson, R. (2020). Urvalsstrategier och datainsamling. <https://infovoice.se/urvalsstrategier-och-datainsamling/>
- Hansson, B., Olander, S., Landin, A., Aulin, R. & Persson, U. (2015). *Byggledning Projektering*. Studentlitteratur.
- Industrifakta. (2017). *Byggbranschen och digitalisering* (tekn. rapport). Svensk Byggtjänst.
- Jacobsson, M. & Linderöth, H. C. J. (2018). *Hungriga vargflockar jagar bäst Slutrapport: Hinder och drivkrafter för en digitaliseringsdriven branschutveckling* (tekn. rapport). Smart Built Environment.
- Jongeling, R. (2008). *BIM istället för 2D-CAD i byggprojekt En jämförelse mellan dagens byggprocesser baserade på 2D-CAD och tillämpningar av BIM* (tekn. rapport). Luleå tekniska universitet. www.itbof.com

- Lee, J. H. & Ostwald, M. J. (2020). Creative decision-making processes in parametric design. *Buildings*, 10(12), 1–19. <https://doi.org/10.3390/buildings10120242>
- Linderoth, H. (2013). *BIM i byggproduktionen Organisatoriska hinder och drivkrafter* (tekn. rapport). Centrum för Management i byggsektorn. Chalmers tekniska högskola.
- Löwstedt, M., Räisänen, C. ; & Räisänen, M. (2014). Social identity in construction: enactments and outcomes. *Construction Management and Economics*, 32(11), 1093–1105. <http://publications.lib.chalmers.se/publication/204918>
- MathWorks. (2022). What Is the Genetic Algorithm? <https://www.mathworks.com/help/gads/what-is-the-genetic-algorithm.html>
- Mukkavaara, J. & Sandberg, M. (2020). Architectural design exploration using generative design: Framework development and case study of a residential block. *Buildings*, 10(11), 1–17. <https://doi.org/10.3390/buildings10110201>
- Nordstrand, U. (2008). *Byggprocessen*. Liber.
- Oesterreich, T. D. & Teuteberg, F. (2019). Behind the scenes: Understanding the socio-technical barriers to BIM adoption through the theoretical lens of information systems research. *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 413–431. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.003>
- Pasetti Monizza, G., Bendetti, C. & Matt, D. T. (2018). Parametric and Generative Design techniques in mass-production environments as effective enablers of Industry 4.0 approaches in the Building Industry. *Automation in Construction*, 92, 270–285. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.027>
- Rocha, C. & Leitão, A. M. (2017). *Using Generative Design for Evaluating and Improving Energy Efficiency in Architecture* (tekn. rapport).
- Samuelson, O. (2021). *Digitaliseringssatsningar i den svenska bygg- och installationsbranschen* (tekn. rapport). Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.
- Sardi, J. & Svärd, A. (2017). *Drivande och bromsande faktorer vid implementering av BIM i produktion* (doktorsavhandling). KTH.
- Sundquist, V., Domenico Leto, A., Gustafsson, M., Johansson, M. & Roupé, M. (2020). *BIM in construction production: Gains and hinders for firms, projects and industry* (tekn. rapport). <https://research.chalmers.se>,
- Thydell, M. (2017). *BIM – digitalisering av byggnadsinformation i offentliga fastighetsorganisationer*. Sveriges kommuner och Landsting.
- Vahdatikhaki, F., Salimzadeh, N. & Hammad, A. (2022). Optimization of PV modules layout on high-rise building skins using a BIM-based generative design approach. *Energy and Buildings*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111787>
- Zhang, J., Liu, N. & Wang, S. (2021). Generative design and performance optimization of residential buildings based on parametric algorithm. *Energy and Buildings*, 244, 111033. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111033>

8 Bilagor

8.1 Intervjufrågor

Namn och bakgrund

- Namn
- Utbildning / kurser
- Vad arbetar du med idag? Nuvarande roll
- Dina projekt / tjänster inom branschen

Dagens digitala verktyg

- Hur arbetar ni idag?
- Vilka program använder ni?
- Har ni någon egen påverkan på ert arbetssätt/ era arbetsverktyg? I så fall i vilken utsträckning?
- Är tillgången till digitala verktyg tillräckligt bra i nuläget?

Problem

- Vilka är de största problemen med digitala verktyg idag?
- Hur fungerar modell-överlämningen mellan olika skeden av projekteringen i dagsläget?
- Vart bortfaller mest information i projekteringsprocessen? Finns det någon svacka?
- Finns det något dagens verktyg inte kan som du hade önskat att de hade kunnat göra?
- Kan ni på ditt företag öka användningen av digitala verktyg eller har ni genomfört en total omställning?

Inställning

- Skiljer sig inställningen till användande av digitala verktyg mellan olika discipliner?
- Hur påverkar användningen av digitala verktyg samordningen i projekteringen? Exempelvis ifall olika discipliner använder olika program?

Generativ design

- Hur skulle ni beskriva generativ design?
- Använder ni verktyg som utnyttjar generativ design?
- Vad saknas i programmen i dagsläget?
- Vad tror ni generativ design skulle kunna få för påverkan på projekteringsskedet?

- Kommer nya roller skapas eller försvinna från företagen till följd av implementering av generativ design?
- Alternativt kommer arbetsuppgifterna förändras?
- Var finns flest motståndare?
- Vad behöver utvecklas för att nya program ska användas mer frekvent?

Framtiden

- Hur tror du framtiden ser ut?
- Tror du webbaserade programvaror är framtiden inom digitala verktyg?
- Går utvecklingen för långsamt jämfört med andra branscher?
- Behövs statlig/ kommunala påtryckningar för att företag i större utsträckning ska implementera digitala verktyg?
- Kommer det behövas ett nytt betalningssystem?

8.2 Textutskick till intervjurespondenter

Hej! Våra namn är Linn Kärvegård och Jon Ryman och vi representerar en grupp på fem studenter från civilingenjörsprogrammet i Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers som håller på att skriva ett kandidatarbete. Arbetet undersöker digitala verktyg i projekteringsprocessen och mer specifikt generativ design inom byggbranschen. En del av vårt kandidatarbete är att jämföra en empirisk studie med forskning och därför vill vi gärna hålla en intervju med er kring er uppfattning av digitalisering idag och framtiden. Dina svar kommer att vara anonyma. Vi ser gärna att du är en person som är involverad i projekteringsprocessen så om du är intresserad av att delta i denna studie så får du gärna maila tillbaka.

Tack på förhand! Hälsningar Jon och Linn



CHALMERS