



CHALMERS



# Mot en cirkulär byggbransch

Återbruk av betongelement och tillämpning av Design for Disassembly

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

AMANDA DUDAS  
LINNEA FRÖDÉN

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH  
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2026  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



EXAMENSARBETE ACEX20

# Mot en cirkulär byggbransch

Återbruk av betongelement och tillämpning av Design for Disassembly

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

Amanda Dudas

Linnea Frödén

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för byggnadsdesign

Examinator och handledare: Bijan Adl-Zarrabi

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2026

Mot en cirkulär byggbransch

Återbruk av betongelement och tillämpning av Design for Disassembly

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

Amanda Dudas

Linnea Frödén

© AMANDA DUDAS/LINNEA FRÖDÉN, 2026

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2026

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för byggnadsdesign

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00



Omslag:

Prefabricerade håldäckselement redo för leverans till byggprojekt (Författarens egna bild).

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2026



Mot en cirkulär byggbransch

Återbruk av betongelement och tillämpning av Design for Disassembly

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

Amanda Dudas

Linnea Frödén

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för byggnadsdesign

Chalmers tekniska högskola

## **SAMMANFATTNING**

Klimatförändringar är en av vår tids största utmaningar där bygg- och fastighetssektorn står för en betydande del av utsläppen. För att minska klimatpåverkan behöver branschen övergå till en cirkulär ekonomi genom att öka användandet av återbrukade betongelement. En central del i omställningen är Design for Disassembly vilket möjliggör framtida återbruk av komponenter.

Syftet med studien är att identifiera utmaningar kopplade till återbruk av betongelement samt undersöka hur implementering av Design for Disassembly kan minska både framtida och nutida klimatutsläpp. Arbetet bygger på en kombination av litteraturstudier och kvalitativa intervjuer för att få en inblick i branschens erfarenheter.

Studien visar att en omfattande tillämpning av återbruk och Design for Disassembly kräver teknisk utveckling, ekonomiska incitament och politiska styrmedel.

Utvecklingen hindras av bland annat kortsiktigt fokus på klimatavtryck, outvecklad andrahandsmarknad och bristande kunskap.

Betydande bidrag till en mer cirkulär byggsektor är utveckling av regionala lager och demonterbara kopplingar, förbättrad projektering samt ökad utbildning.

Nyckelord: Återbruk, Design for Disassembly, klimatförändringar, prefabricerade betongelement

Towards a Circular Construction Sector

Reuse of Concrete Elements and the Implementation of Design for Disassembly

*Degree Project in the Engineering Programme*

*Architecture and Civil Engineering*

Amanda Dudas

Linnea Frödén

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of Building Design

Chalmers University of Technology

## **ABSTRACT**

Climate change is one of the greatest challenges of our time, with the construction and real estate sector accounting for a significant share of global emissions. To reduce the environmental impact, the industry must transition toward a circular economy by increasing the use of reused concrete elements. A central component of this transition is Design for Disassembly, which enables the future reuse of building components.

This study aims to identify challenges related to the reuse of concrete elements and to examine how the implementation of Design for Disassembly can reduce both present and future climate emissions. The study is based on a combination of literature reviews and qualitative interviews capturing industry perspectives.

The findings indicate that a comprehensive application of reuse and Design for Disassembly requires technical advancements, economic incentives and political regulations. The development is currently restrained by factors such as short-term focus on carbon footprints, and underdeveloped secondary market, and insufficient knowledge within the sector.

Key contributions toward a more circular construction sector include the development of regional storage facilities and demountable connections, improved design process, and enhanced education.

Key words: Reuse, Design for Disassembly, climate changes, prefabricated concrete elements

# Innehållsförteckning

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| SAMMANFATTNING                                            | I   |
| ABSTRACT                                                  | II  |
| INNEHÅLLSFÖRTECKNING                                      | III |
| FÖRORD                                                    | V   |
| <br>                                                      |     |
| 1 INLEDNING                                               | 1   |
| 1.1 Frågeställning                                        | 2   |
| 1.2 Syfte                                                 | 2   |
| 1.3 Metod                                                 | 3   |
| 1.4 Avgränsningar och tillvägagångssätt                   | 3   |
| <br>                                                      |     |
| 2 ÅTERBRUK IDAG                                           | 5   |
| 2.1 Betongens inverkan på klimatet                        | 5   |
| 2.2 Cirkulär ekonomi                                      | 6   |
| 2.3 Återbruk jämfört med återvinning av betong            | 6   |
| 2.3.1 Utmaningar med återbruk                             | 7   |
| <br>                                                      |     |
| 3 PÅGÅENDE FORSKNING OCH STANDARD                         | 9   |
| 3.1 Återhus – att bygga hus av hus                        | 9   |
| 3.2 ReCreate                                              | 10  |
| 3.3 Säker återanvändning av betongelement                 | 10  |
| 3.4 Standard för återbruk av prefabricerade betongelement | 11  |
| <br>                                                      |     |
| 4 DESIGN FOR DISASSEMBLY FÖR BETONGELEMENT                | 13  |
| 4.1 Nya innovativa lösningar                              | 13  |
| 4.2 Begreppets betydelse och ursprung                     | 13  |
| 4.3 Framgångsfaktorer för DfD                             | 14  |
| 4.4 Projektering för DfD                                  | 17  |
| 4.4.1 Byggnadsinformationsmodellering (BIM)               | 17  |
| 4.4.2 Livscykelanalys (LCA) och klimatdeklaration         | 18  |
| 4.5 Anslutningar mellan prefabricerade element            | 19  |
| 4.5.1 Exempel på projekt med demonterbara anslutningar    | 21  |
| 4.5.2 Forskningsutveckling på dagens anslutningar         | 22  |
| 4.6 Utmaningar med DfD                                    | 26  |
| <br>                                                      |     |
| 5 ANALYS OCH RESULTAT FRÅN INTERVJUER MED SVENSKA AKTÖRER | 29  |
|                                                           | III |

|       |                                                           |    |
|-------|-----------------------------------------------------------|----|
| 5.1   | Återbruk och hållbarhet                                   | 30 |
| 5.1.1 | Svårigheter med återbruk i branschen                      | 30 |
| 5.1.2 | Provning av återbrukade element                           | 31 |
| 5.1.3 | Ekonomins betydelse                                       | 32 |
| 5.1.4 | Samarbete mellan aktörer                                  | 33 |
| 5.2   | Design for Disassembly                                    | 34 |
| 5.2.1 | Svårigheter och möjligheter med DfD i branschen           | 35 |
| 5.2.2 | Demonteringsmetoder idag                                  | 37 |
| 5.2.3 | Ekonomiska aspekter                                       | 41 |
| 6     | DISKUSSION                                                | 42 |
| 6.1   | Resultatdiskussion                                        | 42 |
| 6.1.1 | Nuvarande och framtida fokus på byggnaders klimatpåverkan | 42 |
| 6.1.2 | Dagens bristande andrahandsmarknad                        | 43 |
| 6.1.3 | Transport och materialhållning                            | 44 |
| 6.1.4 | Politiska incitament                                      | 45 |
| 6.1.5 | Val av anslutningar                                       | 47 |
| 6.1.6 | Projektering                                              | 48 |
| 6.2   | Metoddiskussion                                           | 49 |
| 6.3   | Studiens betydelse                                        | 50 |
| 7     | SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER                           | 52 |
| 8     | REFERENSER                                                | 53 |
|       | BILAGA A                                                  | 60 |

# Förord

Detta examensarbete om 15 högskolepoäng har genomförts under våren 2026 inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik vid Chalmers tekniska högskola. Arbetet har utförts under kursen ACEX20 Examensarbete vid avdelningen för byggnadsdesign.

Vi vill rikta ett särskilt tack till vår examinator och handledare Bijan Adl-Zarrabi på Chalmers tekniska högskola för engagemang, stöd och vägledning genom hela processen. Ett stort tack riktas även till vår externa handledare William Thulin på Sweco AB som gjort studien möjlig genom att bidra med värdefull kunskap och stöd genom arbetets gång.

Vi vill också uttrycka vår uppskattning till samtliga intervjuade personer för att de tagit sig tid att medverka och dela med sig av sina erfarenheter, vilket varit en viktig del av arbetet.

Göteborg juni 2026

Amanda Dudas

Linnea Frödén





# 1 Inledning

Klimatförändringar är en av vår tids största utmaningar (Naturvårdsverket, u.å.). Utvecklingen influerar både natur och samhälle där inte bara atmosfären värms upp, utan även landytor och världshav blir varmare, samtidigt som isarna smälter och extremväder i form av skyfall och torka blir allt vanligare. År 2017 antog Sverige ett klimatpolitiskt ramverk som består av en klimatlag, klimatmål och ett klimatpolitiskt råd för att säkerställa långsiktiga, hållbara premisser för samhället (Naturvårdsverket, 2026a). Över tid har ramverket som mål att nå nettonollutsläpp till år 2045, för att sedan uppnå negativa utsläpp. Samtidigt är det en nyckelkomponent för att Sverige ska leva upp till Parisavtalet. För att begränsa konsekvenserna av dagens klimatförändringar krävs betydande omställningar och förändringar för att mildra eller undvika alltmer djupgående effekter och störningar (Naturvårdsverket, u.å.).

Bygg- och fastighetssektorn är en av flera sektorer som ger upphov till stora mängder utsläpp inom både den egna kedjan och indirekt i hela värdekedjan (Boverket, 2025). År 2022 svarade bygg- och fastighetssektorn för cirka 22 procent av totala utsläppen i hela Sverige, vilket motsvarar ungefär 10,8 miljoner ton koldioxidekvivalenter. Ytterligare medverkade importvaror till stora mängder utsläpp utomlands. Totalt sett bidrog sektorn till cirka 18 miljoner ton koldioxidekvivalenter under hela 2022. Detta beräknat utifrån ett livscykelperspektiv där nybyggnad, renovering, om- och tillbyggnad, fastighetsförvaltning och uppvärmning är inkluderat. Utsläpp från den inhemska produktionen uppstår huvudsakligen från tillverkning av byggmaterial, hantering av bygg- och rivningsavfall samt användning av arbetsmaskiner och transporter i byggsektorn. De indirekta utsläppen uppstår främst från tillverkning av byggmaterial och utvinning av fossila bränslen som importeras till Sverige för användning i transporter och arbetsmaskiner. I enlighet med det klimatpolitiska ramverket har byggbranschen tagit fram en plan för att nå nettonollutsläpp 2045 (Naturvårdsverket, 2026b). Målet är att övergå från linjär till cirkulär ekonomi för att skapa ett konkurrenskraftigt samhällsbyggande.

Betong är det mest använda byggmaterialet i vår tid, och få andra material kan mäta sig med dess mångsidighet (Svensk betong, u.å.). Det är ett material som kännetecknas av många fördelar, exempelvis lång livstid, men det orsakar samtidigt

betydande koldioxidutsläpp under produktionsskedet. Globalt sett står cementproduktionen ensamt för sex procent av världens totala koldioxidutsläpp (RISE, u.åa.). I Sverige uppgår det till en femtedel av klimatpåverkan, omkring två miljoner ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per år. Samtidigt som samhället expanderar och utbud av byggnader behöver möta efterfrågan är branschen i behov av att minska utsläpp från nyproduktioner. En viktig aspekt i omställningen mot en mer resurseffektiv byggsektor är därför att öka återbruket av prefabricerade bärande betongelement. Vid rivning av byggnader finns ofta betongelement med god kvalitet och flera år kvar i sin livslängd. Trots potentialen saknas idag kvalitetssäkring och standarder för återanvändning.

## 1.1 Frågeställning

Detta arbete kommer att behandla följande frågor:

- Vilka utmaningar föreligger vid återbruk av betongstommar?
- Hur kan Design for Disassembly användas vid utformning av betongkonstruktioner?
- Vilka faktorer begränsar användningen av Design for Disassembly?

## 1.2 Syfte

Syftet med studien är att undersöka branschens utmaningar kopplade till återbruk av bärande betongelement samt studera framtida möjligheter och lösningar som kan stödja såväl dagens som framtidens klimatmål. För att bidra till förståelsen av framtidens klimatmål avser studien att fördjupa kunskapen kring Design for Disassembly i relation och dess tillämpning inom bygg- och fastighetsbranschen. Detta för att belysa hur återbruk av bärande betongelement kan bidra till omställningen mot en cirkulär ekonomi genom minskad materialförbrukning, minskade avfallsmängder och lägre klimatpåverkan. Arbetet avser att identifiera dessa utmaningar och möjligheter i ett tidigt projekteringsskede för att analysera hur de påverkar och kan integreras i processen.

Via ett fördjupat perspektiv är målsättningen att komma till insikt om vilka faktorer som är viktiga för konstruktörer att arbeta med i projekteringsfasen för att möjliggöra framtida återbruk. Arbetet syftar således främst till att stödja konstruktörer i deras nuvarande arbete mot klimatmålen, samt delvis konstruktörer som kommer att vara involverade i framtida demontering.

### **1.3 Metod**

Arbetet inleddes med litteraturstudier där främst vetenskapliga artiklar och rapporter studerades för att samla ihop relevant information om återbruk, samt undersöka hur dagens kunskap om demontering och Design for Disassembly ser ut inom branschen.

För att komplettera litteraturstudien med erfarenheter från dagens bransch genomfördes ett antal intervjuer med konstruktörer och projektledare från ett flertal företag i Göteborg. Dessutom utfördes ett besök hos Strängbetong i Veddige för att skapa en fördjupad blick i tillverkningsprocessen av bärande betongelement. Intervjuerna strukturerades upp genom att ha ett antal generella standardfrågor som ställdes under varje intervju, och därefter mer specifika frågor till varje enskild respondent. De specifika frågorna var utformade efter respondentens specifika befattning och kunskapsområde för att kunna fånga upp flera vinklar. Svaren från intervjuerna sammanställdes och kunde sedan tillsammans med litteraturstudien användas för att dra slutsatser samt ge svar på problemformuleringen.

### **1.4 Avgränsningar och tillvägagångssätt**

Med målet att hålla ett tydligt fokus i studien har några avgränsningar gjorts. Till att börja med kommer andra material än betong, så som stål och trä, inte att undersökas. Vidare kommer främst byggnaders stomkomponenter att analyseras eftersom stommen utgör en betydande källa till branschens koldioxidutsläpp. Med utgångspunkt i design for Disassembly fokuserar studien på projekteringsskedet och nybyggnationer, medan ombyggnads- och renoveringsprojekt exkluderas.

I syfte att undersöka och utvärdera betongens klimatpåverkan är rapporten uppdelad i två huvudområden. Till att börja med görs en kartläggning om hur återbruk är infört i

byggbranschen idag, med fokus på återbruk av betongelement. Därefter följer ett kapitel om hur Design for Disassembly som verktyg kan användas för att minska framtidens klimatpåverkan, med fortsatt fokus på betongelement. Studien undersöker därmed dagens förutsättningar för att i nästa steg koppla det samman till framtidens utveckling.

## 2 Återbruk idag

Under de senaste åren har ett ökat intresse för återbruk inom byggbranschen vuxit fram, men trots detta sker återbruk i praktiken fortfarande i begränsad omfattning för samtliga materialslag (Boverket, 2024a). Marknaden bedöms ännu vara omogen, samtidigt som flera initiativ och pilotprojekt pågår med syfte att utveckla och främja återbruk inom sektorn.

### 2.1 Betongens inverkan på klimatet

Betong är ett mångsidigt, robust och beständigt material tillverkat av naturliga ämnen. Det består främst av vatten, cement och ballast som blandas samman till en smet (Naturskyddsföreningen, 2022). Den flytande smeten kan sedan härdas och bli till ett fast och hållbart material tack vare cementen. För att få fram cementen hettas kalksten upp till ungefär 1450°C och under processen frigörs koldioxid vilket ger restprodukten kalciumoxid. Kalciumoxiden blandas sedan med vatten och ger slutprodukten kalciumhydroxid, även kallat släckt kalk, som sedan används som cement. Tillverkningsprocessen av cement frigör stora mängder koldioxid, både vid utvinning av kalkstenen och upphettning. Ett ton cement släpper via tillverkning ut ungefär 700–800 kilo koldioxid. Livscykelanalyser av betong har visat att drygt 90 procent av koldioxidutsläppen genereras från produktion och resterande 10 procent är fördelade på transporter och tillverkning, där tillverkningen av själva betongen påverkar minst (Svensk betong, u.åa.).

Samtidigt som betong bidrar till koldioxidutsläpp är det ett material med lång livslängd (Heidelberg Materials Precast Abetong, u.å.). Dels håller en byggnad av betong ofta i mer än 100 år och har ett lågt behov av underhåll. Ytterligare är det ett material med hög kvalitet och god långsiktig beständighet. Betongen har även positiva egenskaper angående brandsäkerhet, ljudkomfort och lagring av både värme och kyla. Tack vare den breda uppsättningen egenskaper används betong i ett flertal delar av en byggnad, exempelvis grundplatta, bjälklag, stomme, hisschakt eller innergolv (Brander m.fl., 2020). Materialet kan antingen gjutas på plats eller bestå av prefabricerade element som tillverkas i fabrik och därefter monteras på byggarbetsplatsen.

## **2.2 Cirkulär ekonomi**

Det övergripande målet med cirkulär ekonomi är att uppnå de globala målen i Agenda 2030 och bidra till miljö- och klimatmålen (Regeringskansliet, 2020). Utvinning och förädling av naturresurser har ökat markant under de senaste två decennierna och utgör orsaken till mer än 90 procent av förlusten av biologisk mångfald och vattenbrist, samt omkring 50 procent av den globala klimatpåverkan. Visionen är att skapa ett samhälle där resurser utnyttjas effektivt i giftfria cirkulära flöden och ersätter råmaterial från primära källor.

Cirkulär ekonomi är ett kraftfullt verktyg och ekonomisk modell för att uppskatta klimat- och miljöpåverkan (Naturvårdsverket, 2025). Begreppet innefattar värdefulla produkter och material med kvaliteten att kunna återanvändas, repareras, renoveras eller materialåtervinnas. Genom en effektivare produktion där produkter utformas för lång livstid, demonterbarhet, återanvändning och till sist återvinning kan både miljöpåverkan och resursanvändningen minska. Återanvändning och återvinning minskar behovet av att utvinna nya naturtillgångar vilket bidrar till ett mer motståndskraftigt samhälle.

## **2.3 Återbruk jämfört med återvinning av betong**

För att belysa potentialen med återbruk behöver begreppet jämföras med återvinning, en av de mest etablerade strategierna inom hantering av bygg- och rivningsavfall (Akbarnezhad m.fl., 2014). Återvinning innebär att material från en produkt bearbetas om och omvandlas till råvara för nya produkter. Enligt Akbarnezhad m.fl. (2014) är återvinning, jämfört med traditionell rivning och deponering, ett mer hållbart alternativ då det minskar kostnaden, energianvändning samt minskar efterfrågan på utvinning av nya material. Samtidigt innebär processen en kvalitetsförsämring av materialet vilket gör att det ofta får en lägre teknisk prestanda och därmed används i enklare tillämpningar. Trots den miljömässiga vinsten sker en betydande energiförlust i kedjan, bland annat genom krossning, sortering och transporter till återvinningsanläggningar, vilket också genererar koldioxidutsläpp.

När en äldre byggnad rivs fås krossad betong och frigjord ballast från olika kvalitetsklasser vilket skapar varierande kvalitet i rivningsmaterialet (Brander m.fl., 2020). Den krossade betongen delas in i två huvudgrupper för återvinning, restbetong/spillbetong och rivningsbetong (Svensk betong, u.åb.). Restbetong/spillbetong är överbliven betong, ren från miljöbelastande ämnen som kan användas som ballast i ny betong eller som fyllnadsmaterial. Rivningsbetong kan innehålla rester av annat rivningsavfall vilket tas i beaktning när den återanvänds som ballast i ny betong eller som fyllnadsmaterial. Armeringen i betongen avskiljs och smälts ner igen för att slutligen bli ny armering.

I kontrast till återvinning innebär återbruk att ett betongelement används på nytt för sitt ursprungliga ändamål utan att betongen bryts ner eller omvandlas (Boverket, 2024a). Flera fördelar med återbruk jämfört med rivning och återvinning har identifierats (Akbarnezhad m.fl., 2014). För det första bevaras den energi som redan är bunden i komponenten samtidigt som dess livslängd förlängs. Vidare minskar de kostnader som uppstår vid rivning, sortering, bearbetning och transport. Sammantaget kan återbruk därmed innebära ett högre värde vid tidpunkten för rivning jämfört med nyproduktion, sett till den växande kostnaden av byggmaterial och byggtjänster idag.

Gerhardsson m.fl. (2020) belyser även skillnader i klimatberäkningar för återbrukat och återvunnet material. Vid återbruk av ett element antas i många fall en 100/0-allkoering, vilket innebär noll klimatpåverkan från produktionens tillverkning och råvaror då den återbrukade komponenten ersätter behovet av en nyproducerad motsvarighet. Detta skiljer sig från återvinning där materialet återförs till produktionskedjan och därmed återigen genererar klimatpåverkan i tillverkningsprocessen. Däremot kan återanvända produkter bidra till klimatpåverkan kopplad till transporter, lagerhållning och eventuell återställning av komponenter. Samtidigt förväntas bygg- och installationsprocessen vara densamma för en nytillverkad eller återbrukad komponent.

### **2.3.1 Utmaningar med återbruk**

Återbruk av betongelement har stor potential, men flera utmaningar inom byggsektorn begränsar fortfarande användningen i praktiken (RISE, u.åb.). För att möjliggöra

återbruk krävs bättre metoder för insamling av data om återbrukade element, kvalitetssäkring hos återförsäljare och logistiklösningar kring transport, lagerhållning och återförsäljning.

Svårigheten gällande återbruk är att det är tekniskt svårt att utforma komponenter för demontering och återanvändning (Akbarnezhad m.fl., 2014). Ett större arbete med mer utvecklingsarbete, planering tidigare i processen och dyrare material gör att företag ibland låter bli. Samtidigt som de tekniska delarna är en utmaning så ställs ännu en prövning på den andrahandsmarknad som byggkomponenter hamnar i efter slutet av byggnadens livslängd (Guldager Jensen & Sommer, 2016). Vid demontering av en byggnad bildas en stor mängd produkter som fortfarande har kvar sitt värde, men som ännu inte hamnat i ett nytt projekt. Denna marknad är inte lika utvecklad inom husbyggnation, utan det finns ett behov av att återupprätta de traditionella affärsmodellerna och säkerställa att lagstiftningen stödjer återbruk. Detta är i sin tur en stor nyckel till att accelerera cirkulära byggmetoder inom branschen.



### **3 Pågående forskning och standard**

Internationellt och nationellt har cirkulärt byggande blivit ett alltmer uppmärksammat område inom byggsektorn. Nedan presenteras fyra forskningsprojekt som belyser utvecklingen.

#### **3.1 Återhus – att bygga hus av hus**

Sveriges absolut längsta och största forskningsprojekt kring cirkulärt byggande och återbruk av konstruktionsdelar är ”Återhus – att bygga hus av hus”, lett under två års tid av 14 samverkanspartners (RISE, u.åc.). Forskningen ses som en återbrukspraktik där olika demonstrationsprojekt definierar arbetssteg som säkerställer kvaliteter i genomförande och i material och produkt samt testar på lösningar för utvecklingen av återbruk (Återhus, u.å.). Det långsiktiga målet är att möjliggöra återbruk av tyngre byggnadsdelar producerade av stål och betong, och samtidigt bidra till omställningen till cirkulära materialflöden samt de globala hållbarhetsmålen i Agenda 2030. För att uppnå projektets mål förväntas ett flertal parametrar förändras, exempelvis (RISE, u.åd.):

- Minskning av volymen rivningsavfall med 10 procent (ton avfall per år).
- Öka branschens förmåga att bygga med nyskapande lösningar.
- Öka återbruk av bärande konstruktionsdelar som annars skulle rivras.

Inom projektets struktur har tre faser i Vinnovas program ”Utmaningsdriven Innovation” gjorts, UDI 1 – UDI 3 (Återhus, u.å.). Respektive fas har ett antal arbetspaket som hanterar olika delar (lösningar) av projektet. Varje fas av UDI-projektet bygger på den förgående vilket ger en bred omfattning för att främja hållbarhet och innovation inom byggsektorn.

UDI 1 inriktades på att etablera grundläggande metoder för återbruk av bärande element (Återhus, u.å.). Under denna fas studerades och analyserades möjligheter och utmaningar kopplade till återanvändning av material, med särskilt fokus på hållbarhet och cirkulära flöden. I UDI 2 användes praktiska pilotprojekt för att utveckla tekniska lösningar och kvalitetssäkringsprocesser för återbrukade, bärande byggnadsdelar av stål och betong. Ytterligare infördes en fasindelad processbeskrivning som inkluderar

demontering och nybyggnation. Denna innehåller steg för beslutstagande, leveranser och resultat samt klargör förutsättningar och kompetensbehov för vardera steg. Slutligen, i UDI 3, utförs ett arbete för att strukturera återanvändningen av prefabricerade konstruktionsdelar, ta fram metoder för återbruk av platsgjuten betong samt utveckla digitala verktyg och en online-plattform för handel av återbrukade stommar. Med utgångspunkt i gällande lagkrav omfattar arbetet även en vidareutveckling av affärsmodellen samt utvärdering av behovet av nya eller förbättrade regelverk och standarder för att möjliggöra effektivt återbruk.

## **3.2 ReCreate**

ReCreate är ett europeiskt projekt skapat av forskare från Kungliga Tekniska Högskolan som undersöker återbruk av betongelement (KTH, 2021). Projektet grundar sig i den klimatomställning samhället står inför, och har som mål att i stort minska mängden koldioxidutsläpp inom branschen. Enligt beräkningar skal återanvändning av prefabricerade betongelement minska utsläppen med över 90 procent, men i nuläget saknas det tydliga affärsmodeller för att kunna skala upp. För att hantera begagnade betongelement krävs tydliga metoder och ny kompetens hos arkitekter och ingenjörer.

Det huvudsakliga arbetet inom ReCreate är fyra pilotprojekt i Europa som ska lägga grunden till hur demontering, återuppbyggnad och affärsmöjligheter kan se ut (KTH, 2021). Dessutom ska ett nytt bostadshus i stadsdelen Drottninghög i Helsingborg byggas med betongelement från tidigare rivningsprojekt. Från början var tanken ett fyraårigt projekt, 2021-2025, men är nu framflyttat till slutet av 2026.

## **3.3 Säker återanvändning av betongelement**

Ytterligare forskning från Kungliga Tekniska Högskolan, i samarbete med Tammerfors universitet, har utvecklat ett ramverk som möjliggör cirkulär användning av bärande konstruktionselement på ett säkert sätt (KTH, 2026). Ramverkets syfte är att hjälpa projektörer och ingenjörer att fatta ett genomtänkt beslut för att låta materialen leva längre.

I och med brist på regelverk och standarder för återbruk av prefabricerad betong har osäkerheter gjort att arbetet för återbruk inte prioriterats (KTH, 2026). Genom forskning på två demonterbara byggnader i Sverige och Finland, men hänseende till karbonatisering och korrosion i nordiska förhållanden, har betongens livslängd under olika förhållanden kunnat förutsägas. Bedömningarna bygger på verkliga mätningar av betongens skick efter långvarig användning samt exponering för yttre påverkan, och gäller bland annat håldäck, bjälklag, balkar och pelare.

### **3.4 Standard för återbruk av prefabricerade betongelement**

Svenska institutet för standarder (SIS, u.å.) utvecklar i dagsläget en ny standard under namn "Förtillverkade betongprodukter – Återbruk – Metoder för kvalitetssäkring och livslängdsberäkningar" som ska möjliggöra återbruk av förtillverkade betongprodukter i stor skala. Detaljer kring ett förslag till standarden har nyligen publicerats, där standardens krav och rekommendationer för provning av materialegenskaper och tillståndsbedömning anges. Provnings- och tillståndsbedömningen ska utföras på betongkomponenter som är anpassade för återbruk, och ska omfatta bedömning av hållfasthet, lastbärande förmåga, beständighet, livslängd och användbarhet inklusive deformationer.

För kvalitetssäkring följer fyra huvudsakliga steg med tillhörande delmoment (Svenska institutet för standarder [SIS], u.å.). Kvalitetssäkringen ska dokumenteras i en rapport som ska innehålla ett antal givna punkter.

#### **1. Analys av teknisk dokumentation**

I detta steg samlas teknisk dokumentation om den befintliga byggnaden in och analyseras för att lägga grunden till kommande moment. Om teknisk dokumentation saknas ska analysunderlag tas fram genom återbruksinventering, lokaliseringsdokument för identifiering av varje betongprodukt samt inventering av material som vid rivning kan ge upphov till farligt avfall.

#### **2. Okulärbesiktning och oförstörande provning**

Vid en okulärbesiktning ska ett flertal observationer och mätningar dokumenteras, exempelvis sprickor, armeringskorrosion, försämrade vidhäftningar av armering och mekaniska skador. Den oförstörande provningen utförs för att bekräfta dimensioner och placering av armering. Dessutom ska en uppskattning av betongproduktens tryckhållfasthet samt mätning av deformationer genomföras.

### 3. Förstörande provning

I detta steg ska prover på tryckhållfasthet, draghållfasthet av armering, karbonatiseringsdjup, kloridhalt, alkaliskareaktivitet (ASR) samt frostbeständighet tas. Vilken kontrollmetod som ska användas skiljer sig beroende på betongprodukttyp och teknisk dokumentation om den befintliga konstruktionen. För att underlätta förståelsen kring val av metod har ett flödesschema utformats som underlag.

### 4. Livslängdsanalys

För varje kontrollparti ska en förenklad livslängdsanalys genomföras med hänsyn till exponeringsklass. Den totala återstående livslängden bestäms av det minsta värdet av återstående livslängd för karbonatisering och korrosionsinitiering.

Efter att demontering, transport och installation i en ny byggnad har verkställts ska en efterkontroll utföras. För denna efterkontroll har en mall med olika tabeller skapats, som kan användas som underlag.

## 4 Design for Disassembly för betongelement

Återbruk ses som en central del av både dagens och framtidens byggande där tekniska lösningar och projekteringsmetoder anpassas för att stödja en mer cirkulär utveckling. Design for Disassembly lyfts i detta sammanhang fram som en metod för framtida byggnader.

### 4.1 Nya innovativa lösningar

För att övergå till ett cirkulärt byggande krävs innovativa lösningar och strategier som ändrar samhällets syn på den byggda strukturen (Firnetani, 2023). Med utgångspunkt i ett scenario där cirka 80 procent av de byggnader som kommer finnas år 2050 redan är uppförda behöver en anpassning ske. Design för demontering utgör en grund för att återanvända med kvalitetssäkring. Genom att tillämpa begreppet i praktiken kan de material som byggnader består av värderas högre, samtidigt som livscykelns varaktighet förlängs. Detta bidrar till att främja återbruk, vilket leder till minskade utsläpp.

### 4.2 Begreppets betydelse och ursprung

En definition av Design for Disassembly inom ramen för arkitektur och teknik ges enligt standarden ISO 20887:2020, härledd från ISO 14021:2016, som följande (International Organization for Standardization [ISO], 2020):

*en metod för design av en produkt eller en konstruerad tillgång [...] som underlättar demontering [...] vid slutet av dess livslängd, på ett sådant sätt att komponenter [...] och delar kan återanvändas, återvinnas för energi eller på något annat sätt avledas för avfallsströmmen.*

Definitionen understryker att metoden utgör en del av den tidiga projekteringen av en byggnad. Syftet är att redan i ett tidigt skede skapa komponenter som enkelt kan demonteras och återanvändas. Genom detta eliminerar vi, snarare än att hantera, avfall. Bestämningen redogör även för att metoden tar hänsyn till en komponents hela livslängd. Detta innebär att vid slutet av livslängden tas byggnaden noggrant isär för

att elementen ska kunna återanvändas eller återvinnas till energi. Även om återvinning ingår i den begreppsliga definitionen, behandlas det inte i denna studie som i stället fokuserar på återbruk av element.

Begreppet Design for Disassembly, förkortat DfD, är ett i förhållandevis ungt område som under senaste åren fått en stor betydelse på grund av de klimat- och hållbarhetsmål som världen står inför (Ostapska m.fl., 2024). Idag utgör ämnet ett centralt forskningsområde, då omfattande kunskap, erfarenheter och information krävs för att påskynda omställningen av den byggda miljön med hänsyn till globala klimatförändringar. Enligt Boothroyd och Alting (1992) växte behovet av DfD fram som en senare påföljd av DfA, Design for Assembly (design för montering). Utvecklingen av DfA går tillbaka till 1970-talet där man började utveckla systematiska analysverktyg för att underlätta montering av komponenter. Målet var att minska produktens slutliga kostnad genom att designa och modellera vid ett tidigt skeende, i stället för ute på arbetsplatsen. Det var först under tidigt 1990-tal som tankesättet om produktens hela livstid tog plats som ett resultat av oron för miljöskydd och resursanvändning. Även om återvinningen ökade deponerades stora mängder avfall vilket bidrog till föroreningar och slöseri av värdefulla resurser. Ett av de största problemen var just demontering, att produkter och komponenter inte var konstruerade för att enkelt kunna demonteras och separera material. Utvecklingen av DfD blev en värdefull metod som kom att lösa många problem relaterade till produktens produktion och användning.

### **4.3 Framgångsfaktorer för DfD**

Design for Disassembly är en komplex metod som kräver bred förståelse av arkitekter och konstruktörer innan dess fördelar kan maximeras. Enligt en studie av Akinade m.fl. (2017a), baserad på en blandad metodstrategi togs ett flertal framgångsfaktorer fram. I studiens litteraturgranskning identifierades tre breda kategorier som utgör den initiala teoretiska ramen. Dessa är: (i) designrelaterade faktorer, (ii) byggnadsmaterials-relaterade faktorer och (iii) mänskliga faktorer.

1. Designrelaterade faktorer

Designrelaterade faktorer inkluderar bland annat prefabricerad betong som en betydande del i miljöfrågan både på byggarbetsplatsen samt i designfasen (Jaiollon & Poon, 2014). Samtidigt ökar prefabricering säkerheten och produktiviteten på byggarbetsplatsen. Ytterligare exempel på designrelaterade faktorer är enligt Akinade m.fl. (2017a) att arbeta med moduler, öppen planlösning eller att arbeta i olika lager.

## 2. Byggnadsmaterials-relaterade faktorer

Addis (2008) belyser betydelsen av beslutsfattandet av materialval för varje komponent i en byggnad, så att komponenterna kan demonteras och återanvändas när byggnaden nått slutet av sin livslängd. Planering och val i ett tidigt skede underlättar enkel demontering i ett senare skede. I denna kategori uppmärksammas även ett materials toxicitet och hållbarhet som två viktiga, avgörande begrepp i det slutliga valet (Akinade m.fl., 2017a).

## 3. Mänskliga faktorer

Eftersom byggbranschen baseras på projekt är samarbetet mellan alla ingående discipliner väldigt viktigt. Organisationskultur inom byggbranschen baseras framför allt på utveckling, kunskap och högt engagemang bland samtliga (Ajayi m.fl., 2016). Även Akinade m.fl. (2017a) uppmärksammar det engagemang som krävs bland alla arbetare för att främja goda arbetsförhållanden och säkerställa ett arbete av hög klass.

I ett senare skeende av studien verkställd av Akinade m.fl. (2017a) genomfördes fokusgruppsdiskussioner med arkitekter, projektledare samt ingenjörer, en enkätundersökning och faktoranalyser. Som resultat identifierades fem huvudgrupper. Dessa visar att det inte endast är rent tekniska kompetenser som krävs, utan även icke-tekniska faktorer är en nyckel för DfD. De fem grupperna presenteras var för sig nedan:

### 1. Strikt lagstiftning och policy

För att tillsammans nå de globala hållbarhetsmålen är det viktigt att olika regeringar runt om i världen, speciellt i de mest utvecklade länderna, sätter upp tydliga mål och krav (Oyedele m.fl., 2014). Kampanjer, lagstiftningar och andra initiativ skapar en drivande kraft hos byggföretag och fastighetsägare att förändra och förbättra.

Hääkinen & Belloni (2011) menar också att en andel husköpare inte är villiga att betala för hållbarhetslösningar vilket gör det extra viktigt att krav på hållbarhet kommer från en mer strikt lagstiftning.

## 2. Designprocess och kompetens för demontering

Idag finns standardprocesser man använder sig av när man designar en byggnad, men nya, hållbara processer kring DfD och effektivitet är ännu inte framtaget (Akinade m.fl., 2017a). Kunskap och information kring området är en avgörande del för att utveckla ämnet och för att kunna svara på kundernas behov och krav.

## 3. Design för återvinning av material

För att utvidga möjligheterna till återvinning måste mer tid åt valet av byggmaterial, komponenter och kopplingar/anslutningar prioriteras (Akinade m.fl., 2017a). Genom att använda komponenter utan sekundär ytbehandling samt mutter-/bultförband i stället för gjutna anslutningar gynnas återvinningen. Däremot kan materialval skapa konsekvenser för projektets budget, vilket gör det ännu viktigare att prioritera rätt material på rätt plats för att kostnaderna för DfD och rivning inte ska överstiga kostnaden för rivning och avfallshantering.

## 4. Design för återanvändning av material

Behovet av att införa återanvändning i branschen betonar behovet av bred kunskap kring byggkomponenternas kapacitet och hållbarhet (Akinade m.fl., 2017a). Även materialhantering spelar roll då lättare material förenklar montering, demontering och bidrar till mindre risk för materialskador.

## 5. Design för byggnadsflexibilitet

Inte bara är demontering och återanvändning av komponenter viktigt i dagens samhälle, det är också vanligt att förändra verksamheten i en byggnad för att möta användarnas behov (Akinade m.fl., 2017a). Design för byggnadsflexibilitet med material som prefabricerad betong eller ett arbete med moduler möjliggör detta. Genom att designa för byggnadsflexibilitet förlänger man en byggnads livstid och skapar möjligheter för fler användningsområden.



## 4.4 Projektering för DfD

För att i framtiden kunna demontera en byggnad krävs det att man redan i projekteringsfasen tar hänsyn till demontering (Fahlén m.fl., 2017). Målet är att när byggnaden är uttjänt ska den varsamt kunna demonteras så att man till största mån kan ta vara på komponenterna och materialet. I SBUF-projektet *Design for Deconstruction - kartläggning av byggelement* (Fahlén m.fl., 2017) har ett antal principer för DfD listats samt exempel på hur dessa kan implementeras i projekteringsfasen. Flera av dessa principer handlar om olika designval samt val av material och kopplingar, som ofta görs tidigt i projekten.

### 4.4.1 Byggnadsinformationsmodellering (BIM)

För att underlätta projekteringen av framtida demontering kan man ta hjälp av den digitala arbetsmetoden byggnadsinformationsmodellering (BIM). BIM är en metod som använder 3D-modeller för att hantera och dela information om en byggnad hela dess livscykel (Svensk Byggtjänst, 2021). I projekteringsskedet används BIM av flera aktörer, vilket underlättar samarbetet och kan minimera fel då alla har tillgång till samma modell. Användningen av BIM utgör ett viktigt stöd för tillämpningen av Design for Disassembly då tekniken möjliggör planering, analys och optimering av demonteringsprocessen redan i projekteringsfasen (Mattaraia m.fl., 2023). Tidigare studier visar att BIM kan bidra till projektering för demontering på flera sätt, bland annat genom att förbättra samarbetet mellan aktörer, möjliggöra visualisering av demonteringsprocessen samt skapa en kvantifiering av det material som är återvinningsbart. Studien visade även att BIM kan stödja utvecklingen av demonteringsplaner, simulera alternativa scenarier för byggnadens slutskede samt optimera livscykelhantering och informationsutbyte mellan de olika systemen. Vissa av dessa funktioner har en direkt påverkan på demonterbarhet, exempelvis utvecklingen av demonteringsplaner, medan andra främst förbättrade informationshantering och samordning.

Akinade m.fl. (2017b) utvecklar vidare detta genom att betona att BIM inte enbart kan användas för informationshantering, utan även som beslutsunderlag för de designval

som kan underlätta demontering. Genom att möjliggöra tidiga analyser av elementens sammanfogningar och demonteringsmöjligheter kan man enklare identifiera de val som kommer leda till återbruksmöjligheter och mindre materialspill. Detta leder både till minskad klimatpåverkan och ekonomiska fördelar.

#### 4.4.2 Livscykelanalys (LCA) och klimatdeklaration

En byggnad påverkar miljön under hela dess livscykel, från att materialets naturresurser utvinns till att byggnaden rivs (Boverket, 2024b). För att göra en exakt bedömning hur stor miljöpåverkan en byggnad har under dess livstid genomförs en livscykelanalys (LCA). En byggnads livscykel kan delas upp i tre skeden där varje skede bedöms, för att i slutändan kunna se vilket som bidrar till störst klimatpåverkan.

Byggnadens tre skeden presenteras nedan:

|                                                   |    |                                |
|---------------------------------------------------|----|--------------------------------|
| A1–5 Byggskede                                    |    |                                |
| A1–3 Produktskede                                 | A1 | Råvaruförsörjning              |
|                                                   | A2 | Transport                      |
|                                                   | A3 | Tillverkning                   |
| A4–5 Byggproduktionsskede                         | A4 | Transport                      |
|                                                   | A5 | Bygg- och installationsprocess |
| B1–7 Användningsskede                             | B1 | Användning                     |
|                                                   | B2 | Underhåll                      |
|                                                   | B3 | Reparation                     |
|                                                   | B4 | Utbyte                         |
|                                                   | B5 | Ombyggnad                      |
|                                                   | B6 | Driftsenergi                   |
|                                                   | B7 | Driftens vattenanvändning      |
| C1–4 Slutskede                                    | C1 | Demontering, rivning           |
|                                                   | C2 | Transport                      |
|                                                   | C3 | Restproduktsbehandling         |
|                                                   | C4 | Bortskaffning                  |
| D Fördelar och belastningar utanför systemgränsen |    |                                |

*Figur 1 Byggnadens livscykel enligt EN15978. Illustration: Boverket (2024b). Används enligt licensen CC BY-NC-ND 4.0.*

En LCA bör genomföras redan i projekteringsfasen eftersom möjligheten att påverka framtida val är större där. Exempelvis kan olika materialval jämföras, vilket gör det möjligt att tidigt identifiera material med hög klimatpåverkan.

Från den 1 januari 2022 är det lag på att byggherrar måste genomföra en klimatdeklaration som visar vilken klimatpåverkan en ny byggnad har (Boverket, 2024c). Syftet med en klimatdeklaration är att minska klimatpåverkan från de processer som sker under byggskedet. Statistik från Boverket visar att 37 procent av den totala klimatpåverkan inom produktskedet kommer från de bärande konstruktionsdelarna, vilket var en av kategorierna som hade störst påverkan. Därför är detta också en av de kategorier som kommer ge kraftigast minskad effekt på klimatpåverkan om man till exempel använder en återbrukad konstruktionsdel. Enligt Boverket får en återbrukad byggprodukt skrivas som noll kg koldioxidekvivalenter per kg byggprodukt i produktskedet, alltså kan det bli en markant skillnad i klimatdeklarationen om man återbrukar bärande konstruktionsdelar.

Både LCA och klimatdeklarationen är processer som ofta genomförs tidigt i ett projekt för att kunna identifiera de största miljöbovarna. I Danmark genomfördes en studie där man utförde en LCA på ett kontorsbyggnadshus med betongstomme som var designad för demontering (Eberhardt m.fl. 2019). Studiens syfte var att undersöka om användandet av DfD faktiskt leder till en minskad klimatpåverkan, och för att konkretisera resultatet genomfördes en LCA. Resultatet visade att en byggnad designad för demontering kan minska klimatpåverkan markant med rätt förutsättningar samt genom att peka ut de delar som har störst möjlighet till minskad klimatpåverkan. För att kunna avgöra vilka delar som var värda att återbruka tog man hjälp av en LCA och använde den som ett beslutsunderlag. Detta visar att en LCA i kombination med DfD kan underlätta besluten i projekteringsfasen och på så sätt minska klimatpåverkan.

## **4.5 Anslutningar mellan prefabricerade element**

Diskussionen om demonterbarhet leder även frågan in på val av anslutningar mellan byggnadsdelar. Svenska standarden SS-ISO 20887:2021 tar upp några aspekter som

är viktiga gällande åkerbruk och demontering vid slutet av en byggnads livslängd (Svenska institutet för standarder [SIS], 2021):

- Enkel åtkomst till anslutningar i komponenter

Genom enkel åtkomst möjliggör man delvis att material, komponenter eller delar kan nås och demonteras vid behov, men också att det kan ske med minimal skada och påverkan på omkringliggande delar (Svenska institutet för standarder [SIS], 2021).

Exponerade anslutningar som lämnas med tillräckligt utrymme omkring sig underlättar demonteringen.

- Reversibla anslutningar

Användning av reversibla anslutningar i stället för gjutna fogar är en avgörande del i att genomföra demontering utan att skada konstruktionsdelen eller omgivande material (Svenska institutet för standarder [SIS], 2021). Detta gäller mekaniska anslutningar som till skillnad från permanenta metoder inte skadar materialet i samma utsträckning vid återanvändning. På så sätt kan både komponenten och anslutningen återanvändas i nya projekt.

Till reversibla, mekaniska, anslutningar hör skruvar, muttrar och bultar som genom sin stabila och enkla design möjliggör demontering och återanvändning av materialet (Guldager Jensen & Sommer, 2016). De utgör den allmänna regeln och huvuddelen i DfD. Förutom sin enkelhet är användningen av mekaniska kopplingar även mer tidseffektiv, eftersom de inte kräver härdning eller torktid, vilket i sin tur kan minska arbetskraftskostnader.

Användningen av gjutna kopplingar mellan betongelement är ett effektivt sätt att uppfylla brandkrav, uppnå stabilitet och undvika fortskridande ras på (Guldager Jensen & Sommer, 2016). Däremot behöver de vidareutvecklas eller helt undvikas i demonterings-syfte. Idag förekommer framför allt Portlandcement i den betong som används i de gjutna kopplingarna. Till skillnad från annan cement har den förmågan att härda under vatten eller i våta förhållanden, men dess hållfasthet är så hög att de sammanfogade materialen inte kan demonteras.

- Säker demontering

I projekteringsfasen är det viktigt att planera för säker demontering (Svenska institutet för standarder [SIS], 2021). En plan med principer gällande exempelvis tillgänglighet, reversibla anslutningar och standardisering bör tas fram och uppdateras under byggnadens livslängd.

Vidare understryker Jönsson (2024) valet av att använda helprefabricerade betongelement i stället för semi-prefabricerade element för att öka demonterbarheten. Dessutom har prefabricerade element standardiserade egenskaper vilket underlättar kvalitetssäkring vid framtida återbruk. Detta, tillsammans med reversibla kopplingar i större utsträckning, skapar mer hanterbara element.

#### **4.5.1 Exempel på projekt med demonterbara anslutningar**

Det finns ett flertal projekt som utforskat och tagit sig an frågan om anslutningars påverkan på demonterbarhet. I Nederländerna har ett tidigare tingshus flyttats från Amsterdam till Enschede. Efter fem års användning i Amsterdam ska den användas på nytt i Kennispark Twente, en företagspark (HMO, u.å.). Tack vare att byggnaden projekterades för att vara cirkulär och demonterbar är detta möjligt. Konstruktionen består av en stålbas tillsammans med håldäck och stora glaspartier. Komponenterna är sammankopplade med stora skruvar och bultar som, till skillnad från gjutna fogar, underlättar demontering av byggnaden. Figur 2 visar exempel på dessa tekniska detaljer från återmonteringen av byggnaden i form av bultförband. Dessutom har den exakta positionen för varje element dokumenterats i en 3D-modell vilket möjliggör ett högvärdigt återbruk av byggnadens komponenter. Återmonteringen av byggnaden tog ungefär ett år. Byggnaden är möjlig att flytta igen om det skulle behövas.



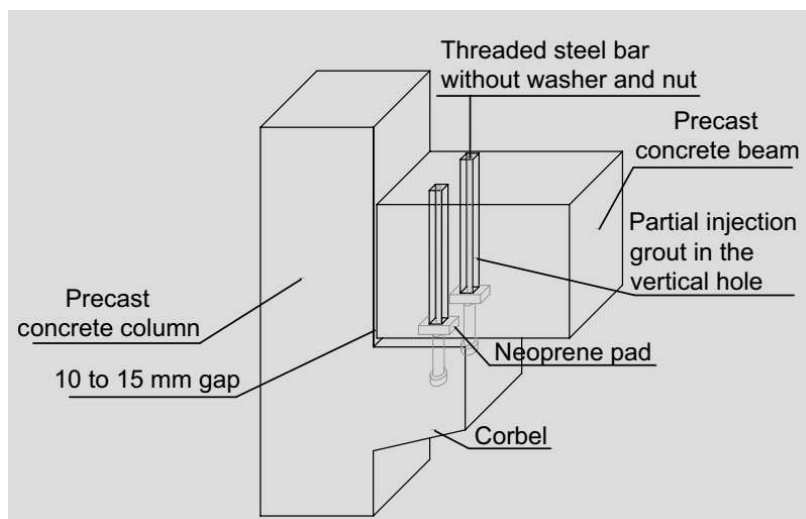
*Figur 2 Bultförband som sammanbinder byggnadens stålbas och bär upp betongelementen. (Koggel, 2025). Foto: Marlie Koggel för HMO.nl.*

Ytterligare ett projekt är Circle House i Danmark, ett projekt som färdigställdes 2020 och möjliggör att 90 procent av allt material kan återanvändas till ett högt värde (Guldager Jensen & Sommer, 2016). Det är en av de första sociala bostäderna som är byggda helt enligt cirkulära principer. I och med att så mycket material kan återanvändas innebär det bland annat att konstruktionen kan demonteras och elementen återanvändas utan betydande värdeförlust. Syftet med projektet var att utveckla, sprida och förankra kunskap om cirkulärt byggande, som inte bara handlar om att återanvända volym utan också att återanvända värde. Dessutom innebär övergången till cirkulärt byggande att komponenter ska produceras i syfte att kunna återbrukas och återanvändas. Grundidén gällande val av anslutning var reversibla anslutningar som kan monteras och demonteras utan att skada materialen eller kontakten.

#### **4.5.2 Forskningsutveckling på dagens anslutningar**

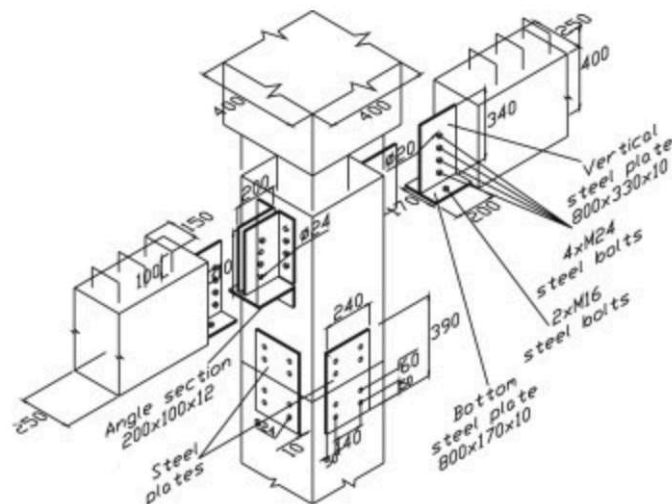
Dagens största hinder kring återbruk av betongelement är kunskapen kring demonterbara kopplingar (Ding m.fl., 2018). Inom denna forskning har experimentella och numeriska studier kring betongförbindningar utförts, med syfte att belysa den potential som demonterbara kopplingar har på cirkulärt byggande. En rad

betongförbindelser har tagits fram där tre av dessa anses bäst lämpade. Den mest lämpliga förbindningen är en dymlingsförbindning, vilket är den vanligaste och enklaste typen av balk-pelare-förbindning. Figur 3 visar en översiktlig bild över kopplingen där en betongbalk är upplagd på en pågjuten konsol på betongpelaren, som fungerar som upplag för balken. Dymlingarna är fastgjutna i konsolen och förs in i balken vid monteringen. I de förborrade hålen finns även utrymme för gjutning som säkerställer att konstruktionen stabiliseras. Mellan balk och konsol finns en gummiplatta som jämnar ut laster och minskar vibrationer. Monteringen möjliggör relativt enkel demontering vilket gör kopplingen lämplig vid återanvändning av prefabricerade betongelement. Däremot kan förbindelsen leda till utveckling av stora böjmoment i pelare vilket gör dem mer passande i låghus.



*Figur 3 Detaljritning av dymlingsförband mellan betongpelare och balk. (Brunesi m.fl., 2015). Återgiven med tillstånd från PCI Journal, tillgänglig via <https://doi.org/10.15554/pcij.03012015.57.79>.*

Ytterligare exempel på infästning är prefabricerad förspänd betongförbindning där förspända betongelement monteras på byggsplatsen med hjälp av en liten mängd eftergjuten betong (Ding m.fl., 2018). Den lilla mängd betong som används skapar en snabb och kontrollerad montering som gör det enklare att demontera och separera element i ett senare skede (till skillnad från helt platsgjuten betong). Som tredje alternativ är hybrid-stålbetongförbindningar en lämplig kandidat. Kopplingen består av stålplåtar som kännetecknas av enkel montering och demontering samtidigt som de



Figur 4 Typisk anslutningsdetalj med stålplåtar. (Kulkarni m.fl., 2008). Återgiven med tillstånd.

Ashour m.fl. (2023) redogör för två halvtorra kopplingar där dymlingsförbindning åter anses som en välfungerande anslutning. Vidare bedöms en momentanpassad förbindning med kontinuitetsstänger vara lämplig. Elementen kopplas samman genom förlängd armering i ett element som svetsas samman med liknande armering i det andra elementet. Därefter gjuts den svetsade armeringen igen för att få en platt och estetiskt tilltalande yta.

Fastän halvtorra anslutningar är goda alternativ för användning mellan betongelement försvårar de fullt potentiellt återbruk (Ashour m.fl., 2023). Detta då avlägsnande av den platsgjutna betongen riskerar förstörelse av omkringliggande element. Helt torra anslutningar i prefabricerade betongkonstruktioner skulle därmed vara helt optimalt, men bristande kunskap hindrar tillämpning i praktiken. Även om kostnaden för torra, demonterbara förbindelser skulle ligga högre jämfört med halvtorra förbindelser, är



klimatskillnaden mellan dem väsentlig vilket motiverar fördelarna med fullt demonterbara förbindelser.

*Tabell 1 Sammanställning över kopplingstyper och dess egenskaper.*

| <b>Kopplingstyp</b>                                | <b>Beskrivning</b>                                            | <b>Fördelar</b>                             | <b>Nackdelar</b>                                     | <b>Demonterbarhet</b>    |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------|
| Dymlingsförbindning                                | Balk upplagd på konsol med dymlingar mellan balk och pelare   | Snabb montering, god potential för återbruk | Kan ge stora böjmoment i pelare                      | Medelgod demonterbarhet  |
| Förspänd prefabricerad betongförbindning           | Förspända element monteras med liten mängd eftergjuten betong | Snabb och kontrollerad montering            | Beroende av viss gjutning                            | Medelgod demonterbarhet  |
| Hybrid stål-betongförbindning                      | Stålplåtar mellan balk och pelare                             | Enkel montering och demontering             | Risk för skador i gränsområde mellan balk och pelare | God demonterbarhet       |
| Momentanpassad förbindning med kontinuitetsstänger | Armering svetsas samman och gjuts igen                        | Stabil och estetiskt tilltalande lösning    | Svår att demontera utan skador på element            | Begränsad demonterbarhet |
| Halvtorra anslutningar (generellt)                 | En mekanisk koppling som gjuts igen                           | Praktiskt genomförbara och etablerade       | Gjutning försvårar demontering och kan skada element | Medelgod demonterbarhet  |

|                                           |                                             |                                             |                                               |                              |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------|
| Helt torra<br>anslutningar<br>(generellt) | Mekanisk<br>koppling utan<br>extra gjutning | Fullt optimal<br>lösning för<br>demontering | Begränsad<br>kunskap<br>hindrar<br>användning | Mycket god<br>demonterbarhet |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------|

## 4.6 Utmaningar med DfD

I en studie baserad på en litteraturgenomgång och sex fokusgruppsintervjuer med intressenter inom byggbranschen har fem huvudkategorier med hinder identifierats (Akinade m.fl., 2019). Samtliga kategorier speglar utmaningar kopplade till dagens tillämpning av Design for Disassembly, och presenteras var för sig nedan:

### 1. Brist på strikt lagstiftning och policyer

I linje med motsvarande framgångsfaktor för DfD, se avsnitt 4.3, är otillräcklig lagstiftning och svaga riktlinjer det största hindret för att utföra DfD i praktiken (Akinade m.fl., 2019). Medvetenhet om fördelar kring demontering och återbruk finns, men arkitekter och konstruktörer har inget rättsligt ansvar att projektera för att byggnaden ska vara demonterbar i slutet av livscykeln.

I studien framkom följande uttalande ”Varför ska jag slösa min tid på att designa för demontering om det inte är en del av kontraktet?” (Akinade m.fl., 2019) som belyser kravet på att tillämning av DfD behöver komma från en mer strikt lagstiftning.

### 2. Brist på tillräcklig information i designstadiet

I enlighet med avsnitt 3.4.1 tydliggör studien betydelsen av BIM-modeller och manualer för att underlätta identifiering av återanvändbara komponenter och farliga material (Akinade m.fl., 2019). Idag finns brist på byggnadsritningar från befintliga byggnader vilket begränsar mängden information om demonteringsmöjligheter. Problemet grundar sig i att byggnader förr inte designades för att kunna demonteras i framtiden vilket försvårar arbetet. Rivning av en byggnad är en komplex process som kräver ett grundligt utförande och noggrann granskning. Information om vilka

komponenter som är återanvändbara förutsätts för att veta materialets prestanda vid slutet av livscykeln.

### 3. Brist på tillräckligt stor marknad för återvunna komponenter

Ett stort hinder idag är storleken på den befintliga marknaden för återvunna produkter (Akinade m.fl., 2019). I takt med att utbud- och efterfrågan på återvunna material ökar är en större marknad oundviklig. Dessutom krävs ett omfattande arbete med att omcertifiera återvunna element. Att omcertifiera kan vara avgörande för materialköpare eftersom det ofta är otydligt vilken återstående prestanda en komponent har efter längre tids användning. Även frågan om juridiska garantier för en återbrukad komponent är idag ett hinder.

För att underlätta identifieringen av lämpliga återanvändbara produkter på marknaden föreslår studien en åtgärd i form av en informations- och förmedlingstjänst av återvunna element (Akinade m.fl., 2019). Tjänsten är tänkt att fungera som en marknadsplats där aktörer kan annonsera och köpa återvunna komponenter. För detta krävs ett klassificeringssystem för återvunnet material, där elementens prestanda och effektiva marknadsdrift kan graderas på en skala.

### 4. Svårigheter att utveckla affärsargument för DfD

Ytterligare ett hinder är svårigheten med att ge en tillräcklig ekonomisk motivering för införandet av designmetoden (Akinade m.fl., 2019). I dagsläget saknas tydlighet kring vilka ekonomiska fördelar som DfD medför. Samtidigt kan projekteringsfasen vid val av komponenter vara tidskrävande och kostsam. Detta innebär att kostnaderna för DfD inte får överstiga de ekonomiska fördelarna med att återanvända återvinningsbara material. Därtill måste projektbudgeten hållas, vilket gör att det bästa värdet för kunden möjligtvis inte inkluderar metoden. Vidare ligger idag ett större fokus på att säkerställa att konstruktionen är håll- och byggbar, snarare än att prioritera DfD i projekteringen.

### 5. Brist på effektiva DfD-verktyg

Den sista kategorien visar att dagens befintliga verktyg är begränsade i arbetet med demonterbarhet (Akinade m.fl., 2019). Arkitekter och konstruktörer har kunskapen

om hur DfD påverkar byggnaders prestanda, men det fattas verktyg för att stödja arbetet i praktiken. Detta är en bidragande faktor till att BIM inte används i den utsträckning som behövs för arbetet med demontering. Programvaran är viktig för samarbete, byggnadsvisualisering och simulering men stödjer inte DfD fullt ut. Med den fortsatta utvecklingen av BIM förväntas programmet stödja en övergång mot ett helt digitalt och samarbetsinriktat arbetsflöde.

Utöver BIM behöver branschen fler tekniker som kan underlätta identifiering och klassificering av komponenter vid rivning (Akinade m.fl., 2019). Detta gäller både för nybyggnationer samt för äldre byggnader som saknar tillräcklig information.

## **5      Analys och resultat från intervjuer med svenska aktörer**

För att skapa en mer realistisk uppfattning om hur arbetet med återbruk och DfD ser ut i praktiken idag genomfördes intervjuer med personer inom byggbranschen. Intervjupersonerna som valdes ut var till största del konstruktörer från olika företag, men även några hade rollen som projektledare. Varje intervju inleddes med en presentation av oss själva samt examensarbetet. Därefter fick intervjupersonerna beskriva sin roll och sina arbetsuppgifter, detta för att kunna skapa en uppfattning om hur man arbetar med återbruk i olika roller.

Sedan fick intervjupersonerna svara på frågor som hade förberetts innan. En del av dessa bestod av standardiserade frågor som ställdes till samtliga intervjuade. Frågorna var uppdelade i två huvudkategorier, återbruk generellt och DfD, och dessa redovisas i bilaga A. Utöver standardfrågorna hade det även förberetts specifika frågor mer anpassade till intervjupersonens yrkesroll och kompetens, med syftet att samla in mer ingående information om arbetets huvudämnen.

Samtliga intervjupersoner hade olika grad av erfarenhet inom återbruk, medan kunskapsnivån kring Design for Disassembly varierade mellan respondenterna. Detta gjorde att störst fokus under intervjuerna låg på återbruk, och att svarsfrekvensen på frågorna om DfD var lägre.

Till sist avslutades varje intervju med en mer öppen diskussion där de fick frågan om de ville ta upp något som inte hade tagits upp, vilket ledde till intressanta diskussioner om möjligheterna för återbruk och DfD.

Resultaten från intervjumaterialet har strukturerats utifrån två huvudsakliga teman: återbruk och hållbarhet samt Design for Disassembly, vilka presenteras nedan med tillhörande relevanta aspekter.

## **5.1 Återbruk och hållbarhet**

Återbruk och hållbarhet är ett viktigt ämne i dagens samhälle, något som uppmärksammades under intervjuerna. Alla intervjupersoner hade en koppling till ämnena och arbetade med det på ett eller annat sätt. De flesta var överens om att samtalen om klimatet ökat under de senaste åren och att det var mer relevant nu än någonsin.

Främst arbetade intervjupersonerna med hållbarhet mer än återbruk, till exempel i form av klimatberäkningar eller i stort med företaget, såsom hållbarhetsgrupper. Det var även vanligt att hållbarhet fanns med som huvudfråga i projekt eftersom många beställare idag vill uppnå miljöcertifieringar, såsom Miljöbyggnad och BREEAM. Återbruk var mer ett ämne som kom upp i projekt om det fanns som krav från beställarens håll, men på grund av till exempel högre kostnader genomfördes det sällan.

Återbruk av specifikt betong var det blandad erfarenhet kring men en genomgående åsikt var att betong uppfattades som ett av de svårare materialen att återbruka. En del av personerna arbetade mer med återbruk av andra material, så som stål och tegel, och ansåg att dessa material var lättare samt fanns mer konkreta exempel på det. När man frågade om specifikt återbruk av betong pratade de flesta mer om krossad betong, det vill säga att krossa element och sedan återbruka krosset som ballast i ny betong, men desto mindre om återbruk av hela element.

### **5.1.1 Svårigheter med återbruk i branschen**

Det finns idag ett flertal hinder för att återbruk ska kunna implementeras i projekt, och ett av de främsta som nästan alla intervjupersoner tog upp var den bristande andrahandsmarknaden och otillgängligt material. Från att en ritning skapas till att byggnaden väl börjar byggas går det väldigt lång tid, vilket gör det svårt att veta exakt vilket material som kommer vara tillgängligt när bygget ska sättas i gång. Det blir därför svårt att planera för ett återbruk. Dessutom finns det ingen garanti på varorna man köper på samma sätt som när man beställer nytt material. Det krävs därför att man undersöker och testar produkten för att vara säker på att den uppfyller kraven.

Vissa företag arbetar internt med återbruk och kan spara element till ett kommande projekt när de river, det underlättar både tillgänglighet av material och kunskapen om produktinformation, men utan den möjligheten blir det att man får chansa på att material ska finnas och dess kvalitet. En del av intervjupersonerna var överens om att det idag inte är en standard att annonsera ut sitt material på andrahandsmarknaden, både för att det tar längre tid att demontera och att materialet sedan ska lagerhållas tills någon köper det. Få företag har möjligheten att lagerhålla större partier av element vilket kan leda till att möjligheten till återförsäljning försvinner.

Idag byggs det också mycket specialdesignade projekt, det vill säga att man använder andra mått än standardmoduler, som brukar vara 1200 mm, vilket försvårar situationen ännu mer eftersom chansen att rätt dimensioner på återbruk ska finnas blir väldigt liten.

Kunskapen hos konstruktörer om vad återbruk innebär är stor, men när det kommer till att tillämpa det i projekt tvekar många, särskilt när det handlar om betongelement. Det finns idag väldigt få exempel på genomförda projekt där återbrukade betongelement har använts eftersom det är en relativt ny diskussion som uppkommit på senare tid. Många av de intervjuade svarade att de handlar mycket om trygghet och bekvämlighet, man väljer de metoder som redan är testade och där man vet hur man ska gå till väga. Det behövs fler resultat på att återbrukade betongelement fungerar och leder till positiva resultat både ur ett klimat- och kostnadsperspektiv, men om ingen vågar genomföra det kommer man inte framåt i utvecklingen.

Många av de intervjuade var överens om att de vill arbeta mer med återbruk, och att det i början av ett projekt ofta kan vara uppe på tal, men att det sedan går hela vägen och faktiskt genomförs. De säger att anledningen är dels på grund av kunskapsbrist, dels att någon måste vilja lägga tiden men också pengarna på det. Att demontera en byggnad tar längre tid än att riva den, och allt extra arbete leder till extra kostnader.

### **5.1.2 Provning av återbrukade element**

En diskussion som ofta uppkom under intervjuerna var provning av de återbrukade elementen. Om tanken är att använda en återbrukad del är det viktigt att den testas för

att se att elementet är intakt och fortfarande klarar av att ta hand om de dimensionerande lasterna. Dock finns det inte idag någon vedertagen strategi för det här på samma sätt som när man räknar på nya element.

I en intervju med en representant från RISE framkom det däremot att Svenska Institutet för Standarder nyligen hade publicerat en remiss gällande en ny standard för kvalitetssäkring av återbrukade element. Remissen omfattar de krav och rekommendationer som finns för provning av materialegenskaper och tillståndsbedömning av prefabricerade betongelement. Vidare i intervjun berättade även representanten att RISE har arbetat med provning av IKEA Kållereds gamla betongstomme när byggnaden skulle rivas. RISE utvecklade då en fyrstegsmetod där de bland annat gjorde borrhål på håldäcken för att undersöka om de gick att använda igen. Deras metod ligger även till grund för den nya standarden.

För att underlätta provning av element framkom det under intervjuerna att det är bra med byggnader som har flera av samma element, eftersom det då kan räcka att testa endast ett av elementen men använda resultatet för alla. För att det ska vara möjligt krävs det däremot att elementen har utsatts för samma påverkan och befunnit sig i samma miljö. Exempel på detta var pelare och bjälklag inne på kontor.

### **5.1.3 Ekonomins betydelse**

Ekonomi och ökade kostnader var kanske det mest upprepade svaret på frågan om svårigheter med återbruk. I princip alla intervjuade svarade någon gång att ekonomin ofta kunde sätta stopp för genomförandet av återbruk. Återbrukade element är i princip alltid billigare än att köpa in nya, men processen för att ta hand om elementen är dyr. Kostnaderna hamnar på bland annat demontering, transporter och lagerhållning, därför blir det ofta billigare att bara riva hela byggnaden. Det blir även extra kostnader för att fräscha upp materialet, såsom att slipa eller måla om. Främst är det beställaren som får ta hand om de ökade kostnaderna och det är därför de som måste vara beredda att betala för att återbruk ska användas.

Under intervjuerna med konstruktörerna framkom det ett flertal gånger att de ofta hade tankar på återbruk och lade fram det som förslag i projekten, men att beställaren



inte varit villig att betala de extra kostnaderna. Om beställaren själv inte har ett krav på att uppfylla till exempel en miljöcertifiering, så ser de heller inte någon större anledning att använda återbruk. Exempelvis ska ett lägenhetskomples eller kontorshus hyras ut när byggnaden är färdigställd, har återbruk då implementerats så leder det ofta till dyrare hyror, något som hyresgästerna inte heller är villiga att betala. Det blir som en ond spiral där alla vill skjuta över kostnadsproblemet till någon annan.

Som lösning på problemet tog några av de intervjuade upp gröna byggnadskreditiv och gröna bolån, det vill säga att banken erbjuder finansieringslösningar för de som väljer att bygga energieffektivt och miljöcertifierar fastigheten. Det kan leda till att fler väljer att använda återbrukat material.

#### **5.1.4 Samarbete mellan aktörer**

Det framkom under flera intervjuer att samarbetet mellan aktörerna är en viktig del för att främja återbruk. Det är viktigt att alla i ett projekt är förberedda på att lägga ner den tid och kraft som behövs. Finns tanken om återbruk med från start undviker man att projektera för något som inte kommer funka. Exempelvis är samarbetet mellan arkitekter och konstruktörer viktigt för att kunna förena gestaltandet med det tekniska perspektivet. När kontorshus byggs är de ofta utformade med standardmoduler på 1200 mm, vilket möjliggör flexibilitet att kunna flytta väggar i framtiden samt gör det enklare att återbruka delar. Däremot ritar gärna arkitekter med andra mått, vilket leder till element som är byggnadsspecifika och de blir därför svårare att återbruka. Ett tidigt samarbete gör att de tillsammans kan anpassa design och bärande stomme efter tillgängliga återbrukade material, i stället för att införa de i efterhand. Målet är att hitta en lösning där det återbrukade materialet både uppfyller konstruktionsmässiga krav och är estetiskt tilltalande.

I diskussionerna om samarbete togs även BIM och LCA upp ett par gånger, där flera var överens om att det var två bra metoder för att minska klimatpåverkan men också för att främja samarbete, främst användandet av BIM. Däremot gavs uppfattning att BIM inte används i så stor utsträckning, åtminstone inte med syftet att möjliggöra demontering eller återbruk. Idag är det fortfarande vanligt med pappersritningar som komplement till de digitala modellerna, och det är dessa som sedan förvaras i arkiv

för framtida hanteringar av information. Anledningen enligt de intervjuade till att den främsta informationen hanteras med 2D-ritningar är att det är tidskrävande att lägga in all information i BIM, samt att man inte vet hur systemen ser ut om 50-100 år. När ritningarna finns på papper kan man vara säker på att människor i framtiden kan ta del av de, men med BIM blir det mer osäkert eftersom tekniken ständigt utvecklas, och man vet idag inte vilka verktyg som kommer användas.

## **5.2 Design for Disassembly**

Vetskapen om begreppets betydelse skiljdes till viss del åt bland de intervjuade. En grupp vet mer om innebörden kring designmetoden medan en annan grupp delvis har den i åtanke vid projektering. Gemensamt är att konstruktörer och projektledare vet vad DfD är i helhet, men har inte större koll än så. En djupare förståelse kring begreppet fattas för att det ska tillämpas i praktiken. Ännu en delad synpunkt är att demontering av trä och stål är enklare att åstadkomma medan betong har fler utmaningar. För betong är prefabricerade element mest lämpliga då platsgjuten betong gör det svårt att demontera utan att få skador på det huvudsakliga elementet och element omkring. Trots att prefabricerade komponenter underlättar demontering av betong är det fortfarande en väldigt svår process. Idag ses det enklare att riva än att demontera, mycket på grund av att demontering är tidskrävande. Däremot påpekade samtliga att rivningsbranschen behöver övergå till en demonteringsbransch för att samhället ska uppnå de satta klimatmålen.

Ett återkommande inslag i intervjuerna var att DfD är mer vision än verklighet då begreppet förekommer i begränsad utsträckning i branschen. Den största anledningen bedöms vara vart fokuset i varje enskilt projekt ligger, där man sällan kollar på vad som händer efter en byggnads livslängd, utan i stället prioriterar den inbyggda koldioxiden i byggnaden för att minska utsläpp. Detta resulterar i att konstruktörer tänker mer på nuet än om 50-100 år framåt då byggnaden ska demonteras. Samtidigt är alla respondenter eniga om att tankesättet behöver anpassas till framtidens möjligheter där demontering och återbruk av betongelement utgör en central del.

I linje med dagens fokus på klimatavtryck i en byggnad lägger konstruktörer ett större huvudsakligt fokus på att förändra dess användningsområde, syfte, snarare än att

projektera för framtida demontering och montering. Att förändra användningen av en byggnad resulterar i längden till mindre utsläpp i branschen. Däremot var de intervjuade överens om att utveckling och utförande av DfD skulle bidra till ännu mindre utsläpp på lång sikt.

### **5.2.1 Svårigheter och möjligheter med DfD i branschen**

Den huvudsakliga utmaningen, som alla respondenter delar samma uppfattning om, är ovissheten kring demonterbara kopplingar. I dagsläget finns brist på kunskap i hur man kan anpassa kopplingar mellan element för att göra dem tillgängliga samt för att kunna demontera utan att förstöra betongelementet och kopplingen. Gällande återbruk av betong i form av krossning har inte dessa anslutningar någon större betydelse. Vid utveckling av branschens syn på återbruk av betongelement behöver däremot en bredare forskning på demonterbara kopplingar utföras. Eftersom marknaden inte erbjuder dessa mekaniska förband är det svårt för konstruktörer att projektera för framtida demontering.

Gjutna fogar är en av de vanligaste anslutningarna som används idag, och de har viktiga fördelar gällande brand- och ljudkrav. Att bortse helt från gjutningar i framtiden är svårt, men dess teknik behöver utvecklas för att det ska vara en mer hållbar metod i demonterings-syfte. Debatten kring hållbara lösningar är aktuell inom branschen där tron på en genomgående förändring för både nya mekaniska kopplingar, samt nuvarande gjutna kopplingar, är stor bland yrkesverksamma inom byggsektorn.

Studien påvisar att ytterligare en utmaning är efterfrågan. För att utvecklingen av projektering av demonterbara byggnader i stort ska ske behöver kunskapen och behovet drivas någonstans ifrån. Tydliga, höga krav från kunder och fastighetsägare är därmed nödvändigt. På motsvarande sätt kommer lösningar på demonterbara kopplingar först när kraven ställs. Det rådande kunskapsläget innebär att samhället är i behov av en väg som främjar innovativa idéer. Intervjuerna indikerar att kunskapen behöver introduceras redan i skolan genom ett förstärkt utbildningsinnehåll i högskolor och universitet. På så sätt kan nyskapande lösningar drivas fram.

DfD har, i enlighet med återbruk, en utmaning gällande att processen ska gå hela vägen. En återkommande synpunkt i intervjuerna är att metoden är tidskrävande och att dess praktiska funktion inte är säkerställd. Därtill bidrar saknaden av ett fungerande koncept till att metoden inte tas i beaktning. Med hänsyn till den kritiska klimatpåverkan idag hade ett fungerande tillvägagångssätt varit av stor betydelse.

Ett framträdande mönster som identifierats i majoriteten av intervjumaterialet utgörs av ett antal principer som förväntas möjliggöra DfD i framtiden. Fyra huvudsakliga principer har fastställts, som alla bygger på dagens utmaningar:

- Hårdare krav från politiska aktörer förväntas få en alltmer styrande roll för byggbranschens utveckling. Flera respondenter beskriver att denna typ av reglering på sikt kan förändra branschens riktning där nybyggnation succesivt minskar i omfattning. I stället förväntas ett större fokus på renovering, ombyggnad och återanvändning vilket innebär att befintliga byggnader kommer utgöra grunden för framtidens byggande.
- Att projektera med standardiserade och modulbaserade mått skulle underlätta för framtida demontering och återanvändning. Genom att undvika specialanpassade mått skapas bättre förutsättningar för att komponenter kan användas i framtida projekt. Detta innebär även en ökad tillgång till återbrukat material på andrahandsmarknaden.
- En princip som tydliggör utmaningarna med DfD är valet av kopplingar. Genom att analysera och välja framtidens mekaniska kopplingar som är mer synliga och lättåtkomliga kan demontering underlättas. I detta sammanhang belyste de intervjuade även den potential som betong har som material. Den mest framträdande potentialen är materialets långa livslängd om materialet tas hand om på rätt sätt. Idag är betong väl anpassade till montering, vid rätt val av framtida kopplingar kommer det även vara lämpat för demontering.
- För att driva utvecklingen av DfD framåt behöver större kunder, som har ekonomiska möjligheter, satsa mer pengar på återbruk i sina projekt. Med stöd

av ekonomiska inslag kan designmetoden testas och tillämpas i projekt. Detta kan i sin tur få fler kunder att se den långsiktiga ekonomiska vinningen, och få fler att satsa pengar.

### **5.2.2 Demonteringsmetoder idag**

Trots osäkerheten kring demonterbara kopplingar bland konstruktörer och projektledare identifierades i intervjuerna en metod för demontering som till viss del används idag, bestående av sågning av håldäck. Tillvägagångssättet kan utföras längsmed håldäckselementen eller i tvärriktning beroende på hur elementen är upplagda mot andra komponenter. Vid sågning längsgående fogarna lämnas ett rakt spår för att enklare hantera elementen. Detta innebär att den ojämna yta och kilformade gjutning på elementen som är nödvändig vid montering behöver återställas för framtida montagearbete, vilket är ett tidskrävande arbete. Om metoden däremot skulle utföras genom bilning av betongelement skulle ytan bli intakt. Bilning är emellertid en process som kräver hög noggrannhet och är tidskrävande, vilket innebär att den inte tillämpas i praktiken i önskad grad. Gemensamt för sågning och bilning i längsriktning är till det positiva utfallet att elementets storlek eller armering inte påverkas. Figur 5 och 6 visar den yta som håldäck produceras med, visat ur två perspektiv.

Vid sågning av håldäck i dess tvärriktning är det möjligt att behålla gjutningen mellan håldäcken. Däremot bidrar denna metod till spill av material då sågningen minskar stomlinjerna något. Sett till den totala volymen betong är däremot mängden spill liten, ungefär 5 procent av elementen faller bort. Vilken metod som tillämpas styrs i huvudsak av hur elementen är förankrade i upplag, hur de samverkar med den övriga konstruktionen, om de är sammansvetsade för skivverkan eller ifall det ligger ytterligare ett lager betong ovanpå. Dock är den vanligaste metoden av dem två idag sågning i längsriktning då armeringen inte skadas/kapas av samtidigt som hela element kan återanvändas.



*Figur 5 Sidovy på håldäckselement med kilformad gjutning och ojämn yta.  
(Författarens egna bild)*



*Figur 6      Vy framifrån på håldäckselement med kilformad gjutning och ojämn yta.  
(Författarens egna bild)*

Vid intervju och besök på Strängbetong i Veddige undersöktes en befintlig och tillämpbar metod på montering och demontering av TT-kassetter i ett parkeringshus. TT-kassetter skiljer sig från håldäck delvis i dess geometri och egenvikt samt har en hög bärförmåga vilket gör dem effektiva för att ta upp tunga laster i exempelvis industribyggnader och parkeringshus. I detta fall projekterades parkeringshuset från början med tanken om att det i framtiden skulle vara enkelt att demontera. Beställaren gav det kravet, med vetskapen om att det fanns en begränsning i hur lång tid konstruktionen kunde stå på platsen. I projekteringen valdes därmed en metod där plåtdetaljer gjöts in i underkant av den platta ovansidan på respektive element. Vid montering kunde elementen därefter svetsas samman i dess plåtdetaljer. I Figur 7 fås en förståelse av hur denna koppling var projekterad, och hur den ser ut idag när parkeringshuset tagits ner. Vid demontering kunde svetsarna enkelt sågas loss vilket möjliggjorde ett snabbt och effektivt arbete.



*Figur 7 Stålkoppling mellan betongelement med svetsningens utformning efter demontering. (Författarens egna bild)*

På grund av plåtdetaljerna gick det inte att placera elementen helt tätt mot varandra, vilket resulterade i ett mellanrum på cirka en centimeter mellan TT-kassetterna. Då parkeringshuset var utformat som ett öppet parkeringshus utan ytterväggar utsattes TT-kassetterna dessutom för yttre påverkan, såsom regn. För att fortsatt underlätta för demontering samt leda bort vatten monterades avvattningsrännor längsmed alla fogar. Dessa monterades med hjälp av skåror som förberetts i elementen redan under produktionen, vilket visas i Figur 8. Denna metod har använts för ett flertal projekt med liknande syfte och är ett effektivt sätt för att möjliggöra demontering och återmontering av betongelement. Däremot är den inte lämplig för alla verksamheter, då exempelvis kontorshus inte utformas med fogar som man kan se rakt igenom. Den är i dagsläget inte heller prövad på andra betongelement såsom håldäck, utan används endast på TT-kassetter.



*Figur 8 TT-kassett framifrån med skåror för fästning av vattenränna. (Författarens egna bild)*



### 5.2.3 Ekonomiska aspekter

Ett flertal viktiga aspekter som de intervjuade kopplade till användning av Design for Disassembly handlade om ekonomiska förutsättningar. Den viktigaste punkten rörde att budgeten i varje projekt inte får överskrivas, utan slutkostnaden ska bli densamma eller möjligtvis mindre vid beaktning av DfD. Demontering och återbruk av element ska inte överstiga priset för återvinning av material vid rivning av en byggnad. Vid ett dilemma mellan kostnad och hållbarhet väljs därmed i stor utsträckning det billigare alternativet för att hålla sig inom budget. Därför är det viktigt att företag vågar investera i sina projekt för att möjliggöra val av mer hållbara lösningar, så att de i sin tur kan bidra till utveckling av designmetoden. Detta gäller även för forskning och utveckling av demonterbara kopplingar. Återbrukat material kan i sig vara billigare än nyproducerat material, men det är arbetskraften kring framför allt projektering och demontering som är dyrt. Således behöver beställare sätta tidiga krav på både konsulter och entreprenörer.

Att projektera för DfD idag är en tydlig kostnadsfråga bland alla respondenter, men det rådde enighet om att metoden lönar sig på lång sikt. För byggnader som endast kommer utnyttjas en kortare period eller som förväntas anpassas efter användningsområde är metoden särskilt lämplig. Genom att utforma dem för nedmontering kan man ta vara på både material och ekonomiska värden. För byggnader med en väldigt lång livstid, 100-150 år, är metoden delvis motiverad ur ett livscykelperspektiv. Till viss del har materialet redan uppnått sitt ursprungliga värde vilket gör det svårt att veta om de initiala kostnaderna kommer motsvara framtida återvinnings- eller demonteringsnytta eller inte. Däremot kommer byggnaden under tid med stor sannolikhet genomgå ett flertal ombyggnationer, där projektering med hänsyn till DfD kan minska kostnader och material gradvis med tiden. Designmetoden i byggnader med lång livslängd handlar därför mindre om att få tillbaka ett ekonomiskt värde när byggnaden demonteras, och mer om att göra byggnaden flexibel och minska användningen av resurser under hela dess livstid.

## **6 Diskussion**

I detta kapitel diskuteras studiens resultat i relation till litteraturstudien samt arbetets syfte och frågeställningar. Resultaten från intervjustudien analyseras med fokus på att tolka och ge möjliga förklaringar till de framträdande mönstren i intervjumaterialet. Vidare förs en metoddiskussion där vald metod granskas och relateras till studiens genomförande och resultat. Därefter beaktas studiens betydelse med avseende på framtida forskning och nuvarande praktiska tillämpningar i byggbranschen.

### **6.1 Resultatdiskussion**

Byggbranschen står inför flera utmaningar i processen att övergå till cirkulär ekonomi. I detta avsnitt kopplas litteraturstudien samman med resultat från intervjustudien för att diskutera viktiga aspekter kring återbruk och demontering av betongelement.

#### **6.1.1 Nuvarande och framtida fokus på byggnaders klimatpåverkan**

Till skillnad från tidigare forskning visar intervjuerna att en viktig aspekt är vart fokus på klimatpåverkan i ett projekt ligger. Forskningen fokuserar främst på identifierade brister i det praktiska arbetet medan de intervjuade i stället betonar hur arbetet med minskade utsläpp prioriteras. Tankesättet kring dagens, i stället för framtida, fokus bidrar till att flertalet konstruktörer inte projekterar för framtidens möjligheter, utan snarare riktar sig mot nuvarande, inbyggda koldioxid i en byggnad. Detta synsätt medför utmaningar i projekteringen av DfD, eftersom arbetet inte genomförs i den omfattning som krävs för att möjliggöra en omställning av bebyggelsen. För att nå nettonollutsläpp till 2045 samt fortsätta med den pågående utvecklingen är det viktigt att behandla flera perspektiv i projekteringen.

Med ett varierat synsätt på både dagens och framtidens klimatpåverkan kan en möjlig framtida konsekvens av utvecklingen inom Design for Disassembly vara att bostadsbeståndet i stor utsträckning redan är uppfört, vilket skulle minska behovet av nyproduktion. Ur ett klimatperspektiv ses detta som något positivt då ombyggnation och renoveringar reducerar resursanvändning och utsläpp till skillnad från

nyproduktion. Samtidigt kan denna utveckling få konsekvenser eftersom en minskad efterfrågan på produktion riskerar att leda till färre arbetsplatser. Däremot skapar demontering nya arbetsmoment som behöver arbetskraft. Trots att nyproduktionen skulle minska uppstår ett ökat behov av renovering, anpassning och ombyggnad. Därtill är demontering av byggnader en process som tar tid och behöver utföras på ett kontrollerat sätt.

Samtidigt som byggbranschen är i behov av ett större fokus på DfD kommer vi inte nå 100 procent demonterbara byggnader på väldigt länge. Det kan därför vara möjligt att designmetoden inte nödvändigtvis leder till brist på arbetstillfällen i hög grad, utan att det snarare kommer ske en omfördelning av arbetsuppgifter inom branschen.

### **6.1.2 Dagens bristande andrahandsmarknad**

I dagsläget är byggbranschens andrahandsmarknad bristande ur det perspektivet att den är opålitlig. Det är svårt att projektera för återbruk av element när sortimentet är så varierande. Dessutom uppstår även problemet med kvalitet, rätt element kan vara tillgängligt men uppfyller inte till exempel bärighetskrav, och blir därför inte ett alternativ. Detta kan bero på att det fortfarande är en relativt ny metod samt att för få aktörer väljer att annonsera ut sina produkter.

De intervjuade personerna var överens om att andrahandsmarknaden måste bli bättre för att återbruk ska bli vanligare, vilket även stödjer resultat från litteraturstudierna. Det väcker frågan vilka åtgärder som krävs för att stärka andrahandsmarknaden. Resultatet tyder på att det inte finns en enskild åtgärd som kommer lösa problemet, utan kräver samspel mellan ekonomi, regelverk och ett förändrat arbetssätt i branschen.

För det första behöver återbruk idag bli mer ekonomiskt fördelaktigt, idag är det inte alltid billigare att använda återbrukade delar. Även om återbrukade komponenter ofta har ett billigare inköpspris tillkommer det kostnader för kvalitetskontroller och transporter, vilket i slutändan kan minska eller eliminera den ekonomiska vinsten.

För det andra krävs tydligare informationskrav och regelverk för produkter på andrahandsmarknaden. Om krav ställs på att relevant teknisk information ska finnas tillgänglig redan vid återförsäljning kan osäkerhet och behovet av omfattande kontroller minskar.

Till sist måste branschens arbetssätt förändras. Om fler efterfrågar återbruk kan det leda till att efterfrågan ökar och på så sätt även utbudet. Finns det en ökad efterfrågan kan fler företag besluta sig för att demontera i stället för att riva, eftersom chansen att få sålt sina produkter är större. Ett ökat utbud leder även till en ökad pålitlighet för marknaden, det kommer kännas mer säkert att i projekteringsfasen planera för ett återbruk eftersom chansen att rätt produkter finns är större.

### **6.1.3 Transport och materialhållning**

Att lagrhålla material efter demontering har visat sig vara ett hinder för användningen av återbruk. Demontering kan leda till stora skrymmande element och många företag idag har inte möjligheten att förvara dessa någonstans. Ett exempel på en åtgärd som togs upp under en av intervjuerna var att vända sig till producenterna och be de lagrhålla elementen. Vid demontering av ett parkeringsgarage i Göteborg vände sig byggherren till Strängbetong som hade tillverkat bjälklagen och frågade om de hade möjlighet att lagrhålla dessa. I det här fallet fanns det redan en plan på att använda bjälklagen i ett kommande projekt, och Strängbetong visste på så sätt att de bara kommer förvaras där kortvarigt. Att lösa problemet på det här sättet kan vara smidigt för stunden, men till slut blir det platsbrist även hos producenterna.

När byggnader i tätbebyggda städer ska demonteras uppstår det ofta problem med lagrhållning av det material som ska tas hand om. Det demonterade materialet behöver förvaras någonstans, men byggarbetsplatser i stadsmiljö präglas ofta av stor platsbrist, vilket gör att materialet inte får plats på gatan. För att hantera detta behöver materialet därför transporteras bort och lagrhållas på annan ort. Samma typ av platsbrist uppstår även vid nyproduktion i tätbebyggda områden, där byggmaterial ofta inte kan lagras på arbetsplatsen utan i stället behöver levereras precis när det ska användas.

Många byggprojekt i tätbebyggda städer arbetar därför idag enligt just-in-time-principen, där material anländer först vid användningstillfället. Genom att tillämpa denna princip minskar behovet av lagerhållning på byggarbetsplatsen, vilket frigör yta och underlättar logistiken. Under flera av intervjuerna diskuterades även huruvida samma problematik med platsbrist förekommer i mindre tätbebyggda delar av landet, exempelvis norra Sverige. Flera av de intervjuade var överens om att platsbrist generellt sett inte är lika problematisk där som i större städer. Det leder vidare till en eventuell åtgärd på problemet, att lagerhålla demonterat material på mer glesbebyggda ställen runt om i landet för att sedan transporteras vidare när det ska användas i nya projekt.

En sådan lösning kan dock innebära långa transporter, exempelvis om material lagras i norra Sverige men senare ska användas i ett projekt i södra Sverige. Samtidigt är det välkänt att de största klimatutsläppen inom byggsektorn ofta uppstår vid produkttillverkning. Det kan därför argumenteras för att den totala miljöpåverkan ändå blir lägre i slutändan genom att transportera återbrukat material längre sträckor än att tillverka nya byggedelar. Dessutom används i allt större utsträckning mer hållbara transportmedel och fordon med lägre utsläpp, vilket också är viktigt att ta i beaktning i sammanhanget.

#### **6.1.4 Politiska incitament**

I takt med ett större fokus på att förändra klimatet behövs strikt lagstiftning kring arbetet med återbruk, något som stöds av både litteraturstudien och resultatet av intervjustudien. Detta är en relevant beståndsdel som delvis bidrar till att besvara frågeställningen angående begränsade faktorer i användningen av DfD.

Å ena sidan ansåg majoriteten intervjuade att nuvarande lagstiftning inte är stark nog utan behöver ställa högre krav för att påverka arbetet med DfD. Å andra sidan fanns en uppfattning om att dagens lagstiftning är tillräcklig, men att en stor del av branschen inte arbetar mot den. Detta kan förklaras av att det befintliga regelverket till största del avser minskad klimatpåverkan i stort och inte riktar in sig på frågan om återbruk och demontering. Större vikt läggs därmed på hur samhället kan förändra exempelvis betongens recept för att åstadkomma mindre avtryck, i stället för att ta

återbruk av betongelement i beaktning. Samtidigt är möjligtvis inte DfD den största faktorn som kan påverka klimatmålen till 2045 utan metoden är mer anpassad till framtiden. En återbrukat komponent gör en betydlig skillnad då den ses som noll utsläpp i klimatdeklarationen, vilket i längden övervinner de initiala utsläpp från motsvarande nyproducerade komponenter. Sammantaget understryker samtliga betydelsen av politiska incitament som ligger bakom beslut om mer strikt och tydlig lagstiftning.

Skärpta klimatkrav från Boverket pekar mot en riktning där byggnaders klimatpåverkan behöver jämföras. Ett tänkbart sätt att hantera detta skulle kunna vara ett system där olika material och bygglösningar tilldelas någon form av klimatrelaterade ”poäng”. I ett sådant system skulle exempelvis nyproducerade material med högre klimatbelastning ge ”straffpoäng” medan återbrukade eller mer klimatsmarta alternativ i stället ger ”bonuspoäng”. Även projektering för DfD skulle bidra positivt till poängsystemet. Den totala poängen på en byggnad skulle behöva ligga inom ett visst intervall för att gå godkännande. Om en byggnad däremot skulle hamna utanför ett tillåtet intervall är det oklart vilka konsekvenser som skulle följa, om det skulle påverka möjligheten att få bygglov eller om andra åtgärder skulle krävas.

Vidare kan man diskutera risken för att aktörer anpassar sig till reglerna snarare än att minska sin faktiska klimatpåverkan. I de fall där flera byggnader omfattas av samma tillstånd kan det teoretiskt uppstå situationer där en byggnad med hög klimatpåverkan kompenseras av en annan med lägre klimatpåverkan, för att det sammanlagda utfallet ska hamna inom det tillåtna intervallet. Detta kan i sin tur innebära att systemets syfte inte uppnås i praktiken.

Samtidigt kommer det kosta pengar att göra icke miljövänliga val vilket leder in frågan på ett ekonomiskt perspektiv. Vid högre lagstiftning sätts högre krav vilket bidrar till en större satsning i pengar. För att företag ska incitament att investera behövs ekonomiska drivkrafter. Det kan handla om minskad skatt på arbete kopplat till demontering, eller om ökad skatt på nyproducerade råvaror samt avfall och rivning. I samma riktning kan ekonomiska drivkrafter bidra till att producenter av en byggnadens betongelement även involveras som arbetskraft vid demontering av

byggnaden. Eftersom producenten säkerställer monteringen av elementen besitter de även kunskap om hur samma element kan monteras ner. I dagsläget är en stor del av industrin präglad av ett linjärt tankesätt, men de behövs i forskning av Design for Disassembly. Även om industrin har den tekniska kapaciteten krävs ekonomiska incitament för att möjliggöra ett aktivt genomförande av dessa arbetssätt.

### **6.1.5 Val av anslutningar**

Både litteraturen och intervjuerna visar att utveckling av demonterbara kopplingar utgör den största grunden till tillämpning av DfD. Däremot saknas tillräcklig kunskap inom branschen för att det ska vara möjligt att utföra i praktiken. En tydlig aspekt som framkom i resultatet var att producenter inte kommer utveckla mekaniska kopplingar förrän behovet och efterfrågan finns. Detta kan dock ifrågasättas eftersom branschen redan ställer ett tydligt krav och behov på att uppnå nettonollutsläpp till 2045.

Dessutom är det välkänt inom byggsektorn att gjutna fogar försvårar demontering. Att erbjuda ett eller flera alternativ på demonterbara kopplingar till kunder skulle vara en stor bidragande faktor till att nå klimatmålet, samt utveckla mer hållbara lösningar till framtiden.

Resultaten visar tydligt att torra, mekaniska kopplingar har de bästa förutsättningarna för demontering. Dess egenskaper gör det möjligt att ansluta komponenter utan att använda sig utav gjutning. Samtidigt indikerar analysen att användningen av dessa kopplingar ligger relativt långt in i framtiden. Eftersom praktisk utveckling och provning inte sker i nuläget baseras arbetet på andra metoder.

Den lösning för TT-kassetter med ingjutna plåtdetaljer som svetsades samman vid montering är en metod som visat god potential i öppna parkeringshus. Samtidigt kan det diskuteras i vilken utsträckning lösningen skulle vara möjlig att användas även i andra typer av konstruktioner. I byggnader såsom kontor och bostäder ställs högre krav på exempelvis täthet och ljudisolering vilket inte gör öppna fogar till ett lämpligt alternativ i dess nuvarande utformning. För att vidareutveckla lösningen skulle provning och undersökning om tillvägagångssättet kan appliceras på exempelvis håldäck skulle behövas. Metoden har möjlighet att användas i fler konstruktioner, men anpassningar krävs beroende på byggnadens funktion och tekniska krav.

Den vanligaste metoden som enligt intervjuerna används mest idag är sågning av betongelement, vilket står i kontrast till forskning där den inte tas upp som ett alternativ. Detta möjliggör användning av gjutna fogar mellan komponenterna. Även om mekaniska anslutningar lyfts fram som framtidens demonterbara kopplingar uppfyller de inte alla de egenskaper som gjutning har. Att utveckla metoden för sågning kan därmed också ses som ett alternativ till enklare demontering. Då sågning främst begränsas av tidsåtgången och de raka spår som uppstår, finns potential att utveckla en självgående maskin som kan utföra arbetet. Således kan metoden effektiviseras. Samtidigt väcker detta frågor om vem som har de ekonomiska möjligheterna att ta fram en liknande lösning samt ifall det kommer vara lönsamt.

### **6.1.6 Projektering**

Resultatet från litteraturstudien och intervjuerna visar att projekteringsfasen framstår som särskilt avgörande, eftersom beslut som tas i denna fas har stor påverkan på om återbruk är möjligt i framtiden. Att ta hjälp av verktygen BIM och LCA kan göra stor skillnad, trots det används de inte alltid på ett sätt som utnyttjar dess potential, utan de används idag med fokus på att optimera kostnader och kortsiktiga projektmål.

BIM lyfts som ett nyckelverktyg för att möjliggöra cirkulärt byggande genom exempelvis informationshantering. Resultatet visar däremot att det främst används som underlag för projektering och produktion, mer än för att stödja återbruk. Konstruktörerna svarade att många idag inte har eller är villiga att lägga tiden på att skriva in all information i programmet, utan görs mer slarvigt, och då tappar man syftet med verktyget. Utöver att tiden inte räcker till, verkar många vara osäkra över vilka metoder som kommer användas om 50-100 år. Tekniken är ständigt under utveckling och det är svårt att veta åt vilket håll BIM kommer utvecklas mot. Det mesta idag har däremot digitaliserats, så spontana tanken är att även 2D-ritningar i större utsträckning kommer bli 3D ritningar. Men för komma dit behövs ett nytt system införas, man måste vara säker på att de digitala filerna sparas så att de går att ta del av i framtiden.



När det gäller LCA framgår det att metoden kan fungera väl som beslutsunderlag genom att identifiera var den största klimatpåverkan uppstår. Det används flitigt idag för att sänka utsläppen i byggskedet, men mindre för att identifiera vilka val som kan minska utsläppen i framtiden.

Det största hindret är helt enkelt inte verktygen, utan hur de används. För att utnyttja verktygen till dess fulla potential krävs både förbättrade metoder och standarder samt ökad kunskap. Idag ligger ett stort fokus på att minska klimatpåverkan under byggprocessen, vilket inte ska bortprioriteras, men man måste också börja tänka på utsläppen i framtiden genom att införa mer återbruk.

## **6.2 Metoddiskussion**

Litteraturstudierna tillsammans med intervjuer har gett en bra förståelse för hur återbruk och DfD används i branschen. Vid urvalet av intervjupersoner valdes konstruktörer och projektledare som arbetade på stora företag i Göteborg. På så sätt gavs en bra överblick över hur det i stort ser ut i Göteborg. Stora företag har mer pengar än vad mindre företag ofta har, och har därför kanske en större möjlighet att arbeta med återbruk. Det hade därför varit intressant att även intervjuat personer från de mindre företagen i staden för att kunna göra en bättre slutsats av branschen i staden.

Däremot kanske återbruk och DfD inte leder till så stora kostnader för konstruktörer och projektledare, utan i stället hamnar dessa hos beställaren. Därför hade det varit givande att också intervjuat beställare och fått höra vad de har att säga om ämnena. Hade intervjuerna skett med fler aktörer än bara konstruktörer och projektledare hade det blivit tydligare hur hela arbetskedjan tänker och kanske på så sätt kunnat se vart det oftast sätts stopp för återbruk och DfD.

Antalet intervjuade personer i arbetet blev 10 personer. De intervjuade svarade ofta liknande saker vilket gav en bra uppfattning. Med tanke på storleken på arbetet var det ett bra antal, alla intervjuer och sammanställning hann utföras i god tid.

Utöver att det hade varit intressant att prata med fler aktörer, hade det även varit spännande att höra vad konstruktörer tänker på andra geografiska platser än Göteborg. Med tanke på att en diskussion om lagerhållning dök upp om norra Sverige hade exempelvis konstruktörer i norr varit givande att höra från och se ifall ens fördomar stämt. Att även intervjua personer från mindre städer hade gett en annan överblick över ämnena. En kombination av allt hade självklart varit det bästa, vilket däremot mer hade varit ett alternativ om arbetet varit större.

Efter både litteraturstudier och intervjuer har uppfattningar skapats om att Norge kommit rätt långt i ämnet DfD. Norge är väldigt likt Sverige i klimat och miljö och förmodligen kan deras kunskap appliceras även på byggnader i Sverige. Det hade varit intressant att höra varför de har kommit längre än Sverige och kanske på så sätt gett konstruktörer i Sverige inspiration.

Sammanfattningsvis visade sig den valda metoden vara väl lämpad för arbetets syfte, intervjuerna möjliggjorde insamling av relevant information som stärkte litteraturstudierna. Hade mer tid funnits hade det varit intressant att utveckla intervjuerna för att skapa en större överblick över ämnet.

### **6.3 Studiens betydelse**

Studien belyser en uppenbar kunskapsbrist inom området vilket visar att frågan om demontering och återbruk av betongelement behöver introduceras tidigare, exempelvis redan i utbildningssammanhang i skolan. Detta understryker studiens betydelse ur ett utbildnings- och kompetensperspektiv då ökad kunskap i ett tidigt skede kan bidra till mer genomtänkta beslut i framtida byggprojekt.

Vidare bidrar studien med ett viktigt perspektiv på att håldäck inte nödvändigtvis är svåra att demontera. Idag framstår sågning som en relativt enkel och användbar metod vilket breddar den tidigare förståelsen inom området och ger en mer realistisk syn på demonterbarhet i praktiken. Samtidigt finns stor potential i mekaniska kopplingar samt verktyg som används i projekteringen. Resultaten visar också att ett fokus idag ofta ligger på kortsiktiga lösningar trots att byggsektorn står inför stora förändringar. I relation till målet om nettonollutsläpp år 2045 kommer kraven på återbruk öka, vilket

understryker behovet av ett mer framtidsinriktat arbetssätt där demontering och återbruk integreras redan i projekteringsfasen.

Sammantaget befinner sig området fortfarande under utveckling och mycket av kunskapen finns inom forskning. För att utvecklingen ska gå framåt behöver denna kunskap i större utsträckning användas i praktiken. På så sätt kan studien bidra både med nya perspektiv och med underlag för framtida arbete inom byggsektorn med ett större fokus på Design for Disassembly.

## 7 Slutsatser och rekommendationer

För att återbruk och DfD ska integreras i byggbranschen i större skala krävs en kombination av teknisk utveckling, ekonomiska och politiska styrmedel samt ökad kunskap. Följande punkter förklarar centrala slutsatser och förslag på åtgärder som hela branschen kan ta till sig.

- Fokus i projekt ligger på att minska klimatpåverkan nu snarare än att möjliggöra framtida återbruk. Branschen behöver fokusera på både nutid och framtiden genom att inkludera Design for Disassembly i projekteringsfasen.
- Andrahandsmarknaden är inte tillräckligt etablerad och det finns en osäkerhet kring komponenternas tillstånd. För att marknaden för återbruk ska kunna utvecklas krävs att byggherrar, tillsammans med utsedda kontrollansvariga, tillämpar kommande standard för kvalitetssäkring.
- Brist på lagringsplats vilket försvårar både andrahandsmarknaden och användandet av återbruk. Förslagsvis kan etablering av regionala lager möjliggöra en mer effektiv hantering av återbrukade element.
- Kunskapen om Design for Disassembly och återbruk är fortfarande bristande. Ett förslag är att integrera ämnet i branschförberedande utbildningar.
- Politiska regelverk krävs för att öka användningen av återbruk. Exempelvis kan krav vid nybyggnation finnas att 10-20 procent av materialen ska vara återbrukat.
- Ekonomiska stöd eller skattefördelar behöver ges till projekt som projekterar för demonterbarhet, exempelvis genom gröna lån eller bidrag.
- Utvecklingen av demonterbara kopplingar är central men går långsamt. Den befintliga metoden för sågning av betongelement bör vidareutvecklas av producenter parallellt med nya demonteringslösningar.
- Projektering med hjälp av BIM och LCA har stor potential för att främja återbruk och DfD, men potentialen utnyttjas inte fullt ut. Ett förslag är att införa krav på att all information kopplad till elementen finns tillgänglig i en BIM-modell.

## 8 Referenser

Addis, B. (2008). Briefing: Design for Deconstruction. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Waste and Resource Management*, 161(1). 9-12.

<https://doi.org/10.1680/warm.2008.161.1.9>

Ajayi, S.O, Oyedele, L.O., Akinade, O.O, Bilal, M., Owolabi, H.A., Alaka, H.A., & Kadiri, K.O. (2016). Reducing waste to landfill: A need for cultural change in the UK construction industry. *Journal of Building Engineering*, 5. 185-193.

<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2015.12.007>

Akbarnezhad, A., Ong, KCG., & Chandra, LR. (2014). Economic and environmental assessment of deconstruction strategies using building information modeling. *Automation in Construction*, 37. 131-144.

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.017>

Akinade, O.O., Oyedele, L.O., Ajayi, O.A., Ajayi, S.O., Bilal, M., Alaka, H.A., Owolabi, A.H., Bello, S.A, Jaiyeoba, B.E., & Kadiri, K.O. (2017a). Design for Deconstruction (DfD): Critical success factors for diverting end-of-life waste from landfills. *Waste Management*, 60. 3-13. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.017>

Akinade, O.O., Oyedele, L.O., Omoteso, K., Ajayi, S.O., Bilal, M., Owolabi, H.A., Alaka, H.A., Ayris, L., & Looney, J.H. (2017b). BIM-based deconstruction tool: Towards essential functionalities. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6. 260-271. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.01.002>

Akinade, O., Oyedele, L., Oyedele, A., Delgado, J.M.D., Bilal, M., Akanabi, L., Ajayi, A., & Owolabi, H. (2019). Design for deconstruction using a circular economy approach: barriers and strategies for improvement. *Production planning & control: The management of operations*, 31(10). 829-840.

<https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1695006>

- Ashour, A., Figueira, A., Almanhmood, H., Yidirim, G., Aldemir, A., & Sahmaran, M. (2023). Demountable Reinforces Concrete Structures – A Way Forward to Minimize Energy and Waste in Construction Industry. *Building for the future: Durable, sustainable, resilient (Lecture Notes in Civil Engineering)*, 349, 72-80. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-32519-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-32519-9_6)
- Brunesi, E., Nascimbene, R., Bolognini, D., & Bellotti, D. (2015). Experimental investigation of the cyclic response of reinforces precast concrete framed structures. *PCI Journal*, 60(2). 57-79. <https://doi.org/10.15554/pcij.03012015.57.79>
- Boothroyd, G., & Alting, L. (1992). Design for Assembly and Disassembly. *CIRP Annals*, 41(2). 625-636. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63249-1](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63249-1)
- Boverket. (2024a, 27 maj). Återbruk av sammansatta byggprodukter och byggnadsdelar. <https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/cirkulara-byggnader/aterbruk/byggprodukter/>
- Boverket. (2024b, 3 juli). Introduktion till livscykelanalys (LCA). <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/>
- Boverket. (2024c, 25 september). Om klimatdeklaration. <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/om-klimatdeklaration/>
- Boverket. (2025, 29 januari). Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>
- Brander, L., Helsing, E., & Gabriselsson, I. (2020). *Constructivate arbetspaket 3 – Återvinning av rivningsavfall som ballast i betong* (Rapport 2020:25). RISE Research Institutes of Sweden. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1442513/FULLTEXT01.pdf>

Ding, T., Xiao, J., Zhang, Q., & Akbarnezhad, A. (2018). Experimental and numerical studies on design for deconstruction concrete connections: An overview. *Advances in Structural Engineering*, 21(14). <https://doi.org/10.1177/1369433218768000>

Eberhardt, L. C. M., Birgisdottir, H., & Birkved, M. (2019). Life cycle assessment of a Danish office building designed for disassembly. *Building Research and Information*, 47(6), 666-680. <https://doi.org/10.1080/09613218.2018.1517458>

Fahlén, E., Sidenmark, J., Löfås, P., Cusumano, L. (2017). *Design for Deconstruction – Kartläggning av byggnadselement* (Rapportnr. 13369). SBUF – Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.  
[https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/6aac7324-5725-41b2-8af3-555a26a2b58a/FinalReport/SBUF\\_13369%20Slutrapport%20Design%20for%20Deco%20nstruction.pdf](https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/6aac7324-5725-41b2-8af3-555a26a2b58a/FinalReport/SBUF_13369%20Slutrapport%20Design%20for%20Deco%20nstruction.pdf)

Firnetani, M. (2023). *Design för demontering: framtidssäkra byggnadsbeståndet*. Ramboll. <https://www.ramboll.com/sv-se/insikter/avkarbonisera-for-nettonollslapp/design-for-demontering-framtidssakra-byggnadsbestandet>

Gerhardsson, H., Andersson, J., & Thrysin, Å. (2020). *Återbrukets klimateffekter vid nybyggnation:Handledning för klimatberäkningar i enlighet med EN 15978* (Rapport C562). IVL Svenska Miljöinstitutet.  
[https://ccbuild.se/media/01fgus3f/%C3%A5terbrukets-klimateffekter-vid-byggnation\\_-handledning.pdf](https://ccbuild.se/media/01fgus3f/%C3%A5terbrukets-klimateffekter-vid-byggnation_-handledning.pdf)

Guldager Jensen, K. & Sommer, J. (2016). *Building a Circular Future* (3 uppl.). GXN Innovation.

Heidelberg Materials Precast Abertong. (u.å.). *13 sanningar om betong* [Produktblad].  
[https://www.precastabetong.heidelbergmaterials.se/sites/default/files/assets/document/13\\_sanningar\\_om\\_betongsenaste.pdf](https://www.precastabetong.heidelbergmaterials.se/sites/default/files/assets/document/13_sanningar_om_betongsenaste.pdf)

HMO. (u.å.). *Kennispark Twente – circulair bouwen in de praktijk*. HMO.  
<https://hmo.nl/projecten/22/kennispark-twente>

Hääkinen, T., & Belloni, K. (2011). Barriers and drivers for sustainable building. *Building Research & Information*, 39(3). 239-255.  
<https://doi.org/10.1080/09613218.2011.561948>

International Organization for Standardization. (2020). *Sustainability in buildings and civil engineering works – Design for disassembly and adaptability – Principles, requirements and guidance* (ISO 20887:2020).  
<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:20887:ed-1:v1:en>

Jaiollon, L., & Poon, CS. (2014). Life Cycle design and prefabrication in buildings: A review and case studies in Hong Kong. *Automation in Construction*, 39. 195-202.  
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.006>

Jönsson, E. (2024). *Demonterbara stomsystem – Hur återbruksbara är prefabricerade stomsystem?* (Rapportnr. 14279). SBUF – Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond. [https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/d88f882d-2a8a-45da-ade1-1b3cc68e2dba/FinalReport/SBUF%2014279\\_slutrapport\\_%20Demonerbara%20stom system%20\(2\).pdf](https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/d88f882d-2a8a-45da-ade1-1b3cc68e2dba/FinalReport/SBUF%2014279_slutrapport_%20Demonerbara%20stom system%20(2).pdf)

Koggel, M. (2025). *HMO Enschede Techbank* [Fotografi av bultförband]. HMO.  
<https://hmo.nl/projecten/22/kennispark-twente>

KTH. (2021, 27 maj). *Gammal betong får nytt liv*.  
<https://www.kth.se/om/nyheter/centrala-nyheter/gammal-betong-far-nytt-liv-1.1077230>

KTH. (2026, 27 januari). *KTH-forskning gör återanvändning av betong säker*.  
<https://www.kth.se/om/nyheter/centrala-nyheter/new-study-enables-safe-reuse-of-concrete-1.1453932>



- Kulkarni, S.A., Li, B., & Kwong Yip, W. (2008). Finite element analysis of precast hybrid-steel concrete connections under cyclic loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 64(2). 190-201. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2007.05.002>
- Mattaraia, L., Fabricio, M.M., & Codinhoto, R. (2023). Structure for the classification of disassembly applied to BIM models. *Architectural engineering and design management*, 19(1). 56-73. <https://doi.org/10.1080/17452007.2021.1956420>
- Naturskyddsföreningen. (2022, 7 februari). *Cement, klimat och miljö*. <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/cement-klimat-och-miljo/>
- Naturvårdsverket. (u.å.). *Klimatförändringar*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatforandringar/>
- Naturvårdsverket. (2025, 24 november). *Vad är cirkulär ekonomi?* <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/cirkular-ekonomi/vad-ar-cirkular-ekonomi/>
- Naturvårdsverket. (2026a, 15 januari). *Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-klimatmal-och-klimatpolitiska-ramverk/>
- Naturvårdsverket. (2026b, 27 januari). *Klimatet och bygg- och fastighetssektorn*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/omraden/klimat-et-och-bygg--och-fastighetssektorn/>
- Ostapska, K., Rüther, P., Loli, A., & Gradeci, K. (2024). Design for Disassembly: A systematic scoping review and analysis of built structures Designed for Disassembly. *Sustainable Production and Consumption*, 48. 377-395. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.05.014>
- Oyedele, L.O., Ajayi, S.O., & Kadiri, K.O. (2014). Use of recycled products in UK construction industry: An empirical investigation into critical impediments and

strategies for improvement. *Resources, Conservation and Recycling*, 93. 23-31.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.09.011>

Regeringskansliet. (2020). *Cirkulär ekonomi – strategi för omställningen i Sverige*.

<https://www.regeringen.se/globalassets/regeringen/bilder/klimat--och-naringslivsdepartementet/klimat-och-miljo/cirkular-ekonomi---strategi-for-omstallningen-i-sverige/>

RISE. (u.åa.). *Betong och cement*. <https://www.ri.se/sv/byggd-miljo/betong-och-cement>

RISE. (u.åb.). *Återbruk av prefabricerade betongelement – logistik och affärsmodell*.

<https://www.ri.se/sv/byggd-miljo/betong-och-cement/projekt/aterbruk-av-prefabricerade-betongelement-logistik-och>

RISE. (u.åc.). *Slutkonferens för Återhus – att bygga hus av hus*.

<https://www.ri.se/sv/byggd-miljo/event/slutkonferens-for-aterhus-att-bygga-hus-av-hus>

RISE. (u.åd.). *Återhus 3.0 – bygga hus av hus*.

<https://www.ri.se/sv/systeminnovation/cirkular-omstallning/projekt/aterhus-30-bygga-hus-av-hus>

Svenska institutet för standarder. (u.å.). *Förtillverkade betongprodukter – Återbruk – Metoder för kvalitetssäkring och livslängdsberäkningar (SS 137105:202X)*.

<https://kommentera.sis.se/Home/Details/15390>

Svenska institutet för standarder. (2021). *Hållbarhet hos byggnadsverk – Utformning för demontering och anpassningsförmåga – Principer, krav och vägledning (SS-ISO 20887:2021)*. <https://www-sis->

[se.eu1.proxy.openathens.net/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/byggnader/allmant/ss-iso-208872021/](https://www-sis-eu1.proxy.openathens.net/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/byggnader/allmant/ss-iso-208872021/)

Svensk Betong. (u.åa.). *Betongens klimatpåverkan*.

<https://www.svenskbetong.se/hallbarhet/betong-och-klimat>

Svensk Betong. (u.åb.). *Återvinning*. [https://www.svenskbetong.se/om-](https://www.svenskbetong.se/om-betong/platsgjutet/hallbart-byggande/atervinning)

[betong/platsgjutet/hallbart-byggande/atervinning](https://www.svenskbetong.se/om-betong/platsgjutet/hallbart-byggande/atervinning)

Svensk Byggtjänst. (2021, 5 mars). *Vad är BIM?* [https://byggtjanst.se/artiklar/vad-ar-](https://byggtjanst.se/artiklar/vad-ar-bim)

[bim](https://byggtjanst.se/artiklar/vad-ar-bim)

Återhus. (u.å.). *Återhus – att bygga hus av hus*. <https://aterhus.nu/>

## Bilaga A

Nedan redovisas de standardfrågor som ställdes under alla intervjuer, uppdelade i två huvudkategorier.

### Återbruk

- I hur stor utsträckning arbetar du med återbruk och hållbarhet?
  - Vilka material har arbetat med inom området?
  - I vilket skede har återbruk kommit in?
  - Vad anser du vara svårigheterna med att arbeta med återbruk?
  - Vilka krav ska vara uppfyllda för att återbruk ska vara möjligt?
  - Upplever du att dagens regelverk underlättar eller försvårar möjligheten till återbruk?
  - Hur skulle du beskriva möjligheterna till återbruk i betongkonstruktioner idag?
- Vad finns det för svårigheter med just återbruk av betong?
  - Vilka lösningar finns det?
- Hur mycket påverkar kopplingar möjligheten till återbruk?
- Finns det något projekt där man velat ha stort fokus på återbruk/du velat fokusera på det men det inte gått pga. svårigheter?
- Finns det något råd du skulle vilja ge till någon som vill projektera för framtida återbruk?
- Är kostnad ett hinder för att återbruk ska vara möjligt?

### Design for Disassembly

- Har du stött på begreppet Design for Disassembly under din karriär?
  - Om ja:
    - Vad är svårigheterna? Vad behöver göras för att det ska användas mer?
    - Hur påverkar val av kopplingar?
    - Hur ser du på balansen mellan kostnad idag och framtida värde i DfD?

- Hur långt fram i tiden behöver man tänka att DfD ska ”löna sig”?
- Om nej:
  - Hade du kunnat tänka dig att arbete med det?
  - Vad tror du är anledningen till att du inte vet vad det är/arbetar med det?
- Vilka principer tycker du är viktigast för att möjliggöra framtida demonteringar?
- Vad skulle krävas för att DfD ska bli vanligare i byggprojekt?
- Tror du att bredare certifieringssystem eller klimatkrav kan driva utvecklingen mot mer demonterbara byggnader?
- Hur skiljer sig möjligheterna åt mellan platsgjutning och prefabricering?



INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH  
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2026  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**