



CHALMERS

Innovativ digitalisering med parametrisk design inom byggbranschen

En kartläggning av hur parametrisk design kan precisera beslutsunderlag

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

ACEX11-23-30

LINA ENGELBREKTSSON, JULIA GLANS, KAMELIA
GRADINARSKA & ALICE HEDENBERG

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se

KANDIDATARBETE ACEX11-23-30

Innovativ digitalisering med parametrisk design inom byggbranschen

En kartläggning av hur parametrisk design kan precisera beslutsunderlag

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

LINA ENGELBREKTSSON, JULIA GLANS, KAMELIA
GRADINARSKA & ALICE HEDENBERG



CHALMERS

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2022

Innovativ digitalisering med parametrisk design inom byggbranschen
En kartläggning av hur parametrisk design kan precisera beslutsunderlag

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

© LINA ENGELBREKTSSON, JULIA GLANS, KAMELIA GRADINARSKA & ALICE
HEDENBERG 2023

Kandidatarbete ACE11-23-30 / Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik,
Chalmers Tekniska Högskola 2023

Handledare: Shahin Sateei, Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik,
Construction Management

Examinator: Mikael Viklund Tallgren, Institutionen för Arkitektur och
Samhällsbyggnadsteknik, Construction Management

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon 031-772 1000

Göteborg, Sverige 2023

Sammanfattning

Digitalisering är mer aktuellt än någonsin i samhället, trots detta går digitaliseringen inom byggbranschen långsamt och dagens digitala arbetssätt är bristfälliga. För att ta hänsyn till alla byggkrav och samtidigt ge utrymme för de arkitektoniska värdena finns behov av ett parametriskt arbetssätt. Parametrisk design är en relativt ny digital designmetod som innebär att utveckla designen genom att definiera olika parametrar utifrån byggkrav, gestaltning och funktion. Detta ger möjlighet att snabbt generera och utvärdera många olika designalternativ. Denna metod har potential att drastiskt förändra sättet vi utvecklar och skapar design på, men det finns också utmaningar med tekniken som behöver undersökas och adresseras.

Syftet med detta kandidatarbete är att utreda hur parametrisk design kan implementeras i byggprocessen och hur det i sin tur kan skapa säkrare beslutsunderlag. Arbetet kartlägger parametrisk design och undersöker vilka möjligheter och utmaningar som finns, med designskedet i fokus. Vidare analyseras användarvänligheten och kompatibiliteten mellan parametrisk design och BIM samt hur parametrisk design förändrar arkitektens roll och arbetsprocessen i branschen. Datainsamling sker via semi-strukturerade intervjuer och en fallstudie i kombination med en litteraturstudie.

Resultaten visar att användningen av digitala verktyg är hög men bristande. Via litteratur-, intervju- och fallstudien framgår det att implementering av parametrisk design har stora möjligheter att reducera branschens många byggfel, överskridna budgetar och förseningar. Däremot hämmas dess framfart på grund av den varierande användarvänligheten och kompatibiliteten samt kunskapsbrist inom området. Kunskapsnivån behöver höjas för att öppna upp för parametrisk designs alla möjligheter, såsom tidseffektivitet och optimering. Då ges plats för de arkitektoniska värdena samtidigt som byggkraven uppfylls. Därmed blir slutsatsen att byggbranschens arbetssätt och kravställning behöver förändras för att parametrisk designs iterativa processer, verktyg och analyser ska kunna generera i bättre byggnader för vårt samhälle.

Nyckelord: parametrisk design, designskede, digitalisering, datormodellering, algoritmbaserad design, beslutsfattning

Innovative digitalization with parametric design in the construction industry
A survey of how parametric design can specify decision-making basis

Bachelor's thesis in Civil Engineering

© LINA ENGELBREKTSSON, JULIA GLANS, KAMELIA GRADINARSKA & ALICE
HEDENBERG 2023

Bachelor's thesis ACE11-23-30 / Department of Architecture and Civil Engineering,
Chalmers University of Technology 2023

Supervisor: Shahin Sateei, Department of Architecture and Civil Engineering, Construction
Management

Examiner: Mikael Viklund Tallgren, 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 2023

Abstract

Digitalization is more relevant than ever in society, yet digitalization in the construction industry is slow and current digital working methods are insufficient. To meet all requirements in the industry while maintaining the integrity of architectural design, a parametric work method is needed. Parametric design is a relatively new digital design method that involves developing designs by defining different parameters based on aesthetic and function. This provides the opportunity to quickly generate and evaluate many different design options. Moreover, parametric design has the potential to radically change the way design proposals are developed and assessed in decision-making processes. However, there are still challenges with using parametric design that need to be investigated and addressed.

In this context, the purpose of this bachelor thesis is to investigate how parametric design can be implemented in the construction process and how it can create a more certain decision-making basis. The thesis maps out the opportunities and challenges that exist, with a focus on the early design phases. Furthermore, the usability and compatibility between parametric design and BIM are analyzed, as well as the changes that affect architects working practices as a result of using parametric design. Gathering of data is made through semi-structured interviews and case studies combined with a literature study.

The results show that the use of parametric design as a design tool is common but different stakeholders experience various challenges connected to its use. Through literature, interviews, and case studies, it has been found that the implementation of parametric design has great potential to reduce the delays, exceeded budgets and many defaults in the construction industry. However, its progress is held back due to the varying usability and compatibility, as well as a lack of knowledge within the area. Knowledge among different stakeholders needs to increase to unlock all the possibilities of parametric design, such as time efficiency and optimization. This allows for architectural values to be considered while fulfilling construction requirements. Therefore, it can be concluded that in order to create better buildings for society, the construction industry must adapt its working practices to allow for iterative processes, as well as the use of parametric design tools and analysis.

Keywords: parametric design, design process, digitalization, computational design, algorithm-based design, decision-making

Förord

Följande kandidatarbete har utförts på avdelningen Construction Management vid institutionen Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Kandidatarbetet ingår i utbildningen Samhällsbyggnadsteknik Civilingenjör.

Ett stort tack till de respondenter som bidragit med sin expertis och gjort detta arbete möjligt. Vi vill även tacka vår handledare Shahin Sateei som stöttat, väglett och utvecklat oss genom hela arbetet.

Examinator: Mikael Viklund Tallgren

Omfattning: 15 hp

Chalmers Tekniska Högskola

Göteborg, 10 maj 2023

Ordlista

BIM	Byggnadsinformationsmodellering, ett helhetsbegrepp som relaterar skapandet och hanteringen av all information kopplat till en byggnad.
Designskede	Samlingsnamn för följande stadier i byggprocessen: idé-, förstudie- och programhandlingsskedet
- Tidigt designskede	Samlingsnamn för stadierna: idé- och förstudieskedet
PD	Parametrisk design, ett mjukvaruverktyg som gör det möjligt att specificera relationer mellan olika parametrar och skapa designmodeller därefter.
- Objekt PD	En objektparametrisk programvara definierar objekt i familjer där egenskaperna kan parametreras och användas för att skapa en digital modell.
- Process PD	En processparametrisk programvara baseras på algoritmer och skript och parametrar används för att skapa en digital modell.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte och frågeställning	2
1.3 Avgränsningar.....	2
1.4 Etiska aspekter	3
2. Teori.....	4
2.1 Möjligheter och utmaningar med parametrisk design	4
2.1.1 Vad är parametrisk design och var kan det användas?	4
2.1.2 Tidseffektivitet, flexibilitet och optimering av design.....	5
2.1.3 Kunskapsluckor och digitalisering i branschen	7
2.2 Användarvänlighet och kompatibilitet.....	7
2.2.1 Parametrisk designs användarvänlighet.....	8
2.2.2 Kompatibilitet mellan parametrisk design och BIM.....	8
2.3 Arkitektens roll och förändring av arbetsprocessen.....	9
2.3.1 Påverkan på arkitektens roll vid implementering av parametrisk design	9
2.3.2 Förändring av arbetsprocessen i designskedet.....	10
3. Metod och genomförande	11
3.1 Val av metod.....	11
3.2 Datainsamling	12
3.2.1 Litteraturstudie.....	12
3.2.1.1 Ramverk för litteratur	12
3.2.1.2 Val av källor.....	12
3.2.2 Intervjustudie	12
3.2.2.1 Ramverk för intervju.....	12
3.2.2.2 Val av respondenter	13
3.2.2.3 Genomförande och bearbetande av intervju	13
3.2.3 Fallstudie.....	14
3.2.3.1 Inblick på projekten	14
3.3 Forskningskvalitet.....	14
3.3.1 Säkerställa trovärdighet	15
3.3.2 Etik.....	15
4. Resultat	16
4.1 Semistrukturerade intervjuer.....	16
4.2 Fallstudie.....	19
4.3 Möjligheter och utmaningar med parametrisk design	20

4.3.1 Tidseffektivitet, flexibilitet och optimering av design.....	20
4.3.2 Kunskapsluckor och digitalisering i branschen	24
4.4 Användarvänlighet och kompatibilitet.....	25
4.4.1 Parametrisk designs användarvänlighet.....	26
4.4.2 Kompatibilitet mellan parametrisk design och BIM.....	26
4.5 Arkitektens roll och förändring av arbetsprocessen.....	27
4.5.1 Påverkan på arkitektens roll vid implementering av parametrisk design	27
4.5.2 Förändring av arbetsprocessen i designskedet.....	28
5. Diskussion.....	29
5.1 Möjligheter och utmaningar med parametrisk design	29
5.1.1 Tidseffektivitet och optimering genererar kvalitativa designer	29
5.1.2 Kravställningar i branschen	30
5.1.3 Bristande programmeringskunskap	30
5.2 Användarvänlighet och kompatibilitet.....	31
5.2.1 Parametrisk designs användarvänlighet.....	31
5.2.2 Detaljeringsnivå eller kompatibilitet med BIM	32
5.3 Arkitektens roll och förändring av arbetsprocessen.....	33
5.3.1 Ökad kunskapsnivå inom PD öppnar dörrar för arkitekten	33
5.3.2 Hela byggbranschen påverkas vid implementering av PD	33
5.4 Metoddiskussion	34
6. Slutsats	36
6.1 Konkreta slutsatser.....	36
6.2 Framtida forskning.....	37
Referenser	38
Bilagor.....	41

1. Inledning

I detta kapitel ges en introduktion till kandidatarbetet. Här beskrivs bakgrunden till området som ska undersökas. Vidare redovisas syfte och frågeställning och slutligen redogörs för de avgränsningarna och etiska aspekter som tagits i beaktning.

1.1 Bakgrund

Samhället i stort går mot en mer digitaliserad värld (Samuelsson O, 2021). Samtidigt visar kartläggning att digitaliseringen inom byggbranschen går långsamt jämfört med andra branscher, det lämnar utrymme till utvecklingspotential (Anjou, 2019). Byggsektorn präglas av överskridna budgetar och förseningar. Exempelvis härleds minst 25% av felkostnaderna till skeden innan produktion (Anjou, 2019; Boverket, 2018). Att åtgärda felen beräknas vara 50% dyrare längre fram i processen. En stor orsak till dessa sena byggändringar är misslyckande i att identifiera och åtgärda designfel i tidiga skeden av byggprocessen. Detta är problematiskt ur fler aspekter, bland annat genom att avvikelser från grundplanen påverkar slutresultatet och brukarnas miljö (Anjou, 2019; Boverket, 2018).

Det blir därför viktigt att förstå brukarnas behov och arkitektens designpreferens samt möta krav i form av byggregler och förordningar. I led med detta har ansträngningar gjorts för att etablera processer som tar hänsyn till flertalet aspekter, såsom krav och olika discipliner (Samuelsson O, 2021). Trots detta har det visat sig vara utmanande att på ett träffsäkert och inkluderande sätt kombinera dessa på grund av saknaden av verktyg. Specifikt kan en stor del av utmaningen kopplas till bristande system för planering, insamling beslutsunderlag och integrering av de olika disciplinerna i ett tidigt skede (Anjou, 2019). Detta är ett problem ur kvalitets- och tidssyfte då projektet behöver revideras gång på gång. Som resultat av denna brist skapas ökad risk att designmisstag kopplat till arbetsprocesser missas och upptäcks alldeles för sent, samtidigt som viktig feedback från arkitekter försummas.

Genom det digitala bemötandet har alternativa design- och visualiseringsmedium såsom parametrisk design (PD) utvecklats efter kartläggning av behov. De parametriska designmetoderna har visat kunna skapa förutsättningar för en inkluderande och kollaborativ designprocess, främst i de tidiga stadierna i byggprocessen. PD som designmetod innebär att datorn skapar digitala modeller med hjälp av en uppsättning parametrar som definierar dimensionerna, formen och beteendet för det objekt eller system som designas (Jabi, 2013). Dessa parametrar kan justeras och modifieras för att utforska olika designalternativ och modellen kan uppdateras automatiskt för att återspegla de ändringar som görs i parametrarna. Fördelarna har visat sig i form av tidseffektivitet, optimering, flexibilitet och minimering av byggfel (Berglund 2018; Hernandez, 2006; Jabi, 2013; Jomah, 2022; Ridell & Zuefeldt, 2021; Sävenstedt, 2021; Taghipourarasteh, 2021). Dessutom har automatiseringen av designförslag öppnat nya dörrar för arkitekterna att utveckla sitt arbete samtidigt som byggkraven uppfylls då datorn tar hänsyn till dem.

Det har dock påvisats utmaningar med den nya tekniken i form av kunskapsluckor och krav från branschen, både dokumentationskrav och byggkrav (Berglund, 2018; Holzer, 2015, Hernandez, 2006; Jomah, 2022; Taghipourarasteh, 2021). En annan utmaning är den bristande användarvänlighet och svårigheter som uppstår i samband med kompatibilitet mellan PD och BIM (byggnadsinformationsmodellering) (Berglund, 2018; Eastman et al., 2011; Holzer, 2015; Hubers, 2010, 2012; Ma et al., 2021; Vilgertshofer & Borrmann, 2017).

Dessutom påverkas både arkitektens roll och arbetsprocessen i stort med en full implementering av PD vilket kan mötas med olika inställning (Berglund, 2018; Eltaweel & SU, 2017; Holzer, 2015; Sävenstedt, 2021; Taghipourarasteh, 2021). På grund av dessa utmaningar uppstår det problem när PD ska implementeras i designfasen. Däremot kan problemen med utdragna projekt och sena byggändringar minskas om PD används tidigt i processen (Berglund, 2018; Svanstedt, 2021; Taghipourarasteh, 2021). Det krävs en satsning på programmen för att PD ska kunna nyttjas till sin fulla potential. Digitalisering driver utvecklingen av byggbranschen framåt och PD kan vara en del av det.

1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med detta kandidatarbete är att utreda hur parametrisk design kan implementeras i byggprocessen och hur det i sin tur kan skapa säkrare beslutsunderlag. Arbetet kartlägger PD och undersöker vilka möjligheter och utmaningar som finns, med designskedet i fokus. Vidare analyseras användarvänligheten och kompatibiliteten mellan PD och BIM samt hur PD förändrar arkitektens roll och arbetsprocessen i branschen. Datainsamling sker via semi-strukturerade intervjuer i kombination med en litteraturstudie. För att uppnå syftet har en frågeställning formulerats.

- Hur kan parametrisk design implementeras i byggbranschen och skapa mer precisa beslutsunderlag?

För att svara på frågeställningen delas kandidatarbetet upp i tre olika fokusområden.

- Möjligheter och utmaningar med parametrisk design
- Parametrisk design, användarvänlighet och kompatibilitet med BIM programvaror
- Hur arbetsprocessen och arkitektens roll förändras som resultat av implementeringen av parametrisk design i designskedet

1.3 Avgränsningar

Arbetet avgränsas till en skandinavisk kontext. Denna avgränsning väljs för att förstå hur PD upplevs internationellt och därigenom stärka de argument som presenteras i arbetet. Då byggkraven varierar mellan länder begränsas arbetet till länder med liknande byggkrav som Sverige.

Fokus är inom designfasen där arkitekterna är en nyckelaktör och då möjligheterna att påverka designen är som störst. Dock sker datainsamling även från andra aktörer och från senare skeden av byggprocessen för att skapa en helhetsbild. Därmed täcker datainsamlingen hela byggprocessen fram till produktion.

Avgränsning av respondenter görs till aktörer som har erfarenhet och aktivt arbetar med PD. Utvalda case i fallstudien avgränsas till fokusområdet av komplexa och storskaliga projekt; sjukhus- och stadsprojekt. Detta för att kunna utvärdera PDs förmåga att vidareutveckla byggbranschen.

1.4 Etiska aspekter

En etisk aspekt som kan bli aktuell vid implementering av parametrisk design är hur datorns intelligens ersätter människans, i detta fall främst arkitektens arbetsområde. Artificiell intelligens, AI, är en maskins förmåga att efterlikna människans naturliga intelligens (Europaparlamentet, 2021). Tekniken finns implementerad i samhället inom många områden, allt ifrån sökmotorer till smarta hem och städer, och anses fortsätta utvecklas till en definierande framtidsteknologi. För att ta detta i beaktning följs aspekten upp av diskussion kring hur förändringen med PD tar form, samt hur arkitekterna bemöter och tar emot denna förändring med fokus på det kreativa perspektivet.

2. Teori

I detta kapitel ges en bakgrund till nuläget för parametrisk design (PD) i byggprocessen med fokus i designskedet genom en litteraturstudie.

2.1 Möjligheter och utmaningar med parametrisk design

I följande delkapitel kartläggs PD och dess främsta möjligheter och utmaningar. Först kartläggs var i byggprocessen och hur PD kan användas. Därefter utreds möjligheter med fokus på tidseffektivitet, flexibilitet och optimering. Sist undersöks utmaningar i form av kunskapsluckor och krav i branschen, både byggkrav och krav på utbildning.

2.1.1 Vad är parametrisk design och var kan det användas?

PD är ett mjukvaruverktyg som gör det möjligt att specificera relationer mellan olika parametrar och skapa designmodeller därefter (Jabi, 2013; Lee 2015). Parametrarna kan baseras på de krav som designansvariga såsom arkitekter och BIM koordinatörer eftersträvar, till exempel krav på dimensioner, ytor eller krav från beställare. Parametrarna kan ändras för att skapa variationer av designen utan att modellen behöver göras om från början. Genom flera iterationer kan nya lösningar tas fram. Varje produkt kan anpassas utefter instruktioner för att optimera och undvika massproduktion. Genom de ställda kraven skapas ett avgränsat område som genererar lösningar. Detta tillvägagångssätt skapades av Zaha Hadid Architects (Jabi, 2013; Lee, 2015).

För att arbeta med PD kan olika programvaror och plattformar användas. Ett ofta använt program är Grasshopper vilket är ett verktyg inbyggt i Rhinoceros 3D (Grasshopper, 2023). Rhinoceros 3D (Rhino) är ett program som användas av bland annat arkitekter för att skapa 3D-ritningar (Rhinoceros, 2023). I Grasshopper kan programkoder skapas för att styra de modeller som visas i Rhino (Grasshopper, 2023). Grasshopper möjliggör för designansvariga att generera algoritmer genom kopplingar mellan olika komponenter av input och output data, det är ett visuellt programmeringsspråk. Visuellt programmering representerar ett typ av kodspråk där grafiska komponenter används som ikoner, knappar och symboler. Ladybug och Honeybee är två plug-in till Grasshopper som också ofta används vid PD (Ladybug, 2022).

Idag används ofta byggnadsinformationsmodellering (BIM) som designverktyg. BIM är ett helhetsbegrepp som relaterar skapandet och hanteringen av all information kopplat till en byggnad (Lorek, 2022). Tre ofta använda BIM-verktyg inom arkitektur är ArchiCAD, SketchUp och Revit (CCADOS, 2021). Det finns plugin till alla dessa tre program för att kunna modellera parametriskt och en ofta använd plugin till Revit är Dynamo (Dynamo, u.å.) Precis som i Grasshopper kan Dynamo använda en visuellt programmering för att skapa designmodeller. En annan mjukvara för PD är Spacemaker vilket är ett molnbaserat program för Autodesk (Spacemaker, 2023).

I de olika PD-programmen används två olika typer av PD; objekt och processbaserad (Hubers, 2012). I båda fallen används parametrar för att skapa en digital modell av objektet eller systemet som kan modifieras för att utforska olika designalternativ. En objektparametrisk programvara är till exempel Revit som definierar objekt i så kallade familjer där dessa objekts egenskaper kan parametreras, även i modellen är parametrisering möjlig. Detta är kompatibelt med BIM och går enligt Hubers (2010) att flytta mellan olika modeller. Däremot går det att vara mer flexibel, det tillåts fler frihetsgrader, med

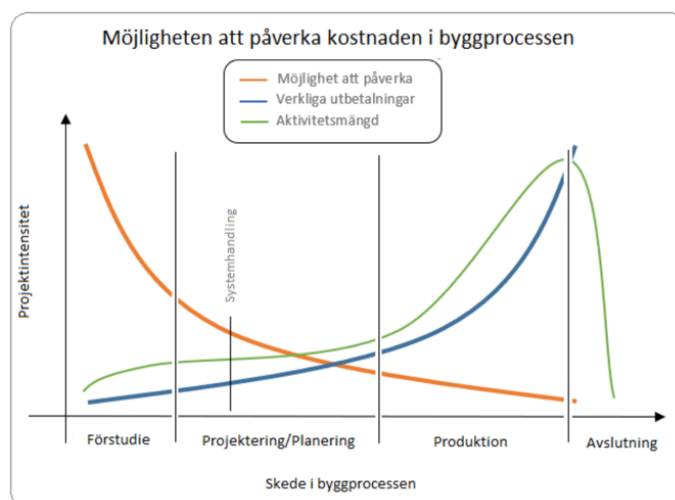
processparametrisk design som baseras på algoritmer och skript, än med objektparametrisk. I detta fall används till exempel programvaror som Rhino eller Grasshopper.

De olika typerna av PD passar bäst att använda för olika ändamål men PD i sig kan användas i alla projektstorlekar och i alla skeden i byggprocessen (Berglund, 2018). De ändamål PD kan användas till är bland annat för klimataspekter så som hållbarhet, energi och material men också simulationer som bland annat dagsljus, buller, vind och till mer nischade mål likt vilken utsikt det går att få fram från fönstren i en lägenhet. PD kan också användas till mjukare värden så som trygghet och rumslighet. PD kan användas för stora landskaps och stadsplaneringsprojekt men också för att generera planlösningar utifrån parametrar som area och möblerbarhet.

2.1.2 Tidseffektivitet, flexibilitet och optimering av design

Dagens designprocess kan ta flera veckor och Ridell och Zuefeldt (2021) anser att PD kan reducera denna tid till dagar. PD anses därför vara effektivare än den traditionella designprocessen där visualisering och informationsmedium såsom 2D ritningar och 3D modeller används. Det gör det möjligt för ett designteam att testa flera lösningar. Mindre tid spenderas då det går att modifiera små delar av den skapade modellen utan att börja om från början (Taghipourarasteh, 2021). Det är också möjligt att spara vissa konstruktioner för återanvändning i senare projekt. Hernandez (2006) menar att PD bidrar till ökad återanvändbarhet av designlösningar genom inkapsling. Denna återanvändning av skript och designförslag sparar tid även i framtida projekt. Arbetstiden minskas totalt sett jämfört med det traditionella sättet, PD möjliggör därmed en mer effektiv designprocess (Jabi, 2013; Jomah, 2022).

Granstam och Stark, två arkitekter med erfarenhet av PD, tycker att PD utöver tidseffektiviteten möjliggör för att sena ändringar ska kunna ske utan att en ommodellering krävs (Berglund, 2018). De sena ändringarna blir enklare att åtgärda och med script som återanvänds kan kunskap tas från tidigare projekt och minimera felkällor. Traditionellt sätt minskar möjligheten att påverka längre in i byggprocessens (se figur 1 nedan). Sena ändringar kostar mer men behövs det ingen ommodellering kan dessa ändringar genomföras till en mindre kostnad. Den orangea kurvan som visar möjligheten att påverka i figur 1, kan därmed få en flackare form där möjligheten att påverka fortfarande är stor längre in i processen. PD möjliggör också för ett större fokus tidigare i byggprocessen (Berglund, 2018). Detta kan påverka den gröna kurvan som visar aktivitetsmängd i figur 1 så att aktivitetsmängden ökar i början av processen. Det i sin tur leder till att fler ändringar sker när de är enklare att åtgärda. Detta möjliggör till mer kostnadseffektiva projekt där resultaten blir bättre. Dessutom genereras färre misstag i projekt med en välorganiserad och genomtänkt första design, vilket kan uppnås med PD (Taghipourarasteh, 2021).



Figur 1. Hur möjligheten att påverka kostnaden i byggprocessen förändras över tid och skeden med dagens arbetssätt (Ottosson, 2015).

Ett exempel på när PD har använts på detta sätt i praktiken är i Umeå kommun där de gjorde en jämförelse mellan en digital visualiserad bulleranalys och en analys utförd av en lokal konsult (Sävenstedt, 2021). Resultatet blev att arbetstiden minskade från dagar till minuter men framför allt visade det på att det finns kostnadsbesparingar att hämta. Detta genom att i ett tidigt skede kunna testa flera alternativ och ändra designen istället för att göra sena ändringar. Detta exempel bekräftar teorin gällande PDs påverkan på kurvan i figur 1.

Att designansvariga kan utföra ändringar utan att behöva börja om från början möjliggör flexibilitet vid designutformning och förfining i senare skeden i designprocessen (Hernandez, 2006; Taghipourarasteh, 2021). Genom att använda PD kan designansvariga skapa modeller som är anpassningsbara till olika situationer och krav (Jomah, 2022). PD ger möjlighet till att utforska nya geometriska former och mönster som inte skulle vara möjliga med traditionella designmetoder. Komplexa geometriska modeller kan placeras i grundläggande enheter som behandlas enkelt (Hernandez, 2006). Ytterligare ger det också realtidsåterkoppling, direkt förändring i modellen, när förändringar i den parametriska modellen påverkar geometriska komponenter eller andra delar av designen (Hernandez, 2006; Riddell & Zuefeldt, 2021). På så sätt kan en designansvarig utforska många alternativ innan det väljs en slutgiltig design. Det i sin tur kan leda till bättre beslutsunderlag och säkrare beslut.

Utforskandet av flera alternativ skapar bättre slutresultat, iterationen är ett kraftfullt verktyg för optimering (Jabi, 2013). Den designansvariga tillåts utforska och optimera en mängd möjligheter för att skapa ett precist resultat. Genom att de repetitiva momenten blir automatiserade kan mer fokus läggas på att skapa en bättre byggnad med hänsyn till till exempel utformning och hållbarhet (Berglund, 2018). Med möjligheten att beakta fler parametrar än tidigare kan den optimala byggnadsdesignen hittas utifrån sina givna förutsättningar. Ett parametriskt arbetssätt möjliggör också för att redan i tidigt skede av designprocessen utvärdera om projektet går i rätt riktning för att då kunna göra betydande designförändringar och på så sätt vara mer kostnadseffektiv och ta mer precisa beslut. Taghipourarasteh (2021) menar att arkitekter får bättre koll och kontroll över deras ritningar som blir mer kvalificerade och faktabaserade vilket leder till minskat antal fel då PD används.

Förutom att spara tid, minska fel och öka produktiviteten ger PD även sänkta projektkostnader (Ridell & Zuefeldt, 2021). PD kan förbättra processer för att designa projekt och ge kunden vad de vill ha samt bidra till mer hållbara designprocesser med mindre materialavfall och lägre kostnader (Jomah, 2022). Genom att maximera nyttan av en plats och optimera mängden material tillsammans med parametriska analyser kan ett optimalt designförslag uppnås (Berglund, 2018). Med andra ord skapar PD möjlighet till en välgrundad beslutfattningsprocess sett till flera olika parametrar och appliceringsområden då kvantitativa värden som är mätbara kan analyseras.

2.1.3 Kunskapsluckor och digitalisering i branschen

Trots de påvisade fördelarna med PD används inte verktyget fullt ut. Det som är mätbart kan analyseras med hjälp av PD, däremot finns en utmaning gällande värden och parametrar som är subjektiva och svårare att mäta. Det är exempelvis svårt att parametrisera estetik, historisk betydelse och social påverkan vilket gör dessa värden svårare att analysera och därmed svårare att optimera (Taghipourarasteh, 2021). Dessutom finns en kunskapsbrist i branschen, Jomah (2022) betonar vikten av att de nödvändiga färdigheterna, kunskapen och verktygen måste utvecklas för att PD ska kunna användas effektivt. Han menar även att det är en svår inlärningsprocess och att program ständigt uppdateras och görs om vilket också är en utmaning. Det är alltså en utmaning för aktörerna i byggprocessen att hänga med och förändra designprocessen till ett nytt gränssnitt.

En annan utmaning är att de programvaror som använder PD har en hög implementering och anskaffningskostnad samt kräver kraftfull datorhårdvara, vilket gör det svårt för mindre företag att använda sig av programvarorna (Taghipourarasteh, 2021). Enligt Hernandez (2006) är den största utmaningen den initiala processen att börja med PD då det är en väldigt tidskrävande inlärningsprocess. Granstam och Stark menar dock att den tiden sparas in, i och med att hela designprocessen blir mer tidseffektiv i alla projekt totalt sett (Berglund, 2018).

Ytterligare lyfter Holzer (2015) fram en fara med digitala verktyg, vilket är när PD tillämpas av oerfarna användare i den tidiga delen av designfasen. Han menar att digitala verktyg kan ge en felaktig uppfattning om byggprocessen vilket leder till förlorad förståelse för byggkraven. Detta i sin tur kan göra att beslut som fattas grundade på modeller framtagna med PD blir missvisande istället för säkrare. Unga akademiker idag har dock bättre kunskap gällande de digitala verktygen men saknar ofta förståelse för hur olika discipliner kopplas samman i en byggnad (Holzer, 2015). Denna förståelse kommer först genom arbetslivserfarenhet, därav finns förslag på att integrera detta redan i utbildningen genom ett mer tvärvetenskapligt arbetssätt. Kunskap om PD och hur det kan användas i designfasen är uppskattat av företag som vill hålla jämna steg med den tekniska utvecklingen och digitaliseringen i byggbranschen (Holzer, 2015). Industrins förväntningar på den akademiska utbildningen är studenternas förmåga att tänka kritiskt, att vara öppna och uppmärksamma på ny teknik och att anpassa sig till nya miljöer. Målet är att studenterna ska kunna hantera både PD och BIM samt kunna kommunicera och hantera information i en multidisciplinär miljö.

2.2 Användarvänlighet och kompatibilitet

PD har stor potential i byggbranschen men de finns fortfarande vissa hinder bland annat när det kommer till kompatibilitet med BIM och användarvänlighet. Detta leder till att PD inte kan användas till sin fulla potential. I följande del utreds dessa hinder.

2.2.1 Parametrisk designs användbarhet

Trots de många fördelarna med PD finns en viss brist av användbarhet. Det finns förbättringsmöjligheter när det kommer till designkunskaper hos användarna av BIM-programvaror men framför allt av PD (Holzer, 2015). Det finns en brist i hur väl skolan förbereder unga akademiker för PD jämfört med BIM-program. Det ställs höga programmeringskrav på arkitekterna och det finns en saknad på förkunskaper och resurser för att lära ut om PD (Ma et al., 2021). Avsaknaden av resurser för att lära ut kan vara en anledning till att arkitekter och ingenjörer kommer oförberedda. Utifrån en tidigare fallstudie av Aviva Stadium i Dublin, där PD använts för att numeriskt kontrollera den geometriska designen, framkom det att PD-program inte är speciellt användbara (Eastman et al., 2011). Även om PD underlättade projektet i stort krävdes avancerade modellkunskaper för att kunna modifiera och utveckla de parametriska modellerna. Att programmen inte är användbara visas i dess långa inläringstid då det tar mellan 2–3 år att lära sig (Holzer, 2015). De program som anses vara mer användbara är lättare att förstå, använda och mer intuitiva.

Kunskaperna för att jobba med dessa parametriska modeller har visat sig vara särskilt utmanande för seniora ingenjörer och arkitekter i byggbranschen (Holzer, 2015). Det kan bli skadligt för projekten när PD och andra designprogram används på ett gammalt sätt. Programmen snarare försvårar än förenklar när programmen försöks användas på samma sätt som papper och penna. Enligt Granstam och Stark krävs förståelse för matematik och geometri för att arbeta med visuell programmering, som PD (Berglund, 2018). Det är ett nytt sätt att arbeta på och kan därför vara svårt för någon som tidigare arbetat på ett annat sätt. I dagsläget är alltså programmen inte tillräckligt användbara för den kunskap som finns.

2.2.2 Kompatibilitet mellan parametrisk design och BIM

Förutom bristande användbarhet finns svårigheter gällande kompatibiliteten mellan PD och BIM. Kompatibiliteten varierar beroende på vilken typ av PD som används. Hubers (2012) har i sin undersökning av hållbar arkitektur jämfört de två olika huvudgrupper av PD (process-PD och objekt-PD) och dess kompatibilitet med BIM. En objektparametrisk programvara är enligt Hubers kompatibel med BIM och går att översätta mellan olika modeller på ett smidigt sätt. Många av de programvaror som används för BIM används också för objekt-PD, till exempel Revit, vilket gör användandet av båda arbetssätt tillsammans smidigt (Hubers, 2012). När i stället process-PD används, till exempel i Grasshopper, blir kompatibiliteten svårare. Objektet genereras med kod istället för att ritas vilket gör det mer komplicerat när föremålen ska flyttas mellan BIM och PD. Hubers (2012) menar vidare att det finns plug-in program för att göra detta men mycket information går förlorad under dessa import och export. Överföringen mellan process-PD och BIM är inte fullt kompatibel.

Generativ design (GD) är en designmetodik som använder PD, Ma et al. har undersökt de nuvarande tillvägagångssätten för att utveckla och implementera GD i BIM genom att granska publikationer som gjorts under 2010–2020 (Ma et al., 2021). De menar på att BIM är otillräckligt i den tidiga delen av designstadiet och att dess funktion är begränsad när det kommer till att utforska en design. Däremot kan designprogram som använder PD kompensera för denna brist genom integration. Integrationen kan stödja automatiska och snabba designförslag samt möjliggöra byggbarheten av dessa generativa lösningar och på så sätt även utöka BIMs kapacitet i den tidiga designfasen. Ett exempel på denna typ av integration är att GD finns som en ny funktion tillgänglig i Revit 2021. Även om funktionen i

nuläget är begränsad till endast tre designstudier tillåts det utforskning och anpassning genom API i Revit.

Nackdelarna som Ma et al. (2021) upptäckte kopplat till kompatibilitet med GD i BIM kan delas in i tre huvudaspekter där den första är att det saknas en mångfald av designscener. De anser att det behövs fler designscener som täcker en bredare del av designprocessen, från konceptuell design till detaljerad design. Det andra är att det finns en begränsad mängd designelement och exempel på saker som behöver införas är platser, dimensioner, material, flera typer av kostnader och energiprestanda. Detta på grund av att de parametrarna saknas för att kunna bilda komplexa generativa begränsningar. Slutligen är det mognad av applikationer och hur anpassade de är för implementering av GD. För att lösa det behövs det byggas in fler olika komplexa sökalgoritmer för ett enkelt val och användning. Vilgertshofer och Borrmann (2017) anser också att BIM program idag inte är tillräckligt flexibla för att definiera parametriska beroenden i komplexa fall. Den bristande kompatibiliteten hindrar användandet av PD.

2.3 Arkitektens roll och förändring av arbetsprocessen

I samband med implementeringen av PD kan arbetsprocessen och arkitektens roll komma att förändras. För att PD ska kunna användas storskaligt kan det också krävas en förändring i branschen. Dessa förändringar utreds i följande del.

2.3.1 Påverkan på arkitektens roll vid implementering av parametrisk design

Det finns en rädsla för att effektivisera bort arkitektens arbete genom implementeringen av PD (Berglund, 2018). Däremot anser Granstam och Stark snarare att genom effektiviseringen av hela designprocessen lämnas mer utrymme och tid för arkitekten att lägga på arkitektoniska kvalitéer (Berglund, 2018). Arkitektens arbete kommer inte att försvinna utan förändras. Det kommer fortfarande vara arkitekten som styr den parametriska modellen och dess input och output, fokuset kommer ligga i de tidiga skedena. Eltaweel och Su (2017) instämmer och tycker att PD skapar möjligheter för arkitekter att vara kreativa i designprocessen genom att ta bort repetitiva och monotona moment snarare än att algoritmer och parametrar tar bort möjligheten till kreativitet. Precis som tidigare nämnt finns svårigheter att parametrisera mjukare värden såsom trygghet, estetik och sociala aspekter, vilket gör att det fortfarande behövs expertis och erfarenhet från arkitekter för att analysera dessa (Taghipourarasteh, 2021). PD kan underlätta i beslutningsprocessen men det behövs fortfarande en arkitekt eller annan aktör för att ta besluten.

Taghipourarasteh (2021) menar vidare att PD gör det möjligt för arkitekter att växla mellan det virtuella och det fysiska på ett smidigt sätt vilket gör att design och tillverkning matar varandra då de har en ömsesidig påverkan. Detta är ett nytt sätt att arbeta och det finns plug-ins som gör det möjligt för arkitekter att skapa egna regler. PD hjälper arkitekter att föreställa sig rumslighet och möjlighet för att kunna arrangera och korsa sina miljöer. Likt detta berättar Granstam och Stark att deras förhoppning är att få en helhetssyn på gestaltning och de byggnadstekniska egenskaperna genom PD (Berglund, 2018). Detta för att skapa en förståelse för uppbyggnaden av parametriska modeller och strukturella kvalitéer. Idag står programmering till viss del utanför arkitekturen men med implementeringen av PD kommer programmering ta en större del av designprocessen (Holzer, 2015). Detta kommer ställa andra krav på arkitekter än vad som görs idag och kan komma att förändra arbetsprocessen.

2.3.2 Förändring av arbetsprocessen i designskedet

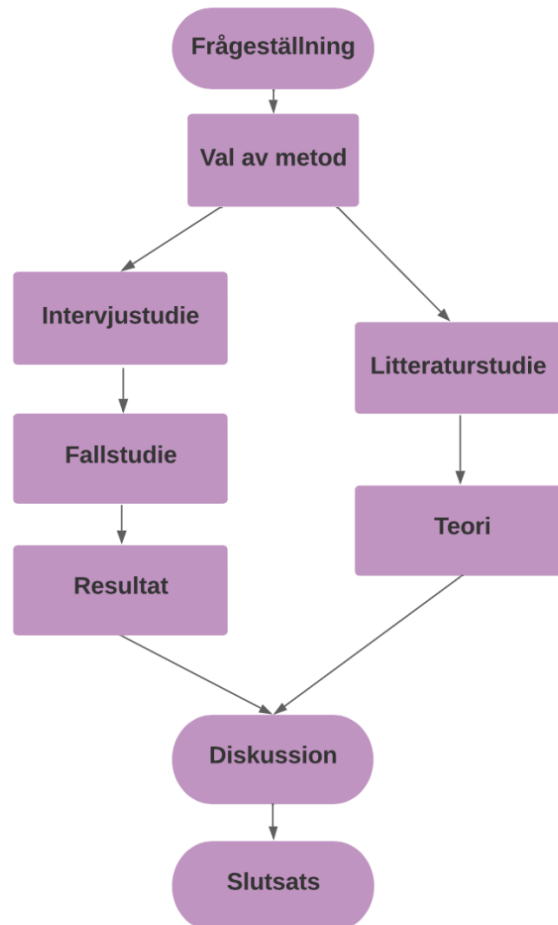
En utmaning som finns i branschen är debiteringsmodellen som är baserad på timarvode vilket hamnar i konflikt med tidseffektiviteten PD skapar (Berglund, 2018). Utmaningen blir först och främst att förändra tankesättet hos arkitekterna, att en snabbare designprocess inte är något dåligt. Samtidigt blir förändringen i branschen och en övergång från timarvode i sig en stor utmaning.

Däremot är en fördel med de digitala visualiseringsverktygen, exempelvis PD, och de digitala modellerna i de tidiga designfaserna att det underlättar för dialog mellan intressenter och allmänheten (Sävenstedt, 2021; Taghipourarasteh, 2021). PD bidrar till ett bättre samarbete och en bättre samverkan mellan arkitekter och andra discipliner. Den samverkan kan i sin tur leda till att beslut tas mer centralt och gemensamt, vilket förbättrar beslutsunderlaget. PD kan till exempel tillsammans med BIM möjliggöra ett enkelt sätt att redan från början arbeta i samma modell från flera olika discipliner istället för att i efterhand samordna det som gjorts.

Det kommer att vara relevant för forskarna att fortsätta att observera effekterna av den kontinuerliga spridningen av PD och BIM i arkitekt- och ingenjörspraktiken (Holzer, 2015). Enligt Holzer (2015) kommer det troligtvis komma fram till en punkt där processen för projektleverans med BIM har blivit en självklarhet och är standard för varje projektleverans. Med utgångspunkt i denna tanke kan det mycket väl bli att arbetet som arkitekt kommer kräva ett starkt inslag av färdigheter i dataintegration och expertis i tvärvetenskaplig samordning. Precis som detta kan komma att förändras i och med att BIM blir en självklarhet, kan samma sak ske för PD. Holzer (2015) menar att det kräver ytterligare granskning och reflektion innan det går att fastställa hur branschen kommer att förändras av PD.

3. Metod och genomförande

I detta kapitel beskrivs val av metod som användes för att besvara syfte och frågeställning samt hur inhämtning och bearbetning av data gick till. Metoden består av en litteraturstudie, intervjustudie och fallstudie. Kapitlet diskuterar även genomförandet för att uppnå god forskningskvalitet och etik i rapporten. Arbetsgången illustreras i figur 2 nedan.



Figur 2. Illustration över kandidatarbetets arbetsgång.

3.1 Val av metod

En kvalitativ metod har genomförts med en datainsamling bestående av litteratur, intervjuer och case med erfarna respondenter inom parametrisk design. Anledningen till att en kvalitativ metod valdes är för att den syftar på insamling av data med tyngd på analyser av ord mer än siffror (Bryman & Bell, 2017). En kvalitativ metod fokuserar på att utveckla förståelsen och uppfattningen om ett visst problem (Justensen & Mik-Meyer, 2011). Genom intervjuer leder den kvalitativa metoden till att författarna tar lärdom av respondenterna (Holme & Solvang, 1997). Att åstadkomma en trygg och avslappnad miljö för alla parter är en svårighet som den kvalitativa metoden kan medföra. Det är viktigt att respondenterna känner sig trygga för att information inte ska undanhållas.

3.2 Datainsamling

I rapporten har datainsamlingen genomförts med en litteratur-, intervju- och fallstudie. Nedan förklaras datainsamlingen mer ingående.

3.2.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien genomfördes tidigt i arbetet med syftet att skapa en grundläggande förståelse för PD inför kommande intervjustudie samt för att eftersöka litteratur till teorikapitlet.

3.2.1.1 Ramverk för litteratur

Litteraturstudier är en vetenskaplig metod som huvudsakligen används för att samla in litteratur i forskningssammanhang i form av böcker, rapporter och uppsatser (Ejvegård, 2009). Tillvägagångssättet för litteraturstudien var att först eftersöka lättillgänglig litteratur på digitala källor för att skapa sig en bild om vad ämnet berör. Fortsatt genomfördes litteraturen noggrant för att hitta relevanta branschrapporter, vetenskapliga artiklar samt facklitteratur som kunde användas.

3.2.1.2 Val av källor

Arbetet innefattar ett ämnesområde med teknik som ständigt utvecklas vilket medför att spannet av litteratur förminskas. En viktig aspekt som tagits i beaktande vid insamling av källor har varit att eftersöka aktuella källor med uppdaterad information och studier som inte vinklats av företag. Digitala källor var det som främst användes på grund av att de flesta publikationer publiceras digitalt. Framtagning och sökning av källor gjordes främst genom databaser som Google Scholar och Chalmers Library. Sökord som använts har varit på både svenska och engelska, exempel på termer vid sökning var parametrisk design, parametric design possibilities, challenges, compatibility with BIM och architects.

3.2.2 Intervjustudie

Syftet med intervjustudien var att samla in data utifrån ett ramverk av frågor för att skapa en fördjupad förståelse från personer som arbetar med parametrisk design. Intervjustudier är inom kvalitativ forskning den mest använda metoden (Bryman, 2011).

3.2.2.1 Ramverk för intervju

Semistrukturerade intervjuer ligger till grund för intervjustudien. Det innebär intervjuer som innehåller både förbestämda och öppna frågor (Bryman, 2011). De förbestämda frågorna ger en grundläggande förståelse av ämnet. Sedan bidrar de öppna frågorna till en fördjupning av ämnet och information som inte täcktes av de förbestämda frågorna. Genom semistrukturerade intervjuer kan en öppen dialog åstadkommas samtidigt som det ges en grundläggande struktur.

De förbestämda frågorna formades utifrån ett ramverk för att besvara frågeställningen och togs fram efter att författarna hade samlat på sig kunskap om PD. För att besvara frågeställningen togs tre fokusområden fram och därefter de förbestämda frågorna. Beroende på vilken riktning intervjun tog fanns det ytterligare frågor att hämta från en frågebank som kan ses i bilaga 1. De förbestämda frågorna var följande:

- *Vad ser du för möjligheter och utmaningar med parametrisk design?*
- *Vid användandet av parametrisk design i tidiga skeden, hur tror du efterföljande skeden i byggprocessen kan komma påverkas?*
- *Hur upplever du kompatibiliteten med BIM-program och parametrisk design (idag)?*
- *Hur upplever du användarvänligheten med de program du använt för parametrisk design?*
- *Hur tror du arbetsprocessen förändras som resultat av denna automatisering av byggkrav?*
- *Hur kan arkitektens/aktörens roll förändras vid en större implementering av parametrisk design?*

3.2.2.2 Val av respondenter

Intervjustudien grundar sig på åtta strategiskt utvalda respondenter valda utefter en specifik strategi. Strategisk urvalsprocess bidrar till att en lämplig grupp utformas för att besvara undersökningsfrågorna (Gunnarson, 2020). För arbetet var en strategisk urvalsprocess nödvändig på grund av att begreppet PD fortfarande inte är etablerat i många företag. Kunskapen är fortfarande begränsad bland företagen vilket medför att respondenterna behövde handplockas för ett relevant resultat. Det strategiska urvalet innefattade därför respondenter som aktivt arbetar med PD varav fem arkitekter, en byggingenjör, en byggnadskonstruktör och en miljökonsult. Under arbetets gång har även ett snöbollsurval tillämpats där respondenterna tipsat om relevanta personer för studien (Bryman, 2011). Vissa respondenter har även kontaktats igen för att ge svar på specifika frågor som uppkommit efter intervjun.

3.2.2.3 Genomförande och bearbetande av intervju

Intervjupersonerna kontaktades via telefon eller mejl med en kort introduktion om arbetet och frågan om de hade velat ställa upp på en intervju. Ville de ställa upp bokades tid till intervju via mejl. Tre dagar innan intervjun skickades ett samtyckesformulär som kan ses i bilaga 2 samt de förbestämda frågorna till respondenten.

Intervjuerna planerades ta ungefär 40 minuter, men varade mellan 20–60 minuter. Zoom och Teams var forumen intervjuerna genomfördes via. Sammanställning av alla intervjuer gjordes genom röstinspelningar med samtycke från intervjupersonerna samt stödanteckningar. Röstinspelning genomfördes för att underlätta transkribering som därefter gav underlag till resultat och citat (Bryman, 2011). Transkriberingen i denna studie innefattar information relevant för rapporten och därför utelämnas pauser och utfyllnadsljud. Transkriberingen gjordes genom ett verktyg på Word som omvandlar ljudfiler till ett skriftligt dokument. Därefter spelades ljudfilen upp och lyssnades från start till slut utan paus för att få en helhetsbild av intervjun. Transkriberingen fortsatte genom att lyssna på ljudfilen en andra gång men pausades denna gång för att korrigera eventuella felaktiga ord i dokumentet. För att se till att allt som sades skrevs ner spolades ljudfilen ofta tillbaka. Avslutningsvis lyssnades inspelningen igenom en tredje gång utan avbrott för att säkerställa att allt var nerskrivet. Först när inspelning och transkribering överensstämmer kan fördjupning i materialet för kommande analys påbörjas (Dalen, 2015). Därav gjordes transkriberingen innan ett resultat påbörjades.

Intervjuerna sammanställdes längre fram i en tabell baserat på frågeställning och fokusområden. Tabell valdes för att resultatet tydligt ska kunna avläsas. Resultatet och teorin analyserades därefter för att kunna dra slutsatser och besvara frågeställningarna. För att få en tydlig bild om vart i byggprocessen respondenterna använder sig av PD användes figur 3 som underlag. Figur 3 har tagits fram utifrån Ottossons (2015) och Boverkets (2021) förklaringar på de olika skedena under processen. Vidare genom rapporten beskrivs designskede som samlingsnamn för idé-, förstudie- och programhandlingskede och tidigt designskede som idé-, förstudieskede.



Figur 3. Flöden under byggprocessen och dess olika skeden. Tolkad från (Boverket 2021; Ottosson, 2015).

3.2.3 Fallstudie

Fallstudier är lämpade vid tillhandahållande av en djupgående redogörelse för processer och förlopp (Denscombe, 2018). Syftet med en fallstudie är att klargöra det generella genom att gräva sig ner i det specifika. Fallstudier är ett strategiskt tillvägagångssätt där författarna själva väljer vilken metod som ska tillämpas. Syftet med fallstudier har ofta använts för att testa om det teorin säger förekommer i verkligheten. Eftersom arbetet syftar på att gå till djupet och samla information kring PD har en fallstudie genomförts.

3.2.3.1 Inblick på projekten

Fallstudiens utgångspunkt är case som använt sig av PD i designfasen. Fallstudien grundar sig på tre olika case som använder sig av PD som analyserats och använts som underlag till resultatet. UN17 är ett bostadsprojekt som använde sig av PD till modellutformning genom hela designskedet. Rigshospitalet North Wing använde sig av PD i tidiga designskedet för att ge en överblick över projekt som är stora och komplexa. Stadsutformningsprojektet använde sig av PD genom hela designskedet. Projekten visas nedan i figur 4.



Figur 4. Från vänster: UN17 Village, Köpenhamn, Danmark (L. Bock, personlig kommunikation, 6 mars, 2023), Rigs hospitalet North Wing, Köpenhamn, Danmark och Stadsutformningsprojekt, Lierstranda, Norge (F. Sellberg, personlig kommunikation, 6 mars, 2023).

3.3 Forskningskvalitet

För att uppnå kvalitet för denna rapport har författarna kontinuerligt varit kritiska vid inhämtning av data. Utöver detta har även etiska aspekter tagits i beaktande för att uppnå kvalitet.

3.3.1 Säkerställa trovärdighet

För att förstärka uppsatsens trovärdighet vid en kvalitativ studie har ett antal punkter tagits i beaktande. Vid utformande av uppsatsen har stort fokus legat på att vara påläst om PD och dess teori. Det för att minimera förekomsten av subjektivitet, som det annars kan finnas risk för (Bryman, 2011). Fokus har också legat på att vara påläst om ämnet vid förberedelse av intervjuer.

Vid kvalitativa studier kan utformning av frågeställning under arbetets gång medföra diffusa resultat (Bryman, 2011). Det har varit en viktig aspekt som författarna tagit i beaktande tidigt i processen genom att sätta gränser för vad rapporten ska innehålla för att skapa tydliga resultat. Begränsningar har gjorts för att smalna av frågeställningen genom att endast undersöka designskedet. Beslutet gjordes för att minimera valet av respondenter och för att fokusera på ett skede där PD är aktuellt för att undvika ett för generellt resultat.

Vid inspelade intervjuer finns medföljande risker, exempelvis att respondenten blir nervös och inte vågar uttrycka sin åsikt fullt ut när en intervju spelas in (Eklund, 2012). Det har tagits i beaktande genom att varje respondent tillfrågats vidare det är okej att bli inspelad och blivit informerad om att inspelningen endast är till för att underlätta datainsamlingen. Respondenterna har också haft valet att vara anonyma, men alla godkände att vara namngivna. Respondenternas namn valdes att ha med i rapporten då de bidrar med trovärdighet genom sin expertis inom PD.

3.3.2 Etik

Vid uppbyggnaden av arbetet har de fyra forskningsetiska reglerna från rapporten God forskningsed av Vetenskapsrådet (2017) legat till grund. Det för att säkerställa att de respondenterna som varit delaktiga i rapporten inte skadats eller att ingen information om personerna använts felaktigt (Björkdahl Ordell, 2007). De fyra kraven består av: informationskravet, samtyckeskravet, konfidentialitetskravet och nyttjandekravet (Patel & Davidson, 2019). Informationskravet innebär att författaren ansvarar för att informera respondenterna delaktiga i rapporten om studiens syfte. Samtyckeskravet innebär att intervjupersonen har rätt att avgöra vidare de vill delta i undersökningen eller inte. Konfidentialitetskravet innebär att personuppgifter behandlats på ett sådant sätt att ingen utomstående kan få tag på de. Nyttjandekravet innefattar att information från studien hanteras rätt och används för rätt ändamål.

För att säkerställa att de fyra kraven uppfylls har ett samtyckesformulär som kan ses i bilaga 2 skickats ut där de fyra huvudkraven applicerats. Samtyckesformuläret innehöll information där det tydligt framgick att det är helt frivilligt att ställa upp i arbetet. Det framgick även tydligt att det när som helst är möjligt att hoppa av. Materialet från respondenterna förvaras säkert där obehöriga inte har åtkomst utan endast författarna. Materialet kommer förstöras efter att kandidatarbetet är godkänt och kommer inte användas därefter.

God forskningsed har också eftersträvat genom noga utvalda metoder som motiverats. Fortsatt är ingen tidigare forskning stulen vid utformning av resultatet. Källor har noga kontrollerats utifrån de fyra källkritiska kriterierna med löpande referenser.

4. Resultat

I följande kapitel presenteras resultatet från intervjuerna samt fallstudien. Först ges en kortfattad sammanställning i tabellformat av de viktigaste resultaten från intervjuerna i relation till frågeställning och teman, se tabell 1. Därefter ges en kortfattad sammanfattning av fallstudien som visar de positiva resultaten samt utmaningarna som har framgått i de olika casen, se tabell 2. Slutligen presenteras varje fokusområde mer djupgående med citat från intervjuer och ytterligare data från fallstudien.

4.1 Semistrukturerade intervjuer

I följande delkapitel redovisas de viktigaste resultaten från de semistrukturerade intervjuerna med en kortfattad sammanställning i tabellformat, tabell 1. Översta raden redogör för kolumnens innehåll och varje respondents svar är fördelade i bokstavsordning utefter efternamn på raderna nedanför.

Tabell 1. Sammanfattat resultat från semistrukturerade intervjuer.

Person Företag Roll Utbildning	Programvara När och hur i byggprocessen	Möjligheter	Utmaningar	Användarvänlighet Kompabilitet med BIM	Arkitektens förändrade roll Förändrad arbetsprocess
André Agi Spacio (nytt PD-system) Arkitekt, grundare & mjukvaruutvecklare Arkitekt	Utvecklare av Spacio. Erfarenhet av bl.a. Rhino – Grasshopper och Spacemaker Första skiss till bygglov – mest vid designskede men även vid projektering Utföra simuleringar, ex: dagvatten, energi, konstruktion & dagsljus	Tar vara på gammal kunskap: verktyg & dokumentation av tidigare projekt i databas går att återbruka Tidseffektivt Minimera misstag och byggfel Reducera byggkostnader Iterativ process - ger fler alternativ, hjälp att hitta den ultimata designen	Ny teknik, branschen ej van vid algoritmer och programmering Ovilja att förändra i branschen Kunskapslucka, nyexaminerade större kunskap kopplat till programmering Tydligare kravställningar, risk för standardisering	Olika användarvänlighet beroende på program Generellt dålig kompabilitet: brister i ex integrering	Hela branschen behöver vändas upp och ner Arkitekten mer tid på detaljer, lättare att få igenom förslag som är mer faktabaserade Mätbarhet &prestanda inte bara ren estetik Möjlighet kreativitet trots komplexa projekt Rädsla att bli ersatt Betalt per projekt i stället för per timme
Stephanie Angeraini PE Teknik & Arkitektur Energi- & miljökonsult Arkitekturkandidat, master: energi & effektiv byggnadsdesign	Rhino - Grasshopper Tidigt designskede, ex fönsterstorlek, byggnadshöjd och solljusstudier	Tidseffektivt Stor och viktig input i tidigt skede för ett bättre resultat Skapar bättre energianvändning och mängd dagsljus Kostnadseffektivt: mindre ändringar och problem i senare skede	Kunskapsluckor Alla kan inte PD Få har koll på potentialen	Saknar länkning och rutiner Användarvänlighet kommer med goda kunskaper Kompabilitet vid goda kunskaper	Automatisering och direktinformation Arkitektens estetiska arbetsuppgifter finns kvar

<p>Johan Bengtsson</p> <p>Sweco Architects</p> <p>Uppdragsledare, handläggare</p> <p>Arkitekt</p>	<p>Spacemaker</p> <p>Designskede</p> <p>Främst där de stora dragen sätts</p>	<p>Tidseffektivt: Repetitiva uppgifter försvinner, alternativt direkt utspottade</p> <p>Undvika kostsamma misstag senare</p> <p>Lösa problem tidigt i designprocessen sparar tid och pengar</p>	<p>Stor risk att det blir fel vid användning av verktygen på fel sätt.</p> <p>Förståelse förloras, distansering från slutprodukt</p> <p>Kunskapsluckor, falsk trygghet, ser mer färdigt ut än vad det är</p> <p>Tappa kontroll över processen</p>	<p>Ju mer avancerat desto mer svår använt</p> <p>Modellerna blir beräkningstunga</p> <p>BIM och PD har olika styrkor</p> <p>Kunskap krävs kring modellen – finns risk att förlora förståelse och förstöra modeller</p>	<p>Arkitekt och andra roller kan försvinna</p> <p>Att kunna BIM och vara expert på det kan bli en egen roll</p> <p>En arkitekt kan göra jobbet av fem tidigare</p>
<p>Lars Bock</p> <p>NREP</p> <p>Projektutvecklare</p> <p>Byggingenjör</p>	<p>Spacemaker</p> <p>Främst designskede men även projektering</p> <p>Modell och design, främst större stadsprojekt</p> <p>Sol, vind, havs/natur-utsikt</p>	<p>Tidseffektivt: Minimerar skisstid, snabbt kolla om projektet är möjligt</p> <p>Flexibelt: enklare och snabbare att komma in i de svåra delarna av ett projekt</p> <p>Optimering: tar bort icke genomförbara förslag. Gamla projekt visar att PD ger bättre, mer precisa, resultat</p> <p>Bättre resultat i mervärden, till samma kostnad</p> <p>Visa kund hur små avvikelser/förändringar kan göra stor skillnad</p>	<p>Kunskapsluckor: krävs kunskap för att behärska programmet</p> <p>Uppstartsperiod som kräver investeringar</p> <p>Mycket arbetskraft till att implementera PD i projektet vid start</p>	<p>Användarvänligt, men kräver upplärning</p> <p>Bra kompatibilitet med BIM</p>	<p>Tar bort tidiga delar av projektet, fort fokus på detaljnivå</p> <p>Mer jobb tidigare läggs i projekten</p> <p>Större investering start, ger värde senare i processen</p>
<p>Cecilia Hallgren</p> <p>PE Teknik & Arkitektur</p> <p>Byggnadskonstruktör</p> <p>Arkitektkandidat, master: konstruktion</p>	<p>Rhino – Grasshopper</p> <p>Designskede, tidigare även projektering</p> <p>Testar nu användning även i produktion och uppföljning</p> <p>Bygger modeller och kontrollerar konstruktion</p>	<p>Sortering av data och få ut resultat på ett effektivt sätt.</p> <p>Enkelt modifiera sin modell och beräkningar genom PD.</p> <p>Optimering: finns ofta möjligheter men tar tid/kraft att ändra, PD gör det möjligt</p> <p>Skapa komplicerade geometrier</p>	<p>Kunskapsluckor: Alla måste jobba på samma sätt, gap mellan kollegor</p> <p>Ändrar arbetssätt och har en lång uppstartsperiod</p> <p>Måste upprätthålla kunskapen</p>	<p>Hyfsad användarvänlighet</p> <p>Finns förutsättningar för bra kompatibilitet men kräver kunskap</p> <p>Saknar länken mellan BIM och PD</p>	<p>Ändrat tänk, optimering: iterativt och algoritmiskt</p> <p>Göra mycket vid start samt lättare att göra ändringar</p> <p>Mycket manuellt arbete ersätts med automatisering</p> <p>Många är konsulter, måste hänga med för att få jobben</p>

<p>Libny Pacheco</p> <p>White Arkitekter</p> <p>Computational design lead</p> <p>Arkitekt</p>	<p>Rhino - Grasshopper</p> <p>Designskede och projektering</p>	<p>Tidseffektivitet</p> <p>Ta bort upprepande moment</p> <p>Testa olika möjligheter och iterera</p> <p>Optimera design</p> <p>Möjlighet till återanvändning av både fysiska saker och ritningar</p>	<p>Kunskapsluckor i branschen, skapar nya avgörande arbetsroller som det finns få av idag</p> <p>Designbegränsningar</p> <p>Avtal som begränsar</p> <p>Beställare som inte ställer 3D som krav</p> <p>Blir beroende av de få som kan PD</p>	<p>Revit: dåligt och begränsade program</p> <p>Svårt och lång inlärnings-tid</p> <p>Bra kom-pabilitet</p>	<p>Automatisering av repetitiva moment</p> <p>Ritdelen försvinner</p> <p>PD som en designassistent i bakgrunden som kontrollerar och visar möjlig förbättring eller när krav ej uppfylls</p>
<p>Fabian Sellberg</p> <p>LINK Arkitektur AB</p> <p>Computational design specialist</p> <p>Arkitekt och programmerare</p>	<p>Framför allt Rhino – Grasshopper</p> <p>Designskedet</p> <p>Inom företaget används fler program, ex Spacemaker</p>	<p>Tidseffektivt</p> <p>Analyser och därefter optimering av t.ex. dagsljus, vind, buller, utsikter och hållbarhet, går fortare och därmed snabbare beslut</p> <p>Iterativa processer – ger fler alternativ → hittar den ultimata designen</p> <p>Förenklar komplicerade projekt</p>	<p>Mjuka värden svåra att parametrisera</p> <p>Beställare vill ha standardisering för att kapa kostnader</p> <p>Uppstartsperiod och verktygslåda tar tid att skapa</p> <p>Gränssnittet på skiss och detaljeringsnivå för t.ex. Spacemaker är grovt</p>	<p>Archicad och Revit har inte lika hög nivå av komplexitet som PD</p> <p>Tunga filer kan ta lång tid att öppna</p> <p>Grasshopper ser väldigt tekniskt ut vilket skrämmer</p> <p>Jobbigt att använda flera program</p> <p>Spacemaker har bra koppling till Revit – dock svår-använt</p> <p>Problem vid flytt mellan program</p>	<p>Skifte fokus från pengar till kvalitet på byggnad</p> <p>Förändrad informationslevereras, ersätta PDF med nya format</p> <p>Mer krav på t.ex. vindberäkningar främjar andra arbetssätt såsom PD</p> <p>Betalt per projekt i stället för per timme</p> <p>Programmeringstänk redan i utbildningen</p> <p>Arkitekter vill använda PD.</p>
<p>Jesper Wallgren</p> <p>Finch 3D (nytt PD-system)</p> <p>Arkitekt, grundare och produktchef</p> <p>Arkitekt</p>	<p>Utvecklare av Finch 3D. Erfarenhet av bl.a. Rhino - Grasshopper</p> <p>Första skiss till bygglov – främst i designskede men även projektering</p> <p>Geometri, rumsdistribuering och placering av rums/byggelement</p>	<p>Mindre fel, problem vid produktion</p> <p>Bättre och mer genomarbetade byggnader</p> <p>Tidseffektivt och kostnadseffektivt</p> <p>Informerar: enklare avgöra prioritering</p> <p>Desto större och mer komplext projekt desto mer hjälpsamt</p>	<p>Kunskapsbrist, krävs mycket programmering</p> <p>Svårt och tidskrävande att lära sig</p>	<p>Generellt dålig kom-pabilitet och användarvänlighet i branschen</p> <p>Kräver goda programmerings-färdigheter</p> <p>Svårt att hoppa mellan mjukvaror</p> <p>Svårt att uppfylla alla krav och samtidigt kunna vara kreativ med arkitekturen</p>	<p>Bättre och mer genomarbetade beslut tidigare i processen</p> <p>Fokus arkitektens styrka, detaljerna: PD ser till att alla parametrar tas hänsyn till → mer grundunderlag till ens val, tidigt</p> <p>Arkitekten större relevans med mer grundunderlag</p> <p>Underlättar arbete då PD gör mycket av det tidskrävande arbetet</p>

4.2 Fallstudie

Detta delkapitel presenterar en kortfattad sammanfattning av fallstudiens viktigaste resultat i tabellformat från casen, tabell 2. Översta raden redogör för kolumnens innehåll och varje case resultat är fördelade i bokstavsordning på raderna nedanför.

Tabell 2. Sammanfattat resultat från fallstudien.

Projekt Plats Kvm Företag	Programvara När, var och hur i byggprocessen	Positiva resultat	Utmaningar	Övrig lärdom/info
Sjukhus: Rigshospitalet, North Wing Köpenhamn, Danmark 62 000kvm LINK Arkitektur	Grasshopper – Rhino Tidigt designskede: - kontroll areor - optimering och analyser av utsyn, bullernivå, rumslig variation, dagsljus och soltimmar - klimatberäkningar konstruktionssystem Senare designskede (färdig planritning): - optimering planritning - layout Ger överblick av projekt som är för stort och komplex för människan	Gångtider för patienter inom sjukhuset minskade med 37% Gångtider för personal inom sjukhuset minskade med 21% Hållbarhetsanalys, minskning co2: - 49% grön betong, optimering grund och dess material - 51% bärande konstruktion - 60% fasad/utsida - 25% innerväggar/ytor - TOTALT 50% minskning Automatisk rumstaggning och layout, tidseffektivt (normalt 100+ timmar)	Projektet hade låst stomme när PD kom in → krävdes stor försiktighet i parametrar och begränsningar, uppkom fel som krävde manuella fix	Vinnare World Architecture Festival 2021
Stadsutformningsprojekt, landskap Lierstranda, Norge 1 400 000 kvm BTA LINK Arkitektur	Grasshopper - Rhino Hela designskedet: Tidigt - kontroll kvm Senare – validering byggmöjlighet samt effektivisera avstånd till viktiga platser Bryta upp projektet och ta fram klimatdata för mindre delar, ex väggar	Omöjligt att genomföra utan PD, inga program som kan hantera den stora mängd data Beställare: mycket positiv feedback på ex garanti dagsljus samtliga hus. Dyr process att utföra omritning	Hantera den stora storleken på projekt Svårt för personatorer att hantera, cloud- lösningar behövdes (dyrt) Flera analyser var ej utvecklade för stadsmiljö och skapades under projektets gång	Nytt med övergång från 2D till 3D för landskaps-projekt. Stor marknad för PD inom landskap, nästintill outforskat. Projektet har som mål att bli föregångsprojekt för hållbar stadsutveckling
UN17 Village Köpenhamn, Danmark 52 000kvm, varav 35 000 kvm bostadsyta NREP	Spacemaker Från start i byggprocessen Modell och design, layout/planering	Skapade 30% fler dagsljustimmar Skapade 6% fler enheter/bostäder Ökade värdet på bostäderna	Ett av de första projekten med PD → krävdes mycket tid att lära sig verktygen	Fyra av fem byggnader: mål minska co2-utsläpp med 30– 40% genom trä av hög kvalitet samt lätta fasader. Femte byggnaden pilotprojekt för storskalig användning av FutureCem, minskar co2-utsläpp med upp till en tredjedel.

	Optimera dagsljusjustimmar, vind, utsikt sjö & grönområde	Gav mycket lärdom samt verktyg som framöver kommer återanvändas Nöjda med programvaran Samma kostnad som utan PD, men bättre resultat av mervärden		Varje byggnad anpassad för olika målgrupper och deras livsstil Platina/guld DGNB-certifierat, första bostadsprojektet i världen att bli det inom hälsosam levnadsmiljö
--	---	--	--	---

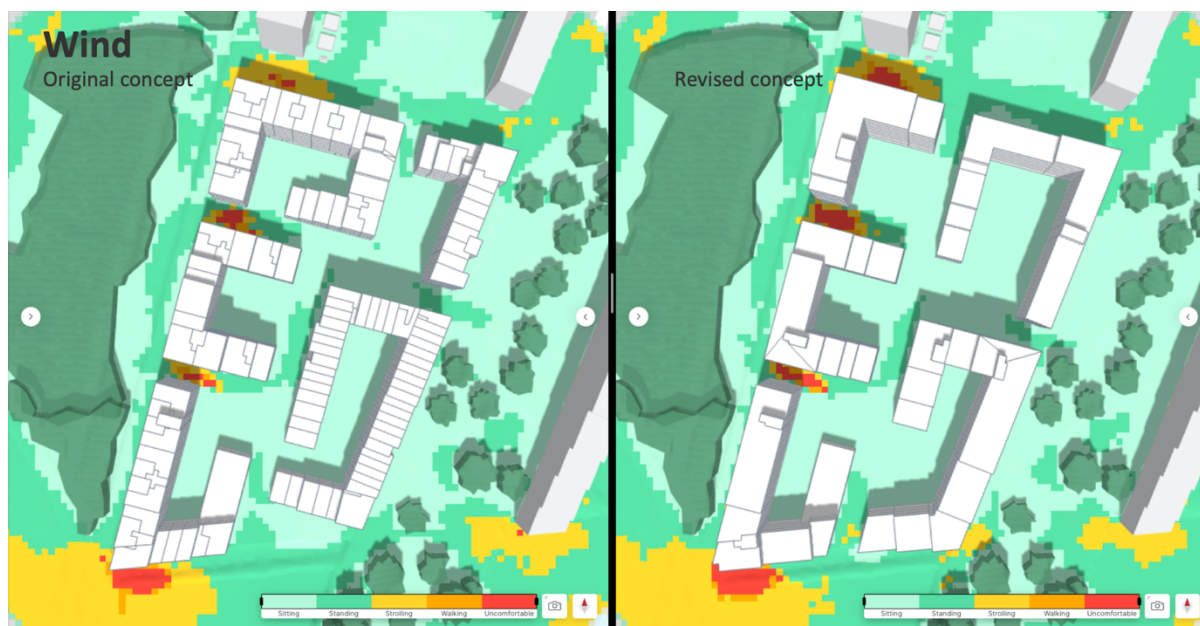
4.3 Möjligheter och utmaningar med parametrisk design

Respondenterna fick beskriva vilka möjligheter och utmaningar de ser med PD, både med dagens nivå av implementering samt vid en högre nivå. Frågorna var fritt ställda och gav utrymme för tolkning.

4.3.1 Tidseffektivitet, flexibilitet och optimering av design

En viktig möjlighet som dök upp vid observation av samtliga intervjuer och fallstudien var tidseffektivisering. Detta genom att PD tar bort upprepande moment, sorterar data och genererar lösningar. Samtidigt som tekniken möjliggör och förenklar komplicerade projekt kan även de verktyg som tagits fram i PD-program återanvändas i framtida arbeten.

En stor anledning till tidseffektiviseringen visades vara genom att minimera arbetstiden och väntetiden på analyser från övriga experter såsom dagsljus, vind och buller minimerats. Fabian Sellberg på LINK Arkitektur förklarar att med PD *”tar det 2 minuter att ta ut en vindanalys vilket tog ca 1,5 dag tidigare”*. Nedan i figur 5 visas ett exempel på vindanalys som tagits fram med PD för projektet UN17 i Köpenhamn. Vid denna analys blev inte resultatet med PD någon större skillnad, men som Sellberg var inne på gick analysen mycket fortare. Däremot tar nya analys-script lång tid att skapa vilken var en utmaning under caset i Norge men när scripten väl är skapade gick analysen fort.

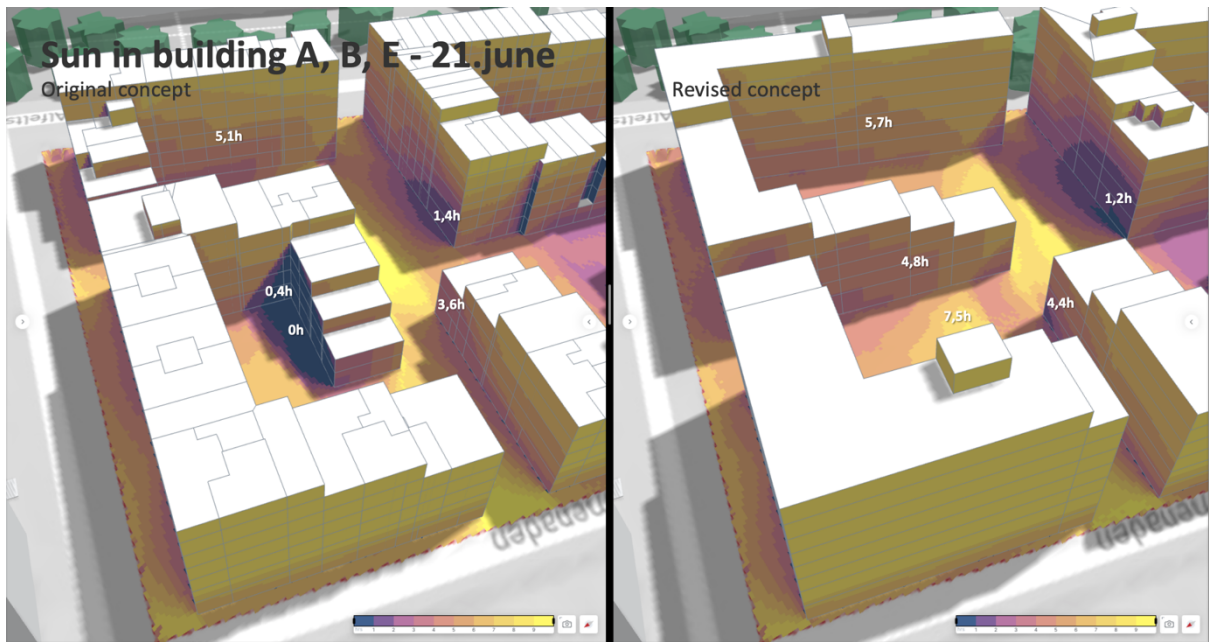


Figur 5. Vindanalys i PD för projektet UN17 Village i Köpenhamn, utfört av NREP (L. Bock, personlig kommunikation, 6 mars, 2023). Till vänster i bild visas programmets analys av vind i befintlig modell och till höger en efterbild när programmet optimerat modellen i syftet.

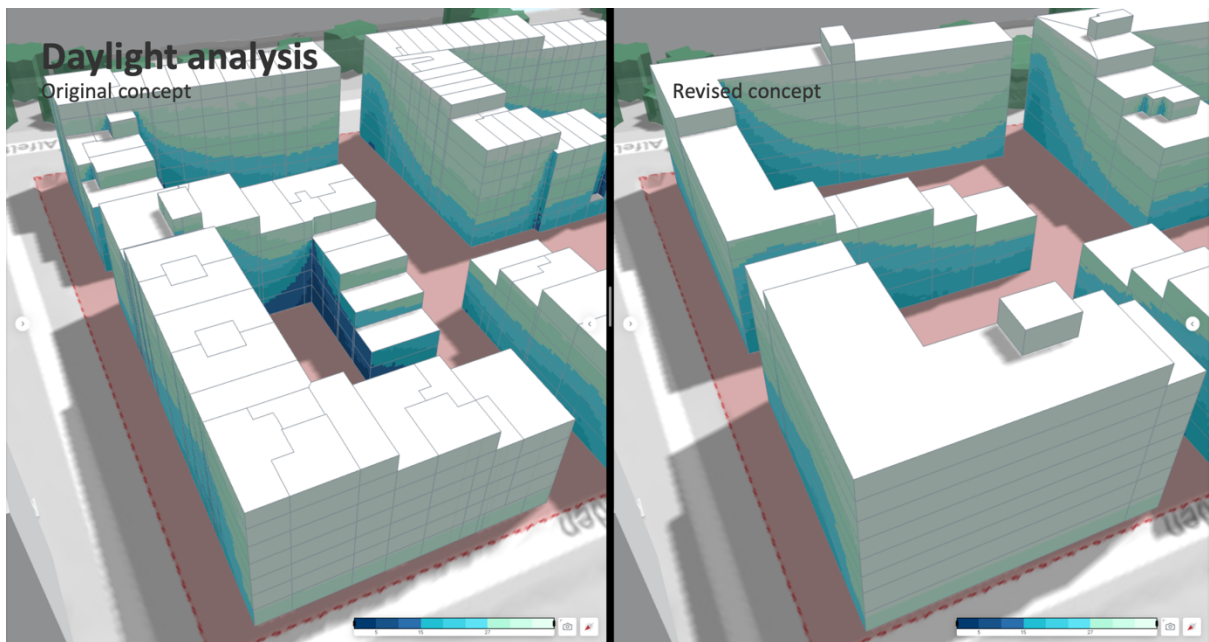
André Agi på Spacio stärker resultatet kring tideffektivitet ”det är klart att det är ännu effektivare eller mer användbart att använda sig av tekniken för att hjälpa en lösa alla komplexa pussel som finns” genom att ”arkitekten får ett verktygskit så att den slipper skicka iväg sina designer till en extern konsult”. Även Lars Bock på NREP belyser PD som ”a very good tool for the architect to do the initial decisions ... automatically and almost instantly”. Enigheten i intervjuerna bekräftar resultatet att en av de stora möjligheterna med PD är tidseffektiviseringen.

Ytterligare en möjlighet som uppmärksammades var optimering, PD skapar analyser som ger en tydlig överblick av alla parametrar i projektet. Denna möjlighet minimerar misstag och byggfel senare i processen, som i sin tur sparar pengar. De iterativa processerna kan generera i ultimata design då små förändringar som leder till stora förbättringar synliggörs.

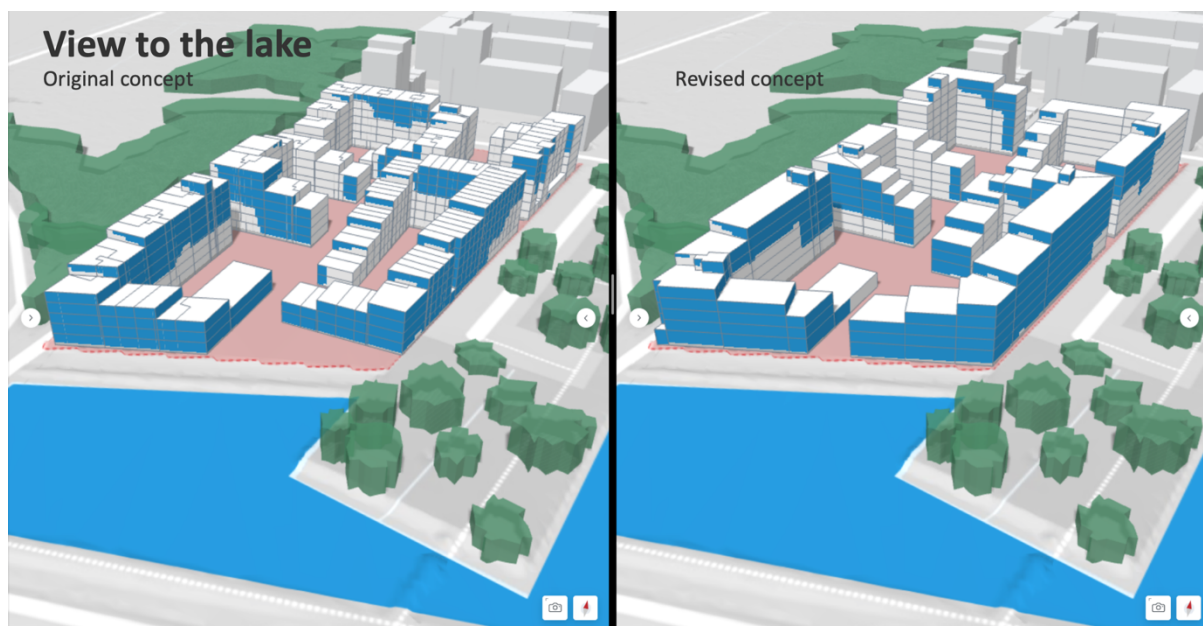
Jesper Wallgren på Finch 3D poängterar ”den stora möjligheten tror jag är att vi kommer att kunna designa bättre byggnader för våra samhällen, våra städer. Få mindre obehagliga överraskningar sent i projektet” samtidigt som Bock säger ”it states how it could be done in the optimal way”. Både Wallgren och Bock har många års erfarenhet av PD och har därmed sett flertalet projekt från början till slut, med och utan dess användning, vilket gör att de sett båda sidorna och kan jämföra dem. Däremot nämner majoriteten av respondenterna optimering som en fördel med PD, även Sellberg menar att PDs iterativa arbete ”går igenom flera alternativ så man hittar sitt ultimata alternativ”. Vidare bekräftas resultatet i fallstudien där tydliga värden på förbättringarna tagits fram vid projekten där PD används, se figurer 6–10. Tekniken skapar analyser för de specifika intresseområdena och optimerar därefter på ett tidseffektivt sätt, exempel för dagsljus i figur 7. Sjukhuset i Danmark hade däremot en låst stomme, vilket minskade flexibiliteten för optimering. Trots detta minimerades gångtiderna för personal och patienter med 21% och 37%, se tabell 2. Stadsprojektet i Köpenhamn är ett annat exempel där optimeringen med PD skapade bland annat 30% fler dagsljusstimmar.



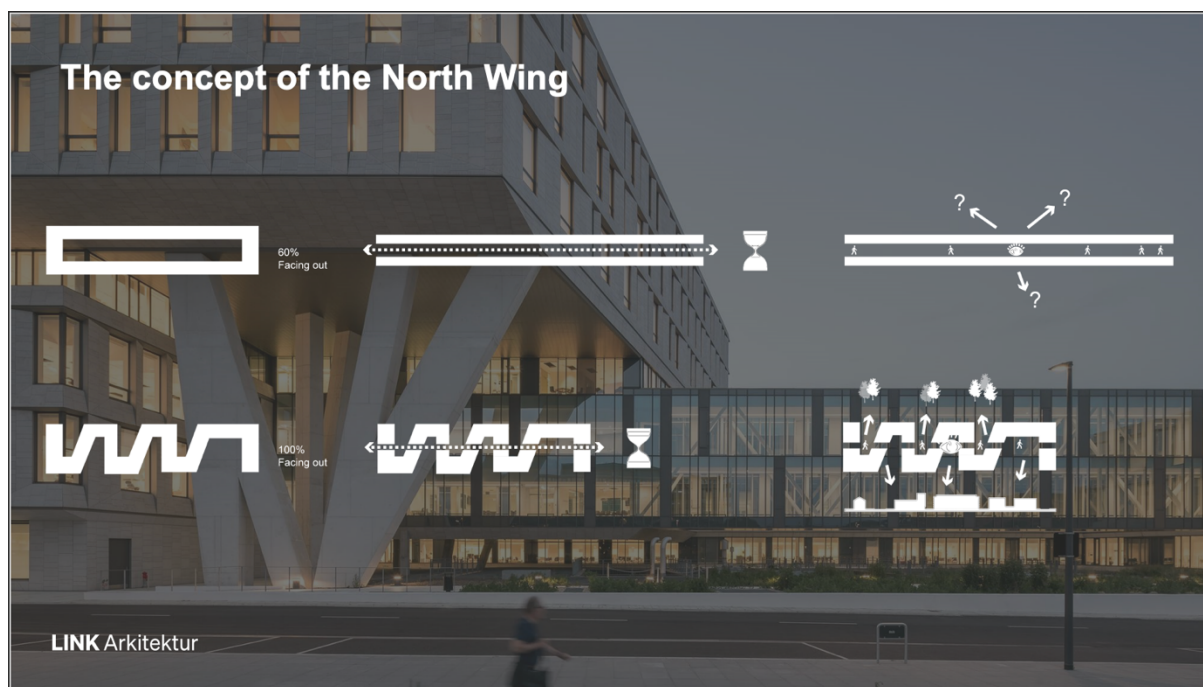
Figur 6. Solanalys i PD för projektet UN17 Village i Köpenhamn, utfört av NREP (L. Bock, personlig kommunikation, 6 mars, 2023). Till vänster i bild visas programmets analys av befintlig modell och till höger en efterbild när programmet optimerat specifikt för solljus mot byggnaderna.



Figur 7. Dagsljusanlys i PD för projektet UN17 Village i Köpenhamn, utfört av NREP (L. Bock, personlig kommunikation, 6 mars, 2023). Till vänster i bild visas programmets analys av befintlig modell och till höger en efterbild när programmet optimerat specifikt för dagsljusinsläpp i byggnaderna.



Figur 8. Analys av utsikt mot sjö i PD för projektet UN17 Village i Köpenhamn, utfört av NREP (L. Bock, personlig kommunikation, 6 mars, 2023). Till vänster i bild visas programmets analys av befintlig modell och till höger en efterbild när programmet optimerat för det specifika intresseområdet.



Figur 9. Optimering av layout för sjukhusprojektet North Wing i Köpenhamn, utfört av LINK (F. Sellberg, personlig kommunikation, 6 mars, 2023). Fokus på att maximera hur stor del av byggnaden som riktas mot utsidan. Överst i bild visas originalmodellen med 60% riktad utåt och nederst en efterbild när programmet används och genererat en lösning med 100% av enheterna riktade mot utsidan.

Denna enighet mellan respondenterna och projekten sinsemellan stärker resultatet att PD skapar mer precisa byggnader av högre kvalitet samt bidrar till bättre beslutsunderlag. Ur de olika studierna går det även att utläsa att detta i sin tur leder till beslutsunderlag för mer hållbara byggnader då materialåtgång och energianvändning kan optimeras. PD gör det möjligt att välja rätt material av rätt volym i byggnaden, utan större arbetskraft. Ett exempel är figur 10 nedan som visar resultatet i form av minimering av koldioxidutsläpp efter användning av PD. Varje byggelement har kunnat analyserats var för sig (exempelvis en

innervägg mellan vardagsrum och kök) och därefter optimerats utefter sina specifika egenskaper och krav, utan större tidsåtgång.



Figur 10. Resultat av minskat koldioxidutsläpp för sjukhusprojektet i Köpenhamn, utfört av LINK (F. Sellberg, personlig kommunikation, 6 mars, 2023). I tabellen visas de procentuella värdena före (blå) och efter (rosa) PD användes inom fyra olika områden samt totalen i den vänstra stapeln.

4.3.2 Kunskapsluckor och digitalisering i branschen

Trots att PD både bidrar till optimering och tidseffektivisering framkom det under intervjuer och fallstudien att när projekten går snabbare finns en risk att förståelse och kontroll förloras. Samtidigt ställer få beställare krav på PD och fokus ligger i första hand på att reducera projektens kostnad. Då användning av PD innebär en större kostnad i startskedet kan dess implementering hämmas. I branschen finns även en ovilja att förändras då det finns en trygghet i att arbeta som tidigare och enligt vana. Johan Bengtsson på Sweco Architects förklarar att *“Utmaningen med många digitala verktyg är att det ser mer färdigt ut än vad det är och det kan lura folk”* och menar vidare att *“det går fortare att göra någonting, men man förstår mindre och mindre hur det är.”* Även om arkitekten som utformat den parametriska modellen vet att det inte är helt färdigt kan den se annorlunda ut för ett otränat öga. Det medför risken att en ofärdig modell kan komma att användas.

Likt detta finns det andra rädslor som hindrar framfarten av PD, till exempel kraven på att minska kostnader. Sellberg berättar att *“När man försöker skapa något som skulle bli en bättre byggnad så kommer det en projekterings arkitekt med vana av beställare som vill kapa och göra det billigt och säger: nej det här ska vi standardisera och så kapas jättemycket av det adaptiva som skapats.”* Fortsättningsvis förklarar Libny Pacheco på White Arkitekter att *“In public projects, we cannot specify or choose a specific provider or product...we don't know which company will end up producing the windows or so, until the end phase of the project. At that final stage of the project, it is too late to use the computational design (or parametric design), even less do anything generative.”* Pacheco menar på att avtalen, framför allt med kommuner, kan vara begränsade. Detta sätt att arbeta bidrar till en begränsning av fördelarna PD kan skapa.

En ytterligare anledning som bidrar till att PD inte används är enligt Sellberg begäran på dokumentation snarare än på krav att faktiskt uppnå vissa resultat. På mindre företag förklarar Sellberg att *”Man gör klart sin design och skickar in den till konsult, man får ut ett resultat och det är de man köper, man har inte tid eller råd att jobba om det, om de skulle vara dåliga resultat”* Till exempel fås vid en vindanalys ett resultat och skulle det visas vara dåligt finns inte tiden till att jobba om det. För att bygga bättre bostäder krävs det bearbetning av de dåliga resultaten. Sellberg menar att om kraven istället handlade om att uppnå en viss nivå snarare än endast dokumentation hade byggnader kunnat bli bättre. Genom PD skapas möjligheten till snabbare analyser och möjligheten att kunna omarbete designen och få bättre resultat.

Från både Sellberg och Agi framkom svårigheterna vid parametrisering och analys för mjuka värden, som trygghet och möblerbarhet, än vid buller och vind. Värden som inte går att direkt översätta till siffror är svåra för datorn att analysera vilket kräver en viss handpåläggning och diskussion med beställare. Precis som att mjuka värden kan vara svåra att översätta till siffror finns det vissa svårigheter med PD och programmering. Flera respondenter menar att PD ofta kräver en hög kunskapsnivå av programmering vilket på många håll saknas i branschen och specifikt hos arkitekter. Det finns en variation av kunskap mellan kollegor och det blir komplicerat att använda PD i ett projekt där alla inte förstår programmet. Pacheco förklarar att *”One of the risks that all companies have is that if there is just one person that can write the script for a project ... if that person gets sick then nobody knows how to use the script and then it’s an emergency.”* Projekten blir därmed väldigt beroende av personen som besitter kunskapen om PD och blir hen sjuk finns det ingen som kan arbeta vidare på det.

För att fler personer ska kunna bli införstådda i ett projekt med PD krävs mycket arbetskraft i början av projektet. Pacheco förklarar att *”In my experience, it takes 2 years, if you are on your own to learn Grasshopper.”* Utmaningen med den långa upplärningsperioden påträffades i caset UN17. Fortsättningsvis ser Agi utmaningar med den nya tekniken och förklarar att den *”Största utmaningen med parametrisk design är väl främst att det är en ny teknik och att de flesta i branschen inte är vana att programmera eller jobba med algoritmer och matematik.”* Sellberg instämmer och förklarar att *”En stor grej som hindrar parametrisk design är att det kan kännas lite stökigt och lite för tekniskt.”* Sellberg menar vidare att *”Varje gång någon ska öppna ett annat program är det en till tröskel. Man vill bara dra ner på mängden klick så mycket som möjligt så kommer folk känna sig mer och mer bekväma.”* Tröskeln blir högre desto fler program som behöver användas. Dessutom måste kunskapen hållas färsk. Cecilia Hallgren på PE Teknik & Arkitektur säger att PD är lite som ett språk *”När man lär sig det man måste upprätthålla det för att komma ihåg hur man gjorde saker.”* Upplärningstiden och saknaden av kunskap gällande programmering bidrar till tidskrävande startsträckor. Det går inte att direkt implementera PD i ett projekt utan att först lära ut hur programmet används.

4.4 Användarvänlighet och kompatibilitet

Vidare under intervjuerna fick respondenterna besvara frågor kring användarvänlighet av de PD-program som respondenterna har efterhet av, samt hur kompatibiliteten mellan PD och BIM fungerar. Frågorna var fritt ställda och gav utrymme för tolkning.

4.4.1 Parametrisk designs användbarhet

Under intervjuerna blev det tydligt att användbarheten och lättillgänglighet i programmen också påverkar implementeringen av PD. Det framgick att det är varierande användbarhet beroende på program och att det finns ett samband till vilken färdighet av programmering som krävs. Generellt kräver programmen en hög nivå vilket synliggörs i hur användbarheten upplevs. Ser programmen väldigt tekniska ut kan det leda till att det upplevs för svårt vilket i sin tur leder till att aktören inte vill lägga all den tiden på att lära sig.

För att implementeringen av PD inte ska hämmas av programmens tekniska framtoning förklarar Agi på Spacio att *"Jag tror den som är den vinnande eller viktigaste faktorn för att det ska få genomslagskraft är hur användbarhet och lättillgängligt det är. Alla kommer inte vilja lära sig kod."* Han fortsätter med *"Kan man bygga mer användbara interface ... är det ett lättare steg för folk att använda det så att säga om man nu ska sprida det inom ett kontor."* Citaten visar att PD inte alltid är särskilt användbarhet och snabbt att lära sig. Även Wallgren lyfter fram att *"Det finns massa grejer man kan göra, men det är väldigt svårt att lära sig det. Det är inte särskilt intuitivt, du lär dig inte det på en eftermiddag."* Förutom användbarheten menar Sellberg att det finns fler anledningar till att det tar lång tid att implementera. Han konstaterar *"Det stora är att många är rädda för nya saker, nytt verktyg, nytt sätt att jobba. Då är det ännu svårare. Då tar det ännu längre tid för att man liksom inte är sugen på det, att man inte tycker man ser fördelen"*. Bengtsson håller inte helt med utan förklarar att *"Jag tycker att de flesta börjar bli väldigt användbara. Typ Spacemaker, tycker det är användbarhet men det man tjänar på i användbarhet, det förlorar man ofta i precision på något sätt"*. Det finns alltså en skillnad i användbarhet och implementeringstid mellan programmen.

Trots att flera program, som Bengtsson säger, börjar bli mer användbara finns det fortfarande mer att utveckla. Om programmen ser för svåra ut räcker inte fördelen med PD för att ändra arbetssättet. Wallgren säger att *"De som är riktigt, riktigt vassa på Grasshopper behöver ju inte vara samma personer som är riktigt, riktigt vassa på att designa en byggnad"*. Han menar att programmet måste vara tillräckligt användbarhet för att de som är bra på att designa byggnader ska kunna använda det, vilket inte alltid är fallet i dagsläget.

4.4.2 Kompatibilitet mellan parametrisk design och BIM

Förutom att användbarhet kan hindra användandet av PD menade många av intervjupersonerna att kompatibiliteten mellan PD och BIM ofta är problematisk. Däremot varierar kompatibiliteten beroende på vilket program som används och graden av komplexitet på byggnaden som designas.

Wallgren tycker att *"Generellt sett är kompatibiliteten dålig i branschen"* och säger att *"Du behöver nästan vara programmerare eller väldigt teknisk kunskap om du sitter i Grasshopper och ska få in det i Revit, det finns förbättringspotential."* Även Agi tycker att kompatibiliteten är dålig, däremot säger han att *"Det Dynamo gör bra är det den är byggd för att göra i Revit, men du har inte samma komplexa geometrimotor som Rhino erbjuder."* Sellberg håller med om att kompatibiliteten i många fall är dålig och det som vinnas i kompatibilitet förloras i detaljningsnivå. Han säger att *"Spacemaker har en direkt koppling till Revit, men gränssnittet och detaljningsnivån är ganska grov."* Kompatibiliteten mellan BIM och PD beror alltså på vilka program som används. Dynamo och Spacemaker har en bättre kompatibilitet med BIM än Grasshopper. Däremot förloras funktion på andra fronter i stället, exempelvis i detaljningsnivå.

Det finns fler problem än bara överföringen mellan PD och BIM när PD ska implementeras i designfasen. Bengtsson säger att *"Det blir fort väldigt avancerade och tunga 3D modeller."* Sellberg förklarar att *"Om man öppnar en stor revitfil, som är gjort för att ha mycket information kan det ta 15 minuter. Skulle man ha 10 olika alternativ i den filen skulle det ta 1 timme, man måste därför jobba i rätt detaljeringsnivå."* Dessa citat visar att det tar alldeles för lång tid att öppna stora filer. De stora och tunga filerna blev också ett problem under caset från Norge. Där handlade det om ett väldigt stort projekt vilket också innebar stor mängd lagrad information.

Fortsättningsvis förklarar Sellberg att *"det var i Revit 2023 som möjligheten kom att kunna ha en vinkel på en vägg, det var liksom det nya och det är väldigt svårt att kunna göra någonting som är anpassningsbart och adaptivt när vinkeln på väggen är cutting edge"*. Han menar att designmöjligheterna i BIM-program kan vara begränsande och hindra ett parametriskt arbetssätt. Likt problemet med designmöjligheter förklarar Agi att *"BIM verktyg är bra på det de gör och ska inte försöka in och nosa på det som har med parametrisk design att göra, parametrisk design i tidiga skeden hjälper oss att ta fram rätt typ av byggnad medans BIM verktyg är till för att dokumentera byggnaderna, att kunna producera ritningar, kunna ta fram handlingar och detaljer etcetera."* Han menar att försöka få in PD i BIM kan innebära ett problem i sig. Skulle överföringen fungera problemfritt finns risk att modellerna blir alldeles för tunga.

4.5 Arkitektens roll och förändring av arbetsprocessen

Implementering av PD innebär en förändring av arkitektens roll samt arbetsprocessen som stort. För att skapa en bild av vad denna förändring innebär fick respondenterna spekulera fritt kring konsekvenserna.

4.5.1 Påverkan på arkitektens roll vid implementering av parametrisk design

En observation som gjordes i intervjuerna var att arkitektens roll förändras som följd av implementering av PD. Den tidigare nämnda tidseffektiviteten gör att arkitekten får mer tid att fokusera på detaljerna i sitt arbete då mycket automatiseras. PD skapar nya arbetssätt och verktyg för arkitekten, men responsen från yrkesgruppen var blandad.

Det finns en viss rädsla att arkitektyrket ersätts i takt med att tekniken utvecklas. Bengtsson menar att *"Teoretiskt ska en arkitekt kunna göra samma arbete som fem arkitekter kunde göra tidigare"*. Däremot säger Sellberg att *"Jag tycker generellt att responsen är bra, folk är sugna på att använda de"* men vidareutvecklar sedan med att tillägga *"men det är ju det som kommer till mig"* med medvetenhet om hans profession och yrkesroll. Även Agi är inne på samma tanke *"I början var det lite motstridigheter bland gemene arkitekt att anamma och applicera de här arbetssätten för man upplevde lite att det kanske tog bort ens jobb ... nu är det en helt annan syn och det har mognat på något sätt och blivit mer att man ser bara fördelar med det."* Dessa citat visar att mycket av de negativa synsätten finns vid start, men förändras till det positiva när de fått mer kunskap om tekniken.

När kunskaperna om PD sprids menar Wallgren att *"Arkitekten kan få en större relevans till projektets fördel"* med hjälp av all information mjukvarorna bidrar med. Många av de intervjuade nämner att detta kan bidra till att mer arkitektoniska värden får ta plats i projekten, inte skalas ner i takt med nya krav. Arkitekterna får mer tid till rätt fokus när ex skisstid minimeras. Agi säger att *"Nu kan vi lägga tid på det vi faktiskt alltid önskat att lägga tid på exempelvis materialval eller bättre prestanda"* och Wallgren menar att *"får mer tid att*

lägga på rätt grejer". Dessa två arkitekter har välgrundade kunskaper inom området har därmed sett hur arkitektens arbete kan förändras av användningen. Agi menar vidare att arkitekterna får större utrymme för kreativitet, även i de mer komplexa projekten med mängder av ingående krav från övriga aktörer. Wallgren instämmer och förklarar att *"Kravlistan på arkitekt, ingenjör och byggare blir bara längre och längre ... skulle vi kunna få hjälp av datorer som är jätteduktiga på att hålla koll på sådana här listor, tror jag det hade kunnat underlätta för oss."* Han förklarar vidare att detta möjliggör ett kreativt arbete med fokus på design.

4.5.2 Förändring av arbetsprocessen i designskedet

Ett annat observerande var att dessa tidigare nämnda effekter av PD leder till en förändring av branschen. Många ser en problematik med den nuvarande betalningsmodellen för arkitekter som baseras på timarbete, som i sin tur hämmar implementeringen. Dessutom leder PD till att större investeringar sker tidigt i projekten vilket omfördelar både tid och pengar.

Agi menar att tekniken kommer i konflikt med det förändrade arbetssättet och ifrågasätter *"hur fakturerar vi för det"*. Enligt Sellberg beskrivs samma behov av förändring *"Vi är konsulter på timme, vi är inte konsulter på projekt och om man automatiserar och effektiviserar för mycket så får man mindre pengar i slutändan. Så det måste vara lite av ett industriskifte också så att man börjar tänka om."* De två arkitekterna har varit i branschen tillräckligt länge för att inse att ett förändrat arbetssätt efterfrågar ett nytt system för fakturering när programvaror effektiviserar och automatiserar arbetet. Agi menar vidare på att hela branschen behöver vändas upp och ner, både sättet arbetet bedrivs och hur projekten styrs.

Förändringen bidrar till en omfördelning av arbetsprocessen och Wallgren menar på att *"vi kommer att kunna ta bättre beslut tidigare i processen"* som ger värde senare. Även Bock understryker att *"I think we can gain a lot of value in regards to doing the optimal solution from the beginning"* och beskriver förändringen som *"more expensive than if we didn't do it"*. En omfördelning där digitala verktyg prioriteras tidigare i processen menar många av de intervjuade blir en utmaning vad gäller kunskap om programmering bland berörda aktörer. Sellberg säger att *"programvarorna blir mer avancerade"* och menar på att det blir en roll att vara expert på programvarorna och säger att *"programmen blir så avancerade helt enkelt"*. En konsekvens av att yrket efterfrågar mer programmeringskunskap menar Hallgren att *"man måste hänga med för att få jobben"* och Bengtsson säger att *"man måste fokusera på det för att hänga med i utvecklingen"*. Citaten visar att inställningen till en förändring med PD har en positiv uppfattning från många av de intervjuade samtidigt som det bidrar till att kunskaperna behöver riktas mer mot programmering. Sellberg menar också på att *"Det är en riktigt het investeringsbransch"* med nya digitala verktyg eftersom byggindustrin ligger långt efter många andra branscher inom det området.

5. Diskussion

Kapitlet redovisar reflektion och diskussion av de viktigaste resultaten i relation till litteraturstudien. I de flesta fall stämmer resultaten väl överens med litteraturen. Det finns fall där respondenterna lyft fram information som inte har framgått från litteraturen däremot har inte några oväntade resultat uppkommit. Utifrån både teorin och resultatet diskuteras syftet, hur parametrisk design skapar precisa beslutsunderlag och hur en implementering i branschen kan ske. Den första delen av kapitlet behandlar möjligheter och utmaningar, den andra delen användbarhet och kompatibilitet och slutligen diskuteras hur arkitektens roll påverkas samt förändring av arbetsprocessen i branschen.

5.1 Möjligheter och utmaningar med parametrisk design

I följande delkapitel diskuteras PDs främsta möjligheter och utmaningar. Första delen syftar till möjligheterna som framkom under studien: tidseffektivitet, flexibilitet samt optimering. Därefter behandlas de största utmaningarna i form av kunskapsluckor och krav från branschen, både dokumentationskrav och byggkrav.

5.1.1 Tidseffektivitet och optimering genererar kvalitativa design

PD leder till tidseffektivitet vilket i sin tur kan generera byggnader av högre kvalitet, tack vare optimering av byggnadsmodellen. PD är mycket effektivare än den traditionella designprocessen (Ridell & Zuefeldt, 2021). Vid modifiering kan ändringar göras direkt i den framtagna modellen istället för att börja om från början, vilket gör att fler lösningar kan testas. Detta skapar fler möjligheter för designteamet att optimera designen och skapa kvalitativare lösningar som kan minimera byggfel längre fram i processen. Det är en tidseffektivitet som inte är synlig vid designstadiet, där det tidigarelagda arbetet istället kan ses som merarbete. Däremot kan denna tidigareläggning av arbete vara mycket avgörande i en bransch som enligt Anjou (2019) präglas av överskridna budgetar och förseningar. Vidare förklarar Bock att PD kräver större investering från start och att värdet kommer senare i processen. Med andra ord kan detta leda till ett mer kostnads- och tidseffektivt projekt i slutändan. Detta tack vare att mer precisa beslutfattningsprocesser skapats då aktörerna, exempelvis arkitekter, har alla ingående parametrar såsom byggkrav från start.

En ytterligare möjlighet som skapas av optimering är mer precisa design- och materialval, som i sin tur gör det möjligt att bygga mer hållbart och minimera koldioxidutsläpp. Detta stärks av Agi som beskriver att PD möjliggör ett effektivare och enklare arbetssätt, där det går att arbeta på detaljnivå. I sin tur leder det till att både rätt material väljs och att volymen material kan reduceras. Detta stärks av Granstam och Stark som förklarar att nyttan av en plats kan maximeras och mängden material optimeras med hjälp av parametriska analyser (Berglund, 2018). Flexibiliteten med verktygen och analyserna kan därmed bidra till att en optimal struktur kan uppnås, ur både design- och hållbarhetsperspektiv. Vidare kan mer genomarbetade ritningar reducera mängden överblivet byggmaterial, från både felbeställningar och byggfel som upptäcks längre fram i processen. Följden som skapas av detta är inte bara resurseffektivitet utan även kostnadseffektivitet.

En annan form av resurseffektivitet är återanvändning av tidigare kunskaper, som i sin tur möjliggör framställandet av komplicerade projekt. Wallgren menar att desto större och mer komplext projektet i fråga är, desto mer hjälpsamt är PD. Detta möjliggörs bland annat genom PDs databas där kunskap kan bevaras i form av verktyg, ritningar och script från tidigare projekt (Berglund, 2018; Hernandez, 2006). Genom att nyttja redan analyserade och

utvärderare verktyg reduceras felkällor. Om resurserna tas tillvara på och anpassas efter de nya projekten slipper hjulet återuppträffa gång på gång och se till att det inte begås samma typ av misstag igen. På så sätt kan både resurs- och kostnadseffektivitet uppnås genom de digitala verktygen.

5.1.2 Kravställningar i branschen

Kravställningar i byggbranschen har stor påverkan på hur de digitala verktygen används. Enligt Sellberg finns det idag snarare krav på digital dokumentation än på att de digitala verktygen ska bidra till att uppfylla en högre nivå. Sellberg menar också att det är möjligt att skapa bättre byggnader med digitala verktyg, men att det måste finnas incitament för att börja använda verktyg som PD. Detta problem har inte framgått i litteraturen men ett sätt att skapa incitament för användningen av PD kan vara att skifta kravställningen från dokumentation till någon form av resultat på exempelvis soltimmar eller vindstyrka. Hårdare krav skulle bidra till att det inte är tillräckligt att endast göra en analys, utan byggnaden kan behöva arbetas om utefter analysen om resultaten inte uppfyller ett visst krav. Här kan PD användas, både genom att det möjliggör snabbare analyser tidigare i projekten och då det är enklare att snabbt ta fram en ny design av byggnaden. Detta skulle kunna bidra till incitament för användandet av PD.

Däremot kan det bli en utmaning för de mindre företagen om kravställningen blir sådan att PD krävs. Taghipourarasteh (2021) menar att de programvaror som finns för PD ofta har en hög implementering- och anskaffningskostnad och samtidigt kräver en kraftfull hårdvara. Sellberg anser också att det krävs kraftfulla datorer när PD används eftersom fler designalternativ itereras fram. Det finns risk att de små företagen inte har tillgång till dessa kraftfulla hårdvaror vilket gör det svårare för dem att använda PD. I och med den höga implementeringskostnaden kan det ta längre tid för de små företagen att gå med vinst på PD och då pengar är en viktig drivfaktor kan detta hämma implementeringen. Samtidigt kan PD möjliggöra nya, annorlunda projekt och spara tid vilket kan göra den långa implementeringstiden och de höga anskaffningskostnaderna värt de i längden.

5.1.3 Bristande programmeringskunskap

Det finns en risk att tappa kontroll och förståelse för de digitala modellerna i och med att programmen blir smartare, vilket kan leda till felaktiga beslut. Det krävs erfarenhet av programmering för att kunna nyttja PD, saknas den erfarenheten blir PD snarare en svårighet för projekten än en möjlighet. Bengtsson förklarade att de digitala verktygen kan göra att modellen ser mer färdig ut än vad projektet egentligen är. Det går snabbt att skapa modeller med PD men det blir lätt att tappa förståelsen för vad som görs. Holzer (2015) menar likt Bengtsson att det finns en risk när PD används av oerfarna användare, att användarna kan tappa förståelse för byggkraven och byggprocessen. De som ser störst potential med PD är också de som är mer kunniga och erfarna av programmering. Även om verktyget har stor potential blir programmen aldrig bättre än personen som använder det och PD är därmed beroende av användarens kunskap. Denna kunskapsbrist kan i sin tur leda till att felaktiga beslut fattas på modeller som inte är färdiga.

Kunskapsbristen kan dessutom vara ett större problem än vad som framgått under intervjuerna eftersom alla respondenter har goda kunskapar kring PD. Det saknas därmed ett perspektiv gällande varför PD inte används. Kunskapsbristen i branschen kring digitala verktyg och avsaknaden av programmeringserfarenhet skapar samtidigt ett beroende av de få personer på företagen som kan använda PD. En konsekvens till detta är att implementeringen

av PD i dagsläget blir komplicerat. Jomah (2022) förklarar att den kunskapsbrist som finns hindrar utvecklingen av PD. Pacheco menar att när det är få på arbetsplatsen som kan PD bli projekten beroende av de personerna. Skulle de bli sjuka kan det leda till större problem som förseningar av projekt vilket blir kostsamt för alla inblandade. Det blir också stora problem för både företag och projekt om personerna som kan PD byter jobb eller av annan anledning slutar. Vidare kan detta leda till att det är bättre om ingen arbetar med PD istället för att en person gör det, vilket hindrar implementeringen.

Förutom beroendet av de enskilda personerna som kan PD, leder också kunskapsbristen till en rädsla för att använda PD. Sellberg menar att kan det skapas en extra belastning och rädsla för inläring av ytterligare digitala program för en ovan användare. Kunskapsbristen leder också till den långa upplärningstiden för PD. Det blir svårare att se en vinning med tidseffektiviseringen när programmet tar lång tid att lära sig. Däremot behöver upplärning av programmet bara göras en gång, men med datorvanan hos de nya unga arkitekterna blir denna upplärningstid kortare. Trots att aktörer lär sig använda PD kvarstår det enligt Sellberg och Taghipourarasteh (2021) fortfarande svårigheter med att parametrisera mjuka värden såsom trygghet. Det kan anses fyrkantigt att försöka sätta en siffra på trygghet men det krävs för användandet av PD. Det handlar om att vikta olika parametrar mot varandra för att hitta den optimala designen, alltså den design som bäst uppfyller de givna parametrarna för projektet.

5.2 Användarvänlighet och kompatibilitet

I detta delkapitel diskuteras de viktigaste resultaten i relation till litteraturstudien med avseende på användarvänligheten och kompatibiliteten mellan BIM och PD.

5.2.1 Parametrisk designs användarvänlighet

Det krävs en avvägning mellan att skapa ett program som är tillräckligt resultatgivande utan att minska användarvänligheten. Precis som Bengtsson anser finns det ett samband mellan krav på programmerings färdighet och användarvänlighet. Hubers (2012) menar att de program som kräver mer programmering är mindre användarvänliga. Parametriska mjukvaror som kräver en högre programmeringsnivå av användaren kan anpassas mer och därmed ge mer precisa resultat. Det innebär då att det finns en typ av frihet med PD som kräver en hög programmeringskunskap och tar lång tid att lära sig men som i sin tur leder till att kunna skapa egna verktyg och anpassa fler parametrar. Högre programmeringsnivå gör det möjligt till att kunna skapa bättre resultat. Mer frihet ger mindre användarvänlighet och vice versa. Därför krävs en viktning mellan ett program som ger bra resultat mot ett program med bra användarvänlighet.

Som användarvänligheten ser ut idag krävs det antingen att arkitekter blir bättre på programmering eller ett samarbete mellan arkitekter och programmerare för att programmen ska behålla sin frihet. Ett problem med användarvänligheten i dagsläget som Holzer (2015) lyfter fram är dels kunskapsbristen, dels att det är särskilt utmanande för seniora arkitekter att använda sig av dessa parametriska modeller. De seniora arkitekterna riskerar att använda PD på fel sätt vilket kan försvåra arbetet. Detta visar på att det finns en bristande utläring när det kommer till dessa typer av digitala verktyg. Vidare menar Ma et al (2021) att resurserna för att lära ut om PD också saknas. Sellberg uttrycker likt detta att logiken bakom programmering behöver komma in redan i utbildningen. För att kunna applicera specifika verktyg i branschen behövs kunskap om processen. Nyutbildade arkitekter med mer datorvana än tidigare kan vara de som krävs för en full implementering av PD. En risk med att arkitekter måste bli bättre på programmering är dock att om mängden programmeringen

ökar i deras utbildning blir det något annat läromoment som minskar. För att inte dra ner på de andra läromomenten kan allas kunskap nyttjas på ett optimalt sätt genom ett samarbete mellan programmerare och arkitekter. På så sätt kan friheten och de precisa resultaten behållas i de parametriska mjukvarorna eftersom arkitekten inte behöver ett program med enkel användarvänlighet.

5.2.2 Detaljeringsnivå eller kompatibilitet med BIM

Det finns ett samband mellan krav på programmeringsfärdigheter, användarvänlighet och kompatibiliteten mellan PD och BIM. De mer användarvänliga programmen, som kräver en lägre programmeringsfärdighet, är också de som har bättre kompatibiliteten med BIM. Agi anser exempelvis att mindre komplexa program som Dynamo både har bättre användarvänlighet och kompatibilitet med BIM än till exempel Grasshopper. Både Wallgren och Sellberg uttrycker under intervjuerna liknande tankar. Hubers (2012) visar också detta, han anser att kompatibiliteten mellan process-PD och BIM är sämre än kompatibiliteten mellan objekt-PD och BIM. Objekt-PD kräver mindre programmering än vad process-PD gör och har också bättre användarvänlighet.

Däremot är detaljeringsnivån lägre och frihetsgraderna minskar i de programmen med god kompatibilitet och användarvänlighet. Sellberg menar att detaljeringsnivån minskar när kompatibiliteten med BIM blir bättre. Detta kan jämföras med vad Ma et.al (2021) upptäckte då GD integreras i BIM, det begränsar antalet designelement och designscener. Vilgertshofer och Borrmann (2017) bekräftar detta och anser att när PD närmar sig BIM minskar flexibiliteten i programmen vilket begränsar antalet parametrar och därmed detaljeringsnivån. Däremot spelar det ingen roll hur hög detaljeringsnivån är och hur flexibelt programmet är om användaren inte förstår programmet. Det går inte heller att nyttja programmen om det inte är tillräckligt kompatibelt med BIM. Användarvänligheten och kompatibiliteten blir därför ur den aspekten den högsta prioriteten. Dock måste verktygen fortfarande uppnå en viss detaljeringsnivå för att överhuvudtaget vara till nytta för projektet. Programmet behöver vara tillräckligt detaljerat för att fördelarna med PD ska vara möjliga.

Samtidigt är det viktigt att arbeta i rätt detaljeringsnivå och i rätt program. Samma grad av detaljering krävs inte genom hela projektet och för många detaljer skapar tunga och svårarbetade filer. Finns exempelvis för många detaljer i designskedet kan det, likt vad Bengtsson anser, misstolkas som en färdig modell och skapa falska förhoppningar i tidigare skeden. Däremot behövs fler detaljer i projekteringsstadiet då modellen ska ligga till grund för produktion. En annan aspekt är huruvida det bästa är att gå mellan PD och BIM eller som Agi antyder att variera program i olika stadier av byggprojektet. BIM och PD är bäst i olika anseenden och behöver inte användas samtidigt. Detta stärks av Ma et al. som menar på att BIM program idag inte är tillräckligt flexibla till att definiera komplexa parametriska beroenden som däremot PD kan. Vidare är Bock och Sellberg inne på samma sak och menar på att PD ska användas inom rätt område där det gör som störst skillnad, exempelvis till att göra sol- och vindanalyser då det ger effektiva och tydliga resultat. Att ta fram flera olika designförslag och utvärdera vilket som är det optimala alternativet går fortare och görs bäst med PD. Däremot finns möjlighet att snabbt producera ritningar, ta fram handlingar och skapa detaljer med BIM-modeller och BIM är optimalt för att dokumentera byggnader. Vid användning av BIM och PD var för sig blir kompatibiliteten inget hinder och därav borde rätt program användas vid mest lämpat tillfälle.

5.3 Arkitektens roll och förändring av arbetsprocessen

Följande delkapitel tar upp diskussionen av hur arkitektens roll förändras vid implementering av PD samt den bidragande förändringen i byggprocessen som stort. Diskussionen sker genom att de viktigaste resultaten inom området ställs i relation med litteraturen.

5.3.1 Ökad kunskapsnivå inom PD öppnar dörrar för arkitekten

I takt med att arkitektens kunskapsnivå ökar inom PD, desto mer arkitektur kan utvinnas. Högre efterfrågan av kompetensnivå inom programmering kan därför komma att efterfrågas, men om högre nivå uppnås, öppnas många dörrar för bland annat de arkitektoniska värdena. Som Bock förklarar kräver PD att många av de ingående parametrarna behöver finnas med från start. Denna tillgång till information i kombination med de verktygen i programmet som är utformande för de arkitektoniska värdena, kan ge utrymme för mer arkitektur.

Med hjälp av PD skapas mer faktabaserade ritningar som leder till mer kvalificerade arkitekturförslag. Vid intervju med Agi har det framgått att arkitekten tidigare haft en tendens att försvinna på vägen i takt med att fler byggkrav läggs på. Något som egentligen inte hade behövt ske om arkitekten hade haft mer info om de ingående kraven från start. Detta stärks av Wallgren som förklarar att arkitektens förslag blir mer slagkraftiga med PD. Vidare leder det till att fler byggnader av högre arkitektoniskt värde kan produceras. Arkitektens arbete blir inte överkört av de ökade bygg- och funktionskrav, utan kan istället samarbeta med varandra. Ett samarbete som i slutändan kan leda till att arkitekten och kraven inte bara blir kompatibla, utan dessutom hjälper varandra då fler lösningar synliggörs.

Nya lösningar och ett roligare arkitektoniskt arbete kan även skapas av ett förändrat fokus i arkitekternas arbete. De kan fokusera på de kreativa delarna i sitt arbete såsom genomarbetade detaljer i planritningen eller fasadens intryck, istället för repetitiva tidskrävande moment. PD ger även utrymme, enligt Jomah (2022), att utforska nya geometriska former och mönster som inte är möjliga med dagens traditionella designmetoder. Detta i sin tur skapar mervärde av arkitekten som aktör och kan minimera den rädsla som Granstam och Stark sett kring att yrket kan bli borteffektiviserat (Berglund, 2018).

Denna rädsla för förändring som PD medför kan i sin tur blir ett hinder för dess utveckling då det krävs en förståelse för att synliggöra möjligheterna. Enligt Granstam och Stark (2018) kan det vara svårt att ändra på det arbetssätt som används under lång tid, och därför krävs det enligt Holzer (2015) en större utbildning inom sektorn för att aktörerna ska inse värdet av PDs förändrade arbetssätt. Om det visas i branschen vilka möjligheter PD öppnar upp för kan nyfikenheten och kvaliteten övervinna rädslan för att bli ersatt. Detta stärks i resultatet där samtliga respondenter trycker på kunskapsluckorna. Både Agi och Bengtsson upplever att det finns en rädsla att bli ersatt hos de som inte har mycket kunskap om programmet, medan Sellberg upplever att de arkitekterna som har mer kunskap om ämnet vill använda PD i sitt arbete. Detta tyder på att i takt med att arkitekterna får bättre inblick och kunskap om PD ändras inställningen då möjligheterna synliggörs. När programmet inte upplevs lika främmande blir dess medförda förändring av arbetssätt inte lika skrämmande. Vidare menar både Taghipourarasteh (2021) och Sellberg att det finns svårigheter med att parametrisera mjukare värden, därmed behövs arkitektens expertis och erfarenhet oavsett PD eller ej.

5.3.2 Hela byggbranschen påverkas vid implementering av PD

Vid implementering av PD är det inte bara arkitekten som påverkas utan alla delaktiga aktörer i byggprocessen. Både från Sävenstedt (2021) och Taghipourarasteh (2021) framgår

det hur PD underlättar bättre samarbete mellan arkitekter och andra discipliner. Bock förklarar att mer jobb tidigareläggs i projekten med PD. Detta innebär att när arbetsprocessen kräver mer info från start sätter det krav på fler discipliner att ha tillgång till alla ingående parametrar som efterfrågas. Det leder i sin tur vidare till att de olika disciplinerna måste hänga med i utvecklingen av digitaliseringen och PD. Om kommunikationen däremot inte fungerar aktörerna emellan kan PD försvåra arbetet. Vidare konstaterar Agi att det krävs en omvändning i branschen. Agi förklarar att när projekten är färdigställda arkiveras informationen i en mapp och glöms bort i nästa projekt. Det handlar om kunskap som hade kunnat användas som beslutsunderlag i nya projekt. Genom tillgången av tidigare kunskap undviks att hjulet uppfins på nytt. Med andra ord kan en omvändning i branschen innebära bättre kontakt emellan discipliner och projekt som använder sig av tidigare kunskap för bättre beslutsunderlag.

Däremot finns det andra faktorer bortom själva användningen av PD som förhindrar dess användning i större skala. Pacheco nämner exempelvis hur vissa discipliner kommer in för sent i byggprocessen vilket hindrar användningen av PD i tidiga skeden. Enligt Pacheco är denna problematik störst inom projekt i den offentliga sektorn där information om leverantörerna för de specifika produkterna kommer alldeles för sent. Anledningen förklarar Pacheco är på grund av att främja rättvis konkurrens mellan företagen och undvika korruption. Detta innebär dock att arkitekterna inte vet vilka företag som kommer tillverka komponenterna förens slutet av projektet och då är det för sent för att använda PD. Detta sätt att arbeta tar bort fördelarna som PD kan skapa. Respektive disciplin behöver alltså involveras tidigare i byggprocessen och leverantörer av produkter måste bestämmas tidigt för att PD ska kunna nyttjas.

En vidare följd vid användning av PD anser Agi och Sellberg är att den nuvarande debiteringsmodellen som är timbaserad ligger i konflikt med det förändrade arbetssättet som tekniken skapar. Det som förr tog en vecka tar helt plötsligt en dag att göra och faktureringen kommer i kläm när företagen tjänar mindre pengar på den debiteringsmodellen som finns idag. Sellberg förklarar att aktören i fråga borde blicka ut och kolla på hur IT-konsulterna gör som jobbar mer mot projekt än på timme. Han fortsätter genom att konstatera att debiteringsmodellen enligt honom är det största hindret mot implementering av PD. Detta stärks av Granstam och Stark som betonar att en övergång från timarvode till ett fast pris krävs för att implementera PD i större utsträckning (Berglund, 2018). Med andra ord krävs det ett förändrat tankesätt hos arkitekterna för att se att ett tidseffektivt arbete inte är något dåligt. En förändrad debiteringsmodell kan motivera värdet av PD och att se möjligheterna av att testa en massa alternativ i stället för enstaka som tidigare.

5.4 Metoddiskussion

Metodens tillvägagångsätt bygger på en litteraturstudie, intervjustudie och fallstudie för att besvara de uppsatta frågeställningarna. Intervjustudien innebar intervjuer där majoriteten var arkitekter eftersom studiens syfte byggde på ett fokus på arkitektens roll och arbetsdel i designstadiet. Hade fokus i stället varit på PD inom branschen i stort hade intervjuer med olika yrkesroller varit relevant för att uppnå en större bredd. I denna rapport motiverades valet av att smalna av yrkesrollerna till majoriteten arkitekter för att undvika ett diffust resultat som i sin tur kan leda till en mindre trovärdig rapport. Valet av att avgränsa respondenterna bidrog till att svaren till stor del inte varierade men det bidrog till ett tydligt resultat med faktorer som är av betydelse för rapporten. Antalet respondenter ansågs tillräckligt men för ett mer nyanserat resultat hade fler behövts intervjuats för att ingen ny information skulle uppkomma.

Intervjurespondenterna valdes utifrån att de besitter kunskap om PD och kan besvara frågeställningarna. En mångsidighet kunde trots liknande yrkesroller uppnås eftersom respondenterna arbetar med PD på olika sätt och i olika program. En strategi för att ytterligare nyansera rapporten hade kunnat vara att intervjua respondenter som inte har kunskap om PD för att förstå varför det inte arbetas med. Anledningen till att det inte valdes grundar sig i att personerna inte hade kunnat svara på frågorna i helhet utan bara enstaka frågor.

Fallstudien valdes för att skapa en uppfattning om hur det i praktiken till skillnad från teorin faktiskt fungerar. Fallstudien gav faktiska case som användes som en stark källa vilket nyanserade resultatet. Det skulle eventuellt lagts mer vikt i casen om fler analyserades, men eftersom PD fortfarande är så pass nytt är utbudet väldigt begränsat och mycket är sekretessbelagt.

Metodvalet av semistrukturerade intervjuer visade sig vara en lämplig metod för att kunna utforma ett resultat baserat på erfarenhet och uppfattning men samtidigt betrakta PD i dess helhet. Genom att ta fram en intervjuguide med specifika frågor som behövde besvaras kunde en röd tråd genomgå under intervjun. Samtidigt som det fanns något att förhålla sig till bidrog strategin till att intervjun gick åt det håll deras kompetens var riktat mot. För ett smalare resultat hade strukturerade intervjuer varit lämpligt men eftersom en nyanserad rapport eftersträvas ansågs det inte vara relevant.

Litteraturstudien omfattas främst av läroböcker, digitala källor och vetenskapliga artiklar. Rapportens område innefattar ett ämne som ständigt utvecklas vilket bidrog till att tidsaspekten och trovärdigheten noga behövde kontrolleras. Många källor beskrev användandet av PD inom infrastruktur och konstruktion men författarna valde att vara selektiva till valet av källor. Fokus var att använda källor som berör många delar av PD och befinner sig inom rätt område i branschen. En del av källorna var skrivna utanför Sverige vilket ansågs rimligt eftersom två av casen är belägna utomlands.

6. Slutsats

I följande kapitel redovisas slutsatser och framtida forskning kopplat till frågeställningen och syftet med arbetet. Syftet med rapporten är att kartlägga hur det digitala verktyget parametrisk design (PD) kan implementeras i byggbranschen och precisera beslutsunderlag. Vidare identifierar kartläggningen möjligheter och utmaningar som implementering av PD bidrar med, dess användarvänlighet och kompatibilitet med BIM-programvaror samt hur arkitektens roll och byggprocessen i stort påverkas.

6.1 Konkreta slutsatser

Kartläggningen visar att PD är tidseffektivt vilket i sin tur kan leda till lägre projektkostnader och frigjord tid till optimering av projekt. Detta skapar säkrare beslutsunderlag som gör att risker kan förutses samt minimerar mängden byggfel längre fram i processen. Samtidigt leder användandet av PD till optimering av design- och materialval vilket gör det möjligt att bygga mer hållbart. Överblivet byggmaterial kan reduceras vilket inte bara är klimatsmart utan även ekonomiskt. PD möjliggör dessutom komplicerade projekt och kan skapa bättre byggnader genom flexibilitet och optimering. Däremot finns en rädsla för ett förändrat arbetssätt som i sin tur hämmar PDs utveckling. För en full implementering krävs incitament i form av hårdare kravställning från beställare på digitala resultat i stället för digitala dokumentationskrav.

Vidare visar resultatet att det krävs ett resultatgivande PD-program som samtidigt har hög användarvänlighet och är kompatibelt med BIM för att PD ska nyttjas på ett optimalt sätt. Vid skapande av mjukvaruprogram för PD kan dessa faktorer vara svåra att kombinera, vilket i sin tur kan försvåra användningen. De program som kan skapa bäst resultat kräver ofta mer programmeringskunskaper, vilket kan göra arbetet svårt för en arkitekt. Genom en bredare förståelse för PD och programmering kan både bättre resultat skapas och beroendet av de få personer som idag arbetar med PD minskas. Samtidigt visar resultaten en högre kunskapsnivå av PD skapar mer utrymme och tid för det kreativa arbetet och mer välarbetade detaljer för arkitekten. Dessutom möjliggör PD för nya arkitektoniska uttryck. Resultatet tyder även på att arkitektens förslag blir mer faktabaserade och kvalificerade med hjälp av PD, arkitekten får större möjlighet att påverka projektet.

Utöver de ovanstående slutsatserna bör nedanstående observationer betonas extra.

- Genom PD kan kunskap bevaras i form av verktyg och script från tidigare projekt. Med återanvänd kunskap och PD som verktyg behöver inte hjulet återuppfinnas gång på gång.
- Som resultat av bristande programmeringskunskap krävs antingen att arkitekter blir bättre på programmering eller ett mer utbrett samarbete mellan arkitekter och programmerare.
- Rätt designprogram bör användas vid rätt tillfälle för att anpassas efter behov. Tidigt i designskedet behövs flera olika designförslag, där passar PD bäst. Under den senare delen av projektering behöver ritningar produceras och dokumentation krävs, då är BIM-verktyg mest lämpade.

- Dagens debiteringsmodell ligger i konflikt med det förändrade arbetssätt PD skapar. Det krävs en ny modell med en övergång från timbaserad betalning till fast pris för att ta hänsyn till tidseffektiviteten PD bidrar med.
- För att skapa kvalitativa beslutsunderlag med hjälp av PD efterfrågas en tidigare involvering och bättre kontakt emellan discipliner. Leverantörer av produkter behöver bestämmas tidigt i byggprocessen, speciellt inom den offentliga sektorn, för att möjliggöra tidigare tillgång till parametrar.

Sammanfattningsvis kan PD teoretiskt sätt spara tid, pengar och skapa bättre byggnader anpassade efter specifika krav. Däremot finns det idag hinder för användning av PD. För att göra implementering av PD möjlig efterfrågas tidigare samarbeten mellan yrkesgrupper och mer programmering i arkitektutbildningen. Vidare krävs incitament för användning av PD såsom förändrad kravställning och debiteringsmodell. Det i sin tur skapar utrymme för arkitektens kreativa arbete och leder till en säkrare beslutfattningsprocess.

6.2 Framtida forskning

Underlaget som analyserats i rapporten har uppmärksammat intressanta idéer om framtida forskning inom parametrisk design. Tekniken har stor potential att effektivisera byggprocessen. Däremot var många av projekten vi stött på under kartläggningens gång i de tidiga skedena av byggprocessen. Detta bidrog till att många ej var offentliga och inte tillgängliga som analysunderlag i denna undersökning. För att skapa en mer välgrundad analys av vilka konsekvenser som skapas och var potentialen är som störst med PD kan framtida forskning studera dessa kommande praktiska projekten. Ett exempel på datainsamling är resurs- och kostnadseffektivitet.

Vidare har förändring av dagens väletablerade arbetssätt uppmärksamrats vid implementering av PD. För att skapa förståelse kring förändringarna kan en djupare analys göras av hur kurvan som visar möjlighet att påverka i figur ett kan komma att förändras, om byggbranschen välkomnar implementering av PD av en högre grad.

Ytterligare har det under arbetes gång påträffats goda möjligheter för framtida forskning kring PD inom andra discipliner. Det har exempelvis via Hallgren framgått potential för stor nytta inom konstruktionsyrket, bland annat vid kontroll av beräkningar.

Referenser

- Anjou, M. (2019). *Den ineffektiva byggbranschen - en förändringsagenda* (1 uppl.). Ekerlids Förlag.
- Autodesk. (2023). *Spacemaker*. Hämtad 23 mars 2023 från <https://www.autodesk.com/products/spacemaker/overview>
- Berglund, J. (20 april 2018). *Parametrisk design - vad är det egentligen?*. SWECO. <https://blogs.sweco.se/parametrisk-design/>
- Björkdahl Ordell, S. (2007). *Lära till lärare: Att utveckla läraryrket, vetenskapligt förhållningssätt och vetenskaplig metodik*. Liber.
- Boverket. (2018). *Kartläggning av fel, brister och skador inom byggsektorn*. (2018:36). <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2018/kartlaggning-av-fel-brister-och-skador-inom-byggsektorn.pdf>
- Boverket. (14 maj 2021). *Olika skeden i byggandet - PBL kunskapsbanken*. https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/metod_byggande/skeden/
- Bryman, A. (2011). *Samhällsvetenskapliga metoder* (2. uppl.). Liber.
- Bryman, A., & Bell, E. (2017). *Företagsekonomiska forskningsmetoder* (3. uppl.). Liber.
- CCADOS. (10 augusti 2021). *REVIT modellering med BIM*. <https://cados.se/revitmodelleringochbim/>
- Dalen, M. (2015). *Intervju som metod* (2. uppl.). Gleerups Utbildning AB.
- Denscombe, M. (2018). *Forskningshandboken - För småskaliga forskningsprojekt inom samhällsvetenskaperna* (4. uppl.). Studentlitteratur.
- Dynamo. (u.å.). *What is Dynamo?* Hämtad 21 mars 2023 från https://primer.dynamobim.org/01_Introduction/1-2_what_is_dynamo.html
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (2. Uppl.). John Wiley and Sons, Inc.
- Ejvegård, R. (2009). *Vetenskaplig metod* (4. uppl.). Studentlitteratur.
- Eklund (2012). *Datainsamlingsmetoder. Kvalitativt orienterade metoder*. Pedagogiska fakulteten, Åbo Akademi. <https://docplayer.se/1091534-Kursmaterial-2012-1-datainsamlingsmetoder-kvalitativt-orienterade-metoder-gunilla-eklundpedagogiska-fakulteten-abo-akademi-vasa.html>

- Eltaweel, A., & SU, Y. (2017). Parametric design and daylighting: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1086–1103. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.02.011>
- Europaparlamentet. (29 mars 2021). *Vad är artificiell intelligens och hur används det?*. <https://www.europarl.europa.eu/news/sv/headlines/society/20200827STO85804/vad-ar-artificiell-intelligens-och-hur-anvands-det>
- Grasshopper. (2023). *Grasshopper*. Hämtad 21 mars 2023 från <https://www.grasshopper3d.com/>
- Gunnarsson, R. (2020). *Urvalsstrategier och datainsamling*. Infovoice. <https://infovoice.se/urvalsstrategier-och-datainsamling/>
- Hernandez, C. R. B. (2006). Thinking parametric design: Introducing parametric Gaudi. *Design Studies*, 27(3), 309–324. <https://doi.org/10.1016/J.DESTUD.2005.11.006>
- Holme, I. M., & Solvang, B. K. (1997). *Forskningsmetodik - Om kvalitativa och kvantitativa metoder* (2. uppl.). Studentlitteratur.
- Holzer, D. (2015). BIM and Parametric Design in Academia and Practice: The Changing Context of Knowledge Acquisition and Application in the Digital Age. *SAGE*, 13(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1260/1478-0771.13.1.65>
- Hubers, H. (2010). *COLLABORATIVE PARAMETRIC BIM*. Cumincad. http://papers.cumincad.org/data/works/att/ascaad2010_127.content.pdf
- Hubers, H. (2012). Collaborative Design of Parametric Sustainable Architecture. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 6(7), 812–821. <https://pdfs.semanticscholar.org/2fa0/b9e424e4d2e69f5ca52d56b43836402259fe.pdf>
- Jabi, W. (2013). *Parametric Design for Architecture*. Laurence King Publishing.
- Jomah, A. (2022). *The value of parametric design and its effects on architecture*. Bootcamp. <https://bootcamp.uxdesign.cc/the-value-of-parametric-design-and-its-effects-on-architecture-22968d9404bd>
- Justensen, L., & Mik-Meyer, N. (2011). *Kvalitativa metoder - från vetenskapsteori till praktik*. Studentlitteratur.
- Ladybug. (2022). *Ladybug Tools*. Hämtad 23 mars 2023 från <https://www.ladybug.tools/>
- Lee, Y. (2015). The parametric design genealogy of Zaha Hadid. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 14(2), 403–410. <https://doi.org/10.3130/JAABE.14.403>
- Ma, W., Wang, X., Wang, J., Xiang, X., & Sun, J. (2021). Generative design in building information modelling (Bim): Approaches and requirements. *Sensors*, 2021(16). <https://doi.org/10.3390/s21165439>
- Nordstrand, U. (2008). *Byggprocessen* (4. uppl.). Liber.

- Ottosson, H. (2015). *Vad, när, hur och av vem: praktisk projektledning inom bygg-, anläggnings- och fastighetsbranschen* (2. uppl.). Svensk Byggtjänst.
- Patel, R., & Davidson, B. (2019). *Forskningsmetodikens grunder - Att planera, genomföra och rapportera en undersökning* (5. uppl.). Studentlitteratur.
- Rhinoceros. (2023). *Features*. Hämtad 21 mars 2023 från <https://www.rhino3d.com/features/>
- Riddell, C., & Zuefeldt, A. (2021, December 29). *The difference between generative design and parametric design - Applied Software*. ASTI. <https://www.asti.com/the-difference-between-generative-design-and-parametric-design/>
- Samuelsson O. (2021). *Digitaliseringssatsningar i den svenska bygg-och installationsbranschen*. Svenska Byggbranschens utvecklingsfond. <https://www.sbuf.se/media/zgindbby/digitaliseringsinitiativ-sbuf-slutrapport-2021-01-07.pdf>
- Sävenstedt, A. (2021). *DigiGrow - från insikt till handling*. (S-2020-01). Smart Built Environment. <https://smartbuilt.se/media/2j3h2oze/slutrapport-digigrow.pdf>
- Taghipourarasteh, E. (2021). *Parametric Design in Architecture Based on BIM*. [Masteruppsats, University of applied sciences]. Theseus. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/784888/Taghipourarasteh_Elnaz.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Vetenskapsrådet. (2017). *God forskningsed*. vr. https://www.vr.se/download/18.2412c5311624176023d25b05/1555332112063/God-forskningssed_VR_2017.pdf
- Vilgertshofer, S., & Borrmann, A. (2017). Using graph rewriting methods for the semi-automatic generation of parametric infrastructure models. *Advanced Engineering Informatics*, 33, 502–515. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2017.07.003>

Bilagor

Bilaga 1

Frågebank

Bilaga 2

Samtyckesformulär

Frågebank

Bakgrund

1. Position/Roll/Arbetsuppgifter
2. Utbildning

Designskedet

3. Hur ser din medverkan i designprocessen ut idag i projekten?
- Vilka delar är mest utmanande?
4. Upplever du att samhället ställer högre krav på designprocessen?
5. Vilka fördelar ser du med de mer analoga och traditionella designprocesser som används idag?

Möjligheter och utmaningar

6. Vad ser du för möjligheter och utmaningar med parametrisk design? (Fokusområde 1, förbestämd)
7. Hur tror du att parametrisk design kan underlätta vid tidiga designskeden, idé- och förstudie?
8. Vid användandet av parametrisk design i tidiga skeden, hur tror du efterföljande skeden i byggprocessen kan komma påverkas? (Fokusområde 1, förbestämd)
9. Vid vilken storlek på projekt och komplexitetsnivå anser du att det är mest lönsamt att använda PD?

Kompabilitet och användarvänlighet

10. Hur upplever du kompabiliteten med BIM-program och parametrisk design (idag)? (Fokusområde 2, förbestämd)
11. Tror du att det finns utmaningar med översättning av dagens kravställningar till parametrar som kan fungera som indata i ett PD-program?
12. Hur upplever du användarvänligheten med de program du använt för parametrisk design? (Fokusområde 2, förbestämd)

Arkitektens roll och förändring av arbetsprocessen

13. Hur tror du arbetsprocessen förändras som resultat av denna automatisering av byggkrav? (Fokusområde 3, stående fråga)
14. Hur kan arkitektens/aktörens roll förändras vid en större implementering av parametrisk design? (Fokusområde 3, stående fråga)

15. Vilka aktörer kommer behöva behärska PD vid en större implementering?
16. Tror du att nya arbetsroller kan komma växa fram vid implementering?
17. Hur upplever du inställningen till det förändrade arbetssättet i byggbranschen?
18. Tror du att en högre kunskapsnivå inom programmering behövs på arkitektsidan för att förstå och behärska processen?
19. Kan arkitektens kreativa arbete äventyras vid en större användning av PD?

Samtyckesformulär

Om författarna av studien:

Namn: Lina Engelbrektsson, Julia Glans, Kamelia Gradinarska och Alice Hedenberg

Mailadress: lina.engelbrektsson@gmail.com

Universitet: Chalmers Tekniska Högskola

Program: Civilingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

Studiens mål:

Målet är att kartlägga innovativ digitalisering inom byggsektorn med fokus på parametrisk design. Studera hur AI kombinerat med människans intelligens kan skapa kvalitativa resultat och vad det kan finnas för utmaningar och möjligheter.

Medgivande

- Jag har tagit del av grundläggande information om författarna och studiens mål.
- Mitt deltagande i intervjun är frivilligt och jag har blivit informerad om dess syfte med deltagandet.
- Jag är medveten om att intervjun kommer att spelas in i ljudformat.
- Jag är medveten om att jag när som helst under och efter intervjun kan avbryta mitt deltagande.
- Jag ger mitt medgivande till ovanstående författare att dokumentera, bearbeta och publicera den information som samlas in under intervjun. Även handledare och examinator för arbetet på Chalmers Tekniska Högskola kan eventuellt få tillfällig tillgång till materialet.

Jag ger mitt medgivande om att benämnas vid för- och efternamn i studien.

Ja Nej

Ort/datum

Namnteckning

Namnförtydligande



CHALMERS