



**CHALMERS**

# 3D-printingens framtid i den svenska byggbranschen

En undersökning av 3D-printing som byggmetod med avseende på kostnader, logistik och hållbarhet

Kandidatarbete inom teknikens ekonomi och organisation

GABRIEL GLÄNTE  
JOEL GRÅSJÖ  
ALEXANDER HAGLUND  
HAMPUS JANSSON  
JESPER MÖLLBRANT  
ERIK RUDBERG

**INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION  
AVDELNINGEN FÖR INNOVATION AND R&D MANAGEMENT**

---

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2023  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

# **The Future of 3D Printing in the Swedish Construction Industry**

A Study of 3D Printing as a Construction Method in Regard to Costs, Logistics and Sustainability

## **3D-printingens framtid i den svenska byggbranschen**

En undersökning av 3D-printing som byggmetod med avseende på kostnader, logistik och hållbarhet

Gabriel Glänte  
Joel Gråsjö  
Alexander Haglund

Hampus Jansson  
Jesper Möllbrant  
Erik Rudberg

Kandidatarbete inom teknikens ekonomi och organisation  
Avdelningen för Innovation and R&D Management  
Chalmers tekniska högskola  
Göteborg, Sverige 2023

# Förord

Detta kandidatarbete är skrivet under vårterminen 2023 vid avdelningen Innovation and R&D Management på institutionen för teknikens ekonomi och organisation på Chalmers tekniska högskola. Studien handlar om hur 3D-printing av stommar påverkar byggproduktionen i den svenska byggbranschen med avseende på kostnader, logistik och hållbarhet. Samtliga sex av rapportens författare studerar civilingenjörsprogrammet Industriell Ekonomi.

Studien har genomförts genom intervjuer med olika företag. Vi är tacksamma för er som valt att ställa upp på intervju. Ni har bidragit med ovärderlig kunskap och erfarenhet.

Vi vill även rikta ett stort tack till vår handledare Kaj Suneson som med stort engagemang väglett oss i arbetet.

Chalmers tekniska högskola  
Göteborg, Sverige  
10 maj, 2023

Gabriel Glänte  
Jesper Möllbrant  
Alexander Haglund  
Joel Gråsjö  
Hampus Jansson  
Erik Rudberg

# **Abstract**

## **Problem**

Rising costs of materials have resulted in an increase of the total cost of construction projects. There are indications that large cost savings are possible with more efficient material handling and better planning. The industry uses a lot of raw materials and generates a third of all the world's waste while also being one of the most injury prone industries. Streamlining the industry by incorporating new technologies, such as 3D printing, could have positive effects.

## **Aim**

The aim of the study was to qualitatively examine how 3D printing building frames could affect the Swedish construction industry with respect to costs, logistics and sustainability.

## **Theoretical framework**

The study was based on analyzing the potential of the technology based on costs, logistics and sustainability. The result was then discussed in regard to innovation and business economic theories.

## **Method**

The method of the study consisted of qualitative interviews. The interviews were semi-structured in nature which allowed for efficient interviews with the ability to get more thorough answers when necessary. The interviewees consisted of 4 companies that work with 3D printing and 6 companies established in the Swedish construction industry.

## **Results and Implications**

The results indicate that there is potential in the technology, including reduced material consumption, decreased overall transportation needs, reduced labor requirements, a less physically demanding workplace, and decreased susceptibility to work related accidents. In addition to these aspects, the technology also presents opportunities for increased architectural freedom at similar costs regardless of architectural complexity. However, the technology also has weaknesses, such as requiring extensive development investment costs, currently higher material costs, and further negative impact compared to alternatives. The technology is somewhat sensitive to weather conditions and may give rise to new workplace accidents in the interaction between robotics and humans.

There are also questions about the magnitude of the positive aspects compared to existing manufacturing methods, such as prefabrication, specifically regarding building frames. The industry lacks willingness to invest while valuing and possessing experience, which can hinder the adoption of the technology. Overall, it is concluded that the effects of the technology are not as pronounced compared to prefabrication.

# Sammandrag

## Problem

Stigande materialkostnader har lett till att den totala kostnaden på byggprojekt ökat. Det finns indikationer på att stora delar av kostnaderna kan reduceras med effektivare materialhantering och planering. Branschen har stora råvarubehov och genererar en tredjedel av världens avfall och är dessutom en av de mest skadedrabbade. En effektivisering av industrin med nya tekniker, som 3D-printing, skulle kunna få positiva effekter.

## Syfte

Studiens syfte var att kvalitativt undersöka hur 3D-printing av stommar kan påverka byggproduktionen i den svenska byggbranschen med avseende på kostnads-, logistik- och hållbarhetsaspekter.

## Teoretiskt ramverk

Undersökningen utgick från att analysera gångbarheten gentemot etablerade metoder utifrån kostnader, logistik och hållbarhet. Resultatet diskuterades vidare utifrån affärsmässiga, innovations- och företagsekonomiska teorier.

## Metod

Studiens metod utgjordes av kvalitativa intervjuer. Intervjuerna var sedan av semistrukturerad karaktär därför att kunna genomföra intervjuer med effektivitet med möjlighet att anpassa och få mer detaljerade svar. Intervjuerna genomfördes med ett urval av 4 företag inom 3D-printing samt med 6 svenska etablerade byggföretag för att säkerställa ett representativt och varierat urval.

## Resultat och implikationer

Resultatet visar att det finns potential hos tekniken, bland annat genom minskad materialåtgång, minskat totalt transportbehov, reducerad mängd arbetskraft, mindre fysiskt krävande och minskad skadebenägenhet. Utöver dessa aspekter visar tekniken även på möjligheter till ökad arkitektonisk frihet till i stort sett samma kostnadsbild. Tekniken har även svagheter, bland annat krävs omfattande investeringskostnader för utveckling, dyrare materialkostnader i dagsläget samt att materialet har ökad negativ påverkan på klimatet gentemot alternativ. Tekniken har viss väderkänslighet och kan ge upphov till nya skadesituationer i samspelet mellan robotik och människa.

Det finns även frågetecken kring storleksordningen av de positiva aspekterna gentemot existerande tillverkningsmetoder, som prefabricering, gällande stombygge. Branschen saknar investeringsvilja samtidigt som erfarenhet värderas och existerar, vilket kan motverka att tekniken tar fäste. Sammantaget konstateras att teknikens effekter inte är lika påtagliga jämfört med prefabricering.

# Innehållsförteckning

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Inledning</b>   | <b>9</b>  |
| 1.1 Bakgrund   | 9         |
| 1.1.1 3D-printing  | 9         |
| 1.1.2 Dagens byggverksamhet                                      | 10        |
| 1.1.3 Marknadsöversikt   | 12        |
| 1.1.4 Bygglogistik   | 12        |
| 1.1.5 Ekologiska och sociala externaliteter                      | 13        |
| 1.2 Syfte  | 13        |
| 1.3 Problemdefinition  | 13        |
| 1.3.1 Kostnader  | 13        |
| 1.3.2 Logistik   | 14        |
| 1.3.3 Hållbarhet   | 15        |
| 1.4 Frågeställningar   | 16        |
| 1.5 Avgränsningar  | 16        |
| <b>2 Ekonomiska ramverk</b>                                      | <b>17</b> |
| 2.1 Porters femkraftsmodell                                      | 17        |
| 2.2 Stordriftsfördelar   | 17        |
| 2.3 Increasing returns to adoption                               | 17        |
| 2.4 Orsaker till slöseri   | 18        |
| 2.5 Processinnovation  | 19        |
| 2.6 Produkt-processmatrisen, flexibilitet och tekniska förmågor  | 19        |
| 2.7 Produktionsexternaliteter och politiska åtgärder inom teknik | 20        |
| 2.8 Just-in-time   | 20        |
| <b>3 Metod</b>   | <b>21</b> |
| 3.1 Kvalitativ och kvantitativ forskning                         | 21        |
| 3.2 Litteraturoversikt   | 21        |
| 3.3 Intervjuer   | 22        |
| 3.4 Urval  | 22        |
| 3.5 Intervjuprocessen  | 23        |
| 3.6 Analysmetod  | 24        |
| 3.7 Validitet och reliabilitet                                   | 25        |
| <b>4 Resultat</b>  | <b>26</b> |
| 4.1 Bolag etablerade i den svenska byggindustrin                 | 26        |
| 4.1.1 Kostnader  | 26        |
| 4.1.2 Logistik   | 28        |
| 4.1.3 Hållbarhet   | 30        |
| 4.1.4 Kommentarer om 3D-printing                                 | 31        |
| 4.2 3D-printingbolag   | 32        |
| 4.2.1 Effekter på kostnader                                      | 32        |
| 4.2.2 Effekter på logistik                                       | 33        |
| 4.2.3 Effekter på hållbarhet                                     | 34        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>5 Analys</b> .....   | <b>36</b> |
| 5.1 <i>Kostnader</i> .....  | 36        |
| 5.1.1 Investeringskostnader.....                                  | 36        |
| 5.1.2 Materialkostnader.....                                      | 36        |
| 5.1.3 Tillverkningskostnader.....                                 | 37        |
| 5.2 <i>Logistik</i> .....   | 37        |
| 5.2.1 Administration.....   | 38        |
| 5.2.2 Transport.....  | 38        |
| 5.2.3 Lagerhållning.....  | 39        |
| 5.2.4 Förseningar.....  | 39        |
| 5.3 <i>Hållbarhet</i> .....                                       | 39        |
| 5.3.1 Ekologisk hållbarhet.....                                   | 39        |
| 5.3.2 Social hållbarhet.....                                      | 40        |
| <b>6 Diskussion</b> .....   | <b>42</b> |
| 6.1 <i>Kostnader</i> .....  | 42        |
| 6.1.1 Tilltagande skalavkastning.....                             | 42        |
| 6.1.2 Stordriftsfördelar.....                                     | 43        |
| 6.1.3 Major/minor process innovation.....                         | 43        |
| 6.1.4 Kritisk diskussion om 3D-printings effekter på slöseri..... | 44        |
| 6.1.5 Riskhantering.....  | 45        |
| 6.1.6 Porters femkraftsmodell.....                                | 45        |
| 6.2 <i>Logistik</i> .....   | 46        |
| 6.2.1 Just-in-time.....   | 46        |
| 6.2.2 Volym kontra variation.....                                 | 47        |
| 6.2.3 Minskat behov av extern lagerhållning.....                  | 47        |
| 6.3 <i>Hållbarhet</i> .....                                       | 48        |
| 6.3.1 Social påverkan.....  | 48        |
| 6.3.2 Globala målen.....  | 49        |
| 6.3.3 Externaliteter.....   | 50        |
| 6.4 <i>Framtida forskningsområden</i> .....                       | 51        |
| <b>7 Slutsats</b> .....   | <b>52</b> |
| <b>Referenslista</b> .....  | <b>54</b> |
| <b>Bilagor</b> .....  | <b>58</b> |
| <i>Bilaga A Ramverk intervju scheman</i> .....                    | 58        |

# 1 Inledning

År 1983 introducerades den första 3D-printern och under de senaste decennierna har 3D-printing blivit en av de snabbast växande teknologierna (Sakin & Kiroglu, 2017) på grund av fördelar i förhållande till anpassningsbarhet, produktionshastighet och materialeffektivisering (El-Sayegh m.fl., 2020). Idag är därför 3D-printing en vanligt förekommande produktionsmetod inom en rad olika tillverkningsindustrier. Användningen av nya tekniker, såsom 3D-printing, är en av anledningarna till att arbetsproduktiviteten inom tillverkningsindustrin har ökat (El-Sayegh m.fl., 2020). Vid en lyckad implementering av 3D-printing inom byggindustrin finns det därmed potential för ökad produktivitet.

Sedan produktionen av Europas första helt 3D-printade hus år 2014 (Hager m.fl., 2016), har 3D-printing etablerats som en teknologi med potential att revolutionera byggindustrin (Sakin & Kiroglu, 2017). Forskningen inom additiv tillverkning och i synnerhet 3D-printing för byggbranschen har således blivit omfattande och stora framsteg har gjorts inom området (El-Sayegh m.fl., 2020). Implementeringen av 3D-printing inom byggbranschen är dock fortfarande i ett tidigt stadie och det återstår mycket arbete för att tekniken ska uppnå sin fulla potential och bli brett tillämpad (El-Sayegh m.fl., 2020).

Enligt El-Sayegh m.fl. (2020) är 3D-printing inom byggbranschen förknippad med både fördelar, och utmaningar som måste hanteras för att uppnå optimala resultat. Fördelarna är huvudsakligen förknippade med snabbare byggproduktion, lägre kostnader, geometrisk frihet, kortare varuflödeskedja och ökad produktivitet (El-Sayegh m.fl., 2020). Nackdelar däremot är enligt El-Sayegh m.fl. (2020) exempelvis svårigheten att korrekt uppskatta kostnader i byggprojekt som använder 3D-utskrift på grund av eventuellt höga investerings- och underhållskostnader. Vidare lyfter El-Sayegh m.fl. (2020) också logistikutmaningar som kan uppstå då den nya byggmetoden kräver nya sätt att planera och schemalägga ett byggprojekt. Delgado Camacho m.fl. (2018) noterar också att det kan vara utmanande att transportera stora 3D-printar till byggplatser. Förutom dessa utmaningar, finns det också en debatt om metodens hållbarhetsaspekter. Oberti och Plantamura (2015) framhåller att det finns vissa enkelt identifierbara positiva hållbarhetsaspekter med 3D-printing som byggmetod, men att mer forskning och certifierad information behövs för att dra slutsatser om metodens fulla potential inom hållbarhet.

## 1.1 Bakgrund

I bakgrunden introduceras ytterligare information om 3D-printing samt byggsektorn. En redogörelse av nuvarande byggverksamhet, bygglogistik och branschens externa effekter presenteras också.

### 1.1.1 3D-printing

3D-printing är en additiv tillverkningsteknik som har flera fördelar jämfört med andra produktionstekniker. Ford och Despeisse (2016) beskriver vissa av de hållbarhetsfördelar som är förknippade med additiv tillverkning. Enligt författarna resulterar tillverkningsmetoden i mindre avfall, högre resurseffektivitet, längre produktlivstid samt kortare och enklare försörjningskedjor i jämförelse med andra produktionsmetoder.

Shahrubudin m.fl. (2019) menar att 3D-printing som tillverkningsmetod leder till reducerade kostnader och ökad produktionshastighet. Författarna skriver också att slutkunden kan ha en större påverkan på slutprodukten genom en högre delaktighet i produktionen och på det viset se till att produkten möter ens specificeringar. Det beror bland annat på att 3D-printing möjliggör för företaget att hantera hela tillverkningsprocessen, vilket i sin tur ger möjlighet till mer omfattande tjänster från början till slut (Shahrubudin m.fl., 2019). En konsekvens av det är att tillverkningen kan ske geografiskt närmare slutdestinationen, vilket leder till lägre fraktkostnader och tidsbesparingar (Shahrubudin m.fl., 2019).

Sniderman och Rajan (2016) förklarar att additiv tillverkning leder till två huvudeffekter. Den första effekten är att tekniken minskar mängden kapital som krävs för att nå tillräckligt med stordriftsfördelar för konkurrenskraftiga priser, vilket leder till att inträdesbarriärerna minskar för företagen på nya marknader. Den andra faktorn är att det krävs mindre kapital för att nå *economies of scope*, vilket ökar variationen av produkter som företaget kan producera för en viss mängd kapital. Det innebär att kostnaden för omställning och specialanpassade produkter minskar (Sniderman & Rajan, 2016). Additiv tillverkning leder därmed till en mer flexibel produktion (Sniderman & Rajan, 2016). En ökad flexibilitet i produktionen leder i sin tur bland annat till en minskad finansiell risk (Lamarre m.fl., 2009).

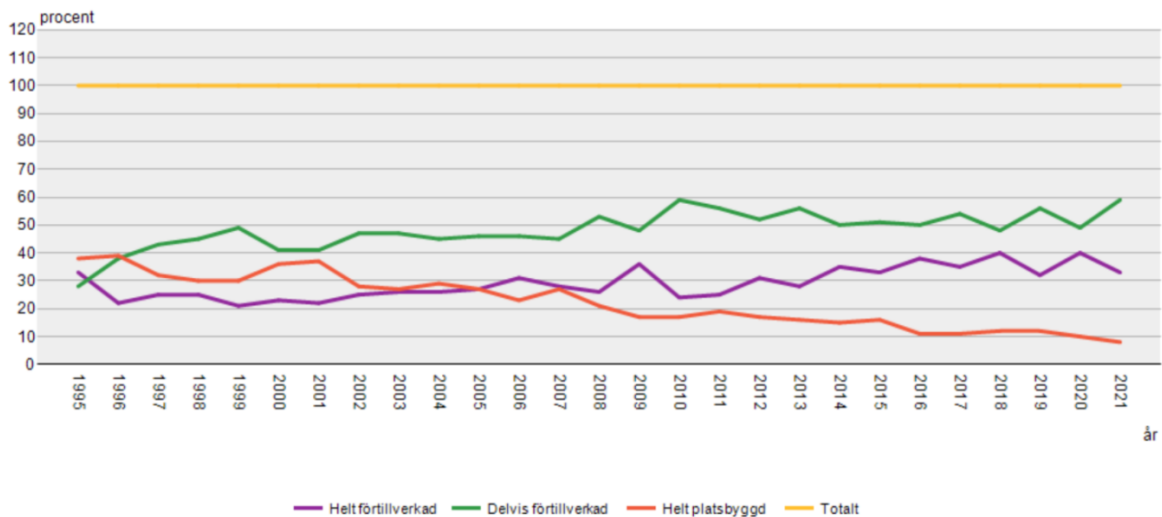
I en del länder har ett antal företag börjat att implementera 3D-printing i byggproduktion, till exempel företag som Cobod, Winsun, 3D Printhuset, CyBe, ApisCor och Wohn Homes.

### 1.1.2 Dagens byggverksamhet

Byggindustrin är både heterogen och diversifierad med alltifrån enskilda firmor till större bolag (Landin & Lind, 2011). Denna diversitet och heterogenitet gör det svårt att komma med lösningar och förslag som skulle kunna tillämpas för branschen som helhet. Dessutom bedrivs en stor del av dagens byggverksamhet i projektform, vilket innebär att det är svårt att standardisera och dela upp arbeten till den grad att de går att automatisera (Landin & Lind, 2011). Vidare är själva byggprocessen i sig fylld med osäkerheter i form av råvarupriser, väderlek, förseningar och misstag (Allen, 2013, s. 19).

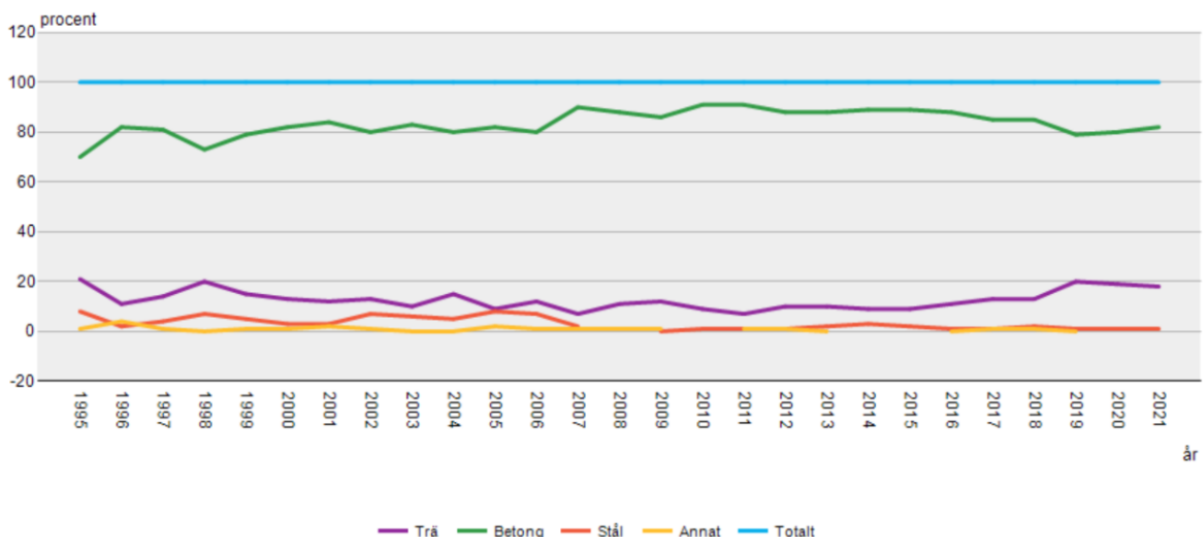
Under 2000-talet, när ett stort fokus låg på effektivisering av industrin, uppstod två inriktningar på eventuella lösningar (Landin & Lind, 2011). Vissa förespråkade att bostäder i huvudsak skulle prefabriceras i fabrik, medan andra såg möjlighet till att effektivisera platsbyggandet med nya metoder, såsom *lean production* och effektiviserade försörjningskedjor. Begreppen prefabricerat byggande och platsbyggande lanserades för att kategorisera dessa inriktningar, även om det egentligen inte finns någon skarp gräns mellan dem eftersom all byggproduktion har komponenter som är förtillverkade respektive monterade på plats (Landin & Lind, 2011).

SCB (u.å.) presenterar i vilken utsträckning prefabricering och platsbyggande har använts mellan 1995–2021 vid nyproduktion av flerbostadshus. Ur figur 1 kan det konstateras att platsbyggande minskar samt att helt förtillverkade (fullständig prefabricering) ökar under tidsperioden.



Figur 1 - Lägenheter i nybyggda ordinära flerbostadshus, procent efter förtillverkningsgrad och år. Källa: SCB.

För stombyggnad i nybyggda flerbostadshus visar ytterligare statistik från SCB (u.å.), som presenteras i figur 2, att betong är det vanligaste materialvalet. Den bärande stommen i en konstruktion har till uppgift att föra ner yttre krafter till grundkonstruktionen (Isaksson m.fl., 2017, s. 101). Stombyggnaden kan utföras i bland annat betong- eller träelement, som då antingen är prefabricerade och monteras ihop på byggplatsen eller platsbyggda (Nordstrand, 2000, s. 164). Hildago (2018) förklarar att det inte är förvånande att betong är det mest populära materialet vid flerbostadsbyggande eftersom materialet har många fördelar såsom stabilitet och lång livslängd. Dessutom kan kostnads- och energieffektivt byggande uppnås med betong, då det kräver lite drift- och underhållsbehov. Även om en lång livslängd tyder på ett hållbart material vid byggande, uppkommer problematiken vid tillverkningen av cement som är en grundkomponent vid tillverkning av betong.

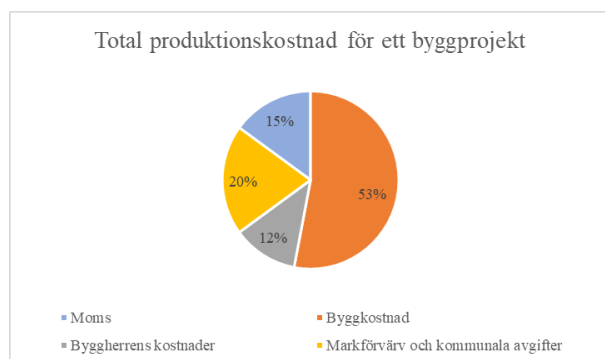


Figur 2 - Lägenheter i nybyggda ordinära flerbostadshus, procent efter material i husens stomme och år. Källa: SCB.

Cement- och betongindustrin uppskattas direkt stå för cirka 10 % av världens globala CO<sub>2</sub>-utsläpp (Belaïd, 2022). I Sverige är också mineralindustrin en av de dominerande faktorerna bakom utsläppen från den industriella sektorn vilket står för en tredjedel av de svenska koldioxidutsläppen (Naturvårdsverket, u.å.). Mineralindustrin uppvisade cirka 2,72 miljoner ton koldioxidutsläpp år 2021 där den övervägande delen kommer från cementproduktionen (Naturvårdsverket, u.å.). Statistik från Boverket (2023) visar att 21 % av

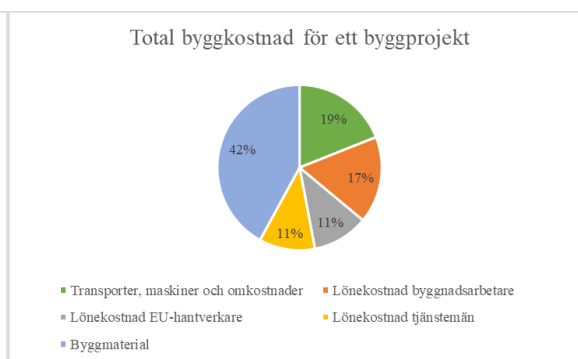
det totala utsläppet inom den svenska marknaden kommer från bygg- och fastighetssektorn. Statistiken inkluderar bland annat produktion av byggmaterial, som framför allt är betong och trä, samt transport och avfallshantering.

En rapport från Byggföretagen (2023a) beskriver även den totala produktionskostnaden samt de olika byggkostnader som ingår i ett byggprojekt, vilket illustreras i figur 3 respektive figur 4.



Figur 3 - Total produktionskostnad för ett byggprojekt.

Källa: Byggföretagen.



Figur 4 - Total byggkostnad för ett byggprojekt

Källa: Byggföretagen.

Viktigt att konstatera ur figur 3 är att byggkostnaden utgör över hälften av de totala kostnaderna för projekt. Det är även den faktorn som Byggföretagen anser har störst påverkan på utvecklingen av den totala produktionskostnaden, som har ökat med 205 % per kvadratmeter för flerbostadshus under perioden 1998–2020. Orsaken till det beror i huvudsak på stigande byggmaterialkostnader som under samma period ökade med 181 %.

### 1.1.3 Marknadsöversikt

Byggföretagen (2022a) delar in byggbranschens aktörer i bygg- och anläggningsentreprenörer, rivningsfirmor, firmor för mark- och grundarbeten, bygginstallationsfirmor, firmor för slutbehandling av byggnader samt andra specialiserade bygg- och anläggningsentreprenörer. Byggföretagen förklarar också att branschen utgör cirka 9 % av näringslivet, då runt 117 000 företag var verksamma år 2021. 87 % av dessa hade högst fyra anställda.

Vidare påpekar Byggföretagen (2022b) att byggindustrin är utsatt för hård konkurrens, då branschen i stor utsträckning består av små företag med begränsade resurser och låga rörelsemarginaler. Det innebär dessutom att industrin är känslig för förändrade marknadsförutsättningar. Således kan rubbningar i konjunkturläget snabbt påverka industrin. Byggföretagen förklarar dock att det ändå startas relativt många företag i branschen jämfört med många andra näringsgrenar. Jämfört med andra industrier krävs det även relativt låga kapitalinsatser, vilket tyder på låga inträdesbarriärer och att det därför är enklare att ta sig in på marknaden. Byggföretagen (2023b) förklarar även att rörelsemarginalerna inom byggbranschen är lägre jämfört med andra näringslivsgrenar.

### 1.1.4 Bygglogistik

Ett omdiskuterat ämne i byggbranschen är logistikhantering. Hedborg Bengtsson och Karrbom Gustavsson (2017) förklarar att bygglogistik inte är ett tydligt definierat område med klara gränsdragningar. Eftersom logistikarbete ofta genomförs i projektform är

kunskapsöverföringen låg (Konkurrensverket, 2021). Det är därför svårt att utveckla standarder för bygglogistik. Vidare menar Hedborg Bengtsson och Karrbom Gustavsson (2017) att hantering av bygglogistik kan ses utifrån ett projektperspektiv. Detta inkluderar aktiviteter, aktörer och relationer mellan aktörer inom byggprocessen, som består av planering, projektering och byggproduktion. Författarna understryker vikten av att uppnå kostnads- och tidseffektiva sätt att organisera, leda och styra projekt.

### **1.1.5 Ekologiska och sociala externaliteter**

År 2021 stod bygg- och anläggningssektorn för cirka 37 % av de globala energi- och processrelaterade koldioxidutsläppen (UNEP, 2022). Betongindustrin står även för en betydande del av världens globala CO<sub>2</sub>-utsläpp och cementproduktionen är en väsentlig del av de utsläpp som mineralindustrin står för i Sverige. Byggbranschen stod dessutom totalt för 34 % av all världens energiförbrukning 2021 (UNEP, 2022). I Europa är energianvändningen i branschen ännu högre procentuellt. Statistik från UNEP visar att 40 % av Europas energianvändning förbrukas av byggindustrin, där 80 % av den kommer från fossila bränslen (UNEP, 2022).

Vidare visar statistik från Byggföretagen (2023c) att det skedde 3 906 olyckor i byggindustrin under 2021. Detta är en ökning i jämförelse med 2009, då antalet olycksfall var 2 774. Byggföretagen påpekar dock att ökningen av antalet olycksfall under perioden delvis kan förklaras med att sysselsättningen i branschen ökade under samma period. Orsakerna bakom olyckorna är främst fall, skador från verktyg eller plötslig överbelastning. Samtliga sådana typer av skador resulterar ofta i minst en dags sjukfrånvaro. Statistik från Byggföretagen (2023d) visar vidare att antalet dödsfall under 2021 var tio. Arbetsmiljöverket (2021) påpekar dessutom att byggbranschen är en av fyra branscher som är drabbad av flest olyckor med dödlig utgång. Enligt Eurostat (2022) är andelen olyckor med dödlig utgång i byggbranschen 21,5 %, vilket enligt statistiken är högre än i någon annan bransch.

## **1.2 Syfte**

Studien syftar till att kvalitativt undersöka hur 3D-printing av stommar kan påverka byggproduktionen i den svenska byggbranschen med avseende på kostnads-, logistik- och hållbarhetsaspekter.

## **1.3 Problemdefinition**

Följande delkapitel innehåller en presentation av centrala problem relaterade till kostnader, logistik och hållbarhet inom byggbranschen.

### **1.3.1 Kostnader**

Som tidigare nämnts är stigande materialkostnader en bakomliggande faktor till att byggkostnader ökat under de senaste 20 åren. En artikel från Konkurrensverket (2021) understryker även sambandet och lyfter låg produktivitet som ytterligare ett av de bakomliggande problemen. Konkurrensverket skriver att byggindustrin länge har haft ett problem med produktiviteten. Den huvudsakliga förklaringen är att byggande sker i projektform. Det innebär att kunskapsöverföringen är låg till nästkommande projekt, att det är

svårt att etablera effektiva lösningar för materialinköp och kompetensutveckling, samt att det skapar långa ledtider i mark- och planprocesser.

Vidare menar Josephson och Saukkoriipi (2005) att en betydande del av både direkta och indirekta kostnader är kopplade till slöseri i byggprojekt. Författarna definierar slöseri som aktiviteter som görs utan att tillföra något slutvärde för kunden och uppskattas stå för 30-35 % av byggprojektets produktionskostnad. Inom området för slöseri är fyra kategorier definierade:

- *Fel och kontroller* - Utgör över 10 % av produktionskostnaden och innefattar kostnader relaterade till fel, bland annat försäkringar och kontroller;
- *Resursanvändning* - Utgör över 10 % av produktionskostnaden och omfattar arbetare som väntar, stillastående maskiner och spill;
- *Hälsa och säkerhet* - Utgör cirka 12 % av produktionskostnaden och innefattar skador i arbetet samt sjukdomar där rehabilitering och förtidspensionering är den främsta påverkande faktorn; och
- *System och strukturer* - Utgör cirka 5 % av produktionskostnaden och innefattar extra administrativt arbete som exempelvis stora mängder dokumentation.

En stor del av det slöseri som uppstår i byggindustrin orsakas på grund av bristande planering, kommunikation och logistik (Heintz & Kardell, 2018). Enligt författarna bidrar de icke-värdeskapande aktiviteterna framför allt till ökat transportbehov, höga indirekta kostnader och onödiga rörelser. Under ett byggprojekt kan även dagens tillverkningsteknik stå för stora delar av totalkostnaden (De Schutter m.fl., 2018). Till exempel vid produktionen av betongstommar och betongväggar används betongformar, som skapar höga material-, maskin- och arbetskostnader. I vissa fall kan dessa kostnader stå för hälften av en betongväggs totala kostnad (De Schutter m.fl., 2018).

Som tidigare nämnts har 3D-printing många fördelar såsom att dess tillämpning leder till mindre spill, högre flexibilitet och ökad produktionshastighet. Det finns alltså möjlighet att påverka den totala produktionskostnaden för byggprojekt, specifikt avseende kostnader för material samt aktiviteter kopplade till slöseri. Däremot kan höga investeringskostnader förhindra tillämpning av tekniken inom branschen. Det är därför relevant att undersöka hur 3D-printing kan påverka kostnader vid tillverkning av byggstommar. Resonemanget leder till följande frågeställning: *Vad blir de ekonomiska effekterna på investeringskostnader, materialkostnader och tillverkningskostnader av att använda 3D-printing som byggmetod av stommar jämfört med att använda platsbyggda betongelement samt prefabricerade betong- eller träelement?*

### **1.3.2 Logistik**

Enligt Tserng m.fl. (2006) kan direkta och indirekta kostnader kopplade till material för ett byggprojekt stå för upp till 60–65 % av dess totala kostnader. Författarna skriver även att kostnaden går att reducera avsevärt genom effektiv och förbättrad materialhantering. Förutom de direkta kostnaderna för materialet i sig är de kostnader som går att påverka knutna till logistik. Enligt Jonsson och Mattsson (2016, s. 115–124) kan kostnaden för logistik delas upp i följande subkategorier:

- Transport- och hanteringskostnader;
- Emballeringskostnader;
- Lagerkostnader;
- Administrativa kostnader;
- Orderkostnader;
- Kapacitetsrelaterade kostnader; och
- Brist- och förseningskostnader.

Hur kostnaderna för administration, transport, lagerhållning och förseningar påverkas av en övergång från platsgjutning eller prefabricering av stommar till 3D-printing är särskilt relevant. Då hur prefabricerade material förpackas är av begränsad betydelse i förhållande till 3D-printing, kommer rapporten ej behandla emballeringskostnader. Orderkostnader är inte heller särskilt relevanta, då ingenting tyder på hantering av inköps- och tillverkningsordrar skiljer sig åt mellan tillverkningslagen. Kapacitetsrelaterade kostnader hör till fasta kostnader som avskrivningar, underhåll och drift. Just dessa kostnader är inte avgörande för teknikens framgång och kommer därför heller inte att studeras.

Beroende på vilken tillverkningsmetod och vilket material som används ser materialhanteringsprocesserna annorlunda ut. Eftersom logistik har stor ekonomisk påverkan på byggprojekt är det relevant att undersöka hur logistikkostnader påverkas av metodval för stombyggnad. Resonemanget motiverar följande frågeställning: *Vad blir de logistiska effekterna på administration, transport, lagerhållning samt förseningar av att använda 3D-printing som byggmetod av stommar jämfört med att använda platsbyggda betongelement samt prefabricerade betong- eller träelement?*

### 1.3.3 Hållbarhet

2015 antog FN en ny agenda för hållbar utveckling. I samband med detta antogs de 17 globala målen (UNDP, u.å.). Rapporten behandlar följande tre globala mål med tillhörande delmål:

- 8: Anständiga arbetsvillkor och ekonomisk tillväxt.
  - 8.4: Förbättra resurseffektiviteten i konsumtion och produktion.
  - 8.8: Skydda arbetstagares rättigheter och främja trygg och säker arbetsmiljö för alla.
- 9: Hållbar industri, innovationer och infrastruktur.
  - 9.4: Uppgradera all industri och infrastruktur för ökad hållbarhet.
- 12: Hållbar konsumtion och produktion.
  - 12.2: Hållbar förvaltning och användning av naturresurser.
  - 12.5: Minska mängden avfall markant.

Enligt UNEP (2022) genererar byggbranschen 100 miljarder ton avfall genom produktion, renovering och demolering. Användningen av råmaterial förväntas även fördubblas till 2060. Byggindustrin genererar alltså en tredjedel av världens avfall idag (EU kommissionen, u.å.) och

är samtidigt den industri som konsumerar störst mängd råvaror i världen (IFC, 2018). Som tidigare nämnt går även cirka 30–35 % av produktionskostnaden i branschen åt till slöseri. De två största formerna är knutna till resursanvändning och arbetsrelaterade skador och sjukdomar (Josephson & Saukkoriipi, 2005).

3D-printing har potential att skapa en mer materialmässigt effektiv produktionsprocess, och minska mängden arbetsskador i byggbranschen. Med tanke på byggindustrins enorma klimatavtryck skulle 3D-printing alltså kunna vara en mer hållbar byggmetod än platsgjutning och prefabricering. Resonemanget leder till följande frågeställning: *Vad blir de hållbarhetsmässiga effekterna på ekologisk och social hållbarhet av att använda 3D-printing som byggmetod av stommar jämfört med att använda platsbyggda betongelement samt prefabricerade betong- eller träelement?*

## 1.4 Frågeställningar

- Vad blir de ekonomiska effekterna på investeringskostnader, materialkostnader och tillverkningskostnader av att använda 3D-printing som byggmetod av stommar jämfört med att använda platsbyggda betongelement samt prefabricerade betong- eller träelement?
- Vad blir de logistiska effekterna på administration, transport, lagerhållning samt förseningar av att använda 3D-printing som byggmetod av stommar jämfört med att använda platsbyggda betongelement samt prefabricerade betong- eller träelement?
- Vad blir de hållbarhetsmässiga effekterna på ekologisk och social hållbarhet av att använda 3D-printing som byggmetod av stommar jämfört med att använda platsbyggda betongelement samt prefabricerade betong- eller träelement?

## 1.5 Avgränsningar

Undersökningen är avgränsad till gångbarheten för 3D-printingmetoden materialextrudering, som är vanligast på området. Undersökningen är vidare avgränsad till jämförelse mellan 3D-printing som byggmetod för stommar, med byggverksamhet i Sverige. Denna geografiska avgränsning motiveras med att byggande, bygglogistik, ekonomi och hållbarhet hanteras och utförs på olika sätt i världen.

## 2 Ekonomiska ramverk

Följande avsnitt innehåller de ekonomiska ramverk som ligger till grund för rapportens diskussion.

### 2.1 Porters femkraftsmodell

Porters femkraftsmodell är en modell som beskriver hur fem faktorer påverkar lönsamheten i olika branscher (Porter, 2008). Krafterna kan enligt modellen vara av varierande styrka på olika marknader och deras karaktär påverkar företags lönsamhet.

- *Hot från nya aktörer* - Befintliga bolag på marknaden behöver ständigt utveckla sina verksamheter för att behålla sin position. Råder låga inträdesbarriärer kan de även behöva prissätta aggressivt för att avskräcka andra från att ta sig in på marknaden.
- *Leverantörers förhandlingsstyrka* - Leverantörers och kunders konkurrenssituation påverkar lönsamheten i den egna marknaden. Om beroendeställningar till leverantörer eller kunder förekommer minskar förhandlingsstyrkan mot dessa parter avsevärt.
- *Köparens förhandlingsstyrka* - Köparens förhandlingsstyrka påverkas också av hur konkurrensutsatta de är, och är föremål för liknande förhandlingsdynamik som leverantörer.
- *Hot från substitut* - Hot från substitut kommer från risken att konkurrerande produkter eller tjänster kan ersätta ett bolags existerande erbjudande, genom att möta eller överträffa marknadens förväntningar i förhållande till de behov kunderna har.
- *Hot från befintliga konkurrenter* - Hot från befintliga konkurrenter avser hur intensiv konkurrensen är mellan befintliga aktörer. Långsam tillväxt, höga investeringskostnader och ett stort antal företag på marknaden kan göra konkurrensen mer intensiv.

### 2.2 Stordriftsfördelar

Enligt Granstrand (2018, s. 173–174) kan stordriftsfördelar delas upp i två kategorier. Dessa är dynamiska stordriftsfördelar och statiska stordriftsfördelar. Statiska stordriftsfördelar innebär att den genomsnittliga totala kostnaden minskar ju större kvantiteter som produceras. Dynamiska stordriftsfördelar innebär i stället att marginalkostnaden minskar ju större kvantiteter som produceras.

### 2.3 Increasing returns to adoption

Enligt Granstrand (2018, s. 233–235) uppstår *increasing returns to adoption* då den ekonomiska förtjänsten att anta en teknologi ökar med antalet tidigare fattade beslut att anta den. Begreppet beskriver alltså en form av positiv återkoppling. *Increasing returns to adoption* uppstår främst i förhållande till följande faktorer:

- *Positiva nätverkseffekter* - Positiva nätverkseffekter förekommer då värdet hos ett nätverk eller plattform ökar ju fler aktörer eller instanser det har.

- *Inlärningseffekter* - Inlärningseffekter avser situationen när kostnader sjunker till följd av ökad erfarenhet och kunskap i förhållande till produktion eller liknande processer, vilket ökar värdet av motsvarande teknologi.
- *Komplementariteter* - Komplementariteter avser kompletterande produkter eller tjänster för en teknik som ökar teknikens värde.

## 2.4 Orsaker till slöseri

Enligt Slack och Brandon-Jones (2019, s. 523–525) kan enkla och transparenta flöden exponera orsaker till slöseri och presenterar följande fyra faktorer som särskilt avgörande:

- *Slöseri från ojämnt flöde* - Slöseri från ojämna flöden kan bero på väntetider, transporter, ineffektiva processer, lager och suboptimala rörelsemönster. Väntetider avser alla situationer där flöden tillfälligt upphör, såsom väntetider för arbetare och maskiner samt kötider av olika slag. Transporter och rörelsemönster medför slöseri när förflyttningar inte är optimala. Ett exempel på en ineffektiv process är förekomsten av en arbetsstation som helt hade kunnat effektiviseras bort med mer genomtänkt design. Slöseri relaterat till lagerhållning avser överflödiga inventarier som kan minskas med implementering av ett jämnare flöde.
- *Slöseri från inexakta leveranser* - Slöseri från inexakta leveranser uppstår vid över- och underproduktion, tidiga och sena leveranser, outnyttjad kompetens och suboptimal lagerhållning. Över- eller underproduktion innebär att antingen för mycket eller för lite produceras i förhållande till vad en särskild process behöver. Tidiga eller sena leveranser medför slöseri då kostnader uppstår när leveranser inte anländer precis när de behövs. Slöseri kopplat till outnyttjad kompetens uppstår när individer inte deltar i de delar av processen där de kan tillföra mest värde. Ej precisa leveranser kan även leda till suboptimal lagerhållning vilket medför slöseri.
- *Slöseri från oflexibel respons* - Slöseri från oflexibel respons kan uppstå vid produktion med stora satsar, förseningar mellan aktiviteter och då en verksamhets aktiviteter har större variation i aktivitetsmixen än dess produkters och tjänsters efterfrågan. För stora satsar leder till onödigt stor kapitalbindning genom lagerhållning och produkter i arbete. Förseningar mellan aktiviteter medför slöseri eftersom flödet är svårare att synkronisera vid långa ledtider.
- *Slöseri från variabilitet* - Slöseri från variabilitet kan bero på undermålig tillförlitlighet i förhållande till utrustning eller personal, samt defekta produkter eller tjänster. Undermålig tillförlitlighet leder till variation i slutprodukters kvalitet och oregelbundna leveranser, vilket i sin tur leder till slöseri. Defekter i produkter och tjänster leder till slöseri av tid och resurser då defekterna behöver korrigeras.

Vidare konstaterar Slack och Brandon-Jones (2019, s. 526) att långa processer medför förseningar och stigande lagernivåer, vilket försämrar genomloppstiden. Det tillför heller inte processen något värde. Författarna menar att ett strömlinjeformat flöde kan eliminera detta slöseri.

## 2.5 Processinnovation

Granstrand (2018, s. 207–210) gör en distinktion mellan *major process innovation* och *minor process innovation*. Författaren förklarar att en processinnovation kan anses vara en *major process innovation* om innovationen medför att innovatören kan sätta ett monopolpris. Det innebär att prissättningen sker till en nivå under den nuvarande marginalkostnaden för existerande företag med samma process. På så sätt kan innovatören konkurrera ut de befintliga aktörerna.

Vidare förklarar Granstrand att en processinnovation kan anses vara en *minor process innovation* om innovationen medför att den nya marginalkostnaden är något lägre än den befintliga marginalkostnaden för konkurrenterna. Det betyder att innovatörens optimala prissättning kommer att vara något lägre än konkurrenternas. Det innebär att de befintliga aktörerna kan bli utkonkurrerade. Granstrand påpekar även att oavsett om processinnovationen är *major* eller *minor*, kan den ändå vara disruptiv eftersom befintliga aktörer på marknaden fortfarande kan bli utkonkurrerade av innovationen.

Granstrand (2018, s. 171) definierar konsumentöverskott som det totala kundvärdet vid en viss prissättning, vilket motsvarar summan av vad samtliga kunder hade varit beredda att betala utöver det satta priset. Dödviktsförlust är en term som på motsvarande sätt representerar den samhällsliga förlust som uppstår vid en viss prissättning (Granstrand 2018, s. 183). Det kan till exempel ske vid en monopolistisk marknad eftersom det finns kunder som värderar produkten under monopolpriset men över marginalkostnaden, vilket medför en priszon där varken företagen säljer eller kunderna köper.

## 2.6 Produkt-processmatrisen, flexibilitet och tekniska förmågor

Slack och Brandon-Jones (2019, s. 187) beskriver en produkt-processmatris som det vanligaste sättet att illustrera relationen mellan volym och variation i en process. Flera viktiga aspekter av en processdesign är kopplade till processens position i produkt-processmatrisen, exempelvis graden av automation, integration med andra tekniker och flexibilitet. Därför kan de flesta processer placeras på en diagonal i matrisen som kallas för *line of fit*.

Graden av flexibilitet beror delvis på processens förmåga att ändra produktutbudet, producera en mix av produkter och ändra produktionskvantiteten (Slack och Brandon-Jones, 2019, s. 53-54). Användning av tekniker med hög grad av flexibilitet möjliggör produktion av produkter med både hög volym och variation.

Nya tekniker kan analyseras utifrån deras primära förmågor (Slack och Brandon-Jones, 2019, s. 253). Författarna menar att de fem främsta kategorierna av primära förmågor hos nya teknologier är: tanke- och resoneringsförmåga, kommunikations- och konnektivitetskapacitet, förmåga att förflytta fysiska objekt, materialbearbetning, samt seende- och förmåga att förnimma föremål.

## 2.7 Produktionsexternaliteter och politiska åtgärder inom teknik

Granstrand (2018, s. 364) definierar en negativ produktionsexternalitet som då den sociala kostnaden överstiger den privata kostnaden vid produktion. Detta resulterar i en lägre socialt optimal produktionskvantitet än vad som råder vid marknadens jämviktskvantitet. Ett exempel på en negativ produktionsexternalitet är föroreningar.

För att hantera negativa produktionsexternaliteter kan olika metoder tillämpas för att internalisera dem, vilket resulterar i att bolag i högre grad tar hänsyn till effekterna i deras marknadsbeslut (Granstrand, 2018, s. 364). Dessa metoder kan vara statliga lösningar, exempelvis skatter, subventioner och regleringar, eller marknadsbaserade metoder, såsom en marknad för handel med utsläppsrätter.

Granstrand (2018, s. 346) beskriver vissa av de politiska åtgärder som staten kan vidta för att styra och stimulera efterfrågan för en teknik, med avsikten att förbättra intäktsutsikterna. Exempel på sådana politiska åtgärder är teknik- och innovationsupphandlingskontrakt, försäljningsskatt och konsumentbidrag. Teknik- och innovationsupphandlingskontrakt innebär att staten köper produkter som inte finns tillgängliga på marknaden och där forskning och utvecklings krävs (Granstrand, 2018, s. 347). Därmed blir en produkts tekniska framgång också direkt en kommersiell framgång.

## 2.8 Just-in-time

Konceptet just-in-time (JIT) kännetecknas av ett snabbt och koordinerat flöde genom hela produktionssystemet och försörjningskedjan för att bemöta efterfrågan (Slack & Brandon-Jones, 2019, s. 518). Slack och Brandon-Jones förklarar att syftet med JIT är att eliminera olika typer av slöseri där slöseri definieras som allt annat än de minsta av utrustning, föremål, delar och arbetare som är absolut nödvändigt för produktionen.

## 3 Metod

Följande kapitel innehåller en genomgång och motivering av val av de metoder som har övervägts samt de som användes för att genomföra studien. Vidare presenteras hur undersökningen gick till i praktiken, samt en beskrivning av hur urval och analys av resultatet har gått till. Slutligen diskuteras validiteten och reliabiliteten i resultatet och analysen.

### 3.1 Kvalitativ och kvantitativ forskning

Bryman och Bell (2011, s. 26–27) sammanfattar kvantitativ forskning som en forskningsstrategi som betonar kvantifiering vid insamling och analys av data och som innebär ett deduktivt förhållningssätt till förhållandet mellan teori och forskning, där tonvikten läggs på testning av teorier. Den har införlivat den naturvetenskapliga modellens praktiker och normer, samt förkroppsligar en syn på den sociala verkligheten som en yttre, objektiv verklighet. Däremot hävdar författarna att kvalitativ forskning är en forskningsstrategi som vanligtvis betonar ord snarare än kvantifiering vid insamling och analys av data. Den kvalitativa forskningen anses betona ett induktivt förhållningssätt till förhållandet mellan teori och forskning, där tyngdpunkten är placerad i genereringen av teorier, och förkroppsligar en syn på den sociala verkligheten som en ständigt föränderlig framväxande egenskap hos individers skapelse.

Inom ramen för studiens ämnesområde finns det därmed utrymme för både en kvalitativ och kvantitativ ansats, då forskningsfrågorna tar sikte på aspekter relaterade både till renodlade kvantitativa element såsom kostnadsstrukturer, samt mer kvalitativa såsom resonemang kring hållbarhet. Ett tidigt antagande var att företag av sekretesskäl i mycket begränsad omfattning är villiga att dela med sig av kalkyler och annan kvantitativa data som på ett konkret sätt möjliggör en analys av exempelvis kostnadsstrukturer i enskilda fall. Därför valdes en kvalitativ forskningsmetod som på en mer övergripande nivå möjliggör undersökning av forskningsfrågornas innehåll.

### 3.2 Litteraturöversikt

Inledningsvis utfördes en litteraturöversikt på områdena additiv tillverkning i byggbranschen; dagens byggverksamhet och byggsektorn med särskilt fokus på kostnader, logistik och hållbarhet; de globala målen; och byggmetoder och material för stommar. Syftet med litteraturöversikten var att inhämta grundläggande kunskap och information i förhållande till ämnena uppräknade ovan. Litteraturöversikten utfördes genom insamling av vetenskapliga artiklar, böcker samt olika former av rapporter och liknande material från aktörer inom branschen. Processen för att inhämta detta material skedde på ett flertal sätt:

- Sökning på diverse till ämnesområdet relaterade termer i Elseviers abstrakt- och citeringsdatabas Scopus;
- Inhämtning av artiklar genom sökning i de bibliografiska databaserna ScienceDirect och Google Scholar; och
- Sökning och inhämtning av rapporter och information i annat format via allmänt tillgängliga sökmotorer såsom Google.

### 3.3 Intervjuer

Kvalitativ forskning är särskilt lämpad för att belysa de mönster och olika typer av processer som utgör entreprenöriella strävanden, inklusive det ostrukturerade ursprunget till uppkomsten av företag. Sådan forskning kan resultera i att konceptualisera mönster över tid såväl som att definiera grader av förändring och variation (Van Burg m.fl., 2022). Då 3D-printing som byggmetod är under utveckling och föremål för experimenterande, är kvalitativ forskning därför lämplig.

Vidare är intervjun förmodligen den mest använda metoden inom kvalitativ forskning (Bryman & Bell, 2011, s. 465). De två huvudtyperna av kvalitativa intervjuer är den ostrukturerade intervjun och den semistrukturerade intervjun (Bryman & Bell, 2011, s. 467). Den ostrukturerade intervjun karaktäriseras av att forskaren på sin höjd använder sig av minnesanteckningar för att komma ihåg vilka ämnen som ska behandlas. Intervjuaren kan även ställa en enda fråga där intervjupersonen får svara fritt, där intervjuaren därefter följer upp det som är av särskilt intresse. Ostrukturerade intervjuer tenderar att likna konversationer. Den semistrukturerade intervjun karaktäriseras istället av att forskaren har en lista med frågor om specifika ämnen - en så kallad intervjuguide, men intervjupersonen har ett stort utrymme att besvara de frågor som ställs. Frågorna behöver heller inte nödvändigtvis följa schemat exakt. Vidare tillåts intervjuaren ställa uppföljande frågor, men i stort sett kommer alla frågor att ställas och en liknande formulering kommer att användas från intervjuperson till intervjuperson. Med hänsyn till möjligheten att inhämta djuplodande information från ett flertal respondenter på ett effektivt men samtidigt strukturerat sätt, valdes därför semistrukturerad intervju som metod för att besvara forskningsfrågorna.

### 3.4 Urval

För att säkerställa ett representativt och varierat urval av respondenter valdes två kategorier av aktörer: bolag som ägnar sig åt 3D-printing inom byggindustrin och etablerade byggföretag i Sverige. För att erhålla information om 3D-printings påverkan på kostnader, logistik och hållbarhet i förhållande till betong- och trästommar behövde aktörer från båda kategorierna intervjuas. Samtliga aktörer identifierades genom sökmotorer och följdes av intervjufrågningar via e-post. De bolag som i slutändan intervjuades är sammanställda i nedanstående tabell. Närmare detaljer om respondenter följer därefter.

Bolag som ägnar sig åt 3D-printing inom byggindustrin intervjuades då de har direkt erfarenhet och kunskap om 3D-printing av byggstommar i olika typer av material, och därmed dess påverkan på kostnader, logistik och hållbarhet. En ansats till representativt urval av respondenter till denna kategori gjordes genom en inledande sammanställning av 27 aktörer. Dessa kontaktades och personer på följande bolag i kategorin blev slutligen intervjuade: Cobod, Wohn Homes, Wasp, och Printed Farms.

En delmängd av de största byggföretagen i Sverige (Byggföretagen, 2022c) intervjuades då de har omfattande erfarenhet och kunskap om kostnader, logistik och hållbarhet i den etablerade byggindustrin. Ur kategorin gjordes en sammanställning av 31 aktörer. Dessa kontaktades och personer från följande bolag i kategorin blev slutligen intervjuade: Serneke, NCC, Skanska, Svensk Bygglogistik, Moelven och Lambertsson.

| Namn                             | Roll   | Företag             | Verksamhetsområde  | Intervjutyp  |
|----------------------------------|--|---------------------|--|--------------|
| Andrei Moraru                    | Arkitekturteknolog   | Cobod               | Producent av 3D-printers för byggnader   | Zoom         |
| Morten Bove                      | Verkställande direktör   | Wohn Homes          | 3D-printing av byggnader   | Zoom         |
| Matteo Noris                     | Internationell affärsutveckling, försäljning och CRM-chef                            | Wasp                | 3D-printing av byggnader   | Zoom         |
| Jim Ritter                       | Grundare   | Printed Farms       | 3D-printing av byggnader   | Zoom         |
| Mikael Åberg                     | Entreprenadingenjör  | Serneke             | Entreprenad- och projektutveckling   | Zoom         |
| Therese Anhammer & Per Arvidsson | Projektutvecklare & verksamhetsutvecklare  | Moelven             | Modulbyggande i trä  | Zoom         |
| Rasmus Rempling                  | Konstruktionsingenjör på NCC och biträdande professor vid Chalmers tekniska högskola | NCC & Chalmers      | Senior forskare vid Konstruktionsteknik  | Fysiskt möte |
| Helen Broo                       | Gruppchef Teknik Bro och anläggning  | Skanska             | Bygg- och anläggningsverksamhet, bostadsutveckling, kommersiell fastighetsutveckling | Fysiskt möte |
| Robert Lassila & Jens Malmberg   | Försäljningschef & projektchef   | Svensk Bygglogistik | Bygglogistiktjänster   | Fysiskt möte |
| Christoffer Johansson            | Logistikansvarig för region väst   | Lambertsson         | Bygglogistik   | Teams        |

Tabell 1 - Respondenter.

### 3.5 Intervjuprocessen

Intervjuerna genomfördes i huvudsak på distans genom IT-plattformen Zoom. Intervjuerna varade mellan 30 och 60 minuter, och följde intervjuscheman med på förhand förberedda frågor. Frågorna som ställdes var huvudsakligen likadana för samtliga respondenter inom samma kategori, med undantag för en eller två individuellt anpassade frågor om respondentens

egen verksamhet. Frågorna som ställdes till aktörer med 3D-printing inom sitt verksamhetsområde tog sikte på de sätt kostnader, hållbarhet och logistik påverkas av tillämpningen av 3D-printing som byggteknik för byggstommar jämfört med platsgjutning och prefabricering. Frågorna som ställdes till övriga aktörer tog främst sikte på hur den etablerade byggbranschens kostnadsstruktur, logistiska flöden och hållbarhetsarbete ser ut i dagsläget och hur de förhåller sig till 3D-printing som byggteknik. Ett ramverk för intervjuschema utnyttjades för skapande av samtliga intervjuer och återfinns i bilaga A. Noterbart är att samtliga intervjuer anpassades efter mottagare och således var alla intervjuer av unik karaktär. Intervjuerna följde inte alltid intervjuschemat fullständigt, och frågorna anpassades i viss utsträckning till olika respondenter. Intervjuerna spelades efter att tillstånd givits av respektive respondent in. En person i gruppen genomförde intervjun, medan övriga antecknade parallellt. Intervjuerna transkriberades även efter intervjutillfället.

### 3.6 Analysmetod

I motsats till analys av kvantitativa data finns det enbart ett fåtal väletablerade och allmänt accepterade regler för kvalitativ dataanalys (Bryman & Bell, 2011, s. 571). En av de vanligaste metoderna avseende kvalitativ dataanalys generellt är tematisk analys, men den förekommer ytterst sällan på managementområdet och framstår därför som av begränsad betydelse. Någon form av analys av tematik är dock förekommande i princip alla kvantitativa analysmetoder, om än definitionen av vad det innebär exakt varierar. Två sådana metoder som i övrigt är lämpliga för kvantitativ analys av intervjumaterial är analytisk induktion samt grundad teori. Dessa metoder är också lämpliga för att beskriva datainsamlingsprocesser. De är båda generella angreppssätt av iterativ natur, vilket innebär en upprepande växelverkan mellan insamling och analys av data. Analysen påbörjas alltså redan efter att vissa data har samlats in, och påverkar därefter den resterande datainsamlingsprocessen.

Analytisk induktion karaktäriseras av en inledande grovhuggen definition av en forskningsfråga med en hypotetisk förklaring, som följs av insamling av data och undersökning av fall (Bryman & Bell, 2011, s. 574–575). Om data som är inkonsistent med hypotesen påträffas, omdefinieras antingen hypotesen så att den exkluderar vad den avvikande informationen antyder, eller omformuleras den helt innan vidare datainsamling sker. Samma metod sker iterativt fram till att avvikande information ej längre påträffas.

Grundad teori har blivit det överlägset mest använda ramverket för kvalitativa data, men saknar en enhetlig och fullständig definition (Bryman & Bell, 2011, s. 577). Metoden har dock ett antal huvudsakliga koncept: teoretisk sampling, kodning, teoretisk mättnad och konstanta jämförelser. Teoretisk sampling innebär en datainsamlingsprocess för att generera teori där forskaren enhetligt samlar, kodar och analyserar data i syfte att avgöra vilken data som bör samlas in närmast, för att möjliggöra kontinuerlig teoriutveckling. Kodning innebär att data bryts ned i beståndsdelar som kategoriseras och namnges löpande. Teoretisk mättnad avser tidpunkten då ytterligare insamling av data inte bidrar till förfining av de etablerade teorierna eller kategorierna som har skapats. Konstanta jämförelser impliceras genom beskrivningen av ovanstående koncept, då det är avgörande för att utarbeta korrekta och relevanta kategorier och teorier.

Sammanfattningsvis kan sägas att induktiva metoder utgår från datainsamling, går vidare till identifiering av mönster och avslutas med utvecklandet av teorier (DeCarlo, 2018). Deduktiv forskning utgår i stället från att en hypotes tas fram och/eller att teorier skapas, där data därefter analyseras i syfte att bekräfta eller förkasta hypotesen.

Då inga teorier eller hypoteser tagits fram i det inledande stadiet av studien, utan ett neutralt perspektiv på 3D-printing som byggmetod i förhållande till dess gångbarhet på den svenska marknaden har tagits, är det alltså en induktiv ansats som är aktuellt i detta fall. Vare sig analytisk induktion eller grundad teori framstår dock som fullständigt passande metoder av ett flertal skäl. Analytisk induktion förutsätter att det finns en hypotes, och grundad teori är kraftigt associerad med kodning och kategorisering av information, vilket inte förefaller relevant i förhållande till besvarandet av forskningsfrågorna. Det finns dock ett flertal likheter mellan båda dessa metoder och den metod som i praktiken har använts. Det förekommer visserligen ingen renodlad hypotes i detta arbete - däremot har ett iterativt arbetssätt tillämpats i förhållande till avgränsning och definition av vad som ska studeras, inklusive precisering av forskningsfrågorna. Detta skedde främst under litteraturöversikten. Vidare fortsatte intervjuprocessen fram till att författarna drog slutsatsen att teoretisk mättnad nåtts, då respondenternas svar i stor utsträckning var överlappande och ingen väsentligen ny information uppkom. Konstanta jämförelser skedde särskilt i förhållande till information som framkom från olika kategorier av respondenter. Sammanfattningsvis kan därför sägas att en induktiv ansats tagits i förhållande till dataanalysen.

### **3.7 Validitet och reliabilitet**

Frågan om mättningsvaliditet har att göra med huruvida ett mått på ett begrepp verkligen mäter begreppet eller ej (Bryman & Bell, 2011, s. 42). I studien har forskningsfrågorna besvarats genom intervjuer, där varje intervjuschema noggrant utformats i syfte att reflektera innehållet i forskningsfrågorna. Inga validitetsproblem har i övrigt uppkommit under processen.

Reliabilitet avser måttet på ett koncepts konsistens. Tre framträdande faktorer i förhållande till om ett mått är tillförlitligt är stabilitet, intern reliabilitet samt konsistens mellan observatörer (Bryman & Bell, 2011, s. 41). Om ett mått är stabilt över tid, kan det säkerställas på att resultaten inte fluktuerar. Nyckelfrågan avseende intern reliabilitet är sammanfattningsvis huruvida datan korrelerar enligt förväntan. Konsistens mellan observatörer avser huruvida olika personer som studerar samma ämne skulle dra samma slutsatser.

Den främsta utmaningen i förhållande till reliabilitet i denna studie är att respondenterna representerar olika intressen och har incitament att representera 3D-printings gångbarhet på olika sätt, beroende på vilket sätt tillämpningen av tekniken är avgörande för respektive verksamhets framtida framgång. Detta är det främsta skälet till att aktörer inom den svenska byggbranschen intervjuades som en form av kontrollgrupp, i syfte att erhålla en mer nyanserad bild. Vidare består en utmaning av att resultatet är baserat på respondenternas kvalitativa redogörelser för hur 3D-printing av byggstommar påverkar kostnader, logistik och hållbarhet. Eftersom branschen är under pågående utveckling består en del av de insamlade svaren av prognoser av den framtida utvecklingen. Detta påverkar stabiliteten i de insamlade svaren vilket motiverar uppföljande studier, inklusive sådana av kvantitativ natur som möjliggör mer konkret analys av projektens påverkan på kostnadsstrukturer.

# 4 Resultat

Underlaget för studien har inhämtats i enlighet med metodkapitlet ovan, och resultatet från intervjuerna presenteras i följande kapitel. Kapitlet är uppdelat i två delar. I den första delen presenteras en sammanställning av hur de bolag som är verksamma i den svenska byggsektorn besvarat intervjufrågorna i förhållande till fyra kategorier: kostnader, logistik, hållbarhet och 3D-printing. I den andra delen presenteras en sammanställning av hur 3D-printingbolagen besvarat intervjufrågorna i förhållande till tre kategorier: kostnader, logistik och hållbarhet.

## 4.1 Bolag etablerade i den svenska byggindustrin

Följande avsnitt innehåller den del av resultatet som är baserad på svaren från Mikael Åberg från Serneke, Therese Anhammer och Per Arvidsson från Moelven, Rasmus Rempling från NCC, Helen Broo från Skanska, Robert Lassila och Jens Malmberg från Svensk Bygglogistik samt Christoffer Johansson från Lambertsson.

### 4.1.1 Kostnader

Nedan presenteras en aggregering av de svar som framkommit om kostnader från tidigare nämnda respondenter i förhållande till tre underkategorier: investeringskostnader, materialkostnader och tillverkningskostnader.

#### 4.1.1.1 Investeringskostnader

Angående investeringskostnader nämnde Rempling från NCC och Broo från Skanska att avskrivningar av maskiner är en relevant del av investeringskostnaderna när företag äger egna maskinparker. Broo kommenterade vidare att det finns företag som enbart hyr maskiner och formställningar. Respondenten nämnde även att bolagen försöker minimera hur länge kranar är uppställda då kostnaderna är proportionerliga mot tiden de används. Rempling förklarade att i de fall byggföretagen hyr maskiner, är dessa kostnader också proportionerliga mot byggtiden. Respondenten konstaterade att dessa kostnader sällan är stora jämfört med materialkostnader eller lönekostnader.

Respondenterna Anhammer och Arvidsson från Moelven nämnde att investeringarna kopplade till basproduktionen i sin fabrik där de producerar prefabricerade stomelement är mest betydande. Dessa investeringar avser både fabrikslokalerna i sig, och investeringar i maskiner och robotar. Åberg från Serneke nämnde även att det ofta är viktigt att investera i överkapacitet på arbetsplatsen för att undvika förseningskostnader.

#### 4.1.1.2 Materialkostnader

Samtliga respondenter konstaterade att materialkostnaden vanligtvis är den näst största kostnaden för byggprojektet. Anhammer och Arvidsson från Moelven berättade att materialkostnaden tidigare varit den största kostnaden men att lönekostnaderna har tagit över den positionen då de ökat över tid. De sade att den brukar vara cirka 45 % av de totala kostnaderna. Rempling från NCC nämnde att kvalitetsaspekten är den främsta orsaken till detta. Broo från Skanska menade också att även temporära konstruktioner och stag bidrar till materialkostnaden.

Alla respondenter konstaterade att det ofta uppstår spillkostnader. Samtliga respondenter resonerade kring att den mänskliga faktorn leder till projekterings- och kommunikationsrelaterade misstag som bidrar till spillkostnader. Respondenterna från Skanska och Moelven menade att deras företag är duktiga på att reducera materialrelaterat spill i produktionen. Broo berättade att det beror på att det i projekteringsfasen läggs mycket resurser på beräkningar och optimering av resursutnyttjande. Broo kommenterade att det finns utrymme att göra mer, men att företag generellt är mer benägna att implementera effektiviseringar som sparar resurser. Rempling menade vidare att det generellt inte förekommer mycket dötid i byggprocesser, utan att det främst är kvalitetsbrister som leder till väntetid. Respondenten menade att sådana processer generellt är välplanerade och erfarenhetsbaserade.

Anhammer och Arvidsson, Broo och Åberg konstaterade att en av de största utmaningarna kostnadsmissigt är ökande virkes- och materialpriser, som uppstår som en konsekvens av kriget i Ukraina. Respondenterna från Moelven noterade att prisökningen nådde sin topp på 120 % i november 2022. Anhammer och Arvidsson menade även att glasfiber som kräver mycket energi för att tillverkas har blivit ett problem, då elpriserna ökat drastiskt. Även om priserna för exempelvis trä och stål på senare tid har gått ned, påverkas de fortfarande av inflationen.

#### **4.1.1.3 Tillverkningskostnader**

Alla respondenter höll med om att lönekostnaden idag är den största kostnaden för både större och mindre projekt. Anhammer och Arvidsson från Moelven gav konkreta siffror på detta: 29 % av deras totala kostnader är lönekostnader för själva byggandet; 3 % är för projektering och projektledning; och 10 % kunde ses som administrativa omkostnader för ekonomiavdelningen, verkställande direktörer, med mera. Åberg från Serneke berättade även att lönekostnaderna kopplade till administration är höga, speciellt i stora projekt. Anhammer och Arvidsson samt Lassila och Malmberg från Svensk Bygglogistik konstaterade att byggandet av stommen är den mest tids- och kostnadseffektiva delen av byggprocessen.

Samtliga respondenter berättade att underleverantörer står för en stor del av kostnaderna, då de används i stor utsträckning i branschen. En betydande del av dessa kostnader är kopplade till löner. Johansson från Lambertsson berättade att det även uppstår administrationsomkostnader och kostnader som säkerställer att underleverantörerna erhåller kalkylerat täckningsbidrag. Anhammer och Arvidsson visade att ungefär 19 % av deras kostnader på byggplatsen och ungefär 4 % av fabrikskostnaderna går till underleverantörer, vilket avviker något jämfört med resten av branschen. Vidare berättade Johansson att det i Sverige kan innebära en utmaning att anlita entreprenörer specialiserade på platsgjutning, då prefabricering har blivit standard. Detta kan i sin tur kan leda till ökade kostnader.

Kostnader proportionerliga mot byggtiden diskuterades också med några av respondenterna. Anhammer och Arvidsson berättade att avseende kostnadsstrukturen vid produktion står arbetskraftsomkostnaden för cirka 15 % av den totala projektkostnaden. Detta inkluderar material och utrustning som är nödvändigt för att byggnaden ska tillföras värde, såsom bodar, ström, tillfälliga elanläggningar, kranar och hissar. Broo från Skanska berättade att omkostnader kopplade till installationer och service också är sådana kostnader.

Rempling och Broo diskuterade att rätt material på rätt plats är viktigt för att bygga med optimal hastighet och kvalitet. Detta innebär enligt respondenterna att beslut inte ska tas i ett för tidigt skede, utan att beslutspunkten ska vara då välinformerade beslut kan tas. Broo exemplifierade

med betongminimering i stödmurar, som byggs med en avsmalnande struktur för att spara material. Hon menade att följderna av ett sådant beslut kan bli att andra processer behöver anpassas, vilket i sådana fall leder till att vad som inledningsvis var en besparing leder till en ökad totalkostnad.

Rempling nämnde att riskhantering är viktigt, då förseningar kan leda till stora problem. Han menade även att den största utmaningen i byggbranschen är att få förändrade beteenden till stånd. När det kommer till kostnadsbesparingar menar Rempling att det finns ett behov av att konkret demonstrera hur det ska gå till, och exakt vilka besparingar som i sådana fall kan göras. Risken är annars att det som i teorin optimerar kostnadsstrukturen inte kommer att genomföras i praktiken.

## **4.1.2 Logistik**

Nedan presenteras en aggregering av de svar som framkommit om logistik från tidigare nämnda respondenter i förhållande till fyra underkategorier: administration, transport, lagerhållning och förseningar.

### **4.1.2.1 Administration**

Samtliga respondenter hade en bild av att byggindustrin generellt sett är dålig på att planera materialflöden. Lassila och Malmberg från Svensk Bygglogistik samt Rempling från NCC, utvecklade resonemanget ytterligare med att materialleverantörer har tagit på sig ansvar att med kort varsel lösa materialleveranser vid behov. Således menade de att det inte funnits något uppenbart incitament för byggföretagen att utveckla den nödvändiga kompetensen för att planera bättre. Samtidigt menade respondenterna Lassila och Malmberg från Svensk Bygglogistik, samt Johansson från Lambertsson, att det finns många kostnader som kan minskas genom att styra materialflöden mer effektivt. Samtidigt som konsensus var att branschen generellt sett är ineffektiv på logistik, framkom det även under intervjuerna att det finns moment som i stället ofta är välplanerade under byggprojekt. Lassila och Malmberg påpekade bland annat att logistikarbetet som kretsar kring materialförsörjning för stombyggnad är effektiviserat i hög utsträckning. De menade att det är en nödvändighet att arbetet sker på utsatt tid på grund av att det annars stoppar nästan alla andra processer, då det är ett moment som måste göras innan många andra moment. En annan faktor som nämndes var att det samtidigt oftast är en leverantör som har ansvar för hela stommen och att koordineringsarbetet därmed underlättas.

Fyra respondenter nämnde att när det kommer till skillnader mellan logistikarbetet för prefabricerade stomelement och platsgjuten betong, var den samlade bilden att prefabricerade stommar kräver betydligt fler leveranser, medan platsgjutning kräver mycket mer planering. Anhammer och Arvidsson från Moelven hävdade att då prefabricerade stomelement tillverkas i fabrik, och att mycket av arbetet inte sker på byggplatsen, möjliggörs större kontroll över tillverkningen. Respondenterna menar att det medför att processen kan effektiviseras i högre utsträckning än arbete som sker på plats. Lassila och Malmberg hävdade att när stommen platsgjuts blir byggplatsen mer ostrukturerad än när prefabricering används. En orsak som respondenterna nämnde var att det är fler verksamma aktörer som är på plats under gjutning, men även att olika typer av rör och ledningar måste gjas in. Detta medför att det är fler personer på arbetsplatsen som måste koordineras.

#### 4.1.2.2 Transport

När det kommer till stombyggnad var samtliga respondenter eniga om att prefabricerade stomelement normalt sett levereras enligt principen om just-in-time. Johansson från Lambertsson utvecklade resonemanget; för att bygga prefabricerad stomme krävs det att det hela tiden anländer nya element i precis den takt som krävs för att projekt ska kunna fortgå i planerad takt. Broo från Skanska berättade ytterligare att för prefabricerade stomelement i trä är det viktigt att skydda dem från regn. Detta leder till ökade kostnader när materialet är på byggplatsen. Fem respondenter nämnde även att det inte är möjligt att lagerhålla material som används vid platsgjuten betong. De menade att leveranserna till stommen är tidskritiska då betongen kan brinna (härda) om leveransen kommer fram för sent.

Angående kostnadsbilden för transporter har respondenterna givit varierande svar. Anhammer och Arvidsson från Moelven menade att transporten av deras färdiga prefabricerade element stod för 2 % av totalkostnaden och att kostnaden för att lyfta elementen på plats med kran stod för 1 % av totalkostnaden. De påpekade även att transporter är en utmaning på sikt, på grund av högre klimatmässiga krav på transporter. Detta bidrar till ökade kostnader. Åberg från Serneke berättade att de nyttjat en logistikgrupp för att sköta materialförflyttningar på arbetsplatsen. Kostnaden för logistikgruppen var en av företagets största rörliga kostnader. Dock poängterades att vid frånvaro av logistikgruppen hade en annan part i stället behövt flytta materialet, vilket skulle ha skett mindre effektivt och därmed lett till ännu högre kostnader. Hur stora de rörliga kostnadernas andel av totalkostnaden var klargjordes inte under intervjun. Rempling från NCC påstod att de största logistikkostnaderna kommer från mindre transporter. alltså små och korta transporter av exempelvis prefabricerade stomelement, bjälklag, deponi och betong. Vidare påpekade fyra respondenter att vissa byggarbetsplatser har ett begränsat antal transportalternativ, vilket medför utmaningar. Detta gäller särskilt när prefabricerade stomelement används, då det krävs att elementens dimensionering är sådan att frakt är möjlig med tillgängliga transportmedel. Det måste även säkerhetsställas att elementen tål de vibrationer som kan uppstå under transport, och att det finns en eller flera kranar som kan lyfta dem.

#### 4.1.2.3 Lagerhållning

Fyra respondenter påtalade att lagerhållning kan utgöra problem för vissa typer av byggprojekt. I synnerhet för projekt som sker i urbana miljöer, där de ofta lider av problemet att det saknas möjlighet till lagerhållning av material i anslutning till byggplatsen. Problematiken leder i stället till att den typen av projekt måste ha ett effektivare materialflöde. Tre av respondenterna, Lassila och Malmberg från Svensk Bygglogistik samt Åberg från Serneke, beskrev hur ett så kallat satellitlager kan utnyttjas för att med ökad kontroll kunna styra materialflödet till byggplatsen. Samtidigt hävdade Lassila och Malmberg från Svensk Bygglogistik att satellitlager oftast inte är nödvändiga så länge materialflödet är effektiviserat nog, men att branschens förmåga inte är på en tillräckligt hög nivå. De nyanserade dock påståendet med att i de lägen som stora mängder prefabricerade element beställs samtidigt, är det i princip nödvändigt att nyttja någon form av satellitlager.

Anhammer och Arvidsson från Moelven resonerade om att hög kapitalbindning i form av lagerhållet material påverkas av ökade räntekostnader, i den utsträckning materialinköp finansieras med belåningar. Respondenterna menade att effektivisering av det logistiska flödet i större utsträckning leder till besparingar vid höga räntelägen.

#### 4.1.2.4 Förseningar

Fyra respondenter nämnde att förseningar kan leda till omfattande extra kostnader. Framst beror kostnaderna på att arbete som schemalagts ej kan utföras på grund av att tidigare moment inte är färdigställda. Det kan då uppkomma kostnader för viten och ombokning av underentreprenörer. Underentreprenörerna är i sin tur ofta involverade i ett flertal projekt, vilket leder till begränsad tillgänglighet och att kaskadeffekter kan uppstå vid förseningar. Åberg på Serneke hävdade att det därför kan vara kostnadsbesparande att överbemanna kritiska moment för att minska risken för förseningar.

#### 4.1.3 Hållbarhet

Nedan presenteras en aggregering av de svar som framkommit om hållbarhet från tidigare nämnda respondenter i förhållande till ekologisk hållbarhet och social hållbarhet.

##### 4.1.3.1 Ekologisk hållbarhet

Alla respondenter var överens om att byggbranschen generellt sett är dålig på att reducera utsläpp om det inte finns uppenbara monetära incitament. Vidare utvecklade både Broo från Skanska och Johansson från Lambertsson att byggprojekts beställare är de som har störst potential att påverka utsläppen från ett projekt. De menade att minskande av miljöpåverkan ofta leder till högre kostnader och att aktörer i byggbranschen inte är villiga att minska sina marginaler. Kan beställaren täcka de ökade kostnaderna, menade respondenterna att utsläppen kan reduceras kraftigt. De menar vidare att det därför är viktigt att stora beställare eller myndigheter ställer krav och använder monetära incitament för att främja hållbarhetsrelaterade initiativ.

Fyra respondenter ansåg att branschens aktörer generellt är duktiga på materialbesparingar. Att reducera mängden material som används kan vara ett mer ekonomiskt gynnsamt hållbarhetsarbete. Broo menade dock att det kan vara komplicerat att mäta materialbesparingars effekt. Hon menade att besparingar i förhållande till ett moment kan leda till att andra moment påverkas negativt. Sambanden är enligt resonemanget ofta för komplexa för att kunna göra korrekta beräkningar på förhand. Rempling från NCC menade däremot att optimerande materialberäkningar kan minska materialanvändningen med 5–35 %.

Samtliga respondenter ansåg att deras företag hade relativt lite materialspill. Anhammer och Arvidsson från Moelven menade att deras spill och svinn endast står för cirka 2 % av deras koldioxidutsläpp. De påpekade även att det är betydligt lättare att hantera och kontrollera spill och kasseringar i fabrik och att standardisering av byggdelar möjliggör att eventuellt material som blir över lätt kan återanvändas.

Broo nämnde att branschens aktörer i stor utsträckning använder sig av återvinning och till viss del återbruk. Enligt henne har byggbranschen under de senaste fem åren mer ingående börjat undersöka återbruk av konstruktionsmaterial, såsom stålballar, stålpelare, betongbjälklag och prefabricerade stomelement. Rempling tog även upp att betong kan krossas och återanvändas som fyllnadsmaterial, ballast eller i ny betong.

Att hitta och våga investera i mer hållbara material är en stor utmaning för branschen enligt Broo, men att framsteg sker. Exempelvis menar Broo att betong som kräver mindre mängd cement börjat användas och att byggnad med trästommar, som binder och lagrar koldioxid,

har blivit vanligare. Rempling lyfte även potentialen i att binda koldioxid i betongen genom att koldioxidmätta den innan gjutning. Både Broo och Rempling nämnde att betongens största utsläpp uppkommer under framställning snarare än under transporter. Vidare påstod Anhammer och Arvidsson att deras hus med trästomme har hälften så stort koldioxidutsläpp som deras hus med betongstomme, exkluderat trästommens koldioxidsänka.

#### **4.1.3.2 Social hållbarhet**

Rempling från NCC och Broo från Skanska nämnde att ett problem för byggbranschen är den relativt höga skadefrekvensen, samt det relativt höga antalet dödsfall. Broo berättade att många av skadorna sker när anställda ska lösgöra gods, utföra lyft eller använda temporära konstruktioner som inte fungerar korrekt. Broo berättade vidare att initiativ för att reducera skärskador och snubbelolyckor diskuteras i branschen. Anhammer och Arvidsson från Moelven påstod att en fördel med prefabricering är att en stor del av arbetet sker i fabrik och att det därför är betydligt lättare att reducera skaderisken. De menade att det är lättare att styra arbetet genom att exempelvis säkerställa ergonomisk anpassning, och minska snubbelrisk genom att flytta material på byggarbetsplatsen till korrekta positioner. Rempling påstod även att industrin är bra på materialhantering av hälsofarliga material.

#### **4.1.4 Kommentarer om 3D-printing**

Både Rempling från NCC och Broo från Skanska framhöll teknikens förmåga att producera stora volymer av varierande objekt som 3D-printingens styrka. Rempling och Broo diskuterade att en klar fördel med 3D-printing är möjligheten att bygga fria former och andra arkitektoniska uttryck, som med andra tillgängliga metoder antingen är väldigt dyra eller i princip omöjliga.

Broo argumenterade för att byggföretag ogärna tar risker och hellre avvaktar fram till att andra aktörer tar det första steget. Detta leder till viss investeringsobenägenhet i förhållande till ny teknik, då nya projekt är kostsamma och riskabla. Rempling lyfte vidare att betongen som används vid 3D-printing är mer klimatdrivande på grund av högre cementhalter än betong som används vid vanlig formgjutning. Han nämnde även att det kan bli utmanande att hantera 3D-printrar på byggarbetsplatser då de kan vara mycket dammiga, smutsiga och oskyddade miljöer som är utsatta för regn och fukt. Rempling menade att detta kan förklara varför 3D-printing inte tagit fäste i byggbranschen.

Rempling diskuterade vidare att materialpriser för 3D-printing är högre än för andra byggmetoder, men menade att detta kan förändras på sikt. Detta skulle i sådana fall bero på att materialet är dyrare då det används i mindre skala, och därför inte kunnat dra nytta av samma skalfördelar som vanlig betong.

## 4.2 3D-printingbolag

Följande avsnitt innehåller den del av resultatet som är baserad på svar från Andrei Moraru från Cobod, Morten Bove från Wohn Homes, Matteo Noris från Wasp och Jim Ritter från Printed Farms.

### 4.2.1 Effekter på kostnader

Nedan presenteras en aggregering av de svar som framkommit om kostnader från tidigare nämnda respondenter i förhållande till tre underkategorier: investeringskostnader, materialkostnader och tillverkningskostnader.

#### 4.2.1.1 Investeringskostnader

Alla respondenter berättade att 3D-printing inom byggbranschen är en utforskad teknik och således att investeringskostnaderna för att vidareutveckla tekniken är omfattande. De framhöll att det delvis berodde på utveckling av material och verktyg och delvis utbildning av kompetent personal. Ritter från Printed Farms berättade att de investerat mycket för att motverka den bristande kunskapen på området. Noris från Wasp och Ritter berättade att investeringen att köpa 3D-printrar utgör en stor kostnad.

Avseende forskning- och utvecklingskostnader menade Noris att i de fall då det är osäkert huruvida ett särskilt projekt är genomförbart eller inte, skapas demonstrationsmodeller för laboratorietestning. Processen, menade Noris, innebär en av de största kostnaderna för hela projektet.

#### 4.2.1.2 Materialkostnader

Alla respondenter resonerade kring hur material påverkar kostnadsstrukturen. Ett återkommande resonemang hos samtliga var att 3D-printing, i jämförelse med platsgjutning och prefabricering, kräver mindre material vilket resulterar i bättre resurseffektivitet och mindre spill som i sin tur ger upphov till kostnadsbesparingar. Avseende materialval varierar bolagens förhållningssätt. Moraru från Cobod berättade att deras 3D-printrar använder en betongblandning bestående av cement, vatten, sand, kemikalier och ballast, medan flera av deras konkurrenter använder murbruk. Moraru konstaterade att murbruk är åtminstone fem gånger så dyrt som betongblandningen. Bove berättade att Wohn Homes använder en blandning av återvunnen plast och trä, och argumenterade för att det är billigt och lättillgängligt.

Noris från Wasp berättade att de nyttjade datorstyrd optimering för att inte använda mer material än nödvändigt, samtidigt som de kunde finna vilka delar av strukturen som kräver extra styrka och därför kunde materialdensitet prioriteras där det är som viktigast. Genom optimering uppnår företaget, enligt Noris, kostnadsbesparingar genom minskad materialförbrukning.

#### 4.2.1.3 Tillverkningskostnader

Moraru från Cobod, Bove från Wohn Homes och Ritter från Printed Farms förklarade att utnyttjande av 3D-printing leder till att den nödvändiga arbetskraften minskar i jämförelse med platsgjutning och prefabricering. Moraru exemplifierade med att förklara att ett traditionellt byggprojekt som involverar mycket arbete med betong, betongelement och formbygge, kräver

runt 10–20 arbetare för ett vanligt tvåvåningshus. Vidare förklarades däremot att endast tre personer krävs vid 3D-printingprojekt: en person med ansvar för printern, en person med ansvar för material och en person som kan assistera efter behov.

Ytterligare en faktor som togs upp av Moraru var möjligheten att kostnadseffektivisera byggproduktionen genom att printa flera sammankopplade hus samtidigt. Detta demonstrerades med ett exempel där sex hus kunde 3D-printas med samma maskin. Respondenten förklarade däremot att teknologin i dagsläget till viss grad är begränsad i både bredd (29 m) och höjd (18 m). Bove hävdade ytterligare att 3D-printing ger upphov till skalfördelar genom att kod och modeller för 3D-printing kan återanvändas i nya projekt.

Noris från Wasp samt Moraru och Bove påpekade att formsättning vid användning av formgjutning är kopplat till betydande kostnader, och vidare att 3D-printing har likartad kostnadsbild oavsett arkitektonisk komplexitet. För traditionella byggprojekt, menar de, är kostnaden tvärtom olika beroende på konstruktionens form. En annan faktor som Moraru tog upp var att det går snabbare att bygga med en 3D-printer i jämförelse med platsgjutning och prefabricering. Moraru konstaterade att platsgjutning kräver stegvis arbete och väntan på att cement ska torka, medan 3D-printing kan bygga kontinuerligt och inte kräver några avbrott under dagen. För att exemplifiera detta påstod Moraru att det endast tar 120 timmar för en 3D-printer att bygga strukturen för ett tvåvåningshus, medan det kan ta månader med konventionellt byggande.

Noris påstod även att data används i större utsträckning än vid platsgjutning och prefabricering. Påståendet nyanserades dock med att stora mängder data kan skapa en viss förvirring om vad som är viktigt eller inte, vilket kan innebära att viktiga faktorer förbises. Däremot tror Noris ändå att det uppnås bättre kontroll genom att använda sig av 3D-printing, eftersom printern kommer att tillverka enligt anvisning.

## **4.2.2 Effekter på logistik**

Nedan presenteras en aggregering av de svar som framkommit om logistik från tidigare nämnda respondenter i förhållande till fyra underkategorier: administration, transport, lagerhållning och förseningar.

### **4.2.2.1 Administration**

Respondenterna resonerade väldigt olika kring administrationskostnader kopplade till logistik. Bove från Wohn Homes berättade att de producerar sina hus som moduler i en fabrik, där enklare montering sker på byggplatsen. Bove menar att metoden låter Wohn Homes vara betydligt mindre väderkänsliga än företag som 3D-printar på plats. Både Ritter från Printed Farms och Moraru från Cobod berättade att väderförhållanden kan påverka byggprocessen med 3D-printing, där regn togs upp som särskilt problematiskt.

Både Bove och Moraru påpekade att 3D-printing kan underlätta för installationsprocesser genom att skapa tomrum i byggnaden där rör och ledningar ska dras, samt där eluttag ska sitta. Genom detta tillvägagångssätt behövs inget ytterligare arbete för borring eller dylikt, vilket behövs vid konventionellt byggande. Bove menade även att Wohn Homes kunnat reducera antalet andra aktörer involverade i sina projekt genom att använda 3D-printing.

#### **4.2.2.2 Transport**

Samtliga respondenter resonerade kring att 3D-printing kan minska mängden transporter som krävs i ett byggprojekt. Moraru från Cobod berättade att det enbart krävs två lastbilar för att frakta deras 3D-printer, vilket Moraru menar är betydligt färre än för att frakta maskiner och verktyg för andra metoder av stombygge. Bove från Wohn Homes hävdade att de enbart använder material som är lokalt tillverkat och kan på så vis minska sina transporter som åker långa sträckor. Moraru påpekade att vid platsgjutning levereras ofta förblandat byggnadsmaterial, vilket ställer krav på planering av materialanvändningen. Vid 3D-printing som byggnadsmetod blandas materialen på plats och konstruktionen kan pågå samtidigt som materialen mixas. På så vis kan allt material som krävs för en byggnad transporteras på en gång och blandas när det behövs, i stället för att transportera en del av materialet som krävs i flera omgångar.

#### **4.2.2.3 Lagerhållning**

Ritter från Printed Farms nämnde att då endast en maskin behövs för att producera flera olika typer av byggnadsstommar, innebär det att mängden erforderligt material och antalet verktyg som behövs reduceras. I övrigt kommenterade inte respondenterna aspekten.

#### **4.2.2.4 Förseningar**

Som tidigare nämnts av Ritter från Printed Farms och Moraru från Cobod är 3D-printing väderkänsligt vilket leder till att tiden för att printa kan variera beroende på vädret vilket i sin tur kan ge upphov till förseningar.

### **4.2.3 Effekter på hållbarhet**

Nedan presenteras en aggregering av de svar som framkommit om hållbarhet från tidigare nämnda respondenter i förhållande till två underkategorier: social hållbarhet och ekologisk hållbarhet.

#### **4.2.3.1 Ekologisk hållbarhet**

Angående 3D-printingmaterialens miljöpåverkan gav respondenterna blandade svar. Alla respondenter påpekade att 3D-printings minskade materialåtgång minskar miljöpåverkan som följd. Moraru från Cobod berättade däremot att betong inte är ett ekologiskt hållbart material. Vidare berättade Moraru även att vissa komponenter som används i de betongblandningar som printas ofta importerar, vilket påverkar logistiken och miljön negativt. Bove från Wohn Homes höll med om att betong inte är ett ekologiskt hållbart material men framhävde att företaget i stället printar med återvunnen plast och trä. Enligt honom har materialet en lägre miljöpåverkan än konkurrerande material. Bove hävdade att utsläppen kan minskas med totalt 90 % med detta materialval. Moraru framhävde däremot att vissa av deras konkurrenter använder murbruk. Enligt honom leder produktion av murbruk till större mängder CO<sub>2</sub>-utsläpp, samt ett större transportbehov jämfört med betong. Moraru framförde även vidare att de med hjälp av EU-bidrag aktivt arbetar för att utveckla nya mer hållbara material, men att det är tidskrävande.

#### 4.2.3.2 Social hållbarhet

Alla respondenter resonerade kring att tillämpning av 3D-printing medför färre arbetsrelaterade lyft, vilket reducerar mängden av ett av de mest skadedrabbade momenten på byggplatser. Noris från Wasp uttryckte även att den minskade mängden arbetskraft på byggplatsen medför att det finns färre personer som kan skada sig, vilket minskar skadefrekvensen. Noris nyanserade dock med att användning av sensorlösa robotarmar är en ny typ av moment där skador kan uppkomma. Ritter från Printed Farms tog även upp att det med platsgjutning och prefabricering ofta är en fördel med mänskliga fysiska attribut såsom styrka. 3D-printing medför däremot ett mer öppet och inkluderande arbete där arbetskraft med andra förutsättningar kan bli konkurrenskraftigt.

# 5 Analys

I följande avsnitt presenteras en analys av resultatet utifrån frågeställningarna med fokus på kostnader, logistik och hållbarhet.

## 5.1 Kostnader

De ekonomiska effekterna med 3D-printing som byggmetod delas in i kostnader för investeringar, material och tillverkning. Följande avsnitt presenterar en analys av samtliga.

### 5.1.1 Investeringskostnader

Inträdesbarriärerna för byggnadsentreprenörer som avser använda sig av 3D-printing som byggmetod är betydande, då det krävs höga investeringar. En av de investeringarna är kostnaderna för 3D-printern. Andra betydande faktorer som bidrar till investeringskostnader i nuläget är behovet av kompetent personal samt nya lösningar på material. Eftersom 3D-printing som byggmetod fortfarande är relativt nytt och outforskat är det problematiskt för 3D-printingföretagen att hantera dessa faktorer. Att tekniken är ny innebär dessutom att 3D-printingbolagen tar sig an nya risker för att kunna etablera sig på en osäker marknad. Däremot bör kunskapsområdet för tekniken öka med tiden och med fler aktörer som tillämpar 3D-printing som byggmetod, desto mer kan kunskapen spridas inom branschen. Det innebär att både ökad allmän kunskap på området samt nya materiallösningar kommer att minska investeringskostnaderna i allmänhet för ett nytt 3D-printingbolag, men dessa kostnader är kopplade till branschen i nuläget. Användningen av prefabricerade byggelement medför däremot också investeringskostnader då det krävs investeringar för exempelvis lokal, maskiner och utrustning. Investeringar i både prefabricering av element och 3D-printing som byggmetod, har potential att leda till betydande stordriftsfördelar då existerande resurser kan återanvändas i större utsträckning än vid platsgjutning.

Ytterligare en investeringskostnad för 3D-printing är att skapa och testa demonstrationsmodeller för att säkerställa att byggnaden kommer att fungera i praktiken, vilket är en konsekvens av den okunskap som tidigare nämnts. Platsbyggd produktion kräver också investeringar i exempelvis maskiner och utrustning. Däremot finns det möjlighet att vid platsgjutning och prefabricering samt 3D-printing som byggmetod att hyra maskiner. Därför kan de initiala kostnaderna på så sätt minskas och således även inträdesbarriärerna. Kort sagt medför 3D-printing investeringskostnader som till stor del är en konsekvens av begränsad kunskap kring att använda tekniken som byggmetod. I takt med att tekniken mognar kommer kunskapen öka vilket reducerar potentiella problem. Således kan investeringskostnaderna över tid minskas.

### 5.1.2 Materialkostnader

Även om de svenska byggföretagen är skickliga på att nyttja material och hålla nere materialkostnader, finns det fortfarande utrymme för förbättringar. Att använda 3D-printing som byggmetod leder till mindre spill och en ökad resurseffektivitet vilket kan leda till kostnadsbesparingar. Vid platsbyggd produktion med betong är det viktigt att leveranserna och gjutningen av betongen sker vid rätt tidpunkt, annars kan materialet bli oanvändbart. Det är en risk som företagen alltid måste ha i åtanke, eftersom sena leveranser kan leda till mer spill och

således ökade kostnader. Däremot är fel i produktionen, under byggandet på plats, en av de faktorer som bidrar mest till slöseri. 3D-printing som byggmetod möjliggör användning av tekniskt optimerande metoder vilket ger upphov till ökad resurseffektivitet jämfört med platsgjutning och prefabricering. Dessutom används data i större utsträckning vid 3D-printing vilket ger aktörerna bättre möjligheter för att kontrollera byggprocessen och således kan slöseri minimeras. På så vis ökar resurseffektiviteten ytterligare med 3D-printing. Eftersom materialkostnaden är en av de största kostnaderna för byggföretag, kan aktörer inom 3D-printing nyttja resurseffektiviteten och uppnå kostnadsbesparingar. Däremot innehåller den betongblandning som används vid 3D-printing andra material och tillsatser än den betong som används vid platsgjutning och prefabricering, samt har en högre cementhalt. Det gör även betongblandningen dyrare vilket komplicerar effekten på kostnadsbesparingarna då materialen som används är av olika karaktär. Däremot går det att fastställa att ökad resurseffektivitet kan uppnås med 3D-printing i jämförelse med platsgjutning och prefabricering.

### **5.1.3 Tillverkningskostnader**

Eftersom 3D-printing som byggmetod innebär att färre personal krävs för byggandet jämfört med platsgjutning och prefabricering, blir lönekostnaderna mindre. Det är särskilt relevant eftersom lönekostnaderna i byggbranschen har ökat. En annan fördel som 3D-printing har gentemot platsgjutning och prefabricering är att kostnaden för stommen inte ökar beroende på vilken form den ska ha. I de fall kunden önskar en form med mer komplex design, har 3D-printing därmed en kostnadsfördel jämfört med platsgjutning och prefabricering. Beroende på efterfrågan av mer komplexa former, varierar signifikansen av denna fördel. Vidare kan 3D-printing som byggmetod medföra en snabbare produktion av stommen. En konsekvens av det är att tillverkningsomkostnader kopplade till exempelvis leasing, arbetskraft och administration, blir lägre.

Med 3D-printing som byggmetod finns det möjlighet att återanvända kod till senare byggprojekt. Det innebär att en viss typ av kunskapsöverföring kan ske mellan projekt. Kunskapsöverföring har visat sig vara ett av problemen till att det i byggbranschen råder låg produktivitet. Således kan återanvändningen av kod öka kunskapsöverföring mellan projekt och på så vis även öka produktiviteten. Detta tillvägagångssätt ger även upphov till skalfördelar eftersom ju mer kunskap som genereras från projekt, desto mer kan återanvändas i nya. I jämförelse med platsgjutning och prefabricering, finns det med 3D-printing därför en möjlighet att förbättra kunskapsöverföring mellan projekt.

Vidare är prefabricering kostnadsmässigt effektivt eftersom det sker ett noga projekteringsarbete då sista-minuten-lösningar kan minimeras vilket leder till både minskat spill och reducerade kostnader. Att producera i fabrik minimerar också risken för nödlösningar eller avbrott på byggplatsen jämfört med platsbyggande, som kan orsakas av exempelvis skadliga väderförhållanden. Prefabricering ger också möjligheter till skalfördelar eftersom det finns en större möjlighet för produktionen att standardiseras i jämförelse med att bygga på plats. Däremot ger användning av 3D-printing en möjlighet att producera flera sammankopplade hus samtidigt, vilket kan ge upphov till ytterligare skalfördelar.

## **5.2 Logistik**

Effekterna på logistiken med 3D-printing som byggmetod delas in i administration, transport, lagerhållning och förseningar. Följande avsnitt presenterar en analys av samtliga.

### 5.2.1 Administration

De administrativa delarna av det logistiska arbetet påverkas vid 3D-printing av byggstommar då mängden transporter, material och byggarbetare som krävs ofta reduceras. I den svenska byggbranschen förekommer ofta omfattande logistikarbete i stora arbetslag eller via konsulter som synkroniserar inköp och planering av transporter med schemalagda tillfällen då arbetsmoment ska utföras. Detta gäller främst då stommar gjuts på plats, eftersom en stor mängd separata leveranser av material och utrustning är nödvändiga under processens gång, men även i förhållande till externa fabriker för produktion av prefabricerade element och stommar. Eftersom behovet av arbetskraft är lägre vid 3D-printing av stommar jämfört med både platsgjutning och prefabricering, minskar alltså komplexiteten kopplad till logistisk administration. I många fall kan användning av 3D-printing även minska mängden material och därigenom antalet transporter, särskilt i förhållande till platsgjutning. Detta leder vidare till att det administrativa arbetet underlättas. Att använda 3D-printing som byggmetod kan även till ett lägre behov av underentreprenörer. Det medför kostnadsbesparingar eftersom tilläggsavgifter för underleverantörer undviks.

Vissa aktörer inom 3D-printing i byggindustrin producerar hela byggstommar direkt i fabrik. Det skiljer sig från den svenska branschens arbetsmetodik där särskilda element till byggstommar prefabriceras, för att sedan sättas samman med hjälp av kranar och annan utrustning på plats. Logistisk administration underlättas när ett färre antal transporter behöver ske till byggarbetsplatsen. Det medför dock en annan typ av administration som kan kräva särskild kompetens, särskilt i förhållande till de delar av byggprocessen som utförs efter att stommen är färdigställd. Däremot kan stombyggnad med 3D-printing underlätta installationsprocesser eftersom tomrum i stommen kan skapas där rör och ledningar ska placeras. Således kan de resurser som krävs för installationsprocesser reduceras, vilket underlättar administrativt arbete relaterat till transporter och underentreprenörer. Administrationen av logistiken kan dock påverkas negativt i förhållande till materialproduktionen, då tillsatser och komponenter kan behöva köpas in från specialleverantörer och olika delar av världen för att säkerställa att materialet lever upp till de krav som finns. Vidare finns det kända svårigheter relaterade till väderförhållanden som påverkar när och hur 3D-printrar kan användas. Det ställer särskilda krav på kortsiktig kapacitet att administrera logistiken.

### 5.2.2 Transport

Logistikkostnader för transport vid användning av 3D-printing för byggnadsstommar påverkas på ett flertal sätt jämfört med platsgjutning och prefabricering. Den svenska byggindustrin står inför logistiska utmaningar, där transport av prefabricerade stommar och material i allmänhet är en av de största kostnadsdrivarna. Genom framväxten av 3D-printingsteknik har det dock uppstått ett flertal möjligheter att minska dessa kostnader och öka effektiviteten.

För att gjutning av stommar på plats ska kunna ske effektivt är ett just-in-time-baserat angreppssätt hjälpsamt och ofta tillämpat, vilket ställer större krav på transportplanering jämfört med metoder där ett färre antal moment och komponenter är involverade. Vidare är det vanligt i den svenska byggbranschen att bolag saknar en designerad logistikresurs, varför ett flertal parter gemensamt delar på ansvaret. Detta leder i sin tur till att området nedprioriteras, och att det finns utrymme för effektiviseringar. Med 3D-printing för stommar kan detta problem avta i styrka då antalet moment som har potential att effektiviseras helt försvinner. Även själva

frakten av en 3D-printer till byggarbetsplatsen samt allt material som krävs för produktion av byggstommar kan ske genom ett begränsat antal transporter.

Behovet av transporter till byggarbetsplatsen då stommen printas direkt på plats genom tillämpning av 3D-printing minskar jämfört med vid användning av prefabricerade stommar. Effekten att tillämpa 3D-printing i jämförelse med platsgjutning av betong är dock inte lika påtaglig eftersom det krävs betydligt färre transporter vid plastgjutning jämfört med prefabricering. Eftersom 3D-printing möjliggör skapandet av komplexa och specialanpassade former kan transportbehovet vidare reduceras, då ett mindre antal delar behövs samt att risken för felaktig montering minskar. Generellt gäller att transportkostnaderna minskar ju mindre material och färre arbetsmoment som är involverade, vilket är fallet vid 3D-printing. Detta reducerar materialbrist, vilket ytterligare driver ned behovet av transporter.

### **5.2.3 Lagerhållning**

Behovet av lagerhållning av material och utrustning vid användning av 3D-printing av stommar minskar jämfört med platsgjutning och prefabricering, då det inte krävs förvaring av olika typer av material i färdigställd form. Behov av satellitlager och lagerhållning genom materialleverantörer minskar även i de fall 3D-printern och material kan fraktas till byggarbetsplatsen vid enstaka tillfällen. En begränsning med 3D-printing för byggnader i dagsläget är att det i praktiken enbart används för att producera stommarna. Om än lagerhållning och antalet transporter för byggandet av själva stommen minskar jämfört med platsgjutning och prefabricering, kvarstår en betydande andel arbete för att byggnaden ska ta slutlig form. I dagsläget innebär det att logistik i förhållande till resterande arbetsmoment är fortsatt aktuellt, inklusive lagerhållning av de beståndsdelar som tillhör stomkompletteringen samt därefter följande moment. Slutligen kräver produktion av flera olika typer av byggnadsstommar med 3D-printing endast en maskin, vilket innebär att färre produkter och verktyg samt mindre material krävs. Detta medför att utökat lagerhållningsutrymme uppstår på arbetsplatsen.

### **5.2.4 Förseningar**

Då 3D-printing som byggmetod ger upphov till att reducera materialbrist har inte förseningar lika stor inverkan i jämförelse med platsgjutning och prefabricering och således finns möjligheter till kostnadsbesparingar. Eftersom behovet av arbetskraft är lägre vid 3D-printing minskar även risken för förseningar som är en följd av frånvaro eller direkt kopplat till arbetskraften. Däremot är väderförhållanden en betydande faktor vid 3D-printing vilket ökar risken för förseningar som i sin tur kan ha en väsentlig inverkan på kostnaderna.

## **5.3 Hållbarhet**

Effekterna på hållbarhet av 3D-printing som byggmetod delas in i kategorierna ekologisk och social hållbarhet. Följande avsnitt presenterar en analys av båda.

### **5.3.1 Ekologisk hållbarhet**

De ekologiska effekterna med 3D-printing som byggmetod delas in i val av material och materialanvändning samt transport.

### **5.3.1.1 Val av material och materialanvändning**

3D-printing kräver inte lika mycket material som vid platsgjutning och prefabricering. Således kan materialet användas mer resurseffektivt, vilket minskar miljöpåverkan. Det är betydelsefullt för branschen eftersom betong som i dagsläget är den största källan till koldioxid inom industrin, kan användas mer resurssnålt med 3D-printing och på så sätt kan CO<sub>2</sub>-utsläppen minskas. Den betongblandning som används vid 3D-printing är dock klimatdrivande på grund av höga cementhalter vilket innebär att utsläppen ökar. Även om mängden material som förbrukas minskar med 3D-printing behöver det därför inte betyda att utsläppen minskar på grund av att cementhalterna i blandningen i stället ökar utsläppen. Dessutom används kemikalier i betongblandningen vars miljöpåverkan inte är allmänt känd. Således finns det faktorer som komplicerar effekten av 3D-printing på ekologisk hållbarhet. Det går dock att fastställa att 3D-printing som byggmetod ökar resurseffektiviteten av det material som används.

Återvunnet trä och plast är ett annat alternativ som material för 3D-printing. Genom användning av materialet har det visat sig kunna reducera koldioxidutsläppen för ett byggprojekt med 90 % i jämförelse med att använda sig av platsgjutning av betong som byggmetod. Reduktionen berodde dels på att varken betong eller stål användes, dels behövde ingen grundläggning genomföras vilket minimerar både materialanvändning och transporter. Vid prefabricering av trästomme för ett hus, kan koldioxidutsläppen minskas till hälften (exklusive koldioxidsänkan) i jämförelse med ett betonghus. Således finns det ett samband mellan val av material och CO<sub>2</sub>-utsläpp då användningen av trä, oavsett byggmetod, minimerar utsläpp i jämförelse med användning av betong. Att använda 3D-printing som byggmetod och trä som material kan minska mängden CO<sub>2</sub>-utsläpp markant, dels på grund av en ökad resurseffektivitet i jämförelse med platsgjutning och prefabricering, dels användning av material med lägre klimatpåverkan.

Vidare minimeras mängden spill vid användning av 3D-printing som byggmetod i jämförelse med platsgjutning och prefabricering. Kopplat till spill förekommer det arbete kring återvinning och återbruk bland de etablerade svenska bolagen. Eftersom mängden spill reduceras med 3D-printing tyder det på att mindre arbete kopplat till återvinning och återbruk behöver genomföras. Dessutom finns det möjlighet att 3D-printa stommar med återvunnet material. 3D-printing kan således leda till att minimera mängden spill och underlätta återvinning.

### **5.3.1.2 Transport**

Transport av betong är en betydande bidragande faktor till CO<sub>2</sub>-utsläpp i byggbranschen. Tillämpning av 3D-printing som byggmetod kan minimera antalet transporter jämfört med platsgjutning och prefabricering då mindre material används och behöver transporteras till arbetsplatsen. Vid 3D-printing kan dessutom allt material transporteras på en gång och blandas på plats. Då cement vid platsgjutning ofta behöver blandas i förväg och transporteras i omgångar så att det inte brinner, kan således transporterna reduceras ytterligare om 3D-printing i stället används. Effekten på transporter bör vara mest påtaglig när 3D-printing jämförs med prefabricering eftersom då det sker fler transporter till byggplatsen vid prefabricering än platsgjutning.

### **5.3.2 Social hållbarhet**

Antalet skador och dödsolyckor som sker på arbetsplatsen är den största utmaningen i förhållande till social hållbarhet för de svenska byggföretagen. Med 3D-printing kan detta

minimeras eftersom tekniken minimerar antalet lyft i arbetet, vilket i sin tur reducerar arbetsbelastningen. Vidare kan användningen av temporära konstruktioner minimeras eftersom de inte behövs, vilket också är en faktor till att skador uppkommer på arbetsplatsen. Dessutom innebär färre personal att rörelsen på arbetsplatsen minimeras och således även risken för att snubbla, som också påpekats som en av de bakomliggande faktorerna till skador på arbetsplatsen. Genom att använda 3D-printing som byggmetod kan således en säkrare arbetsplats uppnås i jämförelse med platsgjutning och prefabricering på plats. Däremot finns det andra potentiella faror kopplade till 3D-printing, såsom sensorlösa robotarmar. Det sker betydligt färre skador i fabrik än på plats när det kommer till platsgjutning och prefabricering. Effekten att tillämpa 3D-printing i jämförelse med prefabricering är därför inte lika påtaglig.

En minskning av personal på arbetsplatsen innebär dessutom att antalet arbetsmöjligheter också minskar för byggarbetare. Däremot kan införandet av en ny teknologi inom byggbranschen öppna upp nya jobbmöjligheter. Dessutom är arbetet med 3D-printing mer inkluderande då personer med funktionsnedsättningar kan vara med i arbetsprocessen.

# 6 Diskussion

Följande kapitel är en vidareutveckling av analysen som diskuterar resultatet från studien kopplat till de ekonomiska ramverk som presenterats under avsnitt två. Avsnittet är uppdelat i fyra delar: kostnader, logistik, hållbarhet och framtida forskningsområden.

## 6.1 Kostnader

Följande avsnitt innehåller en diskussion kring kostnader med koppling till teori och 3D-printing som teknik.

### 6.1.1 Tilltagande skalavkastning

Resultatet visade att 3D-printing som byggmetod är outforskad och kräver vidareutveckling. Exempelvis konstaterades det att material, verktyg och kompetent personal kräver stora investeringar. Ju fler aktörer som tillämpar 3D-printing, desto snabbare kommer utvecklingen att gå. Fler aktörer kommer därmed bedriva forskning och utveckling på området, vilket kan bidra till att generera tilltagande avkastning. Tilltagande skalavkastning uppstår vanligtvis när nätverkseffekter, inlärningseffekter och kompletterande produkter förekommer, vilket leder till påtaglig diffusion. Följande delkapitel innehåller resonemang kring huruvida dessa faktorer förekommer i förhållande till 3D-printing i byggbranschen.

För att nätverkseffekter ska förekomma behöver värdet av 3D-printing som byggmetod öka av att antalet användare ökar. En faktor som talar för att nätverkseffekter kan uppstå är att ökad tillgänglighet minskar barriärerna för intressenter som vill använda sig av tekniken, vilket kan ske om antalet maskiner och byggentreprenörer med kompetens på området ökar. Detta gäller dock bara till en viss gräns. Det finns ingenting som tyder på att ett överskott av tillgängliga entreprenörer eller maskiner ökar värdet av tekniken i sig i detta fall.

Avseende inlärningseffekter leder en högre användningsgrad till en ökad kunskapsbas, samt incitament till utveckling av standardiserade metoder. Då 3D-printing är en teknologi som automatiserar en stor del av byggprocessen kan den totala mängd kunskap som krävs för stombyggnad minska. Hur lätthanterlig programvarans gränssnitt är påverkar rimligtvis detta ytterligare. Det är dock sannolikt att operatörer fortfarande behöver relativt avancerad kompetens för att utföra 3D-printing. I den utsträckning det sammantaget är enklare att utföra 3D-printing kan det leda till ökad diffusion, vilket stimulerar forskning och utveckling på området. Detta leder i sin tur till ökade inlärningseffekter, vilket kan resultera i en typ av positiv rundgång som ökar diffusionen av tekniken på området. Ett liknande resonemang kan föras kring existerande, standardiserade och effektiva metoder för platsgjutning och montering av prefabricerade stommar.

Komplementariteter för 3D-printing skulle kunna bestå av olika typer av material med olika efterfrågade egenskaper. Om sådana blir tillgängliga kan det således leda till ökad användning inom byggindustrin. En annan typ av komplementaritet hade exempelvis kunnat uppstå om existerande designverktyg eller rit- eller planeringsprogram får integrerat direkt stöd för 3D-printing som produktionsmetod. En sådan form av digitaliseringsprocess och utökad funktionalitet för tekniken generellt ökar värdet av en tillämpning av 3D-printing. Värdet av

sådana potentiella komplementariteter ökar i takt med att 3D-printing som byggmetod blir kompatibelt med fler byggnadskomponenter.

### **6.1.2 Stordriftsfördelar**

Resultatet visar att det i dagsläget finns tekniska och administrativa begränsningar i förhållande till antalet byggnader som är möjliga att producera med hjälp av 3D-printing. Avseende tekniska begränsningar påpekade Moraru från Cobod att det finns begränsningar i både bredd- och höjddled, vilket tyder på att det ännu inte är möjligt att bygga höghus med tekniken. Detta minskar antalet potentiella projekt. Det finns vidare administrativa utmaningar då existerande regelverk inte är konstruerade med tekniken i åtanke, vilket höjer svårighetsgraden för olika former av godkännanden. Vidare påverkas en betydande andel av de fasta kostnaderna per enhet inte av att 3D-printing automatiserar byggprocessen. Exempelvis är materialkostnaderna av ungefär samma magnitud oavsett vilken teknik som används.

Även den svenska byggbranschen är begränsad av det omfattande fysiska och tidskrävande arbete byggprojekt innebär, oavsett hur effektivt och strömlinjeformat planering, logistikarbete och tekniskt utförande är. Effekten hos de moment som digitaliserar byggprocessen är visserligen begränsad då fysiskt arbete inte helt kan ersättas. Det kan dock vara fallet att dessa effektiviseringar i sig ger sådana kostnadsmässiga konkurrensfördelar att marginalerna i slutändan blir större, vilket talar för ökad teknikdiffusion. Moraru från Cobod förklarade att stommar för flera kedjehus kan printas i en enda process, vilket är ett argument för att 3D-printing av stommar kan reducera produktionskostnader eftersom detta tillvägagångssätt eliminerar ställkostnader. Detta leder i sin tur till skalfördelar, då den genomsnittliga fasta kostnaden per stomme minskar ju fler stommar som printas vid ett tillfälle. Om 3D-printing som teknik blir tillräckligt välutvecklad för att hantera storskalig produktion av lägenheter eller annan produktion med stor volym, skulle elimineringen av ställkostnader kunna bli signifikant. Ett konkret hinder i dagsläget är att det främst är stommar som kan produceras med 3D-printing. Anhammer och Arvidsson samt Lassila och Malmberg konstaterade att stommen redan produceras effektivt genom prefabricering, vilket är varför effektiviseringar av stombyggnad i sin helhet är begränsad. Resterande delar av ett byggprojekt kvarstår efter att en stomme har printats, vilket kan ta lika lång tid som vid platsgjutning och prefabricering. När 3D-printing kan involvera ett större antal moment i byggprocessen, talar det för att mer drastiska besparingar och effektiviseringar kan göras, vilket i sin tur skulle leda till ökad diffusion. Det finns alltså skäl att kvantitativt undersöka om 3D-printing av stommar leder till kostnadsbesparingar jämfört med prefabricering av stommar, och att investera i forskning och utveckling för att möjliggöra att tekniken kan utföra ytterligare moment i produktionen.

### **6.1.3 Major/minor process innovation**

Om 3D-printing blir en processinnovation i byggbranschen, kommer branschen att ha tillgång till tre huvudsakliga tillverkningstekniker av stommar: prefabricering, platsgjutning och 3D-printing. Utifrån resultatet kan det fastställas att prefabricering är en mer kapitalintensiv metod än platsgjutning, medan platsgjutning är mer arbetskraftsintensiv. Vid en byggproduktion kan det därför finnas en jämviktskvantitet av antalet stomelement där de två tillverkningsteknikerna är lika kostnadseffektiva. Med införandet av 3D-printing som ett ytterligare alternativ kan fler jämviktslägen skapas där branschen har större frihet och mer kostnadseffektiva metodalternativ, som därför kan sänka den genomsnittliga tillverkningskostnaden av stommar.

Oavsett om 3D-printing skulle leda till en *minor* eller *major process innovation* kan tekniken vara disruptiv för marknaden, vilket rent hypotetiskt skulle medföra att konkurrenter som inte använder 3D-printing riskerar att konkurreras ut. Dessutom kan båda situationerna resultera i en ökning av konsumentöverskottet och en minskning av dödviktsförlusten, vilket kan leda till att samhället tar del av ett större värde i form av exempelvis ökat byggande. Storleken på 3D-printingteknikens processinnovation har dock fortfarande olika konsekvenser som kan diskuteras vidare. Prefabricering är den vanligaste tillverkningsmetoden av stomelement och utifrån resultatet sker tillverkningen av elementen väldigt kostnadseffektivt, och det är i stället logistiken som har den största förbättringspotentialen med avseende på kostnad. Platsgjutning av stommar sker också effektivt, men även denna tillverkningsmetod har potential att kostnadseffektiviseras. Därför kan 3D-printing troligen utgöra en *minor process innovation* jämfört med prefabricering och platsgjutning. Om så är fallet kan det finnas en risk att tekniken får en lägre diffusion inom byggbranschen, då de byggbolag som inte använder 3D-printing har möjlighet att kostnadseffektivisera sina nuvarande metoder genom att exempelvis förbättra logistikflödet och därmed minska skillnaden i marginalkostnader mellan teknikerna ytterligare. 3D-printing har däremot större potential att vara en *major process innovation* i jämförelse med platsgjutning, på grund av teknikens flera fördelar gentemot platsgjutning. Vid en sådan situation har 3D-printingbolagen större möjlighet att sätta mer konkurrenskraftiga priser, vilket kan påskynda diffusionen av tekniken och göra den mer disruptiv för branschen. Den effekten är däremot inte lika påtaglig vid prefabricering.

#### 6.1.4 Kritisk diskussion om 3D-printings effekter på slöseri

Utifrån resultatet konstaterades att 3D-printing som byggmetod, i jämförelse med platsgjutning och prefabricering, kräver mindre material vilket resulterar i bättre resurseffektivitet och mindre spill. Dessutom påpekade Noris från Wasp att företaget använder sig av datorstyrd optimering som leder till att materialförbrukningen minskar. Således finns det möjligheter att 3D-printing kan reducera ett flertal former av slöseri inom byggbranschen. Rapportens resultat bygger däremot på svar av kontaktpersoner från 3D-printingbolag och därför kan vissa synvinklar på teknikens påverkan ha utelämnats. En kritisk diskussion om 3D-printingteknikens påverkan på icke-värdeskapande aktiviteter inom byggproduktion är därför relevant.

Tillförlitligheten hos 3D-printern och dess väntetider vid eventuella driftavbrott eller ogynnsamma väderförhållanden kommer troligen att ha en betydande påverkan på stombyggandets genomloppstid. Väntetider hos maskiner som används vid prefabricering har eventuellt inte en lika stor påverkan eftersom en fabrik vanligtvis har ett flertal produktionslinjer av betongelement. Även vid platsgjutning har maskinernas väntetider möjligtvis en lägre påverkan, på grund av att deras roll i platsgjutningen är lägre och de kan enklare ersättas med reservmaskiner.

Utifrån resultatet har det visat sig att 3D-printing medför flera positiva effekter på en byggproduktions lagerhållning. De främsta lagerhållningseffekterna återfinns däremot i jämförelsen med platsgjutning. Jämförs tekniken i stället med prefabricering kan det uppkomma mer slöseri kopplat till en del aspekter av lagerhållning, transport och defekter vid användandet av 3D-printing. En orsak är den höga effektivitet som kan uppnås i en linjeutformad produktion av prefabricerade element, jämfört med 3D-printingteknikens vanligtvis fasta *position layout*. Till exempel kräver 3D-printern i sådana fall transport, lagerhållning och installation, och betongen som används behöver transporteras till platsen, lagras och blandas. Utöver detta kan misstag eller defekter i byggproduktionen avsevärt påverka genomloppstiden. Dessutom medför en fast *position layout* ett mer komplicerat, längre och

mindre transparent logistikflöde. Följaktligen ökar risken för förseningar, lagerhållning och längre genomloppstider, samt att andra typer av slöseri blir svårare att upptäcka.

För att hantera de ovan nämnda slöseriaspekterna kan byggen som använder 3D-printing använda ett överskott av robotar, material och transporter för att sänka risken för negativa konsekvenser på genomloppstiden. Sådant överskott är däremot också en form av slöseri, och därför skapas en avvägning mellan överskott och resursineffektivitet.

### **6.1.5 Riskhantering**

Rempling påpekade att den största utmaningen i byggbranschen är att få förändrade beteenden till stånd, vilket tyder på att byggbranschen har en inneboende förändringsobenägenhet. Det kan förklara varför etablerade bolag inte har tillämpat 3D-printing som byggmetod. Branschen kännetecknas av små marginaler och resursoptimering. Dess aktörer är generellt skickliga på kostnadsreduceringar och att optimera kostnadsdrivande processer, såsom stombyggnad. Det innebär en stor risk att investera i nya tekniker, i synnerhet när det inte finns självklara ekonomiska incitament eller fördelar. Det är förknippat med överhängande risk att anta en teknik som saknar tydliga kalkyler, underlag eller standardiserade metoder. Små marginaler och lågt risktagande leder alltså till en obenägenhet att investera i nya tekniker som 3D-printing.

En annan problematik med investeringar på området är att den aktör som investerar inte fullt ut kan fånga värdet som investeringarna leder till. Resultatet indikerar att det inte verkar finnas tillräckligt starka skydd för aktörer som exponerar sig för risk - vare sig i form av immateriella rättigheter eller i form av säkerställda belöningar för risktagande. Alla kan utnyttja 3D-printing som affärsmodell när den resursintensiva forskningen och utvecklingen av material och kvalitetssäkring genomförts. Detta leder till obenägenhet att realisera just den forskning och utveckling. Det finns alltså ett tydligt *second mover advantage*, där de etablerade svenska bolagen kan avstå risk och investeringskostnader men i ett senare skede dra fördel av tekniken.

Det finns många års erfarenhet inom platsgjutning och installation av prefabricerade stomsystem, men det finns en total avsaknad av liknande erfarenhet och kunskapsbas för 3D-printing. Därför skulle en implementering av tekniken kräva investeringar i humankapital samt utveckling av existerande planerings- och produktionsmetoder. Dessa hinder är tidskrävande och kostsamma. De svenska byggföretagen är redan relativt effektiva på stombyggnad vilket innebär att det inte finns starka incitament för utveckling av bättre produktionsmetoder. Denna faktor, tillsammans med branschens låga investeringsbenägenhet, kan vara anledningar till att 3D-printing fortfarande har en relativt låg utbredning inom byggbranschen.

### **6.1.6 Porters femkraftsmodell**

En kraft i Porters femkraftsmodell är hot från nya aktörer. I dagsläget är hotet från nya aktörer inom 3D-printing begränsat då resultatet har visat att det finns höga inträdesbarriärer som består av exempelvis betydande investeringar i 3D-printern och kompetent personal. Däremot finns det potential för tekniken att växa inom byggbranschen. Eftersom det fortfarande är en relativt ny teknik inom byggproduktion finns det möjligheter för vidareutveckling, vilket efter ett tag kan reducera kostnaderna för investeringarna. Detta kan i sin tur göra tekniken mer attraktiv, vilket också skulle öka antalet aktörer på marknaden. Det innebär att inträdesbarriärerna skulle

kunna reduceras på sikt, vilket skulle göra det enklare för nya 3D-printingföretag att etablera sig på marknaden och således konkurrera med platsgjutning och prefabricering.

I modellen återfinns även leverantörernas, respektive köparnas, förhandlingsstyrka som två separata krafter. Om antalet aktörer inom 3D-printing växer inom byggbranschen och det leder till hög konkurrens, kommer både leverantörernas- och kundernas förhandlingsstyrka öka. Detta beror på att både leverantörer och kunder kan spela ut företagen mot varandra. I dagsläget är det dock komplext att avgöra krafternas påverkan eftersom 3D-printing ännu inte etablerat sig i den svenska byggbranschen.

En annan kraft i Porters modell är hot från substitut, vilket är begränsat i dagsläget. Utifrån resultatet har det visat sig att 3D-printing kan medföra snabbare produktion och ge upphov till friare designer. Dessutom finns det även möjlighet att uppnå kostnadsbesparingar på ett flertal områden som till exempel via ökad resurseffektivitet och minskade lönekostnader. Därav finns det stor potential för 3D-printing eftersom dessa punkter är svåra för aktörer inom platsgjutning och prefabricering att konkurrera inom. Således finns det möjligheter för 3D-printing att agera substitut, eller ersätta, dessa metoder. För att det ska bli aktuellt behöver dock tekniken vidareutvecklas och bli accepterad i mycket större utsträckning på marknaden.

Den sista kraften i Porters modell är hot från befintliga konkurrenter, vilket inom byggbranschen är högt i dagsläget. Hög konkurrens och betydande investeringar sänker riskbenägenheten vilket hjälper till att förklara varför 3D-printing ännu inte etablerat sig inom byggbranschen. Om 3D-printingföretag introducerar sig på marknaden kommer aktörerna även att ställas mot existerande stora aktörer inom byggbranschen vilka kommer vara svåra att konkurrera med eftersom de redan är så pass väletablerade på marknaden. Slutligen behöver andra potentiella aktörer beaktas för att en fullständig analys av marknaden ska kunna göras och därmed även potentialen för 3D-printing inom branschen.

## 6.2 Logistik

I följande avsnitt kommer en mer djupgående diskussion kopplat till logistik att genomföras med koppling till teori och resonemang kring 3D-printing som teknik.

### 6.2.1 Just-in-time

Anhammer och Arvidsson samt Lassila och Malmberg från Svensk Bygglogistik påpekade att byggandet av stommen är den mest effektiva delen av byggprocessen, och att prefabricering av stommar är särskilt effektivt. Därför är det inte uppenbart att tillämpning av 3D-printing som i dagsläget är särskilt anpassad för just stombyggnad, leder till betydande effektiviseringar. Vidare har resultatet visat att den svenska byggbranschen generellt sett är dålig på att planera materialflöden, vilket tyder på att det finns utrymme för effektiviseringar av det logistiska arbetet. Exempelvis erbjuder aktörer specialiserade på logistik konsulttjänster avsedda att optimera kostnadsstrukturen för byggprojekt till en relativt begränsad del av den totala projektbudgeten. I den utsträckning som 3D-printing skulle övervägas att användas av byggentreprenörer i syfte att reducera kostnader för stombyggnad, är det möjligt att investeringar i effektiviserat logistikarbete kan vara mer kortsiktigt lukrativa. En övergång till ett just-in-time-centrerat förhållningssätt kan med andra ord innebära en lägre kostnad jämfört med inköp av en helt ny 3D-printer som ställer krav på omställning av existerande processer. Investeringarna är inte ömsesidigt uteslutande då optimering av logistikarbetet är möjligt även vid 3D-printing, men i en situation där ett flertal potentiella investeringar konkurrerar är

logistikkonsulter en av ett flertal relevanta alternativa investeringar som delvis skulle kunna förklara avsaknaden av investeringar i 3D-printing inom den svenska byggbranschen.

### 6.2.2 Volym kontra variation

3D-printing har unika egenskaper jämfört med andra byggmetoder. Bland annat berättade Noris från Wasp, Moraru från Cobod och Bove från Wohn att 3D-printing ger upphov till högre formfrihet. Dessutom medför tekniken en högre grad av automation. Därför är en diskussion om placeringen av 3D-printingstekniken i en produkt-process matris relevant. Med avseende på nivån av automation, konnektivitet samt mix- och volymflexibilitet kan platsgjutning karakteriseras som en byggmetod med lägre volym, högre variation och högre flexibilitet och prefabricering som en byggmetod med högre volym, lägre variation och lägre flexibilitet. De två byggmetoderna skapar då en *line of fit* i produkt-process matrisen.

3D-printing är en relativt ny processteknik som har förmågan att matcha existerande tekniker. Till exempel har 3D-printing en stor förmåga att använda sensorer, bearbeta material, hantera föremål och vara uppkopplade till andra aktiviteter. Dessa förmågor gör att 3D-printing har högre produkt-, volym- och mixflexibilitet än både prefabricering och platsgjutning. På grund av 3D-printings höga flexibilitet kan det finnas större möjligheter att bygga ett större antal stommar med högre variation än tidigare. 3D-printing kan därför potentiellt placeras utanför existerande *line of fit* i produkt-process matrisen. I så fall är tekniken särskilt relevant och kan underlätta logistikarbetet vid produktionssituationer där variationen är högre än vad som är optimalt för prefabricering, eller där volymen är högre än vad som är optimalt för platsgjutning.

### 6.2.3 Minskat behov av extern lagerhållning

Då det används ungefär lika mycket material för att producera prefabricerade eller platsgjutna stommar som att 3D-printa dem, är effektiviseringar avseende materialförbrukning främst relaterade till spill. I övrigt är optimeringarna begränsade, särskilt då betong används. Däremot finns det ett potentiellt stort utrymme för effektiviseringar av logistik-, lager- och transportkostnader att reduceras kraftigt vid tillämpning av 3D-printing. Byggbranschen har dels kostnadsrelaterade utmaningar i urbana miljöer kopplade till lagerhållning av material och satellitlager. Utifrån resultatet har det konstaterats att prefabricerade stomelement bör levereras enligt principen om just-in-time. Användning av just-in-time för att effektivisera logistiken kräver noggrann planering, vilket medför risk för förseningskostnader och spill. Det leder till ökade kostnader, inklusive sådana kopplade till säkerställandet av överkapacitet för att reducera risken för driftstörningar. Det innebär att även om prefabricering av stommar och införlivande av just-in-time fungerar effektivt och optimerar byggprocessen, finns det inneboende risker och kostnadspåslag för att säkerställa ett jämnt flöde.

Implementering av 3D-printing kan i stället medföra en reduktion av antalet mellanhänder och associerade kostnader. En övergång till tekniken skulle även kunna påverka maktbalansen i branschens marknadskanaler, främst i förhållande till materialleverantörer som i dagsläget behöver tillhandahålla lagerhållningskapacitet och höga servicenivåer i oproportionerlig utsträckning för att vara konkurrenskraftiga. Om behovet av synkronisering mellan olika noder i distributionskedjan minskar till följd av att allt material kan levereras direkt till byggarbetsplatsen och lagras där utan betydande logistiska utmaningar, skulle det kunna leda till att materialleverantörer kan återgå till att fokusera på kärnverksamheten. Även kostnader kopplade till förseningar kommer i ett scenario där antalet mellanhänder och transporter reduceras till följd av omedelbar och fullständig materialleverans till byggarbetsplatsen att

minska. Det beror på att byggprocessen inte längre blir beroende av synkronisering mellan transporter och moment i byggprocessen. De kostnader kopplade till spill som uppstår då cement stelnar, på grund av det fastnat i trafiken eller liknande, kommer också att försvinna.

En viktig faktor att ta hänsyn till är att det fortfarande kan råda platsbrist på byggarbetsplatsen även i förhållande till byggmaterial för 3D-printing, vilket ökar sannolikheten för att ovan diskuterade problem kring lagring, transporter och synkronisering kan bestå. 3D-printingmaterial är dock obearbetat och fungibelt i större utsträckning än prefabricerade betongelement, vilket innebär att det är mindre skrymmande. Detta talar för att allt material som behövs för komplett stomproduktion vid 3D-printing kan lagras på ett större antal byggarbetsplatser än sådana där prefabricerade stommar monteras. Vidare illustrerar industriell marknadsföringsteori ett optimeringsproblem i förhållande till antalet led i marknadskanaler: för många led innebär onödiga kostnader, medan för få led ger en hög belastning på aktörer som inte är specialiserade på uppgifterna i fråga. Att aktörer utför moment de ej är specialiserade på medför alltså andra typer av kostnader. I den existerande byggbranschen har avsaknaden av lagerhållande aktörer lett till att materialproducenter tillhandahåller lagerhållningstjänster, vilket leder till en snedvriden maktbalans då servicenivåerna blir högre än optimalt. Detta ökar i sin tur kostnaderna för materialförsörjning och logistik. Sammanfattningsvis finns det alltså potential för implementering av 3D-printing som byggmetod för byggstommar att effektivisera den logistiska och kostnadsmässiga strukturen i byggbranschen, genom eliminering av överflödiga lager och transporter.

## 6.3 Hållbarhet

I följande avsnitt kommer en mer djupgående diskussion kopplat till hållbarhet att genomföras med koppling till teori och resonemang kring 3D-printing som teknik.

### 6.3.1 Social påverkan

Enligt Moraru från Cobod kräver 3D-printing som byggmetod färre arbetare i jämförelse med platsgjutning och prefabricering. Då 3D-printing reducerar personalen på arbetsplatsen skulle en högre tillämpningsgrad inom branschen leda till att efterfrågan på byggarbetare minskar. I en första anblick skulle detta kunna ses som en negativ påverkan på social hållbarhet, då en lägre efterfrågan på arbetskraft hos företagen leder till högre arbetslöshet. Det kan leda till strukturarbetslöshet, vilket innebär att de arbetslösas kompetenser inte motsvarar det som företagen nu efterfrågar. På lång sikt kommer utbildning och kompetens att anpassas efter efterfrågan och strukturarbetslösheten kommer successivt att gå ner. De traditionella mänskliga jobben kommer att bli ersatta av nya jobb kopplade till den nya lösningen. I fallet med 3D-printing i byggbranschen kan ett exempel ses som att byggarbetaren ersätts med arbetaren som styr 3D-printern, eller arbetaren som bygger och reparerar 3D-printern.

Resultatet redogör för att byggbranschen har haft många skador och vissa dödsfall under åren, vilket har varit en konsekvens av byggarbetarens arbetsuppgifter. Genom att ersätta farliga jobb ökar den sociala hållbarheten då skador och dödsfall reduceras. De nya jobben som uppkommer med 3D-printing som byggmetod innebär dock andra risker för skador. Exempelvis innebär 3D-printern en risk ifall arbetaren hamnar i vägen för 3D-printerns arbete. Med tanke på att tekniken är ny i byggbranschen finns möjligheten att säkerhetsrutiner är inkompleta, och det kan krävas tid innan dessa är tillräckliga. Således kan skador som är vanliga för de svenska byggföretagen reduceras, men andra potentiella faror kan förekomma.

De nya jobben som uppstår kommer också att kräva att byggarbetarna utbildas för de nya arbetsuppgifterna. Det beror på att applikationsområdet fortfarande är relativt nytt och utforskat och kunskapsnivån är därför allmänt låg. För de svenska byggföretagen innebär detta en konkurrensfördel då dessa byggmetoder har funnits länge, och därmed finns flera individer som har stor erfarenhet av hur arbetet ska gå till för att uppnå effektivitet. Värdet av *know-how* knutet till vissa individer bör inte underskattas, och det kommer ta tid för 3D-printing att komma i kapp.

### **6.3.2 Globala målen**

I följande avsnitt diskuteras 3D-printing med avseende på de tidigare nämnda FN:s globala mål.

#### **6.3.2.1 Förbättra resurseffektiviteten i konsumtion och produktion**

Resultatet visar att det finns mycket som tyder på att 3D-printing som byggmetod för stommar påtagligt förbättrar resurseffektiviteten i konsumtion och produktion. Det gäller direkt i förhållande till minskad materialförbrukning, samt indirekt genom en reduktion av antalet transporter till, på och från byggarbetsplatser. Då det finns olika typer av material som används för 3D-printing, varierar klimatpåverkan beroende på vilken specifik materialblandning som avses. Majoriteten av de aktörer som ägnar sig åt 3D-printing av stommar använder någon form av betong med särskilda tillsatser för att möjliggöra omgående härdning. Kvantitativa studier bör utföras för att konstatera nettoklimatpåverkan vid användning av sådana material jämfört med prefabricerade betongelement. I fall då aktörer använder återvunna material i trä och plast, är sannolikheten att klimatpåverkan jämförelsevis kraftigt reduceras större.

#### **6.3.2.2 Skydda arbetstagares rättigheter och främja trygg och säker arbetsmiljö för alla**

Ett par av de mest påtagliga skillnaderna som resultatet visar mellan 3D-printing och platsgjutning samt prefabricering av stommar är att arbetskraftsbehovet kraftigt reduceras, samt att byggarbetets karaktär förändras. Då antalet byggarbetare minskar sjunker risken generellt för att arbetsskador uppstår. Då en 3D-printer producerar stommen på ett sätt som reducerar antalet involverade arbetsmoment, minskar även risken för arbetsskador för en enskild person som utför byggarbete.

#### **6.3.2.3 Uppgradera all industri och infrastruktur för ökad hållbarhet**

Som resultatet visar är prefabricering av stommar ett av de mest effektiva momenten vid byggprojekt, och 3D-printing i princip är begränsat till stomproduktion. På grund av det finns det anledning att ifrågasätta magnituden hos eventuella förbättringar av resurseffektiviteten vid 3D-printing jämfört med platsgjutning och prefabricering. Detta gäller särskilt ifall då betong 3D-printas. För att industrin på ett tydligt sätt ska kunna uppgraderas till att bli mer hållbar behöver kvantitativa studier först påvisa att den totala klimatpåverkan vid användning av 3D-printing är signifikant.

#### **6.3.2.4 Hållbar förvaltning och användning av naturresurser**

Huruvida hållbar förvaltning av existerande naturresurser förbättras vid 3D-printing av stommar jämfört med platsgjutning och prefabricering beror på vilken typ av material som används. En betydande delmängd av byggnader som produceras med prefabricering består av

trä. Det är inte uppenbart huruvida det hade varit resurseffektivare eller inneburit lägre miljöpåverkan att ersätta den typen av byggnader med 3D-printade byggnader med stommar av trä. Den främsta förbättringen av hållbar förvaltning hade i sådana fall sannolikt varit ifall platsgjutna och prefabricerade byggnader av betong i framtiden ersätts av 3D-printade byggnader med stommar i trä. Det finns dock ingen information som antyder att sådana skiften är aktuella i dagsläget.

#### **6.3.2.5 Minska mängden avfall markant**

Moraru från Cobod påpekade att 3D-printing använder material som blandas på plats, vilket leder till att risken för spill minskar då exempelvis cement inte stelnar om det inte kan användas enligt den logistiska planeringen. Vidare kan stommar analyseras med hjälp av data och på det sättet fås information om var det krävs mer eller mindre material. Detta innebär att material inte används i onödan, vilket också minskar mängden avfall.

#### **6.3.3 Externaliteter**

Byggbranschen utgör en betydande andel av världens utsläpp av växthusgasutsläpp och som tidigare framgått är tillverkningen av cement en stor källa till utsläppet. Cement är också en ändlig och konkurrensutsatt resurs, vilket ytterligare förstärker byggbranschens utmaningar gällande ekologisk hållbarhet. Resultatet tyder på att branschen har en betydande potential att förbättra sin ekologiska hållbarhet, men också att det verkar finnas en tröghet i att arbeta med problemet. En möjlig förklaring kan vara att de negativa externaliteter som byggbranschen orsakar inte är fullt internaliserade i företagets kostnader. En konsekvens av en sådan situation skulle vara att bolag som använder betong riskerar att få högre materialkostnader ifall politiska åtgärder genomförs för att minska externaliteterna, såsom högre priser på utsläppsrätter för koldioxid eller högre skatter.

Den ekologiska hållbarheten och storleken på externaliteter vid stombyggnad med 3D-printing jämfört med platsgjutning och prefabricering är därför relevant för teknikens påverkan av nutida och framtida regleringar och politik. Detta kan i sin tur ha en betydande påverkan på teknikens gångbarhet i byggbranschen. 3D-printing har vissa fördelar som i förhållande till platsgjutning och prefabricering kan minska dess negativa produktionsexternaliteter. Det innebär att den socialt optimala kvantiteten kan vara högre än nuvarande marknadsvikt. Utifrån resultatet har 3D-printing hållbarhetsfördelar i förbättrad resurseffektivitet, lägre antal transporter och möjlighet till att bygga med andra material än betong. Men tekniken har också nackdelar gällande hållbarhet som kan orsaka större negativa externaliteter än dagens byggmetoder. Den främsta nackdelen är, enligt Rempling från NCC, att vissa bolag använder tekniken tillsammans med betong som har högre cementhalter än vanligt.

På grund av de olika material som används i 3D-printing varierar slutsatserna om teknikens hållbarhet och påverkan av regleringar och politik. Om betong med högre cementhalter används är det troligt att teknikens negativa produktionsexternaliteter är i samma storleksnivå som med jämförda byggmetoder. Dessutom använder en del bolag i byggbranschen betong med lägre cementhalter för att sänka koldioxidutsläppen. Jämfört med de bolagen kommer externaliteterna från stombyggande med 3D-printing vara högre. Om däremot återvunnet trä och plast används minskar i stället de negativa produktionsexternaliteterna i jämförelse med plastgjutning och prefabricering.

3D-printingbolag som använder tekniken tillsammans med material som har låg eller ingen cementhalt kan i stället erbjuda en byggmetod som har lägre produktionsexternaliteter och högre hållbarhet än andra metoder i branschen som använder betong. 3D-printingtekniken kan då komma att gynnas av regleringar och politik som har syfte att stimulera framtidsutsikten för teknikens omsättning. Exempelvis kan sänkningar av försäljningsskatten eller höjda konsumentsubventioner höja diffusionen av tekniken på marknaden, och teknik- eller innovationsupphandlingskontrakt kan sänka den ekonomiska osäkerheten i 3D-printingbolagens fortsatta forsknings- och utvecklingsarbeten.

## 6.4 Framtida forskningsområden

Kvantitativa studier som undersöker kostnadspåverkan i specifika fall hade gett en del av den data som behövs för branschens aktörer att fastställa huruvida 3D-printing för byggstommar är ett gångbart alternativ jämfört med prefabricering eller platsgjutning av stommar. Exempelvis hade det varit värdefullt med en undersökning av hur kostnadsstrukturen och logistiken förändrats exakt när allt material och 3D-printern levereras till byggarbetsplatsen direkt, i stället för nyttjande av satellitlager och synkroniserade leveranser av förblandat cement.

Ett annat konkret exempel på en sådan potentiell studie är en undersökning av hur utrymmet att lagerhålla material på byggarbetsplatsen påverkas av en övergång till material för 3D-printing. Aspekter att fästa särskild vikt vid är hur länge materialet lagras efter att det anländer till byggarbetsplatsen, hur skrymmande det är, och om det uppstår varierande situationer i övrigt, exempelvis i förhållande till hur materialet distribueras på arbetsplatsen under byggprocessens gång.

Resultatet har visat att det saknas longitudinella studier i förhållande till 3D-printade byggnaders hållbarhet, hållfasthet och långsiktiga gångbarhet i övrigt. Sådan data hade bidragit till en fördjupad förståelse hos branschens aktörer vilket underlättat affärsmässiga beslut att investera i tekniken eller ej.

## 7 Slutsats

De ekonomiska effekterna av att använda 3D-printing som byggmetod av stommar jämfört med att använda platsbyggda betongelement samt prefabricerade betong- eller träelement är följande:

- Uppkomst av investeringskostnader, där en övervägande del beror på begränsad kunskap om hur tekniken kan användas som byggmetod. Om tekniken mognar kommer kunskapen öka, vilket reducerar potentiella problem och förhinder. Det innebär att det finns möjligheter att minska investeringskostnader över tid.
- Ökad resurseffektivitet, vilket kan leda till kostnadsbesparingar. Effekten på materialkostnader beror också på vilket material som används. Det är vanligt att 3D-printingbolag använder sig av material som är dyrare än de som används vid prefabricering och platsgjutning, vilket komplicerar effekten på materialkostnaderna ytterligare.
- Att nya egenskaper uppstår, såsom högre formfrihet och snabbare produktion, vilket kan reducera tillverkningskostnader. Vidare krävs färre arbetare för varje projekt vilket minskar lönekostnaderna. Slutligen finns det möjlighet att öka kunskapsöverföringen mellan projekt vilket kan leda till skalfördelar. Däremot är det komplext att avgöra effekten på skalfördelar i jämförelse med prefabricering eftersom byggmetoden också ger upphov till stora skalfördelar, till exempel genom en hög grad av standardisering i produktionen.

De logistiska effekterna av att använda 3D-printing som byggmetod av stommar jämfört med att använda platsbyggda betongelement samt prefabricerade betong- eller träelement är följande:

- Ett minskat behov av både arbetare och underentreprenörer vilket underlättar det administrativa arbetet. Dessutom kan resurser som krävs för installationsprocesser reduceras vilket underlättar administrationen kopplat till transport och underleverantörer. Däremot kan det administrativa arbetet kompliceras av att speciella material kan behöva importeras världen över.
- Att antalet transporter som krävs minskar, eftersom allt material som krävs kan transporteras på en gång. Effekten är mest påtaglig jämfört med prefabricering, eftersom byggmetoden kräver flest transporter.
- Att lagerhållningen blir lägre för verktyg och material, vilket är en effekt av snabbare produktion på plats.
- Att förseningar är inte lika betydande på grund av reducerad materialbrist och mindre arbetskraft. Däremot kan sämre väderförhållanden öka risken att förseningar uppkommer.

De hållbarhetsmässiga effekterna av att använda 3D-printing som byggmetod av stommar jämfört med att använda platsbyggda betongelement samt prefabricerade betong- eller träelement, är följande:

- Att ökad resurseffektivitet uppstår; det kan dock inte med säkerhet fastställas att CO<sub>2</sub>-utsläppen minskar på grund av att cementshalten i blandningen ökar utsläppen då betong används som material. Däremot kan 3D-printing som byggmetod reducera mängden CO<sub>2</sub>-utsläpp markant om en blandning av återvunnet trä och plast används som material, eftersom det skulle innebära en byggmetod med bättre resurseffektivitet och material med mindre klimatpåverkan.
- Att en säkrare arbetsplats kan uppnås på grund av minskad rörelse, färre tunga lyft och minskad risk att snubbla. Däremot kan andra potentiella faror uppkomma där 3D-printern i sig kan innebära en fara för arbetare. Effekten av 3D-printing är dock inte lika påtaglig i jämförelse med prefabricering. Slutligen medför 3D-printing som byggmetod ett mer inkluderande arbete som ökar den sociala hållbarheten.

# Referenslista

Allen, E. (2013). *Fundamentals of building construction: Materials and methods*. John Wiley & Sons, Incorporated.

Arbetsmiljöverket. (2021, 25 augusti). *Över 400 döda i arbetsolyckor på tio år*.  
<https://www.av.se/press/over-400-doda-i-arbetsolyckor-pa-tio-ar/>

Belaïd, F. (2022). How does concrete and cement industry transformation contribute to mitigating climate change challenges?. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 15.  
<https://doi.org/10.1016/J.RCRADV.2022.200084>

Boverket. (2023, 9 januari). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*.  
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>

Bryman, A. & Bell, E. (2011). *Business Research Methods* (3. uppl.). Oxford University Press.

Byggföretagen. (2022a, 30 juni). *Antal företag i byggbranschen*.  
<https://byggforetagen.se/statistik/branschens-struktur/>

Byggföretagen. (2022b, 17 augusti). *Konkurser och nystartade företag i byggbranschen*.  
<https://byggforetagen.se/statistik/konkurser-och-nystartade-foretag-i-byggbranschen>

Byggföretagen. (2022c, 21 januari). HELA LISTAN: 30 största byggföretagen i Sverige.  
<https://byggforetagen.se/2022/01/hela-listan-30-storsta-byggforetagen-i-sverige-2021/>

Byggföretagen. (2023a, 5 april). *Byggkostnader*.  
<https://byggforetagen.se/statistik/byggkostnader/>

Byggföretagen. (2023b, 11 januari). *Vinster i byggbranschen*.  
<https://byggforetagen.se/statistik/vinster-i-byggbranschen/>

Byggföretagen. (2023c, 14 februari). *Arbetsolyckor i byggverksamhet*.  
<https://byggforetagen.se/statistik/arbetsmiljo/>

Byggföretagen. (2023d, 14 februari). *Dödsolyckor i byggverksamhet*.  
<https://byggforetagen.se/statistik/arbetsolyckor-i-byggindustrin/>

De Schutter, G., Lesage, K., Mechtcherine, V., Nerella, V. N., Habert & G., Agusti-Juan, I. (2018). Vision of 3D printing with concrete — Technical, economic and environmental potentials. *Cement and Concrete Research*, 112, 25–36.  
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.06.001>

DeCarlo, M. (2018). 6.3 Inductive and deductive reasoning. I *Scientific Inquiry in Social Work*. Open Social Work Education.  
<https://pressbooks.pub/scientificinquiryinsocialwork/chapter/6-3-inductive-and-deductive-reasoning/>

Delgado Camacho, D., Clayton, P., O'Brien, W. J., Seepersad, C., Juenger, M., Ferron, R., & Salamone, S. (2018). Applications of additive manufacturing in the construction industry – A forward-looking review. *Automation in Construction*, 89, 110–119.  
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.031>

El-Sayegh, S., Romdhane, L., & Manjikian, S. (2020). A critical review of 3D printing in construction: benefits, challenges, and risks. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 20(2). <https://doi.org/10.1007/s43452-020-00038-w>

EU kommissionen (u.å.). *Construction and demolition waste*. Hämtad 3 februari 2023.  
[https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en)

Eurostat. (2022, October). *Accidents at work statistics*.  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Accidents\\_at\\_work\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Accidents_at_work_statistics)

Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: An exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573–1587.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>

Granstrand, O. (2018). *Industrial Innovation Economics and Intellectual Property* (7. uppl.) Chalmers.

Hager, I., Golonka, A., & Putanowicz, R. (2016). 3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction? *Procedia Engineering*, 151, 292-299.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>

Heintz, J., & Kardell, M. (2018). *Bygg-specifik logistik: icke värdeskapande aktivitetens påverkan på produktion*. [Studentuppsats, Högskolan i Borås]. DiVa.  
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hb:diva-21220>

Hildago, A. (2018, 19 november). Betong vanligaste stommaterialet i nybyggda flerbostadshus. *Hållbart Byggande*.  
<https://hallbartbyggande.com/betong-vanligaste-stommaterialet-i-nybyggda-flerbostadshus/>

IFC. (2018). *Construction industry value chain*.  
[https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/Topics\\_Ext\\_Content/IFC\\_External\\_Corporate\\_Site/Climate+Business/Resources/Construction-industry-value-chain](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/Topics_Ext_Content/IFC_External_Corporate_Site/Climate+Business/Resources/Construction-industry-value-chain)

Isaksson, T., Mårtensson, A. & Thelandersson, S. (2017). *Byggkonstruktion* (3. uppl.). Studentlitteratur.

Jonsson, P., & Mattsson, S.-A. (2016). *Logistik: Läran om effektiva materialflöden* (3. uppl.). Studentlitteratur.

Josephson, P., & Saukkoriipi, L. (2005). *Slöseri i byggprojekt: behov av förändrat synsätt* (0507). FoU-Väst.  
[https://www.cmb-chalmers.se/wp-content/uploads/2015/10/sloseri\\_byggprojekt.pdf](https://www.cmb-chalmers.se/wp-content/uploads/2015/10/sloseri_byggprojekt.pdf)

Konkurrensverket. (2021, 22 december). *Konkurrensen i byggmaterialindustrin*.  
<https://www.konkurrensverket.se/informationsmaterial/rapportlista/konkurrensen-i-byggmaterialindustrin/>

Lamarre, E., Pergler, M., & Vainberg, G. (2009, 1 april). Reducing risk in your manufacturing footprint. *The McKinsey Quarterly*.

Landin, A., & Lind, H. (red.) (2011). *Hur står det egentligen till med den svenska byggsektorn?*. Lenanders Grafiska AB.  
[https://www.sverigesbygguniversitet.se/wp-content/uploads/sites/40/2018/07/byggsektorn\\_antologi.pdf#page=47](https://www.sverigesbygguniversitet.se/wp-content/uploads/sites/40/2018/07/byggsektorn_antologi.pdf#page=47)

Naturvårdsverket. (u. å.). Industri, utsläpp av växthusgaser. Hämtad 25 januari 2023.  
<https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-industrin/>

Nordstrand, U. (2000). *Byggprocessen* (3. uppl.). Liber AB.

Oberti, I., & Plantamura, F. (2015). Is 3D printed house sustainable [Conference paper]. *CISBAT 2015*. <https://doi.org/10.5075/epfl-cisbat2015-173-178>

Porter, M. E. (2008). The five competitive forces that shape strategy. *Harvard Business Review*, 86(1), 78–93.

Sakin, M., & Kiroglu, C. Y. (2017). 3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM. *Energy Procedia*, 134, 702–711.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.562>

Hedborg Bengtsson, S., & Karrbom Gustavsson, T. (2017, 31 oktober). Bygglogistik som innovation. *Samhällsbyggaren*.  
<https://samhallsbyggaren.online/wp/experterna/bygglogistik-som-innovation/>

SCB. (u.å.). *Färdigställda lägenheter och rumsenheter i nybyggda hus efter region och hustyp. År 1975—2021*. Hämtad 3 februari 2023.  
[http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_BO\\_BO0101\\_BO0101A/LghReHustypAr/](http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_BO_BO0101_BO0101A/LghReHustypAr/)

Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. (2019). An overview on 3d printing technology: Technological, materials, and applications. *Procedia Manufacturing*, 35, 1286–1296.  
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>

Slack, N. & Brandon-Jones, A. (2019). *Operations management* (9. uppl.). Pearson education.

Sniderman, B., & Rajan, V. (2016, 16 juli). 3D opportunity for life: Additive manufacturing takes humanitarian action. *Deloitte Insights*.  
<https://www2.deloitte.com/content/www/us/en/insights/deloitte-review/issue-19/3d-printing-for-humanitarian-action.html>

Tserng, H. P., Yin, S. Y. L., & Li, S. (2006). Developing a resource supply chain planning system for construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(4), 393–407. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2006\)132:4\(393\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:4(393))

UNDP. (u.å.). *Globala målen – För hållbar utveckling*. Hämtad 26 januari 2023. <https://www.globalamalen.se/>

UNEP. (2022). *Tracking progress*. <https://globalabc.org/our-work/tracking-progress-global-status-report>

Van Burg, E., Cornelissen, J., Stam, W., & Jack, S. (2022). Advancing Qualitative Entrepreneurship Research: Leveraging Methodological Plurality for Achieving Scholarly Impact. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 46(1), 3–20. <https://doi.org/10.1177/1042258720943051>

# Bilagor

## Bilaga A Ramverk intervjuscheman

Alla intervjuerna var av unik karaktär och intervjuerna anpassades efter respondenten. För skapandet av intervjuerna användes följande ramverk.

- Välkomnande
- Utveckling av respondentens verksamhetsområden
- Utveckling av företagets verksamhetsområden
- Påverkan på kostnader
  - Investeringskostnader
  - Materialkostnader
  - Tillverkningskostnader
  - Slöseri
  - Övrigt
  - Effektiva områden
  - Områden med utmaningar
- Påverkan på logistik
  - Administration
  - Transport
  - Lagerhållning
  - Övrigt
  - Effektiva områden
  - Områden med utmaningar
- Påverkan på social och miljömässig hållbarhet
  - Material
  - Fraktvolymer
  - Koldioxidutsläpp
  - Arbetsskador
  - Återvinning
  - Övrigt
  - Effektiva områden
  - Områden med utmaningar
- Kommentarer om 3D-printing (Frågor under kategorin ställdes enbart till de svenska byggföretagen)
  - För- och nackdelar, kostnader
  - För- och nackdelar, logistik
  - För- och nackdelar, hållbarhet
  - Möjligheter och utmaningar
  - Övrigt
- Avslutande



**CHALMERS**