

Ett andra liv för betongbjälklag – Ett tillvägagångssätt för verifiering av tekniska egenskaper inför återbruk

Wilma Brorsson & Ella Odd-Stenvall

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet, 2026



Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 LUND

Division of Structural Engineering
Faculty of Engineering, LTH
P.O. Box 118
S-221 00 LUND
Sweden

Ett andra liv för betongbjälklag – Ett tillvägagångssätt för verifiering av tekniska egenskaper inför återbruk

A Second Life for Concrete Floor Slabs – An Approach for Verifying Technical
Properties for Reuse.

Wilma Brorsson & Ella Odd-Stenvall

2026

Rapport TVBK-5316

ISSN 0349-4969

ISRN: LUTVDG/TVBK-26/5316+116p

Examensarbete

Handledare: Ivar Björnsson, avdelningen för konstruktionsteknik LTH,

Mette Eliasson och Martin Heinegård, Skanska

Juni 2026

Abstract

The verification of technical properties associated with the reuse of prefabricated solid concrete floor slabs is a complex process that must be assessed on a project-specific basis. In this thesis an approach has been developed for a more general case, with the intention that it may be applied across a broader range of projects, provided that it is adapted to project-specific conditions. The approach is consistently linked to structural integrity, load-bearing capacity and durability in accordance with Swedish legislation (PBL) governing land use planning, building permits, and the design and construction of buildings.

The thesis presents a theoretical background addressing the current challenges related to the reuse of concrete floor slabs, including applicable legislation and standards, material properties, and structural performance requirements. A selection of reference projects has been studied and compared in order to develop an understanding of how the verification of technical properties is carried out in practice. Furthermore, insights from industry experts have been incorporated to capture the complexity of the subject and to account for differences between theoretical approaches and practical implementation throughout the reuse process.

The applicability of the proposed methodology has been evaluated through a theoretical application to a real construction project. The results indicate that multiple verification methods may be applied when assessing technical properties related to the reuse of prefabricated solid concrete floor slabs. A key conclusion is that verification, in most cases, must be conducted using either non-destructive or destructive testing methods. The study demonstrates that it is feasible to establish a structured methodology for verifying technical properties related to structural integrity, load-bearing capacity and durability in accordance with Swedish legislation, although project-specific assessment remains essential.

The thesis also highlights the overall complexity of the verification process and identifies several remaining challenges. In particular, the verification process requires solutions across multiple stages including technical, logistical, and practical considerations. To enable large-scale reuse of concrete floor slabs, clear guidelines must be developed to support the verification process and to prevent individual reuse projects from becoming excessively extensive and resource demanding. Interviews with industry experts indicate that the primary barrier to large-scale reuse is not a lack of interest, but rather the absence of comprehensive legislation and standardized guidelines.

Key words: Reuse, Prefabricated concrete, Solid concrete floor slab, Non-destructive test, Destructive test, Verification

Sammanfattning

Verifiering av tekniska egenskaper inför återbruk av prefabricerade massiva betongbjälklag är en komplex process som kräver projektspecifika bedömningar. I detta arbete har ett tillvägagångssätt tagits fram för ett mer generellt fall i hopp om att kunna appliceras på en större brädd av olika projekt, under premisen att det anpassas efter projektspecifika förutsättningar. Tillvägagångssättet har genom arbetets gång kopplats till stadga, bärförmåga och beständighet i enlighet med Plan- och bygglagen (PBL) och Plan- och byggförordningen (PBF).

Arbetet ger en teoretisk bakgrund kring de utmaningar som finns inför återbruk av betongbjälklag genom dagens regelverk och standarder, materialparametrar och konstruktionsförutsättningar. Ett flertal referensprojekt har undersökts och sammanställts för att skapa en bild av hur verifieringen av tekniska egenskaper inför återbruk av betongbjälklag hanteras i praktiken. Vidare har även praktiska erfarenheter samlats in från sakkunniga inom branschen för att ytterligare förstå problematiken och visa på hur erfarenhet och praktiskt förfarande kan skilja från den teoretiska bakgrunden vid återbruksprocesser. Det framtagna tillvägagångssättet tillämpbarhet och tillförlitlighet har undersökts genom en teoretisk applicering på ett verkligt referensprojekt.

Arbetet visar att det finns flera metoder och tillvägagångssätt vid verifiering av tekniska egenskaper inför återbruk av prefabricerade massiva betongbjälklag. En central slutsats är att verifiering i de allra flesta fall behöver ske genom provning. Resultatet av studien visar att det är möjligt att sammanställa ett tillvägagångssätt för verifiering av de tekniska egenskapskraven kopplade till stadga, bärförmåga och beständighet i enlighet med PBL och PBF, dock krävs stor anpassning efter projektspecifika förutsättningar.

Arbetet belyser den komplexitet som verifieringsprocessen av de tekniska egenskaperna innebär samt en del av de utmaningar som kvarstår. Frågan kring återbruk av prefabricerade massiva betongbjälklag kräver lösningar i flera led där både tekniska, logistiska och praktiska aspekter behöver vägas in och metoder utvecklas jämsides för att kunna bidra till återbruk i en större skala. Detta visar på behovet som finns kring utvecklandet av tydligare riktlinjer och standarder i verifieringsprocessen för att undvika att varje återbruksprojekt blir för omfattande och resurskrävande. Samtliga konversationer med bransch-kunniga har uppvisat att det inte är bristen på intresse som förhindrar storskaligt återbruk idag, utan bristen på direktiv och vägledning.

Nyckelord: Återbruk, Prefabricerad betong, Massiva betongbjälklag, Oförstörande provning, Förstörande provning, Verifiering

Förord

Detta examensarbete är den avslutande delen av Civilingenjöresprogrammet inom Väg- och Vattenbyggnad på Lunds Tekniska Högskola.

Examensarbetet har utförts under våren 2026 med handledning från Konstruktionsavdelningen LTH och Skanska Teknik Malmö. Handledare för arbetet har varit Ivar Björnsson, universitetslektor vid avdelningen för Konstruktionsteknik LTH, Mette Eliasson, Byggfysiker Skanska Teknik, och Martin Heinegård, Konstruktör Skanska Teknik. Examinator för arbetet har varit Miklos Molnar, universitetslektor vid avdelningen för Konstruktionsteknik LTH.

Vi vill rikta ett stort tack till våra handledare som aggerat stöd under hela processen och gett värdefull input som bidragit till arbetets utveckling.

Vi vill rikta ett särskilt tack till Skanska Teknik i Malmö för att ha tillhandahållit det referensprojekt som legat till grund för delar av arbetet, samt för en god arbetsmiljö och trevliga fiktastunder.

Slutligen vill vi även tacka alla i datasalen på andra våningen i V-huset för den goda stämningen och den gemenskap som bidragit till motivation under arbetets gång.

Lund, maj 2026

Ella Odd-Stenvall och Wilma Brorsson

Nomenklatur

Prefabricerad betong (prefab): Betongelement som förtillverkas i fabrik genom gjutning i formar och sedan transporteras till byggarbetsplatsen för montering. Vanligtvis för väggar, bjälklag, balkar och pelare.

PBL: Plan- och bygglagen, svensk lagstiftning som reglerar hur mark och vatten får användas, planeras eller bebyggas.

PBF: Plan- och byggförordningen, svensk förordning som kompletterar Plan- och bygglagen med detaljerade regler om byggnade, lovplikt och tekniska krav.

BBR: Boverkets byggregler, samling bindande föreskrifter och allmänna råd som detaljerar hur svenska byggnader ska utformas tekniskt i enlighet med PBL och PBF.

Återbruk: Ett material eller element används igen istället för att kasseras eller demolas.

SIS: Svenska Institutionen för standarder, fristående, icke-vinstdrivande ideell förening som leder standardiseringsarbetet i Sverige inom de flesta områden.

Eurokod: En uppsättning europeiska standarder för dimensionering och utformning av bärande konstruktioner i byggnader och anläggningar.

Eurokod 2: Europeiska standard för dimensionering och projektering för bärande konstruktioner i betong.

Oförstörande provning (OFP): Oförstörande provning, analys- och provningsmetoder för att undersöka material eller elements tekniska parametrar och egenskaper utan att deformera dem.

Förstörande provning (FP): Förstörande provning, analys- och provningsmetoder för att undersöka material eller elements tekniska parametrar och egenskaper genom delvis eller helt deformation av dem.

Cirkulärt byggande: Metod inom bygg- och fastighetssektorn som syftar till att minimera avfall, minska resursförbrukningen och sänka klimatavtrycket genom att behålla material och element i ett kretslopp så länge som möjligt.

***In situ*:** Latin för “på plats” eller “i ursprunglig placering/position”. Brett använt begrepp inom byggsektorn för betongelement som gjuts på plats.

Bruksgränstillstånd: (eng: Servicability limit state (SLS)) Definieras som det gränstillstånd då en konstruktion förlorar sin funktion, bekvämlighet och användbarhet för laster inom normalt bruk.

Brottsgränstillstånd (eng: Ultimate limit state (ULS)) Definieras som det gränstill-

stånd då en konstruktion förlorar sin säkerhet vad gäller bärförmåga, blir instabil och drabbas av brott.

UPV: (eng: Ultrasonic Pulse Velocity) Ultraljudshastighet, oförstörande provmetod som används för uppskatta kvalitet, homogenitet och hållfasthet hos betong och berg.

GPR: (eng: Ground Penetration Radar) Georadar, oförstörande skanningsmetod för att uppskatta egenskaper hos armering så som täckskikt, placering och diameter.

HDF: Håldäck, förspänt.

Donatorbyggnad: En byggnad vars ingående delar ska återbrukas och användas i en ny byggnad.

RF: Relativ fuktighet, förhållandet mellan den aktuella mängden vattenånga i luften och den maximala mängd vattenånga som luften kan bära vid den specifika temperaturen.

Innehåll

Abstract	III
Sammanfattning	V
Förord	VII
Nomenklatur	IX
Innehåll	XIV
1 Introduktion	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål	2
1.3 Problemformulering	2
1.4 Avgränsningar och förutsättningar	3
1.4.1 Begränsningar med metoden	4
1.5 Disposition	4
2 Metod	7
2.1 Litteraturstudie	8
2.1.1 Teoretisk bakgrund	8
2.1.2 Studie av referensprojekt	8
2.2 Intervjustudie	9
2.3 Sammanställning av tillvägagångssätt för verifiering av tekniska egenskapskrav inför återbruk	10
2.4 Referensprojekt i Helsingborg (Skanska)	11
2.5 Användandet av AI	11
3 Litteraturstudie del 1: Teoretisk bakgrund	13
3.1 Cirkulär ekonomi och återbruk	14
3.1.1 Cirkulär ekonomi inom byggsektorn	14
3.2 Befintliga konstruktioner	15
3.2.1 Ombyggnad och ändring	15
3.3 Regler och ansvar vid återbruk av bärverksdelar	15
3.3.1 Tekniska egenskapskrav och regelverkets struktur	16
3.3.2 Krav i brott- och bruksgränstillstånd	16
3.3.3 Verifiering av återbrukade bärverksdelar	17
3.3.4 CE-märkning och typgodkännande	18
3.3.5 Ansvar för att kraven uppfylls	19
3.4 Förutsättningar för återbruk av bärverksdelar	19
	XI

3.4.1	Tillämpning av dagens krav på befintliga element	20
3.4.2	Livslängd och återstående funktion hos betongelement	20
3.4.3	Armering	21
3.5	Tidsberoende effekter och deras påverkan på armerade betongelement .	22
3.5.1	Hållfasthet	22
3.5.2	Betongsprickor	23
3.5.3	Karbonatisering	24
3.5.4	Korrosion av armering	24
3.5.5	Övriga effekter	25
3.6	Dokumentation	25
3.6.1	Historiskt perspektiv	26
3.7	Tekniska utmaningar kring återbruk	27
3.8	Befintliga standarder och handböcker	28
3.8.1	SIS TK191 - Förtillverkade betongprodukter	28
3.8.2	NS 3682 - Hulldekker av betong til ombruk	28
3.8.3	(P)RECAST Papers	29
3.9	Återbruksprocessen	29
3.9.1	Inventering, kartläggning och okulär besiktning	30
3.9.2	Provning och provuttag	30
3.10	Provning inför återbruk	31
3.10.1	Oförstörande provning	31
3.10.2	Förstörande provning	35
3.10.3	Fullskalig provning	38
3.10.4	Övrig provning	39
3.10.5	Gruppbedömning	40
3.11	Statistisk utvärdering av provresultat	40
3.11.1	Bayesian Updating	41
3.11.2	Beräkning av karakteristiskt värde från provresultat	42
4	Litteraturstudie del 2: Studie av referensprojekt	43
4.1	Ingående referensprojekt i studien	43
4.1.1	Återhus	43
4.1.2	ReCreate	45
4.1.3	Triemli Personalthäuser - Zürich	47
4.1.4	RebuiLT pavillion	47
4.2	Jämförelse av referensprojekt	47
4.3	Tolkning av resultat och slutsatser från studie av referensprojekt	49
5	Intervjustudie - Resultat	51
5.1	Utmaningar	51
5.2	Dokumentation, provning och erfarenhet	52
5.3	Märkning och standarders hantering av återbruk	53
5.4	Framtiden för återbruk av bärverksdelar	54
6	Tillvägagångssätt för verifiering vid återbruk av massiva betong- bjälklag	57
6.1	Steg 1 – Okulär besiktning och kartläggning	58
6.2	Steg 2 – Oförstörande provning	59
6.2.1	Betongens egenskaper - Oförstörande provning	61

6.2.2	Armeringens egenskaper - Oförstörande provning	63
6.3	Steg 3 – Förstörande provning	63
6.3.1	Betongens egenskaper - Förstörande provning	65
6.3.2	Armeringens egenskaper - Förstörande provning	66
6.3.3	Fullskalig provning av elementen	67
6.4	Sammanställning av tillvägagångssätt	68
7	Fallstudie: Referensprojekt i Helsingborg (Skanska)	71
7.1	Bakgrund till referensprojektet	71
7.2	Okulär besiktning och kartläggning	72
7.2.1	Okulär besiktning och kartläggning - Tillvägagångssätt framtaget i kapitel 6	72
7.2.2	Okulär besiktning och kartläggning - Tillvägagångssätt för referensprojekt i Helsingborg	73
7.2.3	Okulär besiktning och kartläggning - Diskussion kring skillnader och föreslagna kompletteringar	74
7.3	Oförstörande provning	74
7.3.1	Oförstörande provning - Tillvägagångssätt framtaget i kapitel 6	74
7.3.2	Oförstörande provning - Tillvägagångssätt för referensprojektet i Helsingborg	75
7.3.3	Oförstörande provning - Diskussion kring skillnader och föreslagna kompletteringar	75
7.4	Förstörande provning	76
7.4.1	Förstörande provning - Tillvägagångssätt framtaget i kapitel 6	76
7.4.2	Förstörande provning - tillvägagångssätt för referensprojektet i Helsingborg	76
7.4.3	Förstörande provning - Diskussion kring skillnader och föreslagna kompletteringar	78
7.5	Slutsats av verifiering med referensprojekt	79
8	Diskussion	81
8.1	Brister och kunskapsluckor i litteraturen	81
8.2	Begränsningar med metoden	81
8.3	Tillämpbarhet och brister hos framtaget tillvägagångssätt	82
8.4	Teori i relation till praktik	83
8.5	Steg 0 i återbruksprocessen	84
8.6	Hantering av bristande dokumentation och gruppbedömning	84
8.7	Donatorbyggnader och tillgång på element	86
8.8	Demontering och lagring	86
8.9	Digitalisering och spårbarhet	87
8.10	Ekonomiska aspekter och tillgång till resurser	87
8.11	Reflektion kring verifieringsmetoder och beaktning av de tekniska egenskapskraven	88
8.12	Återbrukets miljönytta	89
8.13	Följder och vidare studier	90
9	Arbetets slutsatser	91
9.1	Uppfyllelse av syfte och mål	91
9.2	Svar på frågeställningar	91

9.3 Slutsatser	92
Bilagor	102
A Intervjufrågor	103
B Sammanställning av intervjuer	105
C Utökad tabell för referensprojekt	115

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Betong är idag världens mest använda byggnadsmaterial. Det utgör ett viktigt grundmaterial för hela bygg- och infrastruktursektorn och är under ständig utveckling för att följa samhällets behov av klimatanpassade alternativ [1]. I Sverige år 2020 producerades mellan 14-15 miljoner ton betong [2]. Tillverkningen av bindemedlet cement frigör stora mängder koldioxid vilket är en av de mest omtalade växthusgaserna i diskussionen om klimatkrisen [3]. De stora koldioxidutsläppen i kombination med de växande behoven av infrastruktur och bostäder i storstadsregionerna gör det nödvändigt att hitta hållbara alternativ till den traditionella betongen [4].

Genom återbruk finns potentialen att kunna minska klimatpåverkan och spara resurser jämfört med att bara tillverka nytt. Inom byggsektorn blir det mer och mer aktuellt att ta till vara på de resurser som finns för att uppnå ett hållbart byggande med en cirkulär ekonomi [5]. År 2022 stod bygg- och fastighetssektorn för 22 % av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser och intresset för återbruk har ökat, men den faktiska omfattningen är fortfarande begränsad [6].

Återbruk av bärverksdelar är en synnerligen utmanande del då det saknas omfattande kunskap och tillvägagångssätt för att göra processen smidig och ekonomiskt nyttig [5]. Att återbruka bärverksdelar innebär att ett projekts bärande element, såsom pelare, bjälklag eller väggar, plockas ned och används i ett nytt/annat projekt. För att detta ska vara möjligt är det viktigt att säkerställa att elementen är säkra att använda, både idag och i framtiden [5]. Enligt Boverket [7] finns det fem huvudsakliga typer av återbruk av bärverk:

1. Renovering och ändring av befintliga byggnader.
2. Återbruk av hela stommen på ny plats med oförändrad användning.
3. Återbruk av hela stommen på ny plats med ny användning.
4. Återbruk av enskilda bärverksdelar på ny plats med oförändrad användning.
5. Återbruk av enskilda bärverksdelar på ny plats med ny användning.

I en ny byggnad utgör stommen ca 60 % av klimatutsläppen och i Sverige står byggbranschen för en stor del av allt avfall, ca 1,4 ton per person och år [8]. Betongkonstruktioner har vanligtvis lång livslängd och hög beständighet, vilket kan göra återbruk av betongstommar till en viktig del av lösningen för att minska avfall och utsläpp [8].

Betongelement kan klassificeras baserat på deras produktionssätt; prefabricerade element, platsgjutna element eller delvis platsgjutna, delvis prefabricerade element. Som antyds från namnen gjuts platsgjuten betong på själva byggarbetsplatsen medan prefabricerad betong tillverkas i förväg i fabrik för att sedan transporteras till arbetsplatsen för montering [9]. McNamee et al.[10] konstaterar att ju mer standardiserat ett element är desto lättare är det att återbruka, vilket betonar fördelarna med prefabricerade element i ett sådant sammanhang. Författarna belyser även att vid produktion i fabrik finns det möjlighet att ha större kontroll över anslutningsdetaljer mellan element. I fabrik kan anslutningsdelar tillverkas på ett sätt som kan underlätta framtida demontering utan att skada bärverksdelarna, vilket ofta är en utmaning för platsgjutna element [10].

1.2 Syfte och mål

Projektet ämnar utveckla ett tillvägagångssätt för att verifiera de tekniska egenskapskraven kopplade till bärförmåga, stadga och beständighet i enlighet med Plan- och bygglagen (PBL) inför återbruk av prefabricerade massiva betongbjälklag i befintliga byggnader. Detta ska utföras genom undersökning av relevant litteratur samt genom att samla kunskaper och erfarenheter från branschen genom intervjuer och studier av referensprojekt. Det övergripande målet är att sammanställa vilka parametrar, kopplade till bärförmåga och beständighet, som behöver kontrolleras inför återbruk av elementet och ge förslag på hur detta ska utföras för att uppfylla de tekniska egenskapskraven.

Ett tillvägagångssätt ska tydliggöras i enlighet med Plan- och Bygglagen och Plan- och Byggförordningen (PBF) för en verksam konstruktör att tillämpa vid en återbruksprocess. Tillvägagångssättet ska kännas tillförlitlig och fungera som ett underlag i beslutsprocessen kring de tekniska egenskaperna. Tillvägagångssättet ska kunna tillämpas både vid om- och nybyggnad under förutsättningen att byggnadens användningsområde och verksamhet förblir detsamma.

1.3 Problemformulering

- Vilka metoder och tillvägagångssätt finns och används idag vid återbruk av bärande betongelement?
- Kan en generaliserad metod för verifiering av de tekniska egenskaperna kopplade till bärförmåga, stadga och beständighet hos massiva prefabricerade betongelement sammanställas i enlighet med PBL och PBF?

- Kan det framtagna tillvägagångssättet appliceras på ett verkligt referensprojekt?
Är det genomförbart?
- Vilka är de största utmaningarna i verifieringsprocessen vid återbruk av massiva prefabricerade betongbjälklag?

1.4 Avgränsningar och förutsättningar

Den del av återbruksprocessen som täcks av detta arbete är provning och verifiering av massiva prefabricerade betongbjälklag. Avgränsningar för arbetet har gjorts på ett sådant sätt att beslutsprocesser kring projektering innan återbruket har konstaterats som möjligt att utföra, samt logistiska aspekter så som mellanlagring och transport av elementen, inte är inkluderade i studien. Inget av detta är en del av resultatet som presenteras i kapitel 6.

Studien har avgränsats till att fastställa en metod för bedömning och hantering av prefabricerade massiva betongbjälklag i samband med återbruk. Tillgången på dokumentation kan variera otroligt mycket i olika projekt, från att det knappt finns någon dokumentation alls till att det finns tillräckligt mycket för att till stor del underlätta verifieringsprocessen. I detta arbete har avgränsningar kring dokumentationen gjorts för att i största mån försöka representera ett fall då dokumentationen anses någorlunda bristfällig. Vad som menas med detta framgår i Tabell 1.1 där förutsättningar för vad som finns tillgängligt framgår samt exempel på viktig dokumentation som saknas presenteras.

Tabell 1.1: Förutsättningar och dokumentation som saknas

Förutsättningar	Dokumentation som saknas
Tidigare verksamheter i byggnaden kan antas med stor säkerhet	Betongens egenskaper är okända
Planutformning är känd genom enklare ritningar av planlösning och/eller arkitektritningar	Vissa av armeringens egenskaper är okända eller informationen om armeringens egenskaper anses otillräcklig
Användningsområdet för elementen efter återbruk förblir oförändrat	Information kring tillverkare av element saknas
Exponering för omkringliggande klimat efter återbruk förblir oförändrat och faller inom kategorierna X0 eller XC1	Övrig dokumentation som inte nämns i förutsättningar saknas/är otillräcklig

Förutsättningar för projektet är att tidigare verksamheter som pågått i byggnaden är kända eller ska kunna antas med stor säkerhet. Inför återbruket ska användningsområdet för elementen förbli oförändrat, det vill säga att elementen kommer användas på jämförbart sätt och för samma typ av verksamhet efter återbruk som för innan återbruk. Förändrade laster eller förändrad exponering för omkringliggande klimat behandlas således ej.

Avseende de tekniska egenskaperna fokuserar studien huvudsakligen på bärformågan hos bjälklaget, det vill säga dess strukturella kapacitet och hållfasthet. Aspekter såsom brandmotstånd, akustik, komfort och ekonomi behandlas inte inom ramen för arbetet. Inte heller byggnadsteknisk prestanda i bruksstadiet har inkluderats i studiens omfång.

De bjälklag som arbetet omfattar är mellanbjälklag i exponeringsklass X0 eller XC1 då återbrukspotentialen för dessa element anses vara stor.

Statistisk utvärdering av provresultaten är en viktig del av verifieringsprocessen, men för att begränsa arbetet är detta inte en del som behandlats ingående.

Vidare har projektet avgränsats till den fjärde kategorin av Boverkets [7] fem huvudsakliga typer av återbruk, vilken syftar till återbruk av enskilda bärverksdelar på ny plats med oförändrad användning, se avsnitt 1.1.

1.4.1 Begränsningar med metoden

Den metod som använts under arbetet medför vissa begränsningar för hur resultatet är utformat. Metoden är uppdelad i olika delar, en litteraturstudie i två delar där både teoretisk bakgrund och referensprojekt behandlas, en intervjustudie samt en del där resultatet verifieras genom fiktiv applicering på ett riktigt referensprojekt. Varje delmoment introducerar begränsningar som kan påverka resultatets generaliserbarhet och hur välgrundade slutsatser som kan dras.

Studien av referensprojekt baseras på befintliga och tillgängliga resultat publicerade till allmänheten, vilket kan resultera i att vissa delar faller bort. I intervjustudien ställs öppna frågor vilket medför att respondenterna även kan väga in egna åsikter och dra egna slutsatser vilka inte nödvändigtvis behöver stämma överens med varandra. Verifieringen av det framtagna tillvägagångssättet sker genom teoretisk applicering på ett referensprojekt och därav blir resultatet från denna del enbart baserad på en specifik uppsättning förutsättningar.

1.5 Disposition

Rapporten består av 9 kapitel.

Kapitel 1 ämnar ge en introduktion och bakgrund till projektet. Arbetets syfte och mål presenteras samt de problemformuleringar och avgränsningar som beaktats.

Kapitel 2 redogör för metoden och arbetssättet. Här presenterar de olika ingående delarna i projektet och var och en redogörs för och beskrivs.

Kapitel 3 framför teori som anses relevant för att ge en förståelse kring bland annat vilka regelverk som måste efterföljas, vilka provningsmetoder som finns beskrivna i litteraturen och vilka egenskaper som kan vara relevanta att beakta. Detta är litteraturstudiens första del.

Kapitel 4 återger en studie av en rad olika referensprojekt där återbruk av bärande betongelement varit aktuellt. Referensprojekten studeras utifrån en framtagna checklista med grund i teorin för att ge en inblick i hur projekt i praktiken förhåller sig till denna. Detta är litteraturstudiens andra del.

Kapitel 5 består av en intervjustudie där flera sakkunniga inom branschen har intervjuats kring frågor som rör återbruk av betongelement. Intervjuerna är anpassade efter respondentens roll, men med det genomgående temat återbruk i praktiken.

Kapitel 6 presenterar ett tillvägagångssätt för verifiering vid återbruk av massiva betongbjälklag utifrån den insamlade informationen från rapportens föregående delar. Här ges återkoppling till teorin och praktiken samt motivering för de olika stegens relevans.

Kapitel 7 återger en fallstudie av ett referensprojekt i Helsingborg utfört av Skanska. Här utförs en teoretisk applicering av den framtagna metoden i kapitel 6 på referensprojektet. Tillvägagångssättet verifieras genom att ge ett verklighetsbaserat exempel på hur den kan användas.

Kapitel 8 diskuterar resultat och slutsatser från projektets olika delar samt belyser andra viktiga aspekter inom området.

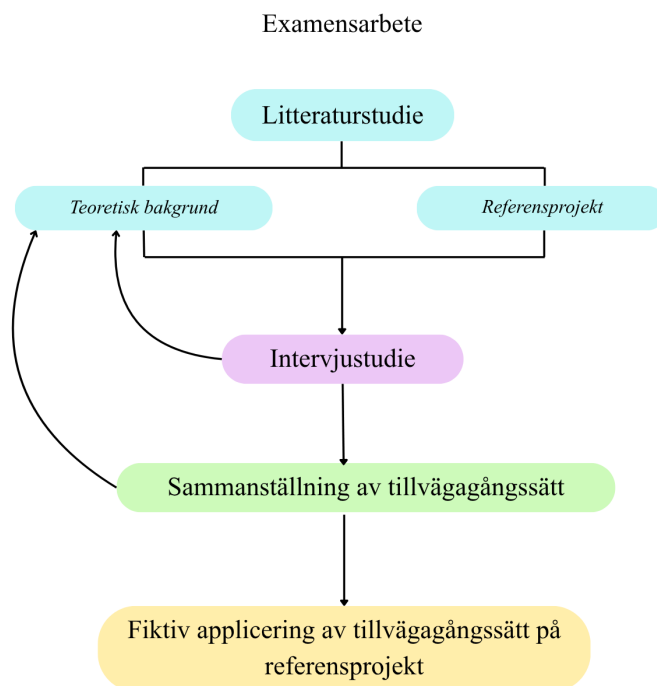
Kapitel 9 redogör för hur väl arbetets syfte och mål har uppfyllts, samt presenterar de slutsatser som kan dras från det genomförda arbetet.

2 Metod

Projektet har delats upp i fyra huvuddelar:

- En **litteraturstudie** med fokus kring bakomliggande teori samt en sammanställning av tidigare utförda referensprojekt med fokus kring verifiering av tekniska egenskaper inför återbruk av bärverksdelar i betong.
- En **intervjustudie** där sakkunniga inom branschen intervjuats. Detta görs för att få en uppfattning kring den praktiska återbruksprocessen, samt hur den skiljer sig från teorin.
- **Sammanställning av tillvägagångssätt** för verifiering av tekniska egenskaper kopplade till bärighet och beständighet för prefabricerade massiva betongbjälklag baserad på erfarenheter från litteratur- och intervjustudien.
- **Fallstudie och teoretisk applicering** på referensprojektet i Helsingborg (Skanska) för att bestyrka tillvägagångssättet med hjälp av ett verkligt exempel.

I Figur 2.1 visas en övergripande struktur för arbetetssättet.



Figur 2.1: Övergripande struktur och arbetssätt för examensarbetet

2.1 Litteraturstudie

Arbetets första del bestod av en litteraturstudie med syfte att ge en teoretisk bakgrund till problemuppställningen samt en material- och konstruktionsförståelse. Litteraturstudien strukturerades upp i två delar, *Teoretisk bakgrund* och *Studie av referensprojekt*.

2.1.1 Teoretisk bakgrund

Litteraturstudiens första del bestod av en teoretisk genomgång och faktainsamling. Bland annat redogjordes för gällande regelverk och myndighetskrav vid återbruk av bärande konstruktioner i Sverige. Särskilt fokus lades på de krav som ställs i Plan- och bygglagen (PBL) samt Plan- och byggförordningen (PBF). Här klargjordes de tekniska egenskapskraven för stomelement i betong som måste uppfyllas vid återbruk. Även relevanta provningsmetoder och tidsberoende effekter redogörs för i denna del, samt andra relevanta områden såsom uppskattning av livslängd.

Utgångspunkten för litteraturstudien var relevanta standarder, vetenskapliga artiklar, tekniska rapporter och information från myndigheter så som Boverket, samt enstaka fall av grå litteratur där sakkunnig granskning inte har varit lika framträdande som i övriga rapporter och artiklar. Referenser valdes ut i enlighet med källkritiska krav vad gäller hänsyn och äkthet, samt relevans och subjektivitet. Vid faktainsamling har databaser så som Scopus, Diva, Google Scholar och Lunds Universitets digitala söktjänst FINN använts för att hitta relevanta källor. I Tabell 2.1 visas några exempel på de sökord och fraser som har använts under arbetet.

Tabell 2.1: Presentation av utvalda ord och fraser som använts vid faktasökande

Reuse	Concrete
Reuse of concrete	Destructive testing
Reuse case study	Non-destructive testing

2.1.2 Studie av referensprojekt

Litteraturstudiens andra del bestod av systematisk sökning och analys av tidigare utförda projekt avseende återbruk av bärande betongkonstruktioner. Syftet med denna del var att undersöka hur verifiering av de tekniska egenskaperna hanteras och utförs i praktiken. Med utgångspunkt från studiens teoridel identifierades fyra centrala steg vid verifiering av tekniska egenskaper för återbruk. Dessa steg delades sedan in i underkategorier för att kunna särskilja olika sorters provningsmetoder. De framtagna stegen utgjorde ramen för fortsatt analys och genomgång av de insamlade referensprojekten. Systematisk sortering och analysering av de insamlade referensprojekten gjordes med avseende på vilka av verifieringsstegen som hade utförts i respektive projekt. En checklista skapades för att strukturerat och överskådligt kunna göra en jämförelse över hur de olika projekten relaterade till stegen. Detta möjliggjorde en analys av hur verifieringsprocessen ser ut i praktiken och i vilken utsträckning denna stämmer överens med

den teoretiska bakgrunden. Integrering av praktiska erfarenheter kunde på så sätt göras i den samlade bedömningen och utvecklingen av tillvägagångssättet i kapitel 6. Denna del av litteraturstudien utgick huvudsakligen från så kallad grå litteratur till skillnad från litteraturstudiens första del där sakkunnig granskning varit mer framträdande.

2.2 Intervjustudie

Projektets andra del bestod av en intervjustudie. Intervjuerna följde ett semistrukturerat upplägg där förberedda frågor ställdes som utgångspunkt, med utrymme för följdfrågor och öppna svar. Syftet med intervjustudien var att ta del av erfarenheter från experter inom området för att få en bredare och mer representativ bild av återbruk i praktiken. Ämnen som diskuterades var bland annat hur dagens regler och standarder hanterar återbruk av prefabricerad betong, hur teorin skiljer sig från praktiken vid tillämpning och hur framtiden för återbruk av betong kan se ut. Frågorna utformades med hänsyn till roll och typ av erfarenhet inom branschen, men generellt följdes den struktur som kan ses i Bilaga A. En sammanställning av varje enskild intervju återfinns i Bilaga B.

Intervjustudiens deltagare valdes med hänsyn till deras erfarenhet inom praktisk tillämpning samt kunskap kring standarder och regelverk. Urvalet inkluderade personer med erfarenhet både inom provnings- och bedömningsprocessen samt ansvarsfördelningar kopplade till återbrukade konstruktioner. I Tabell 2.2 presenteras de ingående respondenterna samt plats och tid för respektive intervju.

Tabell 2.2: Ingående respondenter med respektive roll och erfarenhet

Respondent	Företag / arbetsplats	Roll	På plats eller Teams	Erfarenhet inom branschen	Datum för intervju
Respondent 1	LTH	Professor inom bärande konstruktioner / konstruktions-teknik	På plats	ca 60 år	2026-03-10
Respondent 2	Boverket och LTH	Konstruktör, adjungerad professor inom konstruktions-teknik	På plats	ca 20 år	2026-03-12
Respondent 3	KTH	Doktorand vid Institutionen för byggvetenskap	Teams	ca 14 år	2026-03-13

Fortsätter på nästa sida

Respondent	Företag och arbetsplats	Roll	På plats eller Teams	Erfarenhet inom branschen	Datum för intervju
Respondent 4	TU/e Eindhoven University of Technology	Professor inom hållbarhet av betongkonstruktioner	Teams	ca 40 år	2026-03-17
Respondent 5	Skanska	Expert inom tekniska frågor på Skanska	På plats	ca 40 år	2026-03-23
Respondent 6	Tyréns	Specialist och expert inom betongkonstruktioner på Tyréns samt adjungerad professor på KTH	Teams	ca 40 år	2026-03-23
Respondent 7	RISE	Marknadschef inom betongteknik och betongkonstruktioner på RISE	Teams	ca 10 år	2026-03-25

Lärdomar från intervjuerna sammanställdes och presenteras i kapitel 5 av rapporten. Intervjuerna spelades in med respondenternas godkännande.

2.3 Sammanställning av tillvägagångssätt för verifiering av tekniska egenskapskrav inför återbruk

Projektets tredje del innebar en sammanställning av ett tillvägagångssätt för verifiering av de tekniska egenskapskraven i enlighet med PBL och PBF för massiva prefabricerade betongbjälklag. Tillvägagångssättet baserades på teorin från litteraturstudien, lärdomar från referensprojekten och erfarenheter från intervjustudien. Genom att jämföra regelverk och riktlinjer med praktiska erfarenheter från tidigare återbruksprojekt kunde ett tillvägagångssätt i flera steg sammanställas för verifiering av tekniska egenskapskrav för prefabricerade massiva betongbjälklag.

Stegen motiveras utifrån deras relevans baserat på de avgränsningar som gjorts i projektet. De innehåller en övergripande beskrivning kring hur många element som bör provas och hur många prover som borde tas. Detta är framförallt baserat på de standarder som presenteras i kapitel 3.

2.4 Referensprojekt i Helsingborg (Skanska)

Projektets fjärde del innebar en fallstudie och teoretisk applicering av det framtagna tillvägagångssättet för verifiering på ett referensprojekt i Helsingborg i samarbete med Skanska. Teoretisk applicering innebär i detta fall att referensprojektet har analyserats utifrån befintlig och tillgänglig dokumentation, och inga praktiska prover har utförts inom arbete. Provningar och tester har tidigare utförts av Skanska och provresultaten framgår i kapitel 7. Referensprojektet är ett pågående projekt som innefattar renovering samt ombyggnad av lägenhetshus från sent 1960-tal. Mer information om referensprojektet presenteras i kapitel 7.

2.5 Användandet av AI

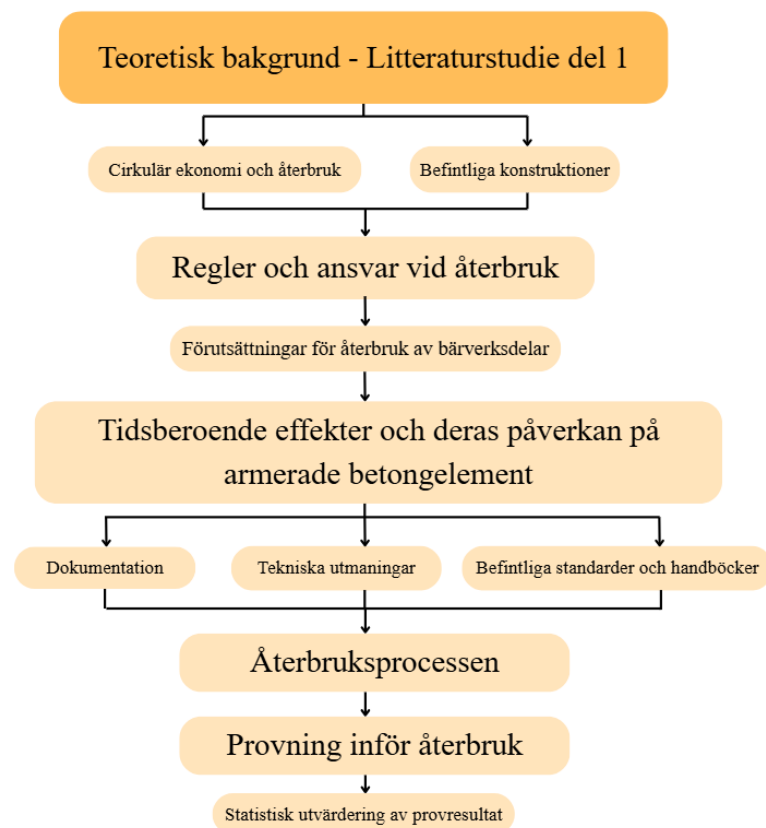
Vid faktainsamling har generativ AI i vissa fall implementerats. Bland annat för att hitta synonymer och sökord att använda i de olika databaserna, men också för att sortera och filtrera fram relevanta källor. Nedan följer ett exempel på hur en sådan sortering har gått till:

- En rapport har återfunnits via sökning i en vetenskaplig databas. En generativ AI (ChatGPT) ombeds ta fram liknande vetenskapliga rapporter inom samma område. Rapporterna som AI redovisar söks upp i en vetenskaplig databas och granskas innan informationen implementeras i projektet.

Generativ AI (ChatGPT) har även använts som hjälpmedel vid programmering i LaTeX för att ta fram kommandon för exempelvis referenshantering och figurhantering, samt för språköversättning.

3 Litteraturstudie del 1: Teoretisk bakgrund

I detta kapitel presenteras litteraturstudiens första del bestående av teori relaterad till återbruk av bärande betongkonstruktioner. Kapitlets syfte är att ge en grund till problemuppställningen. Detta görs genom en sammanställning av gällande regelverk och standarder, klargörande av vilka förutsättningar som krävs för att kunna genomföra återbruk av betongelement i befintliga byggnader samt vilka provningsmetoder som kan tillämpas vid bedömning av de tekniska egenskapskraven. Kapitlet lägger en teoretisk grund till tillvägagångssättet för den tekniska verifieringen som presenteras i kapitel 6. I figur 3.1 presenteras den övergripande strukturen för teorikapitlet. Från denna går att utläsa att delkapitlen Regler och ansvar vid återbruk, Tidsberoende effekter och deras påverkan på armerade betongelement, Återbruksprocessen samt Provning inför återbruk anses grundläggande för arbetet.



Figur 3.1: Övergripande struktur för Teoretisk bakgrund- Litteraturstudie del 1

3.1 Cirkulär ekonomi och återbruk

Enligt Boverket [11] stod byggsektorn i Sverige år 2022 för cirka 13,6 miljoner ton bygg- och rivningsavfall. Detta motsvarar cirka 40% av allt avfall i Sverige under samma år och cirka 20% av allt farligt avfall. Samma år uppgick återvinningsgraden för detta bygg- och rivningsavfall till 55%. Som del i de nationella och globala hållbarhetsmålen är det sagt att mer bygg- och rivningsavfall skall återvinnas eller förberedas för återvinning [12]. Ett av Sveriges miljömål var att minst 70% av allt bygg- och rivningsavfall ska återvinnas eller förberedas för återvinning senast 2025 [13]. Enligt Sveriges miljömål [12] är detta mål i dagsläget inte uppfyllt och en större omställning måste göras. En viktig del i denna omställning är att skapa en cirkulär ekonomi med kretslopp där resurserna kan användas på ett effektivt sätt [13].

3.1.1 Cirkulär ekonomi inom byggsektorn

Cirkulär ekonomi inom byggsektorn kan sägas ske i olika skala och olika skeden [13]. Dessa kan i sig bero mycket av varandra över tid. För att kunna sortera ett material vid rivning krävs det att tillverkandet och användandet av materialet möjliggör detta [13]. En viktig förutsättning för att kunna bygga cirkulärt är därför att redan i tidiga processer överväga det framtida kretsloppet. Utformningen på byggnaden och möjligheten till underhåll av de olika komponenterna kan ha stor betydelse, både för hur länge byggnaden kan hållas i bruk, men också hur väl material och byggnadselement kan tas tillvara på vid rivning [13].

Ett direktiv har fastställts för hur avfallshantering inom Europeiska Unionen ska gå till [14]. Detta direktiv är utformat för att skydda mänsklig hälsa och miljön och det betonar vikten av korrekt avfallshantering samt återbruk och återvinning. En avfallshierarki har tagits fram som ett sätt att nå ökad resurseffektivitet [15]. Enligt EUR-Lex [14] innehåller trappan de fem steg som presenteras i Figur 3.2.



Figur 3.2: Illustration av avfallstrappan med stegen hämtade från [14]

Från denna rangordning blir det tydligt att återbruk är en viktig del i det resurseffektiva samhället. Stora mängder av det avfall som byggsektorn står för består av material som hade kunnat användas längre [16]. Genom att återbruka bärverksdelar finns en potential att spara resurser och minska klimatpåverkan jämfört med att tillverka nytt [7]. Ur ett livscykelperspektiv står tillverkning av nya byggprodukter för en övervägande del av en byggnads klimatpåverkan. Återbruk blir därför en viktig process i att minska byggsektorns klimatavtryck [16]. Bärverksdelar i betong och stål är produkter och material vars tillverkning bidrar till stor klimatpåverkan, det blir därför särskilt viktigt att i största möjliga mån återbruka dessa [16].

3.2 Befintliga konstruktioner

När det talas om byggnader benämns både befintliga och nya eller kommande byggnader. Befintliga byggnader är de som redan är byggda och står där de står medan nya byggnader är de som ska byggas. Den huvudsakliga skillnaden mellan dessa är att i en befintlig byggnad har valen av material och utformning redan gjorts medan i en ny byggnad finns det fortfarande möjlighet att påverka dessa genom anpassning till det specifika projektet [17]. Detta innebär att vid återbruk av en befintlig byggnad behöver konstruktionens egenskaper bestämmas utifrån vad som redan har gjorts.

3.2.1 Ombyggnad och ändring

Renovering och ändring av befintliga byggnader är den första typen av återbruk som nämns i Boverkets fem huvudtyper av återbruk [7]. Det är även den vanligaste typen av återbruk. Ändring förekommer då en befintlig byggnad byggs om, renoveras, byggs på eller till på ett sätt som resulterar i förändrade lastförutsättningar, användning eller verkningssätt [7]. Till skillnad från återbruk där delar av eller hela befintliga bärverk plockas ut och flyttas till en ny plats, ges det vid ändring utrymme för att anpassa kraven [18]. Anpassning och avsteg från de tekniska egenskapskraven och utformningskraven kan göras med hänsyn till byggnadens förutsättningar, ändringens omfattning, förvanskningförbudet och varsamhetskravet [18]. För en ändring ställs generellt krav enbart på den ändrade delen [19].

Ombyggnad är en form av ändring som innebär att en betydande och avgränsad del av byggnaden eller hela byggnaden påtagligt förnyas [19]. Att en ändring klassas som ombyggnad innebär inte att själva kraven skiljer sig, däremot ställs krav på hela byggnaden vid ombyggnad och inte bara på den ändrade delen [19].

3.3 Regler och ansvar vid återbruk av bärverksdelar

I Sverige styrs återbruk av befintliga bärverksdelar av samma krav och lagstiftning som gäller för nyproducerade byggnadsverk [20]. Regelverket är uppbyggt hierarkiskt och det omfattar tekniska egenskapskrav, verifiering och ansvarsfördelning.

3.3.1 Tekniska egenskapskrav och regelverkets struktur

Vid återbruk av bärverksdelar finns det, precis som vid nybyggnad, flera regler att förhålla sig till. I Sverige gäller samma krav oavsett om en byggnad är uppförd med återbrukade- eller nya byggnadsdelar. Kraven omfattar både tekniska egenskaper och arbetsmiljö [20]. För att en byggnad ska få användas måste de tekniska egenskapskraven i Plan- och bygglagen (2010:900) och Plan- och byggförordningen (2011:338) vara uppfyllda. Dessa krav tar bland annat upp vikten av att säkerställa en byggnadsdels lämplighet vid användning i ett byggnadsverk [20]. I 8 kap 19§ av Plan- och bygglagen (2010:900) [21] står det att:

“En byggprodukt får ingå i ett byggnadsverk endast om den är lämplig för den avsedda användningen.”

Enligt 8 kap 19§ i PBL (2010:900) [21] anses en byggprodukt lämplig om den uppfyller de tekniska egenskapskraven som specificeras i 4§ första stycket. Där framgår att ett byggnadsverk ska ha väsentliga tekniska egenskaper i fråga om bland annat bärförmåga, stadga och beständighet, säkerhet vid användning och lämplighet för det avsedda ändamålet. Enligt 10 kap. 7§ ska alla väsentliga krav som avses i 8 kap. 4§ påvisas genom en kontrollplan.

I lag (1994:847) om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, m.m. 2§ [22] beskrivs de tekniska egenskapskraven:

“ Byggnadsverk som uppförs eller ändras skall, under förutsättning av normalt underhåll, under en ekonomiskt rimlig livslängd uppfylla väsentliga tekniska egenskapskrav i fråga om:

1. Bärförmåga, stadga och beständighet
2. Säkerhet i händelse av brand
3. Skydd med hänsyn till hygien, hälsa och miljö
4. Säkerhet vid användning
5. Skydd mot buller
6. Energihushållning och värmeisolering
7. Lämplighet för avsett ändmål
8. Tillgänglighet och användbarhet för personer med nedsatt rörelse- eller orienteringsförmåga
9. Hushållning med vatten och avfall

”

3.3.2 Krav i brott- och bruksgränstillstånd

I Boverkets föreskrifter och allmänna råd preciseras vad som menas med de nämnda tekniska egenskapskraven i PBL (2010:900) 8 kap. 4§ första stycket [21]. I BFS (2024:6)

2 kap. 2§ [23] framgår vilka krav som ställs och måste uppfyllas för bärformågan hos ett bärverk i brottgränstillståndet. Där står:

“ Bärverk ska med tillräcklig tillförlitlighet i brottgränstillstånd ha en bärformåga som är lika med eller större än lasteffekter från laster och annan påverkan som sannolikt kommer att uppkomma under byggnadens uppförande och användning. Brottgränstillstånd som ska beaktas är:

1. Materialbrott inklusive utmattning
2. Hydrauliska brott
3. Instabilitet
4. Brott på grund av för stor deformation, och
5. Mekanism

”

I samma kapitel 12§ i BFS 2024:6 [23] presenteras även kraven som måste uppfyllas för en byggnadsdel i bruksgränstillståndet:

“ För bärverk ska följande företeelser endast förekomma i acceptabel omfattning i bruksgränstillstånd från laster och annan påverkan som sannolikt kommer att uppkomma under byggnadens uppförande och användning:

1. Deformationer
2. Sprickbildning
3. Svajning
4. Svängningar
5. Vibrationer

”

Vid återbruk av bärande byggnadsdelar måste alltså ovanstående krav vara uppfyllda för att byggnaden ska få brukas. Vid nyproduktion kan de olika delarna kontrolleras och beaktas vid produktion och projektering men då återbrukade delar används måste deras egenskaper säkerställas genom verifiering [20].

3.3.3 Verifiering av återbrukade bärverksdelar

Enligt 1 kap. 7§ i BFS (2024:6) [23] finns det två tillvägagångssätt för att verifiera de egenskaper som berörs i 2 kap 12§ i BFS (2024:6) [23]. Det första tillvägagångssättet är genom att konstatera att de använda byggprodukternas egenskaper är bedömda och godkända enligt BFS (2024:6), 1 kap. 6§ [20]. När det rör sig om återbruk kan denna metod vara svårapplicerad då det inte alltid kan garanteras tillräcklig information kring byggnadsdelens historik.

Det andra tillvägagångssättet är att använda sig av provning eller annan vedertagen metod inom Europeiska Unionen för att verifiera egenskaperna [20]. Det är ofta detta förfarande som lämpar sig för återbrukade bärverksdelar. I dagsläget finns det ingen EN-standard för utvärdering av skador som kan ha drabbat ett element under den första delen av dess livstid. I en rapport av Suchorzewski et.al. [24] har en sammanställning gjorts med förslag på vilka skador och tidsberoende effekter som bör beaktas vid provning och verifiering för armerad betong. Denna sammanställning inkluderar:

1. Kvarstående deformationer
2. Korrosion
3. Mekanisk ytpåverkan
4. Spjälkning
5. Sprickor (både i betong och armering)
6. Borrhål/urtag
7. Karbonatisering
8. Kloridangrepp
9. Urlakning
10. Erosion
11. Alkalisilikareaktion
12. Kemiskt angrepp
13. Saltkristallisation

Verifiering av befintliga egenskaper utgör en central roll i återbruksprocessen och är en förutsättning för att återbrukade bärverksdelar ska kunna anses uppfylla de tekniska egenskapskraven.

3.3.4 CE-märkning och typgodkännande

Inom Europeiska Unionen finns det en rad olika standarder [25]. Dessa standarder är frivilliga riktlinjer tillgängliga för att göra processer, produkter och tjänster lätta att använda och tillförlitliga. På uppdrag av EU-kommissionen tas en särskild kategori av standarder fram, så kallade harmoniserade standarder. Även om standarderna är frivilliga att använda är det obligatoriskt att uppfylla de tekniska krav som framförs i EU-lagstiftningen. Genom att tillämpa de harmoniserade standarderna visar tillverkaren att en produkt följer lagstiftningen och uppfyller kraven [25]. För att underlätta fri rörlighet hos varor på Europas inre marknad har det i den europeiska byggproduktförordningen beslutats att egenskaperna för byggprodukter inom EU ska beskrivas och bedömas på ett gemensamt sätt [26]. Information om byggprodukten förmedlas i

form av en prestandadeklaration och CE-märkning [26]. Inom Europa är CE-märkning den mest vedertagna certifieringsmärkningen [24]. Genom att en produkt CE-märks bekräftas det att den uppfyller alla de normer som finns inom EU för hälsa, säkerhet och miljöskydd och att tillverkaren har följt de harmoniserade standarderna [27]. Genom att följa de harmoniserade standarderna vid dimensionering kan en produkt CE-märkas. Om en byggnadsdel inte omfattas av en harmoniserad standard, eller en ETA (europeisk teknisk bedömning) kan ett typgodkännande utfärdas [28]. Ett typgodkännande är ett, inom Sverige, nationellt system för verifiering och bedömning av hur väl en byggprodukt stämmer överens med de krav som ställs i de svenska byggreglerna [28]. Så länge produkten uppfyller EU-lagstiftningen är det tillåtet att använda typgodkännande istället för CE-märkning [25].

Återbrukade eller begagnade byggnadsdelar eller byggprodukters egenskaper kan sällan redogöras för med prestandadeklaration och CE-märkning [26]. Bedömning måste därför ske på annat sätt till exempel genom användning av underlag såsom provning, tillgång till tidigare dokumentation eller märkning, teknisk och okulär bedömning och övrig kännedom kring tidigare verksamheter i byggnaden och användning [26].

3.3.5 Ansvar för att kraven uppfylls

Ansvar för att se till att gällande lagar och förordningar efterföljs faller på byggherren. Detta innefattar att se till att de återbrukade bärverksdelarna uppfyller de krav som ställs på tekniska egenskaper [29]. I Plan- och bygglagen 10 kap 5§ (PBL, 210:900) står det tydligt att vid varje åtgärd som rör byggande, rivning eller mark som byggherren utför eller låter utföra är det byggherrens ansvar att se till att detta sker i enlighet med de gällande kraven. Det är byggherrens ansvar att se till att de byggprodukter som väljs, oavsett om de är nyproducerade eller återbrukade, gör att det färdiga byggnadsverket har de tekniska egenskaper som krävs och uppfyller andra krav för den färdiga byggnaden [26]. I PBL (2010:900) 10 kap. 1§ står där även att det är byggherrens skyldighet att kontrollera genomförandet och ha en kontrollplan, där kontrollplanen enligt 10 kap. 7§ ska säkerställa att alla väsentliga krav enligt 8 kap. 4§ uppfylls. Det vill säga kraven för väsentliga tekniska egenskaper innefattande bland annat bärformåga, stadga och beständighet.

3.4 Förutsättningar för återbruk av bärverksdelar

Suchorzewski et al. [24] menar på att då ett konstruktionselement avlägsnas från en byggnad förlorar det sin status som byggelement och refereras istället till som avfall. Idag anses avfall kunna vara en källa till användbara och värdefulla resurser. För att kunna ta tillvara på dessa krävs det att konstruktionselementen uppfyller de krav som ställs i enlighet med dagens regelverk och standarder. En av de stora utmaningarna grundar sig i att dessa regelverk och standarder syftar till produktion av nya material och element, och inte på verifiering av befintliga. Det kan därför krävas tolkningar och omvärdering för att ett återbrukat element ska möta de krav som presenteras [24].

Flera aktörer inom branschen har publicerat vägledningar som ett sätt att främja och

sprida information kring återbruk och dess process. Boverket har sedan 2025 [7] en vägledning kring återbruk av bärverksdelar, men det finns även vägledningar utgivna av privata aktörer. I en SBUF rapport av Jimenez et al. [30] framgår det att ett behov finns av både kunskap hos och samverkan mellan aktörer inom och mellan olika skeden i en återbruksprocess. Återbruk av byggnadselement medför extra steg i processen som annars inte tas med vid nyproduktion. Dessa inkluderar bland annat nedmontering och mellanlagring av elementen [24]. Båda dessa steg kan vara avgörande för hur väl hållfastheten bevaras men de kan också medföra möjligheter till att uppgradera ett element för att uppfylla dagens standarder, genom exempelvis reparation av sprickor [24].

3.4.1 Tillämpning av dagens krav på befintliga element

Då ett återbrukat element används i en ny byggnad appliceras dagens gällande standarder och gränsvärden. Byggregler och branschpraxis har publicerats och bytts ut med jämna mellanrum sedan 1947 [31], vilket innebär att kraven kan ha ändrats från dess att elementet producerades. Exempelvis har kravet för minsta täckande betongskikt för armering i en platta med en livslängd på 50 år inom exponeringsklass XC2 eller XC3 i Sverige nästan halverats jämfört med kraven före 80-talet [32]. Minsta andel cementinnehåll (vct) har kommit att höjas under de senaste decennierna genom branschpraxis [24]. I enlighet med de tekniska egenskapskraven som redovisades i föregående kapitel, se avsnitt 3.3, ska återbrukade bärverksdelar i regel uppfylla dagens gällande gränsvärden.

3.4.2 Livslängd och återstående funktion hos betongelement

En produkts livslängd kan definieras och mätas på många olika sätt [33]. Olika definitioner används i olika sammanhang och livslängden för en och samma produkt kan variera avsevärt beroende på vad som definieras som start- och slutpunkt. I denna rapport refereras livslängden till som den tekniska livslängden, vilket motsvarar den tid som produkten tekniskt presterar som den ska för det avsedda ändamålet [33]. Även den faktiska livslängden, vilket syftar till tiden från att en produkt börjar användas till att den tas ur bruk, är ett begrepp som spelar in i sammanhanget kring återbruk [33]. I många fall kan den faktiska livslängden vara mycket kortare än den tekniska, exempelvis vid rivning eller renovering när material eller produkter byts ut och hanteras som avfall [33].

Att ett material såsom betong ändras över tid är ofrånkomligt [24]. Företeelser som krypning och miljöns påverkan på nedbrytningsprocessen av materialet har stor betydelse för hur väl bevarade elementets egenskaper är. Detta i sin tur har stor påverkan på hur stor den återstående livslängden för ett byggnadselement kan vara [24]. För konstruktioner i betong är det ofta relativt billigt att i ett tidigt stadium vidta åtgärder kring designen för att förlänga livslängden hos elementen [34]. När det kommer till nedbrytningsmekanismer hos betongelement som påverkar hållfastheten är korrosion av armeringen den vanligaste [35]. I [34] beskrivs betongelement i inomhusmiljö vara relativt fria från risken att utsättas för korrosion, vilket leder till att deras livslängd normalt kan mätas upp till flera hundra år.

För att i praktiken förutspå livslängden hos betongelement krävs komplexa ingenjörsmodeller som tar hänsyn till både strukturens uppbyggnad och exponeringsmiljö [36]. Det finns en rad olika modeller och metoder för att förutspå livslängden hos betongkonstruktioner. I [36] beskrivs Service life modelling (SLM) som en av dessa modeller vilket kan erbjuda en kvantitativ uppskattning av återstående tid till oacceptabel skada av konstruktionen genom att kombinera modellering av nedbrytning och skador. Denna typ av metoder kan användas både för nya eller redan existerande byggnader. Oavsett var metoderna används och appliceras följer de enligt [24] samma principiella steg: bestämning av betongens skick, bestämning av betongens livslängd och en uppskattning av en funktion mellan det nutida skicket av betongen fram till det definierade slutet på livstiden.

Sammanfattningsvis kan det sägas att bestämning av den återstående tekniska livslängden är ett viktigt steg vid återbruk av bärverksdelar. Livslängden måste bedömas i relation till dagens gällande dimensioneringsprinciper och regelverk vilket ställer särskilda krav på verifiering, dokumentation och teknisk bedömning. Detta knyter direkt an till de tekniska och juridiska krav som presenterats i föregående kapitel, se avsnitt 3.3.

3.4.3 Armering

Eurokod 2 SS-EN 1992-1-1 [37] beskriver hur armerad betong ska projekteras och där ges specifikationer för dimensionering av armering i konstruktioner. Bilaga C i Eurokod 2 [37] redovisar armeringsegenskaper som är lämpliga att använda vid tillämpning av denna Eurokod.

Tabell 3 i SS-EN 10080:2005 specificerar krav för provning av de mekaniska egenskaperna för armering beroende på tillverknings- och leveransvillkor för produkten. Metoder för provning skiljer sig åt beroende på om stålet är varm- eller kallvalsat. Varmvalsat stål bearbetats vid mycket höga temperaturer och uppvisar hög duktilitet samt segare brott, medan risken för sprödbrott ökar med sjunkande temperatur vilket är fallet för kallvalsat stål, vilket bearbetats vid lägre temperaturer [38]. Idag tillverkas armeringsstål i regel genom varmvalsning där det blivit seghärdat, men för armeringsnät som vanligtvis används för stora ytor så som golv- och markplattor är det vanligt att använda kallbearbetade ståltrådar [39].

Kamstål och armeringsnät anses vara de vanligaste varianterna vad gäller modernt kamstål idag [39]. För kamstål är det vanligt att stängerna har en profilerad yta [40]. För armeringsnät, som idag används i bjälklag, är NK500AB-W standard i Sverige [39].

Nedan presenteras några av de krav som ska vara uppfyllda enligt dagens gällande standarder.

Täckande betongskikt

Minsta tjocklek på täckande betongskikt ska dimensioneras i enlighet med Eurokod 2 kapitel 4.4.1.2 [37]. Detta minsta värde tar hänsyn till armeringens vidhäftning,

korrosionskydd av armeringen samt brandmotstånd. För ett element i exponeringsklass XC1, med $v_{ct,ekv}$ 0,6 och livslängdsklassen L100 fås ett minsta täckande betongskikt $c_{min,dur}$ till 10 mm. Detta måste därefter kompletteras enligt anvisningar i Eurokod 2 kapitel 4.4.1.2 [37].

Sträckgräns

Kapitel 7.2.3 i SS 212540:2014 [41] specificerar de mekaniska egenskaperna i enlighet med SS-EN 10080:2005. Detta innefattar krav som ska uppfyllas för bland annat sträckgräns och gränstöjning beroende på stålklass. För stänger med kvalitet NK500AB-W ska sträckgränsen ligga runt 500 MPa [39].

Vidhäftningsförmåga

Kapitel 7.4 i SS-EN 10080:2005 [42] specificerar kraven för vidhäftning baserat på stängernas yt-geometri. Krav för ribbar presenteras vad gäller bland annat avstånd emellan- och minsta höjd på ribbar, samt geometri-krav för kamstänger.

3.5 Tidsberoende effekter och deras påverkan på armerade betongelement

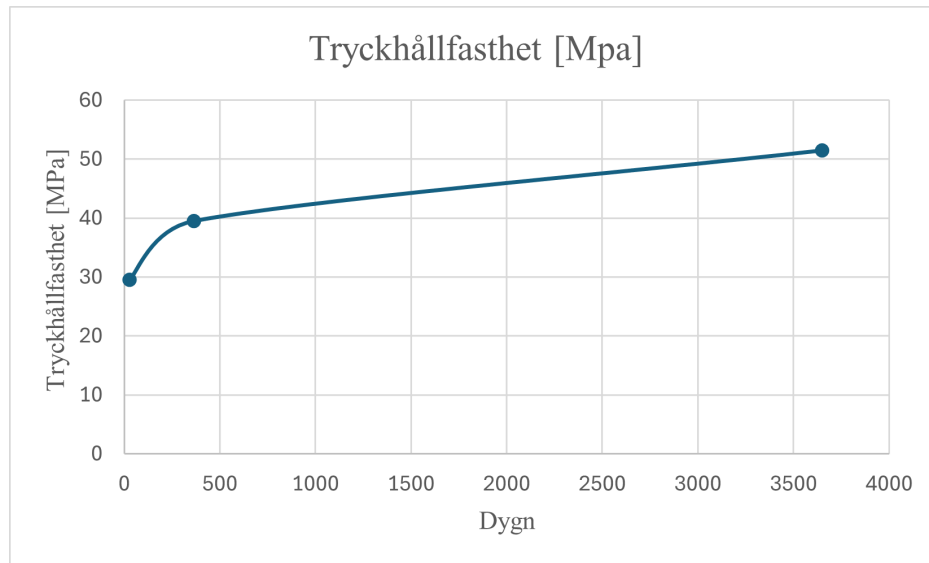
3.5.1 Hållfasthet

Från det att betongen gjuts börjar hållfastheten successivt att öka genom hydratisering av cementen [43]. Hydrationen, och dess inverkan på hållfastheten, pågår i flera år efter gjutning under förutsättningarna att fukthalten är tillräckligt hög i betongen och det fortsatt finns cementpartiklar som kan reagera [43]. Betongens hållfasthet över tid influeras starkt av variationer i miljön samt exponering för exempelvis temperatur- och fuktvariationer, klorider, koldioxid m.m. [44]. Att förstå utvecklingen av betongens hållfasthet över tid spelar en avgörande roll för att kunna förutspå elementets livslängd [44].

Flera studier har utförts för att undersöka hur tryckhållfastheten ökar över tid för betong. I en studie av Lee et al. [45] gjordes ett antal tester på betong för att undersöka hållfasthetsökningen över tid. I studien utfördes trycktester på betong som fått torka i 28 dagar, 1 år och 10 år. Resultatet visade att ju längre tid som gått efter gjutning, desto större tryckhållfasthet fick betongen. Tryckhållfastheten efter 1 år var runt 4-5 MPa större än vid 28 dagar och efter 10 år visade studien att tryckhållfastheten var ungefär 25-26 MPa större än vid 28 dagar [45]. Liknande studier som påvisar samma resultat har även utförts av Tang et al. [46] och Walz [47].

Det genomgående resultatet är att ju äldre betongen blir, desto större blir hållfastheten i tryck. Till skillnad från majoriteten av de tidsberoende effekter som armerad betong

utsätts för över tid följer hållfasthetsökningen en positiv utveckling på elementen, vilket blir gynnsamt i frågan kring återbruk. I figur 3.3 illustreras ett exempel på hur tryckhållfastheten har ökat enligt [45].



Figur 3.3: Ökning av tryckhållfasthet över tid med data tagen från Lee et al. [45]

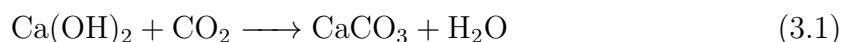
3.5.2 Betongsprickor

Att sprickor uppstår i spröda material såsom betong är inget ovanligt fenomen. När dimensioneringen av bärande betongelement utförs antas ofta att en viss sprickbildning kommer att ske [48]. En del sprickor uppstår redan kort efter gjutning medan andra utvecklas över tid. De tidsberoende sprickorna uppstår då de interna spänningarna överstiger betongens draghållfasthet [24]. Detta kan ske på grund av krympning, temperaturrörelser, snabb uttorkning av betongen, krypning, sättningar m.m. [48]. Även om viss sprickning i teorin är tillåtet i de flesta armerade betongelementen finns det enligt SS-EN 1992-1-1 [37] begränsningar kring deras omfattning, specifikt vad gäller bredd. Det delges att sprickor i betongelement normalt uppstår på grund av tvång, yttre last eller plastiska deformationer när materialet utsätts för skjuvning, böjning, vridning eller dragspänningar. I SS-EN 1992-1-1 [37] framgår det att för exponeringsklass X0 och XC1 rekommenderas en maximal sprickbredd på 0,4 mm för kvasipermanent lastkombination och 0,2 mm för frekvent lastkombination. För dessa exponeringsklasser antas sprickbredd inte ha någon inverkan på betongens beständighet, utan denna gräns är satt med avseende på elementets utseende. Om det inte finns några krav på utseendet kan gränsen mildras [37].

Betong är starkt basisk på grund av cementens alkaliska egenskaper. På grund av dessa basiska egenskaper bildas ett passivt lager runt armeringsjärnen som fungerar som ett skydd mot korrosion, så länge betongen fortsatt är intakt [49]. Om sprickor uppstår i betongen och sprickorna är tillräckligt djupa för att armeringsjärnen ska exponeras för luft kan detta leda till korrosion hos armeringsjärnet. Läget blir här extra kritiskt om den omgivande miljön har en hög relativ fuktighet [24].

3.5.3 Karbonatisering

Vid framställning av cement frigörs koldioxid i en process som kallas kalcinering [50]. När betongen härdat efter gjutning och cement reagerar med vatten börjar den koldioxid som frigjorts under kalcineringen att tas upp av betongens porer igen. Detta är den process som kallas karbonatisering och den pågår under hela betongens livstid [50]. Ekvation (3.1) beskriver den kemiska processen då kalciumhydroxid reagerar med koldioxid för att bilda kalciumkarbonat och vatten.



Upptaget av koldioxid startar från ytan och går djupare in i konstruktionen ju längre tiden går [50]. I karbonatiserad betong sker en markant sänkning från det tidigare väldigt basiska pH-värdet på runt 13 ned till 8-9. Denna sänkning kan bli kritiskt då armeringen tenderar att börja korrodera vid pH-värden runt 11 [24]. På grund av den markanta skillnaden i pH-värde mellan karbonatiserad och icke karbonatiserad betong kan detta upptäckas via provtagning där även karbonatiseringsdjupet kan avgöras [50]. Processen sker i princip i alla betongkonstruktioner, men den kan gå olika fort beroende på det omgivande klimatet. Huvudorsakerna som leder till karbonatisering av betong är främst kopplade till den omgivande miljön som elementet befinner sig i, specifikt fuktförhållandena så som relativ luftfuktighet (RF), temperatur, torka- & fuktcykler samt omgivande koldioxidhalter [51]. En högre fukthalt tenderar att accelerera karbonatiseringen och allra mest kritiskt är en relativ fuktighet mellan 50-70% [52].

Exponeringsklasserna X0 och XC1 för betongelement definieras i SS 137003:2021T2:2025 [53] där X0 likställs omgivningskategori E1 och XC1 omgivningskategori E1 eller E2. I bilaga Q definieras omgivningskategori E1 som applicerbar för betongelement som i huvudsak är skyddade från utvändigt fukt och E2 som applicerbar för betongelement som utsätts för utvändigt fukt. Vidare beskrivs E1 gälla för betongelement inomhus i torra miljöer där den omgivande luftfuktigheten är lägre än 75%, E2 för betongelement utsatta för utvändigt fukt vilket även innefattar inomhuselement i fuktiga miljöer så som badrum och tvätterier. Inomhusklimat ligger generellt utanför det optimala spannet för karbonatisering, med RF mellan 30 - 40% [52].

3.5.4 Korrosion av armering

Korrosion av armeringsjärn är den vanligaste orsaken till nedbrytning hos bärverksdelar i betong [54]. Korrosionen innebär mekaniska skador på elementet resulterande i en minskad draghållfasthet, vilket i sin tur kan leda till kollaps [24]. Direkta effekter som drabbar armeringsstålet till följd av korrosion är bland annat en minskad stängdiameter, ökad sprödhet hos materialet och påverkan på vidhäftningsförmågan [55]. Korrosion av järn består av två reaktioner: en anodisering, oxidation av järn som beskrivs i ekvation (3.2), och en katodisering, reduktion av syre som beskrivs i ekvation (3.3) [56].



Båda reaktionerna sker samtidigt men på olika delar av stålytan. Som kan ses i (3) krävs där både vatten och syre för att reaktionen ska kunna ske [56]. Korrosion av armering i betongelement har kunnat kopplas till klimatomässiga effekter så som temperatur och relativ fuktighet [57]. Initialt befinner sig armeringen i ett passivt tillstånd på grund av den omgivande betongens basiska pH-värde (runt 13). Ett skyddande lager formas ofta bestående av oxider, hydroxider och oxyhydroxider men de kemiska sammansättningarna kan variera beroende på mängden av de olika komponenterna [56]. Om det täckande betongskiktet påverkas eller bryts ned försvinner det skyddande lagret och armeringsstålet befinner sig då i ett aktivt tillstånd där korrosionshastigheten kan öka. Detta kan ske genom karbonatisering, kloridinträngning eller sprickor i betongen [56].

Korrosion till följd av karbonatisering kräver att karbonatiseringen är hög eller att kloridjonkoncentrationen nått armeringsytan, samt att syre kan tillföras till katodytor (icke rostade ytor) [58]. När korrosionen väl har startat kan processen accelereras beroende på fuktnivån i betongtäcksiktet, och en hög korrosionshastighet uppnås vid en fuktighet på 60% RF eller högre [58]. Enligt Stålbyggnadsinstitutet [59] sker generellt ingen korrosion av stål i luft så länge den relativa luftfuktigheten hålls under 60%.

Vidhäftningsförmågan mellan armeringen och betongen kan påverkas negativt i de fall då armeringen börjar rosta. Detta kan bland annat ske genom att lagret av rost som bildas på stålets yta reducerar friktionskoefficienten, ribbornas höjd för kamstänger eller genom att sprickning sker i det täckande betongskiktet [55]. När stål korroderar expanderar det vilket leder till ett ökat tryck mot betongen, vilket i sin tur kan utvidga sprickorna och accelererar korroderingsprocessen ytterligare [24].

3.5.5 Övriga effekter

Övriga tidsberoende effekter som negativt kan påverka de mekaniska egenskaperna hos armerad betong är bl.a. frostsador, alkaliska reaktioner (ASR) samt kloridinträngning. Enligt tabell 4.1 i SS-EN 1992-1-1 [37] kategoriseras inte exponeringsklass X0 och XC1 inom risk för angrepp av frysning/tining, kemiskt angrepp eller korrosion föranledd av klorider.

3.6 Dokumentation

Begreppet befintlig dokumentation och dess relevans för återbruk är återkommande genom hela processen. Tillgången till dokumentation är direkt avgörande för provningens omfattning vid återbruk [60]. Det finns många olika typer av dokumentation

rörande byggnader och bärverksdelar. Dokumentation såsom ritningar, konstruktionsberäkningar, kännedom kring eventuella ombyggnader eller renoveringar samt kännedom kring gällande regelverk vid uppförandet av byggnaden är alla viktiga källor till information som vid återbruk kan underlätta och minimera behovet av provtagningar [60].

I Boverkets föreskrifter och allmänna råd om bärförmåga, stadga och beständighet i byggnader [23] finns det idag flera krav på dokumentation. Dokumentation kring beräkningar och provningar bör framgå för att byggnadsverket ska kunna kontrolleras och uppföras på ett korrekt sätt. På senare år har det även införts krav på speciell konstruktionsdokumentation. Enligt BFS 2024:6 20§ [23] ska det i denna finnas en beskrivning av den bärande konstruktionen med redovisade förutsättningar för dimensioneringen, verkningssätt för konstruktionen, vilka gällande regelverk som har tillämpats samt vilka exponeringsklasser som har valts och i vilken omfattning dimensioneringskontrollen har utförts.

Enligt PBL (2010:900) 8. kap 4§ samt 10. kap. 7§ [21] gäller rådande lagstiftning att en kontrollplan ska upprättas för alla genomföranden av bygg-, rivnings- och markåtgärder där tekniska egenskaper i form av bland annat bärförmåga, stadga och beständighet ska dokumenteras.

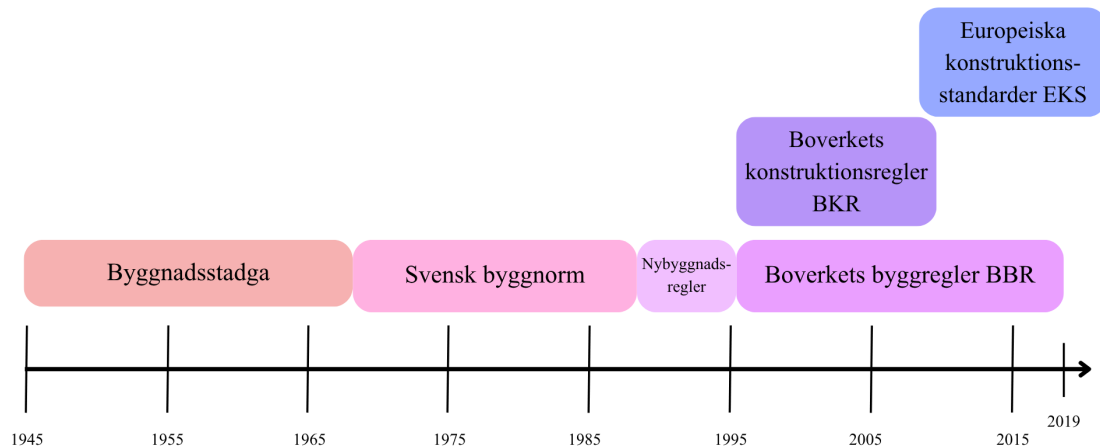
Förtillverkade bärverksdelar kan ibland ha kvar sin märkning vilket kan ge ytterligare information om produkten [61]. Oftast är detta dock inte fallet då märkningens huvudsakliga syfte är att deklarerar elementets egenskaper för att säkerställa leverans av rätt produkt, vilket gör att den inte längre har något syfte när elementet är monterat på rätt plats. I de fall när elementets märkning finns kvar kan den ge information om tillverkaren av bärverksdelarna vilken i sin tur kan ge ytterligare information om elementen [61].

3.6.1 Historiskt perspektiv

Regelverk och standarder kring byggnader i Sverige har utvecklats och omvärderats genom åren. Det som idag anses vara norm behöver därmed inte ha gällt för en tidigare uppförd byggnad av intresse för återbruk idag. Enligt Fagerlund [32] har bestämmelser och standarder från ett historiskt perspektiv i Sverige sedan 1926 alltid innehållit regler relaterade till konstruktionens beständighet. Genom åren har reglerna följt en utveckling av att ha blivit alltmer detaljerade och enligt Fagerlund [32] var det först år 1965 som en betongnorm, betongbestämmelsen B5, togs i bruk vilken hanterade beständighetsfrågan på ett större plan. Enligt författaren skedde även en viktigt skärpning år 1994 då Boverkets Konstruktionsregler tillsammans med BBK 94 kom ut och nya krav för betong introducerades.

Plan- och bygglagen (1987:10) trädde i kraft den 1 juli 1987 tillsammans med Plan- och byggförordningen (1987:383) [62]. I PBL 1987:10 9. kap 9§ står det att en kontrollplan för arbetet ska beslutas där bland annat intyg och övriga handlingar ska redovisas inför byggnadsnämnden. I 3. kap 3§ (1987:10) står det att byggnaden ska uppfylla de krav som anges i 1994:847 om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk. PBL 1987:10 ersattes av dagens rådande 2010:900 och PBL 1987:383 ersattes av 2011:338 den 2 maj

2011 [62]. Det har alltså skett flera skiftet inom gällande krav bara under de senaste decennierna. I figur 3.4 ges en överblick över gällande regler mellan 1945 och 2019.



Figur 3.4: Gällande standarder för perioden 1945 till 2019, källa Boverket [63]

3.7 Tekniska utmaningar kring återbruk

På grund av de stora mängder avfall som byggbranschen genererar har den länge stått under press att arbeta mer hållbart och förstärka resurs-kretsloppet för att spara material, se avsnitt 3.1. Samtalet om återbruk har blivit allt mer framträdande och på många sätt framställs det som en av de mest effektiva strategierna för hållbart, se avsnitt 3.1.1. Trots att återbruk anses bli mer och mer intressant och mer och mer nödvändigt, finns det fortfarande många utmaningar kring processen. Många av dessa utmaningar ligger i logistiken kring återbruket och en stor del handlar om att rivningsentreprenörer måste skifta fokus från rivning av konstruktioner till demontering för att kunna lagra elementen [64].

Som nämnts tidigare i kapitlet, se avsnitt 3.5, är betong ett material vars egenskaper förändras över tid. Att bedöma de nuvarande egenskaperna är därför en viktig del av återbruksprocessen. Detta kan göras genom att gå igenom dokumentation och relationshandlingar från då byggnaden uppfördes eller genom att utföra tester på elementen för att avgöra materialegenskaperna [65]. Då tester på elementen ofta är dyra att utföra och tar tid blir den befintliga dokumentationen en viktig del av underlaget för verifieringsprocessen vid återbruk [60]. Byggreglerna har under de senaste årtiondena kommit att ändras och framförallt förtydligas och specificerats en hel del. Exempelvis infördes inte krav på konstruktionsdokumentation med övergripande beskrivning av byggnadsverkets bärförmåga förrän 2016 [66] och boverkets byggregler trädde inte i kraft förrän 1994 [67]. Som nämnt tidigare är många av de byggnader som är av intresse för återbruk idag uppförda innan dessa krav och regler infördes vilket resulterar i att de är anpassade efter andra standarder och normer. Detta i kombination med att den befintliga dokumentationen ofta är bristfällig utgör stora utmaningar för dagens

återbruk av bärande konstruktioner. Egenskaperna hos elementen måste då istället bedömas med hjälp av provning vilket kan bli både tidskrävande och dyrt då inget systematiskt tillvägagångssätt finns specificerat [68].

De tekniska egenskapskraven som ska uppfyllas för att ett byggnadselement ska anses lämpligt i en konstruktion gäller även för återbrukade element, se avsnitt 3.3.1. De standarder som idag ska efterföljas är anpassade för uppförandet av nya byggnadsverk vilket kan medföra oklarheter när dessa ska appliceras på befintliga konstruktioner. Ofta innebär detta att omfattande provning och planering inför kvalitetssäkring blir nödvändigt [69].

3.8 Befintliga standarder och handböcker

Det finns idag förutom de gällande regelverken en rad standarder som belyser återbruk och tillståndsbedömning av befintliga byggnader. Standarder är frivilliga riktlinjer och det finns därför inga krav på att använda dessa på samma sätt som det finns krav på att följa Plan- och bygglagen [25]. Däremot används de för att skapa rutiner som är enhetliga och transparenta vilket underlättar vid upphandlingar, höjer säkerheten och skapar kostnadseffektiva processer [70]. Nedan presenteras några exempel på standarder och handböcker som kan appliceras vid återbruk av betongelement.

3.8.1 SIS TK191 - Förtillverkade betongprodukter

Förslag till svensk standard (SS) 137105 är en pågående standardutveckling i Svenska Institutet för Standarder av tekniska kommitté 191 arbetsgrupp 02, Återbruk av förtillverkade betongprodukter[71] . I kontakt med vice projektledare Lundgren (personlig kommunikation, e-mail, 20 februari, 2026) beskrivs standardens preliminära omfattning ange krav och rekommendationer på provning av materialegenskaper och tillståndsbedömning av förtillverkade betongprodukter avsedda för återbruk. I detta ska bedömning av hållfasthet, lastbärande förmåga, beständighet, livslängd och användbarhet inklusive deformationer ingå.

3.8.2 NS 3682 - Hulldekker av betong til ombruk

NS 3682 *Hulldekker av betong til ombruk* [72] är en norsk standard för återbruk av HDF-bjälklag. NS 3682 ska täcka processen från demontering till bedömning av existerande bjälklag så att dokumentationen kan ske på ett liknande sätt som för nyproducerade [73]. Standarden specificerar de krav som ställs inför verifiering av prestandan för återbrukade HDF-bjälklag. Standarden ska ge en jämförbar bedömning för återbrukade håldäcksbjälklag som standarden NS-EN 1168 ger för nyttillverkade [73]. Standarden ämnar möta de tekniska kraven som också kan uppnås genom användning av de harmoniserade standarderna inom EU [73], vilka benämns i avsnitt 3.3. Standarden innehåller även rekommendationer för minsta antal provkroppar vid återbruk av HDF-bjälklag.

I kapitel 6.4 i NS 3682 [72] deklareras att bärigheten hos håldäcket ska påvisas i enlighet med Eurokod 2 [74].

3.8.3 (P)RECAST Papers

Teknologisk Institut i Danmark jobbar för närvarande med projektet *(P)RECAST*, där ambitionen är att möjliggöra återbruk av hela prefabricerade betongelement från existerande till nya byggnader [75]. Resultat från projektet publiceras löpande i en serie kallad *(P)RECAST Papers*, där ett dokument kring kvalitetssäkring och dokumentation nyligen publicerats. Rapporten innehåller förslag på övergripande principer och rekommendationer gällande kvalitetssäkring och dokumentation av återbrukade prefabricerade betongelement i enlighet med den danska gällande lagstiftningen och standarder [76]. Rapporten har bland annat ett kapitel "*Provningsmetoder för exponeringsklass X0*" där förslag ges på relevanta egenskaper som bör dokumenteras, samt lämpliga provningsmetoder och krav. Där framgår att för element i exponeringsklassen X0 är provning av nedbrytningsmekanismer till orsak av karbonatisering, kloridinträngning, frostpåverkan eller kemisk påverkan inte relevanta. För element i exponeringsklass XC1 anges korrosion av armeringen orsakad av karbonatisering som en relevant nedbrytningsmekanism att undersöka. Vidare i rapporten ges även förslag på andra egenskaper som bör undersökas och dokumenteras beroende på tidigare och framtida exponeringsklass. Vad gäller geometrisk data samt materialegenskaper gäller samma rekommendationer för samtliga exponeringsklasser, däremot kan en skillnad mellan X0 och XC1 återfinnas vad gäller tillstånds- samt hållbarhetsbedömningar [76].

I samma rapport [76] i kapitel "*Provtagningsplanering*" ges rekommendationer för planering för provtagning, med specifika exempel för tryckhållfasthet och bärförmåga. Kapitlet berör även gruppering av element i produktserier samt representativt urval. Det belyses att ett urval alltid är ett föremål för osäkerheter, därav används statistiska beräkningar till fördel vid bedömning av osäkerheter för att dra slutsatser om hela populationen. Vid urvalskontroll är antalet testobjekt avgörande för resultatets tillförlitlighet enligt rapporten. Det ges även förslag på vilka egenskaper för element i exponeringsklass X0 som bör baseras på totalkontroll (test av alla element) och för vilka ett representativt urval kan utföras.

3.9 Återbruksprocessen

Idag finns ännu ingen svensk standard för återbruk av massiva betongbjälklag i befintliga byggnader [77]. Det pågår ett antal projekt med målet att fastställa en sådan för att göra kunskapen mer lättillgänglig och applicerbar för framtida projekt. Myndigheter och institutioner som Boverket och RISE har publicerat förslag på tillvägagångssätt för återbruk av bärverksdelar. Utmaningen ligger kring att ta fram en metod för massiva betongbjälklag som uppfyller de tekniska egenskapskraven nämnda i avsnitt 3.3.

Återbrukspotentialen hos byggnadselement kan delvis fastställas genom en kontroll av hur väl de tekniska egenskapskraven är uppfyllda. Innan en fullskalig teknisk bedömning kan ske finns där en del viktiga faktorer som behöver undersökas [78]. Nedan

presenteras några av huvuddelarna för att kunna genomföra en verifiering av de tekniska egenskapskraven för återbruk av massiva betongelement.

3.9.1 Inventering, kartläggning och okulär besiktning

Inventering och kartläggning är ett sätt att uppskatta återbrukbarheten utifrån den information som finns tillgänglig [79]. Denna del av processen lägger en avgörande grund för identifieringen av vilka delar av en byggnad som kan återbrukas [80]. I en lathund utgiven av Byggföretagen [81] benämns några grundprinciper för att få till en effektiv återbruksinventering, som att dokumentera all väsentlig information samt lägga kostsam provtagning i ett så sent skede som möjligt utifall detta skulle kunna uteslutas. En rapport av Brander et al. [78] belyser att resurser måste läggas i ett tidigt stadie för att säkerställa att delarna som väljs ut för laboratorietester är representativa för byggnaden. Dessa resurser inkluderar inventering, kartläggning och okulär bedömning av elementen. Enligt Brander et al. [78] ligger kartläggningen till grund för både provuttag och provning, där kvaliteten på utförandet av det förstnämnda blir avgörande för tillfredsställelsen hos det sistnämnda.

Boverket har sedan 2023 publicerat *Återbruksprocessen* som en vägledning kring återbruk av bärverksdelar [79]. Processen beskrivs bestå av fyra huvuddelar varav den inledande delen är inventering. Boverket [79] definierar det inledande steget som att uppskatta byggnadsdelarnas återbrukbarhet utifrån den information som finns tillgänglig. Denna inventering innefattar både en undersökning kring vilka dokument och handlingar som finns att tillgå, samt en historisk inventering av byggnaden för att få kännedom kring hur byggnaden har använts [79].

RISE har utvecklat en metodik för kvalitetssäkring av betongelement inför återbruk [8] i form av en tjänst som bland annat innefattar analys av befintlig dokumentation samt platsbesök. Analys av befintlig dokumentation innebär genomgång av ritningar och tillverkningsdokumentation, medan platsbesök innefattar okulärbesiktning av element samt verifiering av dokumentation [8].

3.9.2 Provning och provuttag

Rapporten av Brander et al. [78] redogör för hur val av provuttag gått till inför både icke-förstörande och förstörande provning. Förstörande provning skedde genom kärnprover, där föregående kartläggning och okulär besiktning låg till grund för val av provuttag. Kartläggning och okulär besiktning låg även till grund för att identifiera eventuella skador på elementen [78].

I Boverkets återbruksprocess [79] benämns *Provning och klassificering* som en av de fyra huvuddelarna i processen. Boverket [79] definierar syftet med denna del som att utföra nödvändig provning för att bestämma bärverksdelens egenskaper och detektera eventuella skador för att uppfylla de krav som ställs. Bristfällig information om bärverket kräver generellt mer provning, där provningens omfattning direkt baserat på den tillgängliga dokumentationen [79].

I metodiken som RISE [8] utvecklat är icke-förstörande provning och provtagning av borrkärnor och armering två av de fem omfattande stegen för kvalitetssäkring av betongelement för återbruk. Metodiken ger förslag på lämpliga metoder gällande icke-förstörande provning, bland annat nämns georadar (GPR), studshammare och korrosionsmätning. Provtagning av borrkärnor och armering sker i laboratorium i syfte att kunna verifiera resultat från den icke-förstörande provningen, samt utföra tester som OFP inte täcker [8].

3.10 Provning inför återbruk

Som nämnts i tidigare kapitel, se avsnitt 3.3, måste återbrukade bärverksdelar uppfylla samma tekniska egenskapskrav som nyproducerade element. För att kunna visa att dessa krav är uppfyllda krävs verifiering av de faktiska egenskaperna hos elementet. Ofta krävs någon form av provning för att verifiera egenskaperna [69]. Detta kan göras med förstörande eller oförstörande metoder där förstörande metoder ofta är nödvändiga för att fastställa hållfasthetsegenskaper för bärverksdelar [69].

Att kunna uppskatta tryckhållfastheten hos betongelement i existerande byggnader är nödvändigt vid utvärdering av betongens kvalitet [82]. Det är inte helt ovanligt att information kring betongens specifikationer saknas, vilket gör tester av existerande byggnader för återbruk helt avgörande [82]. Generellt för alla testmetoder gäller att ju fler antal utförda tester, desto större säkerhet hos resultatet [83]. Oförstörande metoder erbjuder en lägre tilläggskostnad för varje provning, medan förstörande metoder via exempelvis kärnprover utgör en avsevärt högre kostnad för varje extra prov som utförs [83]. En avvägning måste därmed göras mellan val av testmetod och kostnaden för att erhålla en tillräckligt tillförlitlig uppskattning av tryckhållfastheten. Kärnprover, med sin högre kostnad, ger mer direkta och säkra resultat [83].

Detta kapitel belyser att provning utgör ett centralt verktyg i återbruksprocessen för att säkerställa att dagens tekniska egenskapskrav uppfylls för de återbrukade bärverksdelarna. Genom kombination av kunskap om regelverk från avsnitt 3.3, elementets livslängd och förutsättningar från avsnitt 3.4 samt de tidsberoende nedbrytningsprocesserna från avsnitt 3.5 kan en tillförlitlig teknisk bedömning göras inför återbruk och de nödvändiga provningsmetoderna appliceras på projektet.

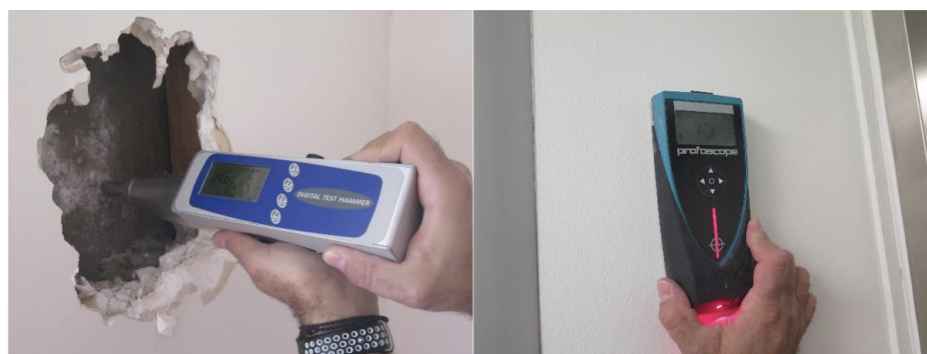
3.10.1 Oförstörande provning

Oförstörande provning (OFP) innebär att elementet förblir opåverkat vad gäller både estetik och funktion. OFP har en viss fördel vid återbruk eftersom ingen skada åsamkas elementen och därav krävs ingen restaurering för att återställa eventuell påverkan [69]. OFP kräver inget uttag av provkroppar och de är oftast enkla att utföra, samtidigt som de ger snabba och dugliga resultat [84]. Däremot kommer OFP med större osäkerheter eftersom metoden generellt endast ger en uppskattning av egenskaperna med hjälp av fysikaliska samband [69]. Det har konstaterats att OFP har en större spridning i resultatdata än förstörande prover, med en betydande avvikelse från faktiska experimentella värden fastställda i laboratorium [84].

OFP gör det möjligt att uppskatta betongens kvalitet utan att påverka dess prestanda i bruksgränstillståndet [85]. Det finns flera olika typer av oförstörande provning som kan kategoriseras utefter funktionssätt. I detta arbete benämns metoder inom kategorierna yt-, pulsutbrednings- samt elektromagnetiska metoder [85]. Det är även vanligt att kombinera flera av dessa. Figur 3.5 visar i vänster bild oförstörande provning med studshammare, och i höger bild oförstörande provning genom mätning av täckskikt. Majoriteten av ovannämnda metoder kan appliceras i syfte av att bestämma tryckhållfastheten hos betongen, med undantag för elektromagnetiska metoder som används vid lokalisering av armering [85]. Nedan i tabell 3.1 kategoriseras de metoder som behandlas i kapitlet.

Tabell 3.1: Oförstörande metoder som behandlas i kapitlet

Ytmetoder	Pulsutbredningsmetoder	Elektromagnetiska metoder
Studshammare	Ultraljudshastighet (UPV)	Georadar (GPR)



Figur 3.5: Vänster bild visar oförstörande provning med studshammare, höger bild visar mätning av täckskiktsdjup. Källa: RISE, *Quality assurance for reused concrete building elements*, 2023 [24]. Bild återgiven med tillåtelse.

Tryckhållfasthet

Studshammare är en typ av ytmetod vid oförstörande provning för att uppskatta tryckhållfastheten hos betong. Proceq, som är tillverkare av originalprodukten kallad Schmidt studshammare, beskriver själva att studshammaren är den mest använda metoden när det kommer till att estimerar tryckhållfastheten hos betong genom OFP [86]. Studshammaren estimerar betongens tryckhållfasthet genom ett samband med ytans återstudshårdhet. Hammaren består av en massa som via en fjädermekanism sätter en kolv i rörelse. Kolven kolliderar med betongens yta och ett återstudstal kan registreras (R-värde). Detta återstudstal korrelerar empiriskt med betongens tryckhållfasthet [87].

Återstudstalet är väldigt känsligt för variationer i betongen [88]. Stora aggregat precis där hammaren träffar kan leda till felaktigt höga värden, medan sprickor eller tomrum i betongen istället kan leda till felaktigt låga värden [88]. Övriga egenskaper hos betongen som också kan påverka återstudstalet är bland annat ytans fukthalt och textur,

betongens livslängd, rådande spänningsförhållanden, lokal nedbrytning eller sammansättningen hos betongen [87]. Begränsningar kring testmetoden finns beskrivet i SS-EN 13791 [83].

I den norska standarden NS 3682:2022 [72] för återbruk av HDF-bjälklag rekommenderas att provning med studshammare utförs på ett minimum av tre plattor, där minst var femte platta ska provas med studshammare i en serie av HDF-bjälklag.

Homogenitet och defekter

Pulsutbredningsmetoder kan användas för att estimerar egenskaper såsom homogenitet, strukturellt skick eller eventuella förekomster av defekter hos betongen. En metod som kan användas för detta är Ultraljudshastighet (UPV) [87]. Med UPV skickas en puls av longitudinella eller transversella vibrationer via en av två sändare. Pulsen plockas upp av den andra sändaren där den konverteras till en elektrisk signal, vilket tillåter mätning av hastighet och därav förflyttningstid för pulsvågen [89]. För direkta resultat från test med UPV krävs normalt åtkomst till båda sidor av den del av strukturen som ämnas testas [84].

I den svenska standarden SS-EN 12504-4 [89] beskrivs en metod för utförandet av provning med ultraljudshastighet. Där ges bland annat direktiv för placering av sändarna och tolkning av resultat. Olika metoder appliceras beroende på om sändarna placerats på motstående, intilliggande eller samma yta. Resultat från UPV test påverkas av faktorer som aggregatstorlek, betongens sammansättning, placering av armering, tomrum eller sprickor [84]. Ytterligare påverkande faktorer beskrivs även i Annex B i SS-EN 12504-4 [89].

Figur 3.6 visar skanning av en pelare från ett utav referensprojekten i kapitel 4 där homogenitet och defekter kontrolleras.



Figur 3.6: Bilden visar mätning av likformighet med icke-förstörande MIRA-anordning.
Källa: Swedish country cluster, ReCreate project, *Properties and quality of precast concrete elements deconstructed in ReCreate's pilots*, 2024 [90], Photo © TAU/Aapo Räsänen. Bild återgiven med tillåtelse.

Täckskikt, armeringens placering och diameter

Att ta reda på tätskiktets tjocklek är viktigt för att ta reda på i vilken grad armeringen riskerar att utsättas för korrosion, se avsnitt 3.5.4. Det är även viktigt att känna till täckskiktets tjocklek vid bedömning av karbonatiseringsdjup. Information kring armeringens placering och dimensioner är avgörande vid kartläggning av elementen. För att bestämma täckskiktets tjocklek, armeringens placering och armeringsstängernas diameter används ofta så kallade täckskiktetsmätare. Det finns flera olika varianter av dessa som bygger på bland annat pulsutbrednings- eller elektromagnetiska metoder [91]. Som namnet antyder kan täckskiktetsmätare mäta tjockleken på täckskiktet hos betongen men de kan även lokalisera armeringen, om än med större osäkerheter än andra metoder [91].

En elektromagnetisk metod för att bestämma placering och dimensioner på armeringen är georadar (GPR). GPR använder högfrekventa radiovågor för att penetrerar betongens yta [92]. Metoden kan användas i bärverksdelar av betong för att upptäcka och identifiera armeringsstänger [54]. Att känna till armeringens placering är bland annat viktigt då betongen ska sågas eller då uttag av provkroppar ska utföras [78]. I rap-

porten från Brander et al. [78] används GPR för att markera ut armeringsstängernas placering. I samma rapport benämns även GPR som ett verktyg för att kunna mäta armeringsstängernas dimensioner. Skanningen kan ge information kring antal byglar, deras inbördes avstånd samt det täckande betongskiktets tjocklek [78].

I SS-EN ISO 15630-1:2019 kapitel 10 [93] finns riktlinjer kring mätning av geometriska egenskaper hos armeringsstängerna. Där presenteras krav på precision hos mätningssinstrumentet samt mätningmetoder för bland annat diameter och djup av kammar på stängerna. Detta kräver dock att stängerna är självständiga, alltså separerade från betongen och därav kan det vara svårt att applicera dessa metoder inför återbruk på prefabricerade betongelement. I fallet för återbruk av hela element blir detta därmed en förstörande metod, se avsnitt 3.10.2.

3.10.2 Förstörande provning

Förstörande provning (FP) innebär att hela eller en del av elementet förbrukas under provningen [69]. FP ger direkta laboratorieresultat av egenskaperna och i många fall behöver endast en begränsad mängd av materialet provas. FP behöver alltså inte innebära att hela elementet blir obrukbart. Det är vanligt att FP ligger till grund för gruppbedömning av egenskaper [69]. Generellt så krävs en större omfattning av provning, mer specifikt förstörande provning, ju lägre kännedomen är kring byggnadens historia och ju mer bristfällig dokumentationen är [69].

Nedan benämns flera vanligt förekommande förstörande provningsmetoder som alla sker genom uttag av provkroppar eller avhuggning av betongytan.

Kärnprover för tryckhållfasthet

Vid uttag av kärnprover för bedömning av tryckhållfastheten borrar mindre kärnor ut från elementen som sedan testas i laboratoriemiljö. Kärnornas diameter styrs framförallt av aggregatstorleken i betongen då denna anses ha en avgörande inverkan på hållfastheten, specifikt då förhållandet aggregat:diameter är större än 1:3 [94].

I SS-EN 13791 [83] från Svenska institutet för standarder (SIS) finns riktlinjer kring bedömningen av tryckhållfastheten i färdiga betongkonstruktioner och förtillverkade betongelement. I SS-EN 206-1:2026 [95] tabell 10 definieras tryckhållfasthetsklasser för betong utifrån den karaktäristiska cylinder- och kubhållfastheten.

SS-EN 12504-1 [96] är en standard för provning av betong i färdiga konstruktioner. Den beskriver en metod för att göra uttag av kärnprover, bedömning av provuttag, förberedelse inför provning samt bedömning av tryckhållfasthet.

Den norska standarden NS 3682 [72] innehåller rekommendationer för minsta antal provkroppar vid återbruk av HDF-bjälklag. För förstörande provning av tryckhållfastheten fastställs ett minimum av åtta betongkärnor, där minst var tjugonde platta ska provas. Bland dessa åtta kärnor ska en minsta provserie av fyra prover från två olika element utföras [72].

Figur 3.7 visar uttag av betongkärnor från referensprojektet Kv. Yrket 3 i avsnitt 4.1.1.



Figur 3.7: Bilden visar uttagna betongkärnor från håldäck. Källa: RISE, *Rivningsobjekt från kostnad till resurs: Pilotstudie återbrukspotential för tunga stomdelar i två rivningsobjekt*, 2021 [78]. Bild återgiven med tillåtelse.

Karbonatiseringsdjup

Ett vanligt tillvägagångssätt vid mätning av karbonatiseringsdjup är att använda fenolftalein [97]. Fenolftalein används ofta som pH-indikator då den går från färglös till rött när pH-värdet ligger inom intervallet 8,5-10,4 [98]. Som tidigare nämnt har karbonatisering stor inverkan på betongens pH-värde, därmed är fenolftalein en effektiv metod för att mäta hur djupt karbonatiseringen har gått, se avsnitt 3.5.3. Provningskräver en bruten yta för att kunna mäta karbonatiseringsdjupet. Detta kan innebära uttag av kärnor eller att hugga bort små fragment av betongen för att exponera en färsk yta [97]. Med hjälp av fenolftalein-vätskan kan sedan proverna undersökas och karbonatiseringsdjupet avgöras. En mer detaljerad beskrivning av tillvägagångssättet återfinns i SS-EN 14630:2006 [97].

Figur 3.8 visar mätning av karbonatiseringsdjup med pH-indikator genom förstörande provning.



Figur 3.8: Bilden visar provkroppar från förstörande provning av karbonatiseringsdjup utförd med pH-indikator. Källa: RISE, *Quality assurance for reused concrete building elements*, 2023 [24]. Bild återgiven med tillåtelse.

Draghållfasthet hos armeringen

I SS-EN ISO 15630-1:2019 finns riktlinjer kring utförande av provning av draghållfastheten hos armering [93]. Kapitel 4 i denna standard presenterar specifika krav på provkroppen. Där betonas krav som kan vara svåra att uppnå för återbrukade element. Detta tillvägagångssätt kräver därmed omtolkning för att kunna appliceras på återbrukade stänger och resultaten bör därför analyseras kritiskt. I annan standard ISO 6892-1 [99] finns en rekommenderad metod för utförande då delar av spänningstöjnings diagrammet hos stålet är okänt.

Vidhäftningsförmåga hos armeringen

I SS-EN 10080:2005 [42] bilaga C beskrivs ett tillvägagångssätt för testning av vidhäftningsegenskaper för kamstål i balkelement. Metoden går ut på att provbelasta en balk i enkel böjning tills vidhäftningsbrott kring armeringen och betongen uppnås, alternativt tills brott sker i själva armeringsstålet.

Metoden klargör även att armeringen ska vara i "nyttillverkat" skick, och balken som provbelastas gjuts specifikt inför provningen. Även detta test kräver därför omvärdering och en kritisk utvärdering av resultaten för att kunna appliceras på återbrukade element.

Kombinerad förstörande och oförstörande provning

I fallet då oförstörande provning används i kombination med förstörande provning ska ett minimum av 10 test-par utföras, där oförstörande provning sker före förstörande provning [83]. Uttag av provkroppar till kärnprover bör utföras så att resultaten är direkt jämförbara med OFP, vilket skulle innebära att OFP redan utförts på just de element som även väljs ut till FP. Hela omfattningen av resultat från OFP bör kunna verifieras från FP. Resultat från kärnprover konverteras därefter till *in situ* tryckhållfasthet hos betongen och plottas mot *in situ* resultat från OFP. Sambandet mellan datapunkterna ligger till grund för att bedöma betongens tryckhållfasthet, detta görs vanligtvis genom linjär regression. Vidare i SS-EN 13791 finns vägledning kring hur ett medelvärde för den karakteristiska *in situ* tryckhållfastheten beräknas för ett område, eller ett mer specifikt värde för till exempel en punkt [83].

En studie vars syfte var att undersöka tillförlitligheten hos Schmidts studshammare med kärnprover utfördes av Alshaikh och Zeyad [100]. En slutsats som drogs efter analys av testresultat var att kärnprover ger betydligt mer tillförlitliga resultat när det kommer till tryckhållfastheten i jämförelse med Schmidt studshammare. Trots detta visade sig Schmidts studshammare ändå vara en effektiv metod för att bedöma *in situ* tryckhållfastheten hos betong. Studien påvisar även att en kombination mellan de två metoderna kan producera resultat som mer närmar sig standard cylinder- och kub-hållfastheter än vad som är möjligt med enbart en av metoderna. Schmidt studshammare kan med fördel användas i ett tidigt skede för att erhålla snabba resultat, samt även innebära att färre provkroppar för kärnprover behöver plockas ut [100].

3.10.3 Fullskalig provning

Fullskalig provning (eng: load test) innebär att ett helt element undersöks med hänsyn till bärförmåga, och alltså inte bara en begränsad del. Detta kan bli aktuellt då elementets egenskaper inte kan fastställas med tillräcklig säkerhet enbart genom dokumentation, ovan nämnda provningsmetoder och beräkningar. Boverket [69] beskriver att då dokumentation saknas eller det finns stora osäkerheter i indatan ökar behovet av provning. Fullskalig provning kan då användas för att direkt bestämma bärförmågan hos bärverksdelen under de givna lastförhållandena. Fullskalig provning kan användas vid behov för att verifiera prestandan hos återbrukade element men då detta ofta är dyrt och gör elementet obrukbart används det främst när andra verifieringsmetoder inte är tillräckliga eller i situationer med hög osäkerhet [24]. I den amerikanska standarden ACI Code-437.2-22 från American Concrete Institute [101] för fullskalig provning av konstruktionselement i betong beskrivs provningen vara nödvändig om det finns osäkerheter kring elementets bärförmåga eller då det inte är praktiskt genomförbart att mäta dimensioner och bestämma materialegenskaper för en strukturell analys [101].

Provningen utförs genom att den verkande lasten appliceras på elementet med lämplig säkerhetsfaktor, där nedböjning mäts under på- och avlastning. Mätningarna ger ett samband mellan spänning och töjning vilket ger information kring när elementet övergår från elastiskt till plastiskt beteende, samt när en brottlast uppnås [102]. Fullskalig provning syftar till att utföra tester på ett element med hänsyn till dess verkliga dimensioner. Provningen beaktar storlekseffekten på elementen i verklig skala [103]. Fullskalig provning på ett byggnadselement leder generellt till att elementet efter utförda tester måste kasseras, och kan därefter inte användas i en konstruktion [104]. SIS-CEN/TR 14862: 2008 [104] rekommenderar att fullskalig provning används på ett sådant sätt att det minskar osäkerheterna kring parametrar vid uppskattning av materialegenskaper. Dokumentet ger riktlinjer för hur fullskalig provning kan integreras för ett sådant ändamål.

Enligt Coronelli et al. [103] är en av utmaningarna med fullskalig provning att utföra testen med representativa upplagsvillkor för elementen, speciellt för bjälklag. I en rapport av Eslami et al. [105] som behandlar fullskalig provning inom geoteknik beskrivs provningsmetoden som allmänt svår, komplex, tidskrävande och även dyr att utföra. Därmed utförs endast fullskalig provning på ett fåtal utvalda element.

Figur 3.9 visar fullskalig provning av ett betongelement.



Figur 3.9: Bilden visar fullskalig provning på ett betongelement. Källa: egen bild.

3.10.4 Övrig provning

Förutom de ovannämnda provningsmetoderna finns det flera andra tester som kan vara av intresse för massiva betongbjälklag. Nedan presenteras några av de övriga provningarna som har återfunnits i litteraturen.

Farliga substanser

Bärverksdelar i befintliga byggnader kan vara utförda med material som idag inte längre är tillåtna, eller så kan de ha utsatts för yttre påverkan vilken medfört att de nu är farliga för hälsa och miljö [106]. Bärverksdelar som ämnas återbrukas ska enligt Plan- och bygglagen (2010:900) 10 kap. 6 [21] ingå i en materialinventering och kartläggning för vad som kan utgöra farligt avfall. Boverket [106] framför att inför återbruk kan en mer noggrann materialinventering krävas för bärverksdelarna i syfte av att kontrollera lämplighet inför det tänkta användningsområdet. Boverket ger även exempel på vanliga källor till hälso- och miljöfarliga ämnen hos bärverksdelar i betong som bland annat asbesthaltigt lim, fogmassor och golvmassor innehållande

PCB, kemikalier och oljespill som avger farliga ämnen, nedbrytningsprodukter från golvlim och PVC-mattor samt kloridinträngning.

Kloridinnehåll

I SS-EN 1992-1-1 [37] tabell 4.1 kopplas exponeringsklasserna samman med miljöbetingande effekter baserat på omgivande klimat. Exponeringsklass X0 och XC1 kategoriseras inte inom risk för korrosion orsakat av klorider. Element som enligt SS-EN 1992-1-1 [37] faller inom denna kategorin är bland annat vissa brodelar, bjälklag i parkeringsanläggningar eller delar av bärverk belägna i havet. För de fall där det är aktuellt att kontrollera kloridinnehåll kan kloridhalt bestämmas genom kemisk analys på borrprover enligt SS-EN 196-2 [107] tillämpad för härdad betong.

3.10.5 Gruppbedömning

I vissa fall kan gruppbedömning tillämpas för att minska mängden provningar som krävs [108]. Detta innebär att urvalsundersökningar eller stickprov används för att kunna dra slutsatser som antas gälla för hela gruppen av bärverksdelar. För att gruppbedömning ska kunna utföras finns det olika förutsättningar som kan behöva vara uppfyllda [108]. Dessa inkluderar bland annat att tillverkningsprocessen hos de olika delarna är samma och att delarna har haft likvärdig driftmiljö och mekanisk belastning.

Generellt gäller att bärverksdelar utan dokumentation inte ger någon kännedom om tillverkningsprocess och tidigare belastning [108]. Därav blir det mycket svårt att genom stickprov dra slutsatser om hela gruppen och gruppbedömning bör därför inte tillämpas. För bärverksdelar där viss dokumentation finns tillgänglig, tillräckligt för att med rimlig sannolikhet kunna anta att de har varit i drift under likvärdiga förhållanden och är tillverkade i samma fabrik, kan gruppbedömning baserad på statistiska metoder genomföras [108].

Då stickproven ska tas ut ur mängden görs en slumpmässig strategi generellt att urvalsfel minskar [108]. Genom att använda en slumpmässig urvalsmetod har alla bärverksdelar i gruppen samma sannolikhet att bli valda. I vissa situationer kan även andra metoder vara lämpliga, beroende på vilka förutsättningar som finns för provning [108].

En viktig aspekt att överväga då gruppbedömning ska användas är att det är av stor vikt att detektera alla bärverksdelar med signifikant avvikande egenskaper [108]. Som nämnt i tidigare kapitel är betong ett material vars egenskaper förändras över tid och därav är det viktigt att ha kännedom om vad som påverkar de mekaniska egenskaperna hos bärverksdelar, se avsnitt 3.5.

3.11 Statistisk utvärdering av provresultat

För att kunna utvärdera elementen och provresultaten erhållna från både förstörande och oförstörande provning är det vanligt att statistiska utvärderingsmetoder används.

Provresultaten förväntas visa på naturlig variation av materialegenskaperna inom elementet och därav krävs analys av resultaten för att erhålla ett slutgiltigt värde.

Parametrar som exempelvis betongens tryckhållfasthet anses vara en stokastisk variabel, därav utgör detta en stor utmaning i tillförlitlighetsbedömningar [109]. En stokastisk variabel syftar till resultatet av ett slumpmässigt försök och dess utfall ges som reella värden [110]. I en studie av Croce et al. [109] presenteras en “objektiv” metod för bestämning av elements betongklasser och utvärdering av parametrar såsom exempelvis medelvärde och standardavvikelse. Metoden baseras på Gaussian Mixture Models (GMM). GMM är en fördelningsfunktion (PDF) som representeras av en viktad summa av tätheten hos de olika komponenterna [111]. Med GMM kan en fördelning av mätvärdena ges i form av exempelvis ett histogram eller en funktion där spridningen av värdena samt vart de centreras tydligt kan ses [111].

Metoden som presenteras i Croce et al. [109] är indelad i fem steg. Det första steget är Historisk utvärdering och genomgång av dokumentation. Steg två är insamling av data vilket motsvarar den förstörande och oförstörande provningen, se avsnitt 3.10. En utmaning som tas upp för detta steg är antalet prover som behöver göras. Det beskrivs att i många fall kan detta inte bestämmas helt i förhand utan kan behöva omvärderas under tiden för att nå tillräcklig säkerhet i resultaten [109]. Det tredje steget beskrivs som en gruppanalys baserad på GMM. Detta innebär att mätvärdena delas in i olika grupper, där varje grupp har en egen sannolikhetsfördelning. Dessa grupper representerar sedan de olika betongklasserna. För att kunna dela in mätvärdena i de olika grupperna används en Expectation-Maximization algoritmen (EM). Detta innebär att man startar med att gissa hur många grupper som finns och vart de ungefär ligger. Varje mätvärde tilldelas sedan en sannolikhet för att tillhöra just den gruppen. Därefter uppdateras grupperna baserat på dessa sannolikheter och denna process upprepas tills dess att resultatet inte längre ändras [109]. Genom detta fås en fördelning av mätdatan som sedan kan användas för att bestämma betongklass.

I metodens fjärde steg översätts denna fördelning av grupper till faktiska betongklasser [109]. Medelvärdet och standardavvikelsen för varje grupp identifieras och grupper som anses “dåliga” eller avvikande sorteras bort. Det sista steget i metoden består av utvärdering av resultatet och analys av osäkerheter. Eftersom resultatet baseras på slumpmässiga variabler måste en utvärdering av dess trovärdighet göras. Om resultatet anses osäkert bör mer mätdata tas fram, alltså fler tester göras [109].

3.11.1 Bayesian Updating

Bayesian updating är en vanlig metod vid statistisk utvärdering av data. Det är ett effektivt sätt att kombinera ny information med redan existerande modeller [112]. Med hjälp av denna typ av analys kan tidigare probabilistiska modeller kombineras med ny data och nya observationer för att uppdatera resultatet till den nu gällande situationen. Bayesian updating är ett vanligt förekommande verktyg inom tillförlitlighets- och riskbedömning [112].

Uppdateringen av modellen sker enligt 3.4, Bayes theorem [113]. I princip är utgångspunkten en uppskattning som sedan förbättras i och med att mer mätdata görs till-

gänglig [113]. $P(A)$ representerar den tidigare kunskapen eller uppskattningen, detta kan exempelvis vara befintliga ritningar där ungefärlig betongkvalitet framgår. $P(B)$ är den insamlade datan, exempelvis resultat från provning. $P(B|A)$ beskriver hur sannolika mätdata är givet de verkliga förhållandena. $P(A|B)$ ger sedan den uppdaterade kunskapen efter att mätdata har beaktats.

$$P(A | B) = \frac{P(B | A) P(A)}{P(B)} \quad (3.4)$$

Att uppdatera resultaten efter hand är ett sätt att effektivisera verifieringen och undvika överdriven provning då arbetet kan börja i mindre skala och jobba sig uppåt tills ett tillförlitligt resultat erhålls [112].

3.11.2 Beräkning av karakteristiskt värde från provresultat

I SS-EN 1990 bilaga D7 [114] finns en vägledning för bestämning av det karakteristiska värdet vid dimensionering. Där presenteras följande formel, se 3.5.

$$X_k = m_x (1 - k_n \cdot V_x) \quad (3.5)$$

där

X_k är det karakteristiska värdet på egenskapen som ska bestämmas,

m_x är medelvärde för n stycken provresultat,

k_n är fraktilfaktorn som kan hämtas från tabell D.1 i SS-EN 1990 bilaga D7 [114],

V_x är variationskoefficienten för X vilken kan beräknas enligt 3.6.

$$V_x = \frac{s_x}{m_x} \quad (3.6)$$

där s_x är standardavvikelsen vilken beräknas enligt 3.7.

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - m_x)^2} \quad (3.7)$$

4 Litteraturstudie del 2: Studie av referensprojekt

I litteraturstudiens andra del presenteras en rad referensprojekt som alla syftar till återbruk av bärande betongelement. Med utgångspunkt i den teoretiska bakgrunden som presenterats i Kapitel 3 har relevanta steg i återbruksprocessen identifierats. Dessa steg har använts som ett analytiskt ramverk för att jämföra och granska referensprojektens återbruksprocesser. Syftet är att studien av referensprojekten ska ge en överblick över hur väl det praktiska förfarandet stämmer överens med teorin

4.1 Ingående referensprojekt i studien

4.1.1 Återhus

Återhus är ett pågående innovationsprojekt med målet att definiera arbetssteg för att säkerställer kvalitet både i genomförande, material och produkt vid återbruk av byggnadselement [115]. Projektet förenar flera samverkanspartners som går att återfinna på projektets egna hemsida, bl.a. Akademiska Hus, NCC, Svensk Betong och RISE. Återhus genomförs genom ett flertal demonstrationsprojekt där lösningar och delar av den framtagna processen testas. Projektet befinner sig i nuläget i sin tredje etapp vilken fokuserar på bland annat att anpassa de framarbetade metoderna för att uppfylla lagkrav för återbruk. Den specifika inriktningen är att systematisera återbruk för bland annat prefabricerade element och platsgjuten betong [116].

Ett antal av de projekt som ingår i Återhusprojektets etapp 2 har studerats, dessa presenteras nedan.

Kv. Yrket 3

Kv. Yrket 3 var ett av pilotprojekten i Återhus etapp 2. Information kring projektet återfanns i slutrapporten av Ackebo och Wall [117]. Projektet återfanns i Solna och bestod av en tre våningar hög kontorsdel samt en lagerlokal [78]. Byggnaden var från 1980-talet och stommen bestod mestadels av prefabricerad betong i form av HDF-bjälklag och TT-kassetter [117]. Den tillgängliga dokumentationen för projektet bestod främst av relationsritningar. Dessa omfattade inte detaljer om alla ingående anslutningar eller betongelement [78].

En bild från skanning av armeringen kan ses i Figur 4.1, stående armeringsstänger och liggande byglar har markerats ut och kartlagts med Georadar, där den gulgröna cirkeln markerar uttag för borrhäls.



Figur 4.1: Bilden visar en pelare från Kv. Yrket 3. Källa: RISE, *Rivningsobjekt från kostnad till resurs: Pilotstudie återbrukspotential för tunga stomdelar i två rivningsobjekt*, 2021 [78]. Bild återgiven med tillåtelse.

Bilia Haga Norr

Bilia Haga Norr var ytterligare ett av pilotprojekten i Återhus etapp 2 där information kring projektet återfanns i slutrapporten av Ackebo och Wall [117]. Enligt rapporten uppfördes originalbyggnaden på 1970-talet med en prefabricerad betongstomme (HDF) och demonterades under 2021. Projektet låg i Solna och omfattades innan demontering av kontor samt en utställningshall för bilar [117]. Rapporten redogjorde för de ritningsunderlag som fanns tillgängliga i form av övergripande konstruktionsritningar, men dokumentation kring HDF-bjälklag saknades [117].

Kv. Hugin

Kv. Hugin ingick som pilotprojekt i Återhus etapp 2 precis som ovannämnda projekt. Enligt Ackebo och Wall [117] var det ett kontorshus från 1970-talet med en platsgjuten betongstomme lokaliserad i Uppsala. Enligt Suchorzewski et al. [118] fanns ingen teknisk dokumentation tillgänglig för analys av betongstommen.

Lindome Centrum, Yrket 4, Eklund 1, Teknikhöjden, Vårby Udde

För samtliga demoprojekt Lindome Centrum, Yrket 4, Eklund 1, Teknikhöjden och Vårby Udde, i återhus etapp 2 beskrevs samma testmetoder ha applicerats och ingen projektspecifik skillnad har kunnat utläsas från Suchorzewski et al. [77]. Byggnaderna var placerade på olika orter i landet och samtliga upprättades runt 1970/80 - talet. Yrket 4 byggdes med en stomme av HDF-bjälklag medan resterande hade en stomme av platsgjuten betong [77]. I de studerade rapporterna framgick det inte vilken typ av dokumentation som funnits tillgänglig.

Figur 3.8 visar en bild på referensprojektet Yrket 4.



Figur 4.2: Bilden visar referensprojektet Yrket 4. Källa: RISE, *Quality assurance for reused concrete building elements*, 2023 [24]. Bild återgiven med tillåtelse.

4.1.2 ReCreate

ReCreate är ett pågående återbruksprojekt finansierat av Europeiska Unionen vilket syftar till att underlätta återbruket av prefabricerade betongelement [119]. En rad olika företag och fakulteter är delaktiga i projektet, bland annat Skanska, Ramboll, KTH, Helsingborgshem och Tampere University. Projektet består av elva arbetspaket där varje paket behandlar olika delar av återbruksprocessen. Pilotprojekt i Finland, Sverige, Nederländerna och Tyskland används för att utforska utmaningarna och möjligheterna kring återbruk av betongelement [119].

ReCreates tre pilotprojekt beskrevs i rapporten av Räsänen et al. [90] där information i olika utsträckning gavs kring befintlig stomme, tillgänglig dokumentation, genomförd provning av tekniska egenskaper samt resultat från dessa. Samtliga byggnader valdes ut till så kallade “donatorbyggnader” utefter lämplighet, i syfte att i framtiden kunna återbruka element från dessa byggnader.

Finland

Byggnaden i Tampere, Finland var en kontorslokal med sju våningar byggd på 1980-talet och visas i figur 4.3. Stommen bestod helt av prefabricerade betongelement med pelare, balkar och håldäckselement. De stomelement som ämnats återbrukas hade tidigare befunnit sig i inomhusmiljö, därav ansågs det lämpligt att återbruka dessa som element inomhus även i den nya byggnaden [119]. Dokumentation kring geometri, storlek, mängd och kapacitet hos armeringen samt betongens ursprungliga tryckhållfasthet fanns tillgänglig, men tekniska beskrivningar och ritningar för håldäcken saknades [90].



Figur 4.3: Bilden visar donatorbyggnaden i Tampere, Finland. Källa: Swedish country cluster, ReCreate project, *Properties and quality of precast concrete elements deconstructed in ReCreate's pilots*, 2024 [90], Photo © TAU/Heikki Vuorinen. Bild återgiven med tillåtelse.

Sverige

Inom ReCreate projektet utsågs två byggnader till donatorbyggnader i Sverige, tillsammans med HDF-bjälklag som kasserats direkt från fabrikstillverkningen. Byggnaderna återfanns i området Drottninghög i Helsingborg. Den ena av byggnaderna, som återfanns i kvarteret Drottninghög västra 1, byggdes 1967-1968 och var ett lägenhetskomplex. Stommen bestod av längsgående lastbärande väggelement i betong och bjälklagen var av massiva prefabricerade betongplattor. Från denna donatorbyggnad studerades två väggelement och en golvplatta [90]. Den andra byggnaden kom från industribyggnaden Huggjärnet 13 [90]. Denna byggdes 1966 och den lastbärande konstruktionen bestod av betongpelare och balkar som hade varit skyddade från exponering i utomhusmiljö.

Dokumentation från båda byggnaderna fanns tillgänglig i form av originalritningar där betongens tryckhållfasthet och geometri samt armeringens kapacitet och placering framgick [90].

Nederländerna

Det nederländska projektet var en kontorsbyggnad i Arnhem vid namn Prinsenhof som byggdes 1988 [90]. Hela strukturen bestod av prefabricerade betongelement där bjälklagen speciellt bestod av håldäck. För detta projekt fanns tillgång till dokumentation såsom strukturella ritningar av anslutningar, sektions- och planritningar och fabriksritningar av de prefabricerade elementen [90].

4.1.3 Triemli Personalhäuser - Zürich

Triemli Personalhäuser var ett referensprojekt som beskrevs i en rapport av Devènes et al. [120] där verifiering av tekniska egenskaper inför återbruk genomförts på tre identiska byggnader i sjukhusområdet Triemli i Zürich. Byggnaderna uppfördes mellan 1964 och 1969 och bestod av platsgjutna betongplattor och väggar. Väggar, plattor och fasadelement har alla undersökts för att avgöra återbrukspotentialen. Den tillgängliga dokumentationen bestod av konstruktionsritningar, planritningar och renoveringsplaner [120].

4.1.4 RebuiLT pavillion

RebuiLT pavillion i Schweiz var ett projekt med målet att utforska, undersöka och främja återanvändandet av bland annat betongelement i befintliga byggnader och detta beskrevs i en rapport av Küpfer et al. [121]. Enligt Küpfer et al. [121] hade projektet en donatorbyggnad belägen i närheten som var uppbyggd under 1970-talet. Projektet ämnade återbruka förspända massiva platsgjutna betongplattor från donatorbyggnaden. Befintlig dokumentation var bristfällig och information kring betongelementen var i princip okänd enligt Küpfer et al. [121]. I rapporten beskrevs den tillgängliga dokumentationen i princip endast ha bestått av arkitekturritningar från 1974.

4.2 Jämförelse av referensprojekt

Utifrån teorin i kapitel 3 har provningsmetoder och tillvägagångssätt för att verifiera de tekniska egenskaperna hos elementen enligt Plan- och bygglagen (2010:900) [21] identifierats. Dessa metoder och tillvägagångssätt har sorterats och delats in i fyra huvudsteg: Okulär besiktning, Oförstörande provning, Förstörande provning och Fullskalig provning. Under huvudstegen för oförstörande- och förstörande provning har en vidare uppdelning gjorts för olika parametrar att verifiera

I tabell 4.1 redovisas respektive referensprojekt och ovannämnda steg har identifierats med hänsyn till projektens beskrivningar. För de steg som genomförts enligt beskrivningarna har cellerna i tabellen markerats med grönt och för de steg som ej benämnts har cellen lämnats ofärgad. Sammanställningen har enbart baserats på tillgänglig information i de allmänt publicerade rapporterna. Enbart provningar som benämnts direkt eller resultat som direkt kan kopplas till en specifik provningsmetod har beaktats som

“genomförda” och därmed grönmarkerats i tabell 4.1. I de fall då otydligheter kring moment förekommit har ett konservativt tillvägagångssätt applicerats och dessa har då valts att exkluderas. I tabell 4.1 i Bilaga C framgår även vilka metoder som har använts för att bestämma respektive egenskap.

Tabell 4.1: Sammanställning av metoder som tillämpats för referensprojekten

Referensprojekt	Visuell inspektion	Oförstörande provning	Förstörande provning	Fullskalig provning
Tampere	Okulär besiktning	Betongkvalitet Täckande betongskikt Placering av armering Diameter armeringsstänger Homogenitet & defekter	Tryckhållfasthet Karbonatiseringsdjup Kloridinnehåll Farliga substanser	Load test
Drottninghög	Okulär besiktning	Betongkvalitet Täckande betongskikt Placering av armering Diameter armeringsstänger Homogenitet & defekter	Tryckhållfasthet Karbonatiseringsdjup Kloridinnehåll Farliga substanser	Load test
Prinsenhof	Okulär besiktning	Betongkvalitet Täckande betongskikt Placering av armering Diameter armeringsstänger Homogenitet & defekter	Tryckhållfasthet Karbonatiseringsdjup Kloridinnehåll Farliga substanser	Load test
Triemli	Okulär besiktning	Betongkvalitet Täckande betongskikt Placering av armering Diameter armeringsstänger Homogenitet & defekter	Tryckhållfasthet Karbonatiseringsdjup Kloridinnehåll Farliga substanser	Load test
Bilia Haga	Okulär besiktning	Betongkvalitet Täckande betongskikt Placering av armering Diameter armeringsstänger Homogenitet & defekter	Tryckhållfasthet Karbonatiseringsdjup Kloridinnehåll Farliga substanser	Load test
Yrket 3	Okulär besiktning	Betongkvalitet Täckande betongskikt Placering av armering Diameter armeringsstänger Homogenitet & defekter	Tryckhållfasthet Karbonatiseringsdjup Kloridinnehåll Farliga substanser	Load test

Fortsätter på nästa sida

Referensprojekt	Visuell inspektion	Oförstörande provning	Förstörande provning	Fullskalig provning
Hugin	Okulär besiktning	Betongkvalitet Täckande betongskikt Placering av armering Diameter armeringsstänger Homogenitet & defekter	Tryckhållfasthet Karbonatiseringsdjup Kloridinnehåll Farliga substanser	Load test
Lindome m.m	Okulär besiktning	Betongkvalitet Täckande betongskikt Placering av armering Diameter armeringsstänger Homogenitet & defekter	Tryckhållfasthet Karbonatiseringsdjup Kloridinnehåll Farliga substanser	Load test
RebuiLT	Okulär besiktning	Betongkvalitet Täckande betongskikt Placering av armering Diameter armeringsstänger Homogenitet & defekter	Tryckhållfasthet Karbonatiseringsdjup Kloridinnehåll Farliga substanser	Load test

4.3 Tolkning av resultat och slutsatser från studie av referensprojekt

Som kan ses i tabell 4.1 framgår det att alla referensprojekt har gjort ett inledande platsbesök för att utföra en okulär besiktning. Detta anses därför vara ett viktigt steg i verifieringsprocessen för att göra en kartläggning av hur provningen ska gå till. Alla referensprojekt har använt kärnprover för att kontrollera tryckhållfastheten hos betongen. Även karbonatiseringsdjup och kloridinnehåll var vanligt förekommande förstörande prover. Mätning av karbonatiseringsdjupet var något mer frekvent förekommande än mätning av kloridinnehåll, detta antas bero på projektens olika förutsättningar. När det kommer till oförstörande provning har både studshammare för bestämning av tryckhållfasthet hos betongen samt GPR för bestämning av armeringens placering, diameter och täckskikt i flera av projekten använts, medan specifik provning av homogenitet och defekter endast benämnts i ett av referensprojekten.

För projektet i Tampere i Finland och Prinsenhof i Nederländerna har fullskalig provning utförts, benämnt "load test". Dessa har utförts genom att applicera last på hela element och inte bara på bitar av de sammanverkande delarna. I Tampere i Finland användes fullskalig provning även för att estimerar draghållfastheten hos armeringen. Det framgick inte att denna typ av provning har utförts i något av de andra referensprojekten. För båda projekten Tampere och Prinsenhof utfördes separata provningar av betongens tryckhållfasthet via trycktest av kärnprover tillsammans med fullskalig provning. För båda projekten användes den uppmätta tryckhållfastheten och information från originalritningarna för att beräkna en teoretisk brottslast som därefter kunde jämföras med den uppmätta från den fullskaliga provningen. Detta förekom

inte i något annat av referensprojekten

Slutsatserna som kan dras från detta är att en initial visuell inspektion i form av ett platsbesök där okulär besiktning av elementen utförs anses relevant för vidare kartläggning av provningsfasen. Detta är ett viktigt steg för att kunna avgöra vilka element som ska provas och med vilka metoder. Därefter anses oförstörande provningsmetoder för uppskattning av betongkvalitet och armeringens utformning och placering vara relevant följt av verifiering genom förstörande metoder såsom uttag av borrhärdar för tryckhållfasthetstester och bedömning av karbonatiseringsdjup.

Även om tillvägagångssättet för de olika projekten har flera likheter är det fortfarande tydligt att de skiljer sig åt på flera punkter, vilket kan antas bero på att projekten haft olika förutsättningar i frågan om befintlig dokumentation. Detta belyser att tillvägagångssättet för verifiering blir väldigt projektspecifikt.

5 Intervjustudie - Resultat

Inför intervjustudien har sju intervjuer genomförts med respondenter som har erfarenhet från branschen inom områdena betongkonstruktioner och/eller återbruk. Intervjuerna har hållits separat och är upplagda på ett semi-strukturellt sätt där öppna frågor ställs för att få utvecklade svar. Frågorna har anpassats till respektive respondents erfarenheter och roll, vilket innebär att alla respondenter inte har blivit ställda samma frågor. Nedan följer en sammanställning om vad som sades från respektive intervju. Informationen som framgår är enbart baserad på vad som sagts under intervjun och inga egna värderingar eller slutsatser har dragits i följande stycken. De fullständiga sammanställningarna av varje intervju kan återfinnas i Bilaga B.

5.1 Utmaningar

Alla respondenter belyser att frågan kring återbruk av bärande betongelement inte är enkel. Det finns flera utmaningar som spelar in i processen varav ekonomiska, logistiska och administrativa faktorer är några av de som lyfts under intervjuerna.

Flera av respondenterna uppmärksammar att återbruk är något som diskuteras i mer eller mindre alla projekt och är något som många är positivt inställda till, men trots detta är det väldigt få som väljer att gå vidare och faktiskt genomföra återbruket. Den ekonomiska frågan anses vara en stor bidragande faktor till detta utfall. Det är i de flesta fall mycket billigare att producera nytt än att använda återbrukade element. Att genomföra alla de steg och prover som krävs vid verifieringen kostar både arbetskraft och pengar, vilket många gånger blir avgörande för om återbruket anses gynnsamt att genomföra eller inte.

En annan utmaning som lyfts fram av flera av respondenterna är det begränsade utbudet av tillgängliga element. Planlösningen för återbrukade element i ett nytt bygge blir väldigt låst till de dimensioner och spännvidder som finns tillgängliga. För att kunna återbrukas måste dessa element matchas in i det nya projektet eller tvärtom. Till skillnad från nya betongelement som kan tillverkas utefter hur byggnaden önskas se ut, måste byggnaden nu istället utformas efter hur elementen ser ut vilket medför begränsningar i projekteringen. På det sättet kan den nya byggnaden optimera användandet av de återbrukade elementen.

Ytterligare en faktor är demonteringsmomentet av processen och dess svårigheter och logistiska problem. För att kunna överväga om element i en stomme ska kunna återbrukas krävs det att demonteringen sker på ett kontrollerat sätt. Elementen ska kunna lyftas ner utan att de tar skada och måste sedan lagras och transporteras på ett sätt så att egenskaperna bevaras. Detta i sig kräver både tid, pengar och kompetens. En av respondenterna är särskilt skeptisk till möjligheterna för återbruk och belyser att ett hus inte bara består av en demonterbar stomme utan även av klimatskydd och

installationer mm. Det krävs ett väldigt konservativt tänk redan från början för att kunna skilja dem åt. Respondenten poängterar att hus i första hand byggs för att stå där de står, inte för att demonteras och att detta därför är en av de stora utmaningarna. Vid återbruk av element kommer man aldrig att starta vid noll och det kan därför bli viktigt att överväga hur aspekter så som reparationer eller skyddande åtgärder kan utnyttjas och hur varje element ska användas.

5.2 Dokumentation, provning och erfarenhet

Många av respondenterna betonar att den tillgängliga dokumentationen har stor betydelse för hur återbruksprocessen utspelar sig. Nyckeln för att genomföra verifiering av ett betongelements tekniska egenskaper inför återbruk är den information och data som finns tillgänglig kring elementet. Utan teknisk dokumentation blir det svårt att genomföra återbruket på ett strukturellt tillförlitligt sätt, menar en av respondenterna. Nästan alla övriga respondenter delar åsikten kring att om tillverkningsdokumentationen saknas så försvåras processen avsevärt och omfattande provning kommer att behövas, med något undantag för de fall där gruppbedömning kan appliceras.

Vid det fallet då dokumentationen är bristfällig eller helt saknas anser respondenten att återbruk blir väldigt svårt att genomföra utifrån ett ekonomiskt perspektiv. Om teknisk information saknas behöver en större mängd undersökningar utföras bland annat kring armeringens mängd och placering samt materialegenskaper. Efter det kommer ytterligare en utmaning kring att koppla de verifierade egenskaperna till de specifika elementen. En av respondenterna betonar denna problematik då det är en sak att ta reda på informationen som krävs inför återbruket, och en annan att förvalta denna i praktiken. Speciellt i de fallen då elementen behöver lagras.

Vid provning för verifiering av de tekniska egenskapskraven diskuteras framförallt kring huruvida oförstörande provning skulle kunna användas som ett komplement för förstörande provning. Frågan om oförstörande provning skulle kunna tillåta att mindre förstörande provning behöver utföras lyfts. En av respondenterna förklarar att OFP i praktiken används för att bedöma om man har att göra med samma kvalitet genom hela konstruktionen, vilket tillåter skapandet av så kallade kontrollpartier. Mängdprovning behöver därefter utföras för varje kontrollparti. OFP används mer som ett underlag för FP, en slags uppskattning som sedan behöver bekräftas. Ytterligare en respondent tar upp att användandet av oförstörande provning kan minska omfattningen av den förstörande provningen.

Vid frågan kring hur många antal prover/provkroppar som ska testas svarar en av respondenterna att det finns metoder att tillämpa så som konfidensintervall och beräkning av tillåten felmarginal. I den norska standarden för håldäck (NS 3682) har urvalet av antalet tester baserats mer på praktik och erfarenhet vilket också är ett möjligt tillvägagångssätt, berättar respondenten. Annars gäller det att värdera resultaten genom statistiska beräkningar, därefter kan en bedömning göras kring om antalet prover var tillräckliga eller inte. Alltså börja i mindre skala och sedan göra fler tester tills resultatet verkar tillförlitligt.

En av respondenterna menar att om ett enskilt element ska användas på samma sätt med samma last men i en ny konstruktion behöver egentligen inga tester göras, förutsatt att elementet inte skadas i flytten. Det är ofta testerna handlar mer om att bekräfta och ha något att luta sig tillbaka på, det blir överdrivet. Däremot så är det väldigt problemberoende och svårt att avgöra generellt. Om elementet ska användas för andra laster kan det vara viktigt att ta reda på exempelvis armeringsinnehåll. Respondenten belyser exemplet att om ett bjälklag i en bostad, som har funnits där och använts i flera år, ämnas återbrukas i en ny byggnad där det kommer fylla exakt samma funktion, borde kunna ses som verifierat genom att det redan har använts och fungerar. Om bjälklaget däremot ska användas på ett nytt sätt måste elementets egenskaper förstas undersökas, vilket kan göra att vissa tester blir relevanta. Problemet med överdriven verifiering och provning kvarstår dock menar respondenten, detta i sig får en negativ inverkan på återbruk då varje test kostar både tid och pengar, vilket gör att färre aktörer är benägna att implementera det i projekten.

Erfarenheten hos konstruktören och dennes roll i återbruksprocessen diskuterades med alla respondenter. Flera anser att det spelar stor roll för projektets utfall vilken erfarenhet verkande konstruktörer och aktörer har inom återbruk. Eftersom det inte finns någon tydlig vägledning inom återbruksfrågan, krävs det enligt en av respondenterna lite mod för att våga gå dit och då är erfarenhet en viktig del. En annan respondent menar att det har diskuterats kring huruvida ett kompetenskrav ska upprättas för dessa typer av bedömningar, men diskussionen har landat i att detta skulle kännas orimligt. Det anses att alla utbildade konstruktörer i grunden har kunskapen som krävs inom sammanhanget för att göra de tekniska bedömningarna.

När det kommer till frågan om hur litteraturen och praktiken skiljer sig åt vid verifiering av tekniska egenskapskrav menar flera av respondenterna att de två fallen skiljer sig åt. En av respondenterna lägger mycket tyngd vid att litteraturen och det akademiska behandlar överdriven verifiering medan man i praktiken inte behöver gå igenom alla de steg som benämns i litteraturen. En annan respondent belyser att det i litteraturen ofta läggs fokus på att vara på den säkra sidan medan det i praktiken inte är så lätt. I verkligheten måste någon utföra och betala för alla de tester som efterfrågas och därav blir det i praktiken mer fokus på att avgöra vad som faktiskt är relevant för det aktuella projektet.

5.3 Märkning och standarders hantering av återbruk

Vid frågan kring huruvida regelverken och standarderna tar hänsyn till återbruk svarar flera av respondenterna att de är utvecklade för, och har sitt största fokus på nya byggnader med nyttillverkade element. Det uppges inte finnas något formellt hinder för återbruk, men de är inte optimalt anpassade för det. CE-märkningar och typgodkännanden gör det lättare för byggherren eftersom att den själv inte behöver ta reda på elementets egenskaper utan kan genom märkningen lita på att de är tillräckliga. För återbrukade element där en sådan typ av märkning ännu inte finns behöver alltså byggherren själv ta reda på, och ta ansvar, för att egenskaperna är tillräckliga i enlighet med våra lagkrav och standarder. Enligt en av respondenterna gör detta att det inom branschen finns en viss okunskap bland aktörerna om vad kraven egentligen

säger. Självklart är det alltid någon som känner till dem men systemet är ofta uppbyggt på ett sådant sätt att verifiering av element sker genom CE-märkning. Denna kvalitetskontroll sker ofta på annan ort, vilket i praktiken innebär att den enskilda aktören inte alltid är så involverad i själva verifieringsprocessen.

I dagsläget finns det inte några vedertagna certifieringsmärkningar som går att tillämpa på element vid återbruk. Dessutom är många av de objekt som kan tänkas demonteras inför återbruk äldre än de harmoniserade standarderna, vilket gör att elementen inte kan jämföras mot dessa samt att det vid uppförandet av byggnaden förmodligen fanns andra gällande regler än de som finns idag. Någonstans är kraven inte uppnåbara för återbrukade material, det kanske inte går att bestyrka egenskaperna hos ett element för att företaget som tillverkade produkten finns inte kvar, inga recept kan återfinnas och annan viktig information saknas. På senare år har omskrivningar börjat göras, exempelvis att skriva bedömda egenskaper istället för bestyrkta och i praktiken gör det genast stora skillnader. Det är den här sortens omskrivningar som krävs för att göra återbruk möjligt. Vid återbruk menar flera av respondenterna att det är värt att notera att standarderna och speciellt de harmoniserade standarderna inte är gällande krav utan bara en branschöverenskommelse. En konstruktör kan frångå standardens rekommendationer om denne känner sig trygg i detta och har tillräckligt med kunskap för att påvisa att den alternativa lösningen fungerar.

En av respondenterna belyser att för återbruksprojekt i Sverige är det i dagsläget vanligt att förlita sig på standarder från utlandet, eftersom dagens svenska standarder inte behandlar denna typ av problematik tillräckligt. Många nämner den nya svenska standarden som håller på att utvecklas och som rör återbruk av betong. En av respondenterna är delaktig i framtagandet av denna standard. Vid diskussion kring detta framgår det att den norska standarden (NS 3682:2022) kring återbruk av håldäck använts som utgångspunkt för denna.

En av respondenterna som under lång tid varit med och utvecklat Eurokoderna meddelar att i utvecklingen av den nya Eurokod 2 kommer bärighetsberäkning av befintliga betongkonstruktioner att ingå. Nya standarder är under utveckling som ska hantera just frågor kring hur vi ska undersöka dessa element efter att de plockats ut och hur vi ska bedöma deras prestanda inför återbruk i nya byggnader. Denna nya Eurokod ska bland annat täcka provning och vägledning ska kunna fås kring hur många prover som ska plockas ut ur befintliga konstruktioner, samt tester för att få fram armeringsmängd och betonghållfasthet.

Alla respondenter är överens om att en standard krävs för att främja återbruket och möjliggöra det i större utsträckning. I diskussionen mellan ingenjörer, arkitekter och beställare kan de nya svenska standarderna om återbruk underlätta processen och ge riktlinjer för vad som ska, behöver och kan göras.

5.4 Framtiden för återbruk av bärverksdelar

De flesta av respondenterna är överens om att de tror att efterfrågan på återbrukade byggnadselement i framtiden kommer att öka. Det finns potential för uppskalning av

detta område och i framtiden kan det till och med komma att behövas då klimatkrisen blir allt mer påtaglig. En ökad kostnad för utsläpp av koldioxid kan göra att priset för cement går upp, vilket tillslut kan leda till att ett återbrukat betongelement blir billigare än ett nyproducerat.

En av respondenterna tror att hårdare styrmedel från samhällets sida, antingen via krav från politiker eller någon form av belöning för den som återbrukar, behöver upprättas i kombination med tydligare riktlinjer såsom en standard för att återbruk ska kunna ske i större skala. I framtiden tror respondenten både på ändring av byggnader för att slippa komma till skedet för demontering och återbruk, såväl som återbruk i de fall då endast ändring inte är möjligt. Genom en kombination av en vägledning och teknisk utveckling hade återbruket inom branschen kunnat främjas. Flera håller med om att en standard, en branschpraxis, anvisningar eller en handbok är nödvändigt för expanderings av återbruk.

En av respondenterna framför en viss skepsis. Om det ska vara praktiskt möjligt att återbruka bärande betongelement i stor skala behöver det göras på ett sätt som inte drar för mycket resurser och kostar för mycket pengar. Istället bör mer fokus läggas på att optimera byggnaderna och minska betongmängden. Respondenten försäkras dock att om ett strukturerat och smidigt sätt att återbruka betongelement kan tas fram skulle detta göra stor nytta, men att det skulle kunna vara mer lönsamt att börja med optimering och materialinnehåll och använda befintliga byggnader på ett bättre sätt just där de står, att satsa mer på ombyggnad och renovering.

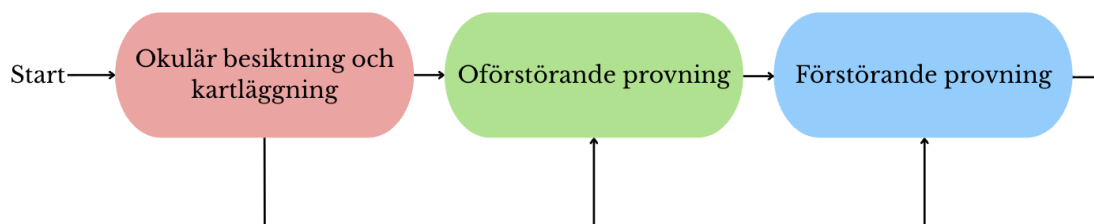
6 Tillvägagångssätt för verifiering vid återbruk av massiva betongbjälklag

En sammanställning av relevant teori, en rad referensprojekt samt intervjuer med sakkunniga har utförts för att skapa en grund för det tillvägagångssätt som ämnas sammanställas i detta kapitel. Utifrån den insamlade informationen har avvägningar gjorts för att identifiera de viktigaste delarna för verifiering av de tekniska egenskapskraven kopplade till bärighet inför återbruk av massiva prefabricerade betongbjälklag inom exponeringsklass X0 och XC1.

Tidigare resultat påvisar svårigheten i att skapa en sammanställning för det generella fallet då prefabricerade massiva betongbjälklag ämnas återbrukas. Mängden dokumentation och kännedom kring tidigare användningsområde för elementen, samt betongens och armeringens egenskaper, har en betydande inverkan på vilka prover och kontroller som behöver göras och vilka egenskaper som behöver verifieras i praktiken. Tillgången på dokumentation varierar från projekt till projekt och i avsnitt 1.4 framgår vilken dokumentation som antas tillgänglig i just detta arbete och för det tillvägagångssätt som presenteras i detta kapitel.

Elementets användningsområde och typ av exponering av omgivande klimat har också stor inverkan på vilka prover som blir relevanta. Huruvida elementet varit placerat i inomhus- eller utomhusmiljö blir oftast avgörande för vilka nedbrytningsmekanismer som kunnat ske. Detta arbete har avgränsats till att studera bjälklag som befunnits i inomhusklimat, se avsnitt 1.4.

Nedan följer en rad steg i återbruksprocessen som anses aktuella för verifiering av de tekniska egenskapskraven inom arbetets avgränsningar. Varje steg förklaras och motiveras med hjälp av den insamlade informationen i kapitel 3, 4 och 5. I figur 6.1 visas det övergripande flödet för hela tillvägagångssättet.



Figur 6.1: Schematisk bild över den övergripande processen vid återbruk

6.1 Steg 1 – Okulär besiktning och kartläggning

Sammanställningen av referensprojekten visar att en klar majoritet genomför okulär besiktning av de aktuella elementen inför återbruk. Utifrån teorin framgår det att detta utgör ett viktigt första steg i verifieringsprocessen av de tekniska egenskapskraven inför återbruk. För att möjliggöra en effektiv kartläggning av elementen rekommenderas en historisk inventering av byggnaden samt genomgång av den tillgängliga dokumentationen. Det blir här relevant att kolla upp de byggnadsregler och standarder som gällde då byggnaden uppfördes, dessa kan återfinnas på Boverkets hemsida, se avsnitt 3.6.1. Ju mer information som finns tillgänglig, desto mindre omfattande provning behövs, vilket i många fall innebär lägre kostnader och mindre arbete. Inför detta arbete har avgränsningar gjorts, se avsnitt 1.4, som medför en större omfattning prover enligt uttalandet ovan. Även om den tillgängliga dokumentationen rörande konstruktionen är bristfällig bör den sammanställas och utvärderas. Ett rimligt antagande kring tidigare användning kan göras baserat på den i tiden närmast bedrivna verksamheten i byggnaden, om inte den okulära besiktningen och kartläggningen kan påvisa misstanke om annan tidigare verksamhet.

Syftet med okulär besiktning och kartläggning är att bedöma vilka av elementen som vid en första anblick verkar lämpliga för återbruk, samt att samla in all information som finns tillgänglig kring dessa element. Det ger även en överblick över lämpliga framtida användningsområden genom utvärdering av exempelvis spännvidder och vilken last som kan appliceras.

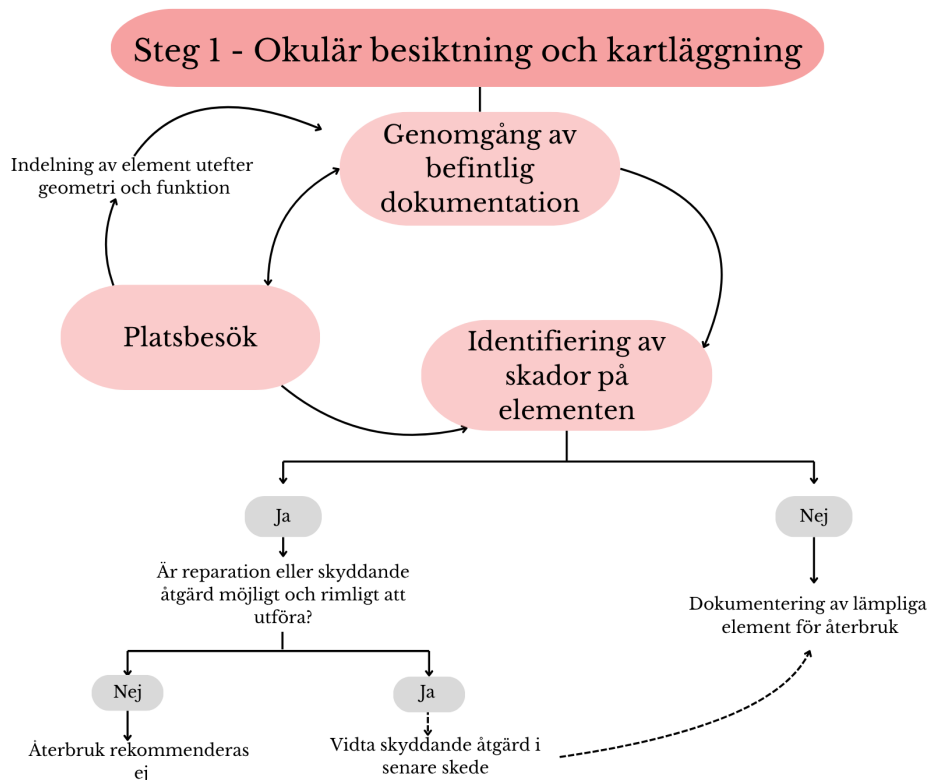
Den okulära besiktningen genomförs genom minst ett platsbesök av den konstruktör som är ansvarig för verifiering av de tekniska egenskaperna eller annan bedömd kunnig person som med säkerhet kan meddela och dokumentera relevanta observationer till verifieringsansvarig. Inför platsbesök bör ansvarig konstruktör göra sig bekant med byggnadens planutformning för att på förhand uppskatta ett första urval av de element som är av intresse för återbruk. Information som kan ligga till grund för detta är planritningar och/eller arkitektritningar då mer elementspecifik dokumentation saknas. Genom visuell bedömning av elementens tillstånd bör en bedömning göras kring deras återbrukspotential samt vilken vidare undersökning som är relevant. Syftet är att identifiera och dokumentera faktorer såsom synliga skador, sprickor, missfärgningar och korrosion etc. vilka kan signalera att återbruk anses olämpligt samt verifiera eller bestämma faktorer såsom dimensioner och upplagsvillkor för elementen.

I detta steg måste en avvägning göras om och hur återbruket ska genomföras, eller alternativt inte utföras. Upptäckt av synliga tecken på korrosion hos armeringen gör element direkt olämpliga för återbruk och sådana element bör direkt exkluderas från urvalet av återbrukbara element inom ramen för detta arbete. I de fall där reparation och skyddande åtgärder anses kunna vidtas, och vara rimliga att utföra, för att göra elementet återbrukbart bör detta övervägas.

Den okulära besiktningen och kartläggningen ska ligga till grund för val av element till oförstörande- och förstörande provning enligt avsnitt 6.2 och 6.3.

I figur 6.2 följer en schematisk bild över steg 1 - okulär besiktning med syfte att verifiera de tekniska egenskapskraven inför återbruk. Här blir det tydligt att den okulära

besiktningen är en analytisk och cirkulär process, där vissa steg kan överlappa och behöva ses över flera gånger.



Figur 6.2: Schematisk bild över processen okulär besiktning och kartläggning

6.2 Steg 2 – Oförstörande provning

I enlighet med de tekniska egenskapskraven kopplade till bärförmåga, stadga och beständighet som återfinns i 8 kap. 4§ i PBL (2010:900) [21] samt tillhörande föreskrifter i BFS 2024:6 [23], ska relevanta material- och hållfasthetsparametrar verifieras inför återbruk av bärande element. Oförstörande provning bör tillämpas dels för fortsatt bedömning av potentialen för återbruk, samt för att göra en första bedömning av dessa material- och hållfasthetsparametrar. Den oförstörande provningen är en relativt kostnadseffektiv utredning i ett tidigt skede för att göra en uppskattning av egenskaperna, jämfört med den förstörande provningen. Betongens tryckhållfasthet och armeringens egenskaper är grundläggande parametrar för verifiering av bärförmågan hos elementen, medan täcksiktets tjocklek har stor betydelse för beständigheten och den långvariga funktionen. Allt detta är parametrar som kan undersökas genom oförstörande provning.

I litteraturen samt i referensprojekten tas olika metoder upp för oförstörande provning i syftet av att uppskatta ovannämnda egenskaper. På flera ställen framgår det dock att denna typ av provning medför större osäkerheter än vad förstörande provning gör. Dessa osäkerheter innebär att oförstörande provning i sig inte är tillräckligt för att

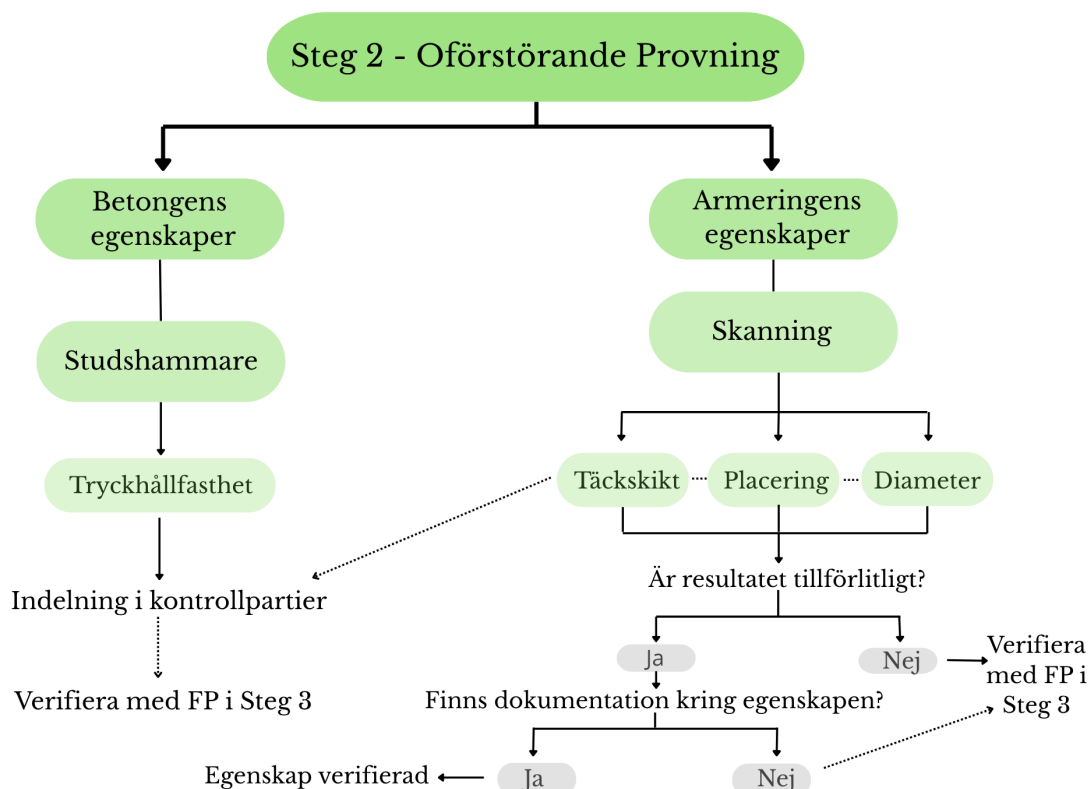
verifiera de tekniska egenskapskraven, men den ger en god indikation. Därmed krävs komplettering av förstörande provning för att erhålla mer tillförlitliga resultat.

Oförstörande provning kan ligga till grund för att avgöra mängden förstörande prover som anses nödvändiga med hänsyn till egenskaper såsom bedömning av betongkvalitet eller tidsberoende effekter. Genom övergripande kontroller av dessa egenskaper, tillsammans med kännedom kring omgivande klimat och användningsområde, kan antaganden om enhetlighet göras. Med stöd från intervjustudien anses oförstörande prover lämpliga för att bedöma en övergripande kvalitet hos elementen och kunna dela in dem i olika kontrollpartier. Varje kontrollparti som tas fram genom oförstörande provning bör därefter få egenskaperna verifierade eller bedömda genom förstörande provning. Även för de fall då tillverkningsprocessen av elementen är okänd anses gruppbedömning kunna tillämpas för kontrollpartierna för att bedöma egenskaperna, se avsnitt 3.10.5.

Vilka tekniska egenskaper som bör verifieras och genom vilka metoder detta bör ske skiljer sig mellan teorin och praktiken. Litteraturen tar upp en större variation av provningsmetoder som inte nämns i något av referensprojekten, exempelvis UPV. Från intervjustudien framgår att flera av respondenterna delar åsikten om att alla de provningsmetoder som tas upp i teorin inte är nödvändiga i praktiken. Även om provningsmetoderna kan ge extra information om elementen så är de inte alltid kostnadsmässigt motiverbara och tar tid att utföra.

Provning av elementen kan i teorin ske både före demontering, efter demontering eller efter införande i ny byggnad. Oförstörande provning sker med fördel innan demontering eftersom den då kan bidra med underlag inför bedömningen av återbrukspotentialen. Som i fallet för den okulära besiktningen kan oförstörande provning även ge underlag för exkludering av vissa element som anses olämpliga att återbruka. Efter genomförande av den oförstörande provningen bör elementen delas in i kontrollpartier för vidare bedömning.

I figur 6.3 följer en schematisk bild steg 2 - oförstörande provning inför bedömning av egenskaperna kopplade till bärförmåga stadga och beständighet. En mer detaljerad beskrivning av delmomenten följer i avsnitt 6.2.1 samt 6.2.2



Figur 6.3: Schematisk bild över procesen oförstörande provning

Den oförstörande provningen utgör ett viktigt första verktyg i verifieringen av bärförmåga, stadga och beständighet. Övergripande kartläggning av bärverksdelens variation och kvalitet möjliggörs, dock krävs komplettering av förstörande provning för att uppnå de krav på tillförlitlighet som ställs i EKS och PBL.

6.2.1 Betongens egenskaper - Oförstörande provning

I referensprojekten förekommer ofta studshammare som en metod för att uppskatta betongens kvalitet hos elementen, se kapitel 4. Under flera av intervjuerna har det även bekräftats att detta är en relevant provningsmetod inför återbruk.

Studshammaren bör användas för att göra en bedömning av tryckhållfastheten hos betongen, se avsnitt 3.10.1. Eftersom studshammare är en oförstörande provningsmetod för att mäta tryckhållfastheten bör resultaten från denna provning även användas för att verifiera resultaten från tryckhållfasthetstesterna med förstörande metod. Bedömningen av tryckhållfastheten är en central parameter i verifieringen av elementets bärförmåga enligt BFS 2024:6, och ju fler prover som utförs desto säkrare blir resultatet. Då studshammaren är känslig för variationer i betongen bör de utvalda elementen provas minst två gånger. Antalet prover var något som diskuterades i intervjuerna där det framgick att detta kan avgöras på flera olika sätt. Nedan ges därför tre olika alternativ för bestämning av antalet prover som krävs, alternativ A, B och C. Det är även möjligt att använda en kombination av dessa men här beskrivs de separat.

Alternativ A: Tillgängliga standarder

Provningsfrekvensen kan fastställas med utgångspunkt i befintliga standarder. I dagsläget saknas en specifik standard för verifiering av tekniska egenskaper vid återbruk av massiva betongbjälklag. Däremot finns den norska standarden NS 3682 [72], som behandlar håldäck (HDF). Viktigt att beakta här är dock att denna standard är framtagen för ett annat typ av element, vilket innebär att den föreslagna provningsfrekvensen inte nödvändigtvis är lämpad för massiva bjälklag.

För studshammare bör var femte men minst tre av de aktuella elementen provas och resultaten utvärderas vid tillämpning av alternativ A. Den förstörande provning bör även kompletteras med förstörande provning vilket möjliggör sammanvägning och verifiering av resultaten. Minst tio prov bör utföras för att möjliggöra en jämförelse, se avsnitt 3.10.2. Om resultaten uppvisar god överensstämmelse mellan elementen kan antaganden om likartad tillverkning och enlighet göras, vilket medför att färre förstörande prover kan bli nödvändiga. Den föreslagna provningsfrekvensen baseras på den norska standarden NS 3682 [72] för HDF-bjälklag.

Alternativ B: Statistisk utvärdering och uppdatering

Statistiska metoder kan användas för att utvärdera provresultaten, se avsnitt 3.11. Metoder såsom Bayesian updating möjliggör en successiv uppdatering av kunskapsläget allt eftersom ny data blir tillgänglig, se avsnitt 3.11.1. Detta kan vara ett effektivt verktyg för att få fram tillförlitliga resultat utan att behöva “överdriva” provningen. Detta innebär att provning kan inledas med ett begränsat antal tester, varefter resultaten kan analyseras och tillförlitligheten bedömas. Om osäkerheterna anses vara för stora kan ytterligare provning genomföras och användas för att uppdatera modellen. Detta tillvägagångssätt tillåter en mer resurseffektiv provningsstrategi, där antalet prover kan hållas på en minsta nivå samtidigt som säkerheten bedöms tillräckligt stor. Nackdelen är att metoden kan medföra ett ökat behov av statistisk kompetens och analytiskt arbete.

Alternativ C: Erfarenhet och ingenjörsmässig bedömning

Det tredje alternativet för bestämning av antalet prover som behövs vid verifiering av de tekniska egenskaperna är genom att förlita sig på erfarenhet och ingenjörsmässig bedömning hos involverade aktörer. I flera av intervjuerna har betydelsen av konstruktörens erfarenhet diskuterats och flera av respondenterna belyste att detta kan ha stor inverkan på hur omfattande provningen blir, se kapitel 5. En konstruktör kan, efter ett visst antal genomförda prov, bedöma att underlaget är tillräckligt för att dra slutsatser om de aktuella egenskaperna och därmed avstå från ytterligare provning. Detta tillvägagångssätt förutsätter dock, vilket även lyfts i in-

tervjustudien, en viss grad av beslutsförmåga och professionellt omdöme. Men det kan samtidigt bidra till en mer effektiv process genom att undvika onödig provning, förutsatt att en välgrundad bedömning har gjorts.

Provtagning med studshammare rekommenderas utföras vid ett separat tillfälle och inte i samband med det initiala platsbesöket för kartläggning och okulär besiktning då denna kräver en tydlig plan för vart provningen ska genomföras.

6.2.2 Armeringens egenskaper - Oförstörande provning

Bedömning av täckskiktets tjocklek samt armeringens placering har genomförts i en majoritet av referensprojekten via olika metoder såsom georadar (GPR) och profometer, se kapitel 4. Bedömning av tjockleken på täckskiktet samt armeringens placering och dimensioner är relevanta uppskattningar som krävs både inför provtagning och vid bedömning av de tekniska egenskaperna hos elementen. Dessa parametrar är avgörande för verifiering av elementens beständighet och bärförmåga, då otillräckligt täckskikt kan leda till korrosion av armeringen och därmed reduktion av bärförmågan över tid. Korrosion av armeringen medför även ökade underhållskostnader vilket också är en stor pådrivande faktor.

Mätningar bör utföras på plats för att kontrollera krav på minsta täckande betongskikt samt mängd och placering av armering inför uttag av borrhärlor och/eller fullskalig bedömning av elementen. Detta kan göras med mätare så som GPR eller profometer, se avsnitt 3.10.1. Ingen specifik bedömning kring hur urvalsprocessen för dessa tester går till har kunnat återfinnas i litteraturen, därav föreslås samma provningsfrekvens som för provning med studshammare. Även här bör en avvägning göras kring vilket alternativ A, B eller C, se avsnitt 6.2.1, som anses lämpligt för bestämning av antalet nödvändiga prover. I detta tillvägagångssätt rekommenderas alternativ C: Erfarenhet och ingenjörsmässig bedömning.

Från intervjuerna framgick det att instrument, såsom GPR och profometer, inte alltid kan ge tillräckligt tillförlitlig information kring täckskiktsdjup eller armeringens placering och dimensioner. Vid osäkerhet kring tillförlitligheten hos mätningarna bör förstörande provning tillämpas för att styrka resultaten, se avsnitt 6.3.2.

Skanning av elementen rekommenderas utföras i samband med det initiala platsbesöket för kartläggning och okulär besiktning för att verifiera armeringens placering inför fortsatt provtagning.

6.3 Steg 3 – Förstörande provning

Efter att oförstörande provning har genomförts och kontrollpartier har identifierats bör förstörande provning utföras. Förstörande provning är nödvändigt för att med större säkerhet kunna avgöra egenskaperna hos elementen och kunna bedöma att de uppfyller de tekniska egenskapskraven enligt 8 kap 4§ i PBL (2010:900) [21]. Genom

att utgå från de kontrollpartier som identifierats via oförstörande provning och okulär besiktning kan förstörande provning utföras för varje parti, och därifrån kan bedömning och verifiering av de relevanta egenskaperna genomföras.

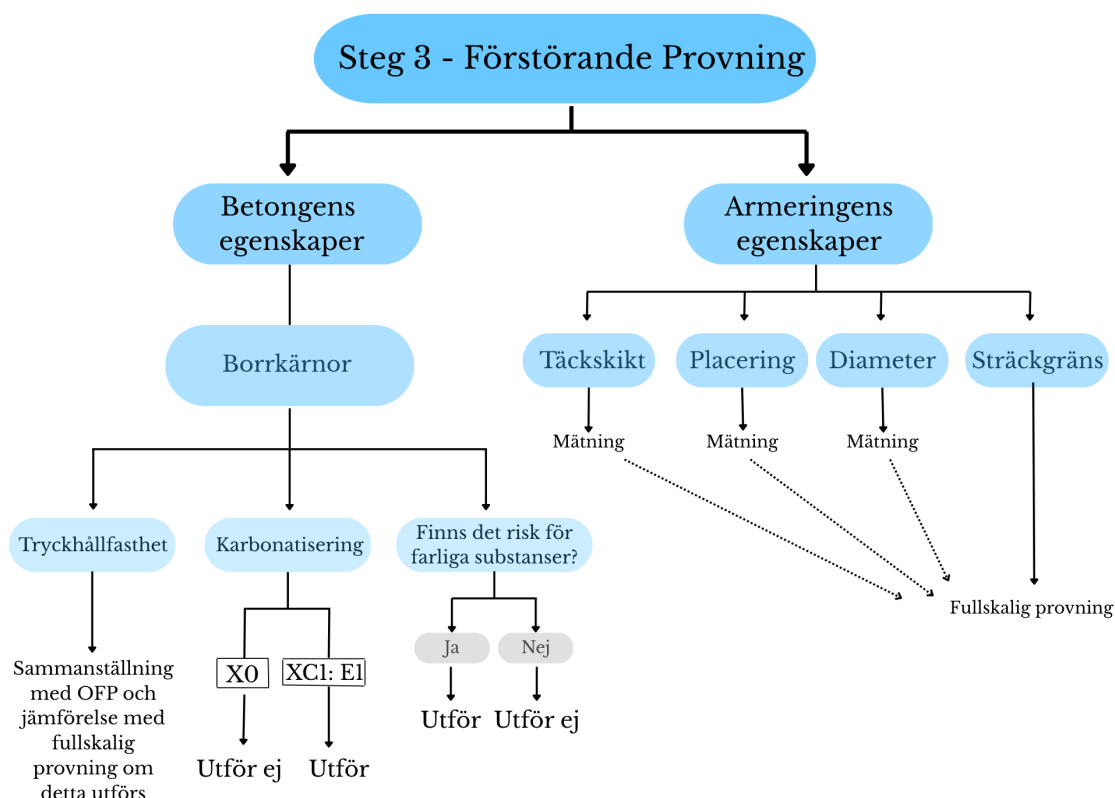
Förstörande provning är en central del i verifieringsprocessen då den direkt möjliggör bestämning av materialparametrar som bland annat betongens tryckhållfasthet. Dessa parametrar ligger till grund för dimensioneringskontroller och är avgörande för att säkerställa att elementet uppfyller säkerhetskraven.

I litteraturen är de mest framträdande förstörande provningsmetoderna uttag av kärnprover för bedömning av tryckhållfasthet samt karbonatiseringsdjup. Bland referensprojekten förekommer båda dessa provningsmetoder tillsammans med provning av kloridinnehåll och test för att identifiera farliga substanser. Till följd av arbetets avgränsning för element inom exponeringsklass X0 och XC1 samt med stöd från teorin, se avsnitt 3.5.5, anses inte kloridinträngning utgöra en direkt risk för skada på dessa element. Därav bedöms inte sådan provning nödvändigt för det generella fallet, det vill säga inom ramen för normalt bruk. Provning för att identifiera farliga substanser anses nödvändig om misstanke finns för att sådana ämnen kan förekomma i konstruktionen.

Resultaten från den förstörande provningen bör dokumenteras noggrant och kopplas till respektive kontrollparti. Detta för att underlätta den fortsatta återbruksprocessen och göra elementen lättidentifierade.

Förstörande provning utgör en avgörande del i verifieringen av de tekniska egenskapskraven kopplade till stadga, beständighet och bärförmåga. Genom att jämföra och kombinera de fastställda materialparametrarna med resultaten från den oförstörande provningen ges ett stadigt underlag för dimensioneringskontroll enligt EKS.

I figur 6.4 presenteras en schematisk bild av steg 3 - förstörande provning inför bedömning av egenskaperna kopplade till bärförmåga stadga och beständighet. En mer detaljerad beskrivning av delmomenten följer i avsnitt 6.3.1 samt 6.3.2



Figur 6.4: Schematisk bild över procesen förstörande provning

6.3.1 Betongens egenskaper - Förstörande provning

Uttag av borrkärnor för provning av tryckhållfastheten bör göras. Liksom för oförstörande provning finns det olika tillvägagångssätt vid bestämning av antalet prover som ska utföras, se alternativ A, B och C i avsnitt 6.2.1. För alternativ B: Statistisk utvärdering och uppdatering och C: Erfarenhet och ingenjörsmässig bedömning, hänvisas läsaren till avsnitt 6.2.1 för beskrivning av hur provningsfrekvensen bestäms. För alla tre tillvägagångssätt bör den oförstörande provningen med studshammare ligga till grund för var borrkärnor ska plockas ut för att resultaten ska kunna vara direkt jämförbara med varandra, se avsnitt 3.10.2. Vid tillämpning av provningsfrekvens alternativ A: Tillgängliga standarder, bör var tjugonde element provas med totalt minst åtta godkända betongkärnor varav en minsta provserie av fyra prover ska tas från två olika element. Totalt bör minst 10 prover göras och platsen för uttag av dessa borrkärnor bör matcha de där studshammare har använts under oförstörande provning. Den föreslagna provningsfrekvensen är baserad på den norska standarden NS 3682 [72] för HDF-bjälklag samt SS-EN 13791 [83] för bedömning av tryckhållfasthet i färdiga betongkonstruktioner och förtillverkade betongelement.

En sammanställning mellan resultaten från de förstörande och oförstörande provningarna av tryckhållfastheten bör därefter genomföras för att få fram ett slutligt, tillförlitligt resultat, se avsnitt 3.10.2.

Provning av karbonatiseringsdjup anses inte relevant för bjälklag inom exponerings-

klass X0, se avsnitt 3.5.3. Risken för korrosion av armeringen till följd av karbonatiseringen anses vara minimal för dessa element och om elementet anses falla inom exponeringsklass X0 kan karbonatiseringstester uteslutas.

Element inom exponeringsklass XC1 i omgivningskategori E1 kan som tidigare nämnts i avsnitt 3.5.3 falla inom användning för miljöer där den relativa fuktigheten har legat inom intervallet 50-70 % under en längre period. Bedöms detta vara fallet anses tester av karbonatiseringsdjup nödvändiga för en bedömning av den återstående livslängden hos elementet. För provningsfrekvens vid karbonatiseringsprovning rekommenderas Alternativ B: Statistisk utvärdering och uppdatering eller Alternativ C: Erfarenhet och ingenjörsmässig bedömning appliceras, då ingen tillgänglig standard kring provningsfrekvens har återfunnits, se avsnitt 6.2.1.

För element inom exponeringsklass XC1 i omgivningskategori E2 bedöms elementen löpa större risk för betydande karbonatisering, se avsnitt 3.5.3. Den relativa luftfuktigheten förväntas även varit högre vilket medför en större risk för korrosion hos armeringen, såväl som en kortare livslängd hos elementet då karbonatisering kan ha skett förbi det täckande betongskiktet. Inom ramen för detta arbete bör därför dessa element uteslutas från återbruket.

6.3.2 Armeringens egenskaper - Förstörande provning

Som nämns i avsnitt 6.2.2 kan uppskattning av information kring armeringens placering och täckskiktets tjocklek genom oförstörande provning vara otillräcklig. Om ingen information kring dessa egenskaper kan utvinnas ur den tillgängliga dokumentationen och den oförstörande provningen inte ger tillräckligt tillförlitliga resultat kan egenskaperna bekräftas med förstörande provning. Mätning av geometriska egenskaper hos armeringen utförs som beskrivet i avsnitt 3.10.1. För detta krävs att armeringsstången separeras från betongen vilket i sin tur leder till att elementets bärförmåga direkt påverkas. I det fallet då dokumentation kring armeringen saknas kan det därmed bli relevant att överväga fullskalig provning som ett alternativ inför verifiering, se avsnitt 6.3.3, alternativt planera för att provning av armeringen ska ske i samband med förstörande provning för bestämning av betongegenskaper. Mätning av täckskikt samt armeringens c/c- och kantavstånd kan utföras i samband med förstörande provning av betong då kärnprover plockas ut, eller i det fall då karbonatiseringstester ska utföras.

Armeringens stålklass och egenskaper vad gäller sträckgräns och gränstöjning bör fastställas, se avsnitt 3.4.3. Då information kring dessa egenskaper saknas kan de antingen bekräftas enligt avsnitt 3.10.2, alternativt genom bedömning av elementens bärförmåga genom fullskalig provning, se avsnitt 6.3.3. I detta tillvägagångssätt rekommenderas att draghållfastheten verifieras genom fullskalig provning.

Krav på vidhäftning mellan armeringen och betongen finns specificerade i dagens svenska standarder, se avsnitt 3.4.3. Från vad som kunnat utläsas i referensprojekten, se kapitel 4, har ingen sådan provning utförts på några av elementen. Det blir därmed viktigt att här göra en riskbedömning kring huruvida vidhäftningsförmågan kan ha reducerats över tid. Det är här även viktigt att väga in om stängerna är släta eller profilerade. Då verifiering av vidhäftningsförmågan anses nödvändig rekommenderas

fullskalig provning av elementen utföras för att bekräfta bärförmågan, se avsnitt 6.3.3.

Samtliga provningsmetoder som benämns för bestämning av armeringens egenskaper är anpassade för ny tillverkade armeringsstänger. I fallet för provning av draghållfastheten står det att provningen ska utföras på stänger i mottaget skick vid leverans från tillverkaren. Detta krav uppfylls därmed inte för återbrukade element, då stängerna redan ingjuts i betongen och varit en del av ett samverkande element. Likaså i fallet för provning av vidhäftningsförmåga framgår det att provningen bör genomföras på en balk som gjuts specifikt inför provningen. Beskrivning av tester som direkt får fram draghållfastheten eller vidhäftningsförmågan utförda på element inför återbruk har inte återfunnits i litteraturen eller referensprojekten. Till följd av den bristande information som finns kring provning och verifiering av tekniska egenskaper för armeringen inför återbruk rekommenderas fullskalig provning utföras för att bekräfta elementens bärförmåga, då armeringens egenskaper är okända.

Om fullskalig provning av någon anledning inte är möjlig bör provningsfrekvensen baseras på alternativ B eller C enligt avsnitt 6.2.1, då det som tidigare nämns inte finns några tillgängliga standarder att applicera.

6.3.3 Fullskalig provning av elementen

Fullskalig provning kan bli aktuellt i de fall då andra verifieringsmetoder inte anses vara tillräckliga eller då armeringens egenskaper är okända, se avsnitt 3.10.3. I första hand bör verifieringen baseras på den tillgängliga dokumentationen, okulär besiktning, oförstörande provning samt övrig förstörande provning. Fullskalig provning möjliggör en direkt bedömning av elementets bärförmåga och bör främst tillämpas när osäkerheterna är stora och egenskaperna svåra att fastställa med hjälp av andra metoder. Metoden är däremot resurskrävande och bör därför beaktas som ett sista alternativ. Därför är det motiverat att inför beslut om genomförande göra en avvägning mellan kostnad och nytta.

I de fall där både betongens och armeringens egenskaper är okända kan fullskalig provning utgöra en nödvändig metod för verifiering av elementens bärförmåga. Provningsen baseras på tidigare steg i processen, okulär besiktning, se avsnitt 6.1, samt oförstörande provning, se avsnitt 6.2. Tillvägagångssätten i avsnitt 6.3.1 och 6.3.2, kan komma att skilja sig beroende på om fullskalig provning genomförs eller inte. I de fall då fullskalig provning bedöms aktuellt bör de kontrollpartier som tagits fram genom oförstörande provning få sina egenskaper bedömda och verifierade genom en kombination av förstörande- och fullskalig provning. Ett möjligt tillvägagångssätt för detta presenteras nedan.

Den uppmätta brottslasten som erhålls från fullskalig provning, se avsnitt 3.10.3, bör verifieras med kompletterande information från förstörande provning och/eller originalritningar. I de studerade referensprojekten har tryckhållfastheten initialt bedömts genom förstörande provning med borrhärlor, varefter en teoretisk brottslast har beräknats baserat på denna samt uppgifter om armeringsmängd från originalritningar. Samma tillvägagångssätt vid tillämpning av fullskalig provning rekommenderas därmed. Den beräknade brottslasten kan därefter jämföras med den uppmätta för att

säkerställa korrelation mellan resultaten. Ökad tillförlitlighet i bedömningen av elementets bärförmåga blir då möjlig.

Slutsatser från studien av referensprojekten, se avsnitt 4.3, visar att armeringens draghållfasthet i vissa fall har uppskattats indirekt genom fullskalig provning. Fullskalig provning kan därmed utgöra en relevant verifieringsmetod då osäkerheterna kring armeringens egenskaper är stora. En samlad bedömning av elementets bärförmåga möjliggörs snarare än en uppdelad verifiering av materialparametrar. Därmed rekommenderas fullskalig provning att övervägas för de fall då kunskapen kring verifiering av enskilda egenskaper hos armeringen anses vara bristfällig, som komplement till provning av betongens tryckhållfasthet och uppskattning av armeringsmängd.

När det kommer till vilken provningsfrekvens som bör appliceras för fullskalig provning rekommenderas samma alternativ som i avsnitt 6.2.1. För alternativ A: Tillgängliga standarder finns hänvisningar i NS 3682 för fullskalig provning. Där föreslås att en teoretisk karakteristisk kapacitet beräknas för att sedan jämföras med provresultaten. Då färre än 6 fullskaliga prov utförs bör kapaciteten vara minst 1,25 gånger så stor som den beräknade karakteristiska kapaciteten och då 6 eller fler prov utförs bör den vara 1,1 gånger den beräknade karakteristiska kapaciteten. Som tidigare nämnts är detta en standard för återbruk av HDF-bjälklag och det är därför möjligt att den föreslagna provningsfrekvensen inte är optimal för massiva betongbjälklag.

Alternativ B: Statistisk utvärdering och uppdatering och C: Erfarenhet och ingenjörsmässig bedömning, se avsnitt 6.2.1, kan i detta fall ge mer resurseffektiva resultat. Genom att starta med att utföra fullskalig provning på ett element per kontrollparti och därefter utvärdera resultaten och vid behov utföra fler prover kan en minsta, tillförlitlig provningsfrekvens uppnås.

6.4 Sammanställning av tillvägagångssätt

I ovanstående avsnitt har varje identifierat huvudsteg i verifieringsprocessen vid återbruk av massiva betongbjälklag beskrivits. I figur 6.1 visas det övergripande flödet för verifieringsprocessen där de olika huvudstegen kopplas till varandra. Det blir här tydligt att bakgrunden som fås genom okulär besiktning och kartläggning ligger till grund för efterföljande provningar.

I tabell 6.1 ges en sammanställning av den totala processen beskriven i ovanstående avsnitt. Här presenteras varje huvudsteg med tillhörande delmoment och vilket syfte varje delmoment har i processen.

Tabell 6.1: Sammanställning av huvudstegen, delmomenten och dess syfte i det framtagna tillvägagångssättet

Huvudsteg	Delmoment	Syfte	Vidare
1. Okulär besiktning och kartläggning	Genomgång av befintlig dokumentation	Initial bedömning kring vilka element som är lämpliga för återbruk samt indelning av elementen efter geometri och funktion	Oförstörande provning kan genomföras
	Platsbesök	Visuell kontroll och kompletterande kartläggning av elementens skick	
2. Oförstörande provning	Studshammare	En första bedömning av tryckhållfasthet som behöver verifieras med FP samt underlag för indelning i kontrollpartier	Förstörande provning kan genomföras
	Täckskikt	Verifiera eventuella ritningar eller bedömning av armering	
	Armeringens placering	Bestämning av armeringens läge	
	Armeringens dimensioner	Bestämning av armeringsdimensioner	
3. Förstörande provning	Kärnprover för tryckhållfasthet	Bedömning av tryckhållfasthet	Om resultaten är tillförlitliga anses elementet återbrukbart
	Karbonatiserings-test	Bedömning av karbonatiseringsdjup	
	Kompletterande mätningar av täckskikt, armeringens placering och dimensioner	Vid behov stärka resultaten från OFP	
	Fullskalig provning	Bedömning av elementets bärförmåga	

7 Fallstudie: Referensprojekt i Helsingborg (Skanska)

En fallstudie har genomförts på ett pågående projekt i Helsingborg. En intern teknisk beskrivning från augusti 2025 av Skanska har tillhandahållits vilken innehåller information kring utförd provning samt tillhörande resultat.

Inledningsvis presenteras en bakgrund till referensprojektet i Helsingborg, inklusive en översikt av tillgänglig dokumentation och information om projektets förutsättningar. Därefter görs en teoretisk applicering av det tillvägagångssätt för återbruk som presenteras i kapitel 6. För varje steg i processen redogörs även för hur motsvarande moment har hanterats i det faktiska projektet. De två tillvägagångssätten jämförs, där kompletterande och/eller överflödiga moment diskuteras utifrån tillämpbarhet, resurseffektivitet och i vilken mån det med säkerhet kan påvisas att de tekniska egenskapskraven är uppfyllda.

Syftet med kapitlet är att jämföra det framtagna tillvägagångssättet från kapitel 6 med ett verkligt projekt och på så sätt verifiera dess genomförbarhet och tillförlitlighet. Viktigt att lyfta fram är att inom ramen för examensarbetet har inga faktiska prover utförts och därav finns det inga resultat att jämföra med de från referensprojektet.

7.1 Bakgrund till referensprojektet

Avsikten vid referensprojektet i Helsingborg var att använda en av byggnaderna som donatorbyggnad och återbruka stomelementen, både bjälklag och väggar, vilka skulle användas i uppförandet av en ny byggnad. Efter en ekonomisk omvärdering gavs nya förutsättningar, vilket medförde att återbrukets omfattning reducerades. Provning av element och verifiering av egenskaper hade dock redan genomförts i enlighet med den ursprungliga planen.

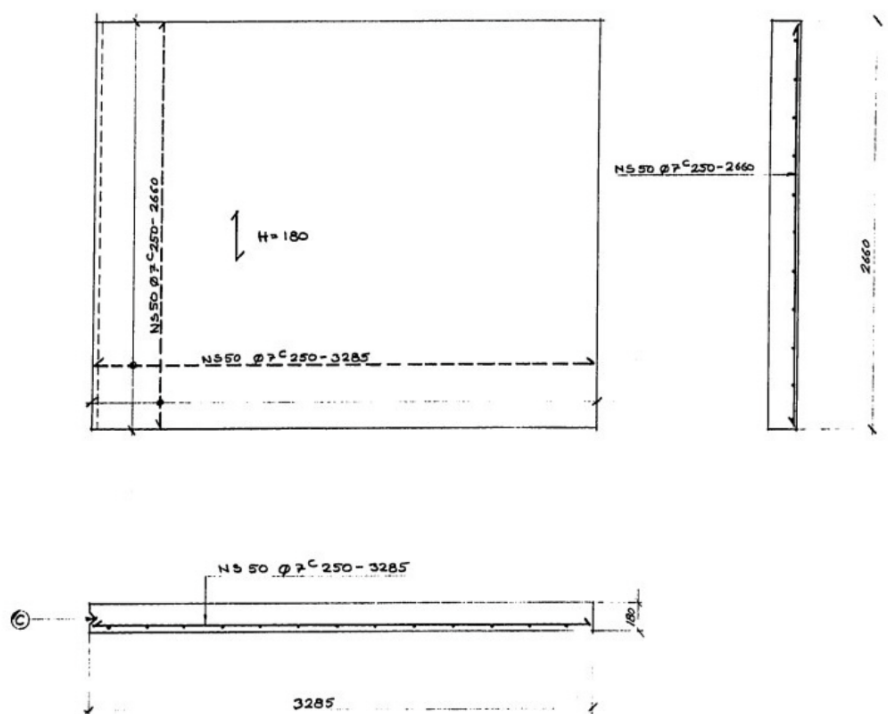
De befintliga handlingarna är daterade från sent 1960-tal i form av elementritningar för fabrikstillverkad prefab. Under denna tidsperiod var gällande normer för betongkonstruktioner från Statens Betongkommitté; B5 *Bestämmelser för betongkonstruktioner - Material och utförande - Betong* från 1965 [122] och B6 *Bestämmelser för betongkonstruktioner - Material och utförande - Armering* från 1968 [123].

Figur 7.1 visar ett exempel på ett bjälklag som finns i projektet. Från befintliga handlingar framgår information kring betonghållfasthet, armeringstyp, armeringsinnehåll och elementens geometri. Exempel på denna information där dimensioner, vikt och armeringsmängd är kopplade till elementet i figur 7.1 presenteras i tabell 7.1. Bjälklagen är av typen prefabricerade massiva betongbjälklag och är försedda med armeringsnät. Specifikationer kring betongkvalitet och armeringens egenskaper utifrån ritningarna

som presenteras i tabell 7.1 gäller för samtliga bjälklag i alla tre byggnader. Däremot varierar dimensioner och vikt hos de olika elementen beroende på placering och användningsområde.

Tabell 7.1: Teknisk information för typiskt bjälklag i referensprojekt

Dimensioner [mm]	3285 x 2660 x 180
Vikt [kg]	3550
Armering	Täckskikt 20-25 mm Svetsat armeringsnät NS 50 NS 50 Ø7 C 250 - 3285 NS 50 Ø7 C 250 - 2660



Figur 7.1: Exempel på bjälklag i referensprojektet

7.2 Okulär besiktning och kartläggning

7.2.1 Okulär besiktning och kartläggning - Tillvägagångssätt framtaget i kapitel 6

Det första steget består av att samla in den dokumentation och information som finns tillgänglig kring byggnaden. Information från referensprojektet finns tillgängligt i form av planritningar och konstruktionsritningar med tekniska elementspecifikationer. Även

anslutningsritningar samt fasadritningar finns tillgängliga. Tekniska elementspecifikationer blir relevanta inför verifieringen av elementens tekniska egenskaper och kan ligga till grund för den mängd provning som anses nödvändig. I befintliga handlingar framgår information kring betonghållfasthet, armeringstyp, armeringsinnehåll och elementens geometri. Dokumentationen ger information om att byggnaden uppförts på 1960-talet, därav undersöks byggnormer gällande under detta årtionde. I tabell 7.1 presenteras viktiga materialparametrar som finns specificerade i konstruktionsritningarna för ett av elementen.

För att kunna jämföra materialparametrarna med dagens standarder behöver vissa omskrivningar och tolkningar göras. Betongens hållfasthet klassificeras inom klass II K250, vilket är en gammal svensk beteckning som beskriver kubhållfastheten. Enligt B5 utgiven av Statens Betongkommitté 1973 [122] återges kubisk tryckhållfasthet efterföljt bokstaven K i enheten kp/cm^2 , där $1 \text{ kp}/\text{cm}^2$ motsvarar $0,1 \text{ MPa}$. Utifrån detta framgår betongens tryckhållfasthet vara ca 25 MPa . I dagens standard motsvarar detta en betongkvalité på C20/25 enligt SS-EN 206-1:2026. Armeringen betecknas enligt en gammal kvalitetsbeteckning vilken tolkas från B6 utgiven av Statens Betongkommitté 1968 [123]. Bokstavs-beteckningen NS står för svetsat armeringsnät av släta stänger, och siffran 50 anger stålets hållfasthet genom ett värde på sträckgräns eller 0,2-gräns uttryckt i kp/mm^2 , där $0,1 \text{ kp}/\text{mm}^2$ ungefär motsvarar 1 MPa . Detta motsvarar en sträckgräns på 500 MPa för armeringen. Att bjälklagen innehåller släta stänger påverkar vidhäftningen och således förankrings- och skarvlängder i förhållande till dagens standard där kamstänger är norm. Täckande betongskikt framgår från konstruktionsritningar vara mellan 20-25 mm.

Bjälklag som befunnits i inomhusklimat och enligt dagens regelverk kan klassas inom exponeringsklass X0 och XC1 i omgivningskategori E1, se avsnitt 3.5.3, anses relevanta för vidare undersökning. Detta innebär att element som kan placeras inom omgivningskategori E2 exkluderas, dvs bjälklag i badrum.

Efter undersökning av dokumentation och kartläggning av intressanta element inför återbruk har utförts, sker minst ett platsbesök av konstruktör eller annan ansvarig för den tekniska verifieringen för att verifiera befintliga ritningar. Vid platsbesöket görs en visuell bedömning kring bjälklagens tillstånd och deras återbrukspotential genom undersökning av synliga skador, sprickor, missfärgningar och korrosion hos armeringen. Den visuella bedömningen dokumenteras och olämpliga element exkluderas. Detta ligger sedan till grund för den oförstörande provningen i nästa steg.

7.2.2 Okulär besiktning och kartläggning - Tillvägagångssätt för referensprojekt i Helsingborg

Flera platsbesök genomfördes, varav vid det första utfördes en okulär besiktning, kartläggning och inventering av elementen för att säkerställa att tillgängliga ritningar stämde överens med verkligheten. Kartläggningen omfattade såväl materialegenskaper som konstruktiv utformning. Parametrar som undersöktes och noterades vid den okulära besiktningen var upplagsförhållanden, nedböjning, allmänt skick på elementen och tecken på degradering för att säkerställa krav på bärförmåga, stadga och beständighet. Ett konstaterande av att ventilationen i byggnaden varit förhållandevis dålig

kunde även göras. Inventeringen lade en systematisk grund för den fortsatta verifieringen av elementen.

Den befintliga dokumentationen tolkades och omskrivningar kring betongens och armeringen egenskaper utfördes enligt dagens kategorisering av betong- och stålqualität. Detta resulterade i att egenskaperna ansågs motsvara dagens betongklass C20/25 och en sträckgräns hos armeringen på 490 MPa.

De bjälklag som initialt ansågs vara aktuella för återbruk var prefabricerade betongbjälklag som befunnits i inomhusklimat. Bjälklag från badrum uteslöts från återbruk i detta stadiet då de hade flera lager ytskikt, många håltagningar och genomföringar samt ingjutningar för installation. Dimensionerna var inte heller optimala för implementering i den nya byggnaden. Samtliga av dessa faktorer ledde till att återbruk av badrumsbjälklag inte ansågs lönsamt i förhållande till det extra arbete som skulle krävas.

7.2.3 Okulär besiktning och kartläggning - Diskussion kring skillnader och föreslagna kompletteringar

Okulär besiktning och kartläggning är en inledande del i verifieringsprocessen både i det tillvägagångssätt som föreslås i kapitel 6 och i tillvägagångssättet som applicerades på referensprojektet. Båda tillvägagångssätten innefattar tolkning och verifiering av den befintliga dokumentationen genom platsbesök. Relevanta parametrar och eventuella riskfaktorer inför återbruk undersöks och dokumenteras.

Omskrivningar av materialegenskaper och specifikationer kring betongen och armeringen utfördes i referensprojektet så som tillvägagångssättet rekommenderar.

Bjälklag från badrum har i detta skede uteslutits enligt båda arbetets tillvägagångssätt och projektet, men av olika anledningar. Tillvägagångssättet i kapitel 6 resonerar kring ett uteslutande av element inom exponeringsklass XC1 i omgivningskategori E2, medan referensprojektet valt att utesluta elementen på grund av ogynnsamma förhållanden.

7.3 Oförstörande provning

7.3.1 Oförstörande provning - Tillvägagångssätt framtaget i kapitel 6

Efter okulär besiktning och kartläggning är det lämpligt att gå vidare med oförstörande provning. Som tidigare nämnt erhålles betongqualität samt armeringstyp och innehåll från befintliga handlingar, därav anses nödvändig provning vara mindre omfattande än för fallet då dessa egenskaper är okända. Provning utförs som ett sätt att bekräfta den befintliga informationen som finns tillgänglig kring elementen.

För verifiering av betongqualität genom oförstörande provning anses användandet av studshammare vara en lämplig metod. Från tillvägagångssättet i avsnitt 6.2.1 presen-

teräs tre olika alternativ för bestämning av provningsfrekvens. Utifrån provning med studshammare och dokumentationen som sammanställts genom okulär besiktning och kartläggning kan en indelning i olika kontrollpartier göras. Dessa kontrollpartier ligger sedan till grund för den fortsatta förstörande provningen. Resultat vad gäller tryckhållfasthet ska jämföras med befintliga handlingar, men bör vidare bekräftas med förstörande provning.

Armeringens placering, dimensioner samt täckande betongskikt är känt från befintliga handlingar. Verifiering av dessa uppgifter rekommenderas att utföras med georadar (GPR) eller annan typ av skanning. Provningsfrekvens för skanning rekommenderas utifrån de tre alternativ som presenteras i kapitel 6.

7.3.2 Oförstörande provning - Tillvägagångssätt för referensprojektet i Helsingborg

Vid det första platsbesöket på projektet utfördes skanning av bjälklagselementens undersida för att kontrollera befintlig böjarmering. Flera typer av bjälklag samt innerväggar skannades för att verifiera att inritad armering i ritningsunderlaget stämde. Skanningen gav även en uppskattning för täckande betongskikt där resultatet visade värden mellan 23-28 mm.

Ingen oförstörande provning av betongens tryckhållfasthet har utförts.

7.3.3 Oförstörande provning - Diskussion kring skillnader och föreslagna kompletteringar

Båda tillvägagångssätten använder skanning som oförstörande metod för att bekräfta uppgifterna från den befintliga dokumentationen rörande armeringsmängd, dess placering och täckskiktets tjocklek. Däremot avviker tillvägagångssätten från varandra vad gäller provning av betongens tryckhållfasthet, då studshammare rekommenderas utifrån tillvägagångssättet i kapitel 6 och detta inte är något som utförts i referensprojektet med vare sig studshammare eller annan oförstörande metod.

Syftet med att inkludera provtagning med studshammare är att erhålla ett underlag för indelning och kategorisering av elementen i olika kontrollpartier baserat på betongens tryckhållfasthet. Genom denna indelning möjliggörs en form av gruppbedömning utan krav på tillverkningsdokumentation för varje enskilt element. Detta i sin tur minskar behovet av förstörande provuttag. Eftersom proverna med studshammare även rekommenderas att utföras på samma ställe som uttag av borrhärlor ska ske kan resultaten dessutom vägas samman och på så sätt styrka varandra.

Att utesluta prover med studshammare kan initialt framstå som mer tids- och kostnadseffektivt. Samtidigt kan inkluderingen av denna provningsmetod medföra att senare steg i processen blir mer effektiva. Genom att dela in elementen i relevanta kontrollpartier och kombinera resultaten från oförstörande och förstörande provning kan tillförlitliga resultat uppnås med ett reducerat antal borrhärlor. Eftersom förstörande tryckhållfasthetstester generellt är mer kostsamma än oförstörande metoder, finns

potential för att övergripligt göra processen mer kostnadseffektiv.

Ur ett perspektiv om tillämpbarhet bedöms provtagning med studshammare vara relativt enkelt att implementera. Metoden kräver dock ytterligare ett platsbesök för genomförande och dokumentation av mätningar. Alternativt att det initiala platsbesöket förlängs för att kunna ta prover på samma gång. På grund av arbetets avgränsningar och att inga riktiga tester har utförts är det dock viktigt att benämna att ovanstående inte kan sägas med säkerhet.

7.4 Förstörande provning

7.4.1 Förstörande provning - Tillvägagångssätt framtaget i kapitel 6

Den förstörande provning som är lämplig att applicera utifrån den befintliga dokumentationen och i enlighet med tillvägagångssättet i kapitel 6 är uttag av borrhärdar för tryckhållfasthet samt provning av karbonatiseringsdjup. Tryckprovning av borrhärdar utförs för att fastställa och bekräfta att betongens hållfasthet stämmer överens med befintliga handlingar samt resultatet från den oförstörande provningen. Kontroll av karbonatiseringsdjup utförs för att bedöma potentialen till återbruk med hänsyn till återstående livslängd samt bedöma korrosionsrisken.

Provningsfrekvens för trycktester av borrhärdar väljs utifrån de tre alternativen som presenteras i tillvägagångssättet i kapitel 6 med hänsyn till de kontrollpartier som skapats i föregående steg. Då oförstörande provning med studshammare rekommenderas bör uttag av borrhärdar inför tryckprovning göras på ett sådant sätt att provresultaten blir direkt jämförbara, se kapitel 6. Resultat från sammanställningen av den oförstörande- och förstörande provningen kan därefter jämföras med informationen från de befintliga handlingarna.

Kontroll av karbonatiseringsdjup utförs för de element som bedöms varit placerade i ett omgivande klimat med en luftfuktighet som stigit över 50 % under en längre period. Lämplig provningsfrekvens enligt tillvägagångssättet i kapitel 6 kan väljas enligt alternativ B eller C, här anses Alternativ C: Erfarenhet och ingenjörsmässig bedömning lämplig. För de element som är aktuella för kontroll av karbonatiseringsdjup kan stickprov utföras på element som haft samma användningsområde eller varit exponerade för samma typ av omgivande klimat.

7.4.2 Förstörande provning - tillvägagångssätt för referensprojektet i Helsingborg

Nedan presenteras de förstörande prover som utfördes inför verifieringen av de tekniska egenskaperna för betongbjälklagen, samt redovisning och hantering av testresultat. Uttag av provkroppar för förstörande provning skedde efter det initiala platsbesöket samt under senare tillfälle för att komplettera med karbonatiseringstester för bjälklag,

där insamlad information från det första platsbesöket kunde ligga till strategisk grund för tillvägagångssättet.

Som nämnts tidigare i avsnitt 7.2.2 uteslöts bjälklag från badrum.

Tryckhållfasthet

Tryckhållfastheten testades från utvalda konstruktionsdelar genom uttag av tolv cylindriska borrkärnor som skickades för analys hos RISE. Provtagningen och undersökningen utfördes enligt SS-EN 12504-1:2019 *Provning av betong i färdiga konstruktioner – Del 1: Borrkärnor – Uttag, undersökning och tryckprovning*.

En statistisk utvärdering av de uppmätta tryckhållfasthetsvärdena genomfördes enligt EN 1990 bilaga D7.2 för att ta fram karakteristisk tryckhållfasthet, se avsnitt 3.11.2. Medelvärdet av resultaten från tryckhållfasthetsprovningen visade ett värde på 34,15 MPa. Vid omräkning enligt EN 1990 bilaga D7.2 erhöles en karakteristisk cylinderhållfasthet f_{ck} på 25,64 MPa.

Kloridinnehåll

Borrkärnor från en innervägg (1 prov) samt ett bjälklag (1 prov) analyserades för kloridinnehåll. Resultatet visade att kloridhalten (kloridjoner/cement (vikt-%)) var 0.06 från provet i innerväggen och 0.03 från provet i bjälklaget. Kloridhalten i proven mättes på ett djup mellan 10-15 mm från betongens yta.

Utifrån resultatet har sannolikheten för korrosion till följd av kloridhalten beräknats till < 0.4 för båda proverna. Därav försumrades kloridinnehållet och inga vidare åtgärder ansågs nödvändiga.

Karbonatisering

Totalt tre borrkärnor från två olika innerväggar analyserades för karbonatiseringsdjup hos RISE. Karbonatiseringstestet utfördes enligt SS-EN 14630:2006. Metoden som användes var pH-mätning genom att spraya provkropparna med tymolftaleinlösning. Från provresultaten som tillhandahölls av RISE bedömdes karbonatiseringsdjupet ligga på ungefär 50 mm för de tre provkropparna. Då täckande betongskikt från befintliga handlingar låg mellan 20-25 mm i bjälklagen menar RISE att en risk för korrosion av armeringsstängerna existerar vid ogynnsamma förhållanden.

Ytterligare ett test genomfördes direkt på plats då karbonatiseringsförloppet studerades genom att elva olika borrkärnor tagna från undersidan av utvalda bjälklag spräcktes. På den spräckta ytan av borrkärnorna applicerades sedan fenolftalein vilket är en pH-indikator, se avsnitt 3.10.2. Det karbonatiserade skiktet avlästes efter 24 timmar med skjutmått enligt standard SS 137242. Resultatet från test på plats visade ett karbonatiseringsdjup mellan 40-64 mm.

Farliga substanser

I syfte att kartlägga innehåll av farliga ämnen i betongelementen samt analysera om det förekommer, och i sådana fall vilka, ämnen som kan lakas ur vid bearbetning utfördes totalhaltsanalys samt laktest. Ett samlingsprov från fem borrhärdar, varav tre var från bjälklag, krossades till en partikelstorlek < 5 mm och analyserades enligt SS-EN 12457-2 *Karaktärisering av avfall - Laktest - Kontrolltest för utlakning från granulära material och slam - Del 2: Enstegs skaktest vid L/S 10 l/kg för material med partikelstorlek mindre än 4 mm (utan eller med nedkrossning)*. Resultatet visade att samtliga mängder av oorganiska farliga substanser befann sig under gränsvärden för farligt avfall.

7.4.3 Förstörande provning - Diskussion kring skillnader och föreslagna kompletteringar

Bland samtliga steg är delen kring förstörande provning den som skiljer sig tydligast mellan tillvägagångssätten. I tillvägagångssättet framtaget i kapitel 6 rekommenderas två typer av provningar medan fyra typer av förstörande provningar utförs i referensprojektet.

Utifrån det framtagna tillvägagångssättet har ett färre antal prover valts ut baserat på elementens användningsområden och omgivande klimat. Uttag av kärnprover för bedömning av tryckhållfasthet rekommenderas och detta har även utförts i referensprojektet enligt den tekniska beskrivningen. Detta utgör ett relevant steg i verifieringen av elementets tekniska egenskaper och bedöms vara nödvändigt.

I tillvägagångssättet framtaget i kapitel 6 rekommenderas karbonatiseringstester för de bjälklag som bedöms ha befunnit sig i ett fuktigare klimat än vad som är typiskt för inomhusbruk. Motsvarande tester har utförts i referensprojektet, där resultaten visade att en betydande karbonatisering hade skett hos elementen.

Av den tekniska beskrivningen framgick även att test för att upptäcka farliga substanser samt analys av kloridinnehåll utfördes i referensprojektet. I det föreslagna tillvägagångssättet har dessa provningsmetoder exkluderats för denna typ av mellanbjälklag. Resultaten från analysen av farliga substanser och kloridinnehåll visade försumbara värden vilket kan motivera uteslutandet av dessa provningar i det föreslagna tillvägagångssättet för detta sammanhang.

Tillämpbarheten hos de båda tillvägagångssätten kan granskas utifrån ekonomiska, resursmässiga och tidsmässiga aspekter. Det föreslagna tillvägagångssättet innehåller färre rekommenderade tester, vilket innebär lägre krav på både resurser och tid för den förstörande provningen. Samtidigt utfördes analysen av farliga substanser i referensprojektet på restmaterial från tryckhållfasthetsprovningen vilket innebär att den extra resurs- och tidsåtgången med stor sannolikhet var begränsad för detta test. I situationer då osäkerheter förekommer kan därför denna typ av provning ändå motiveras.

Vad beträffar provning av kloridinnehåll utfördes detta på borrhärdar uttagna speci-

fikt för ändamålet, vilket sannolikt inneburit en större resurs- och tidsåtgång än om detta utesluts från referensprojektet. Avseende den ekonomiska aspekten kring antal utförda tester är det rimligt att anta att ett färre antal tester generellt leder till en lägre kostnad.

Tillvägagångssättet som presenteras i kapitel 6 baseras i högre grad på antaganden där en viss osäkerhet accepteras. Information kring de tester som inte utförts förblir okänd och bedömningen grundas istället på sannolikhetsbaserade antaganden om att dessa parametrar inte behöver kontrolleras. Detta medför att tillvägagångssättet har ett svagare praktiskt underlag för att verifiera att de tekniska egenskaperna kopplade till bärförmåga, stadga och beständighet är uppfyllda, då det i större utsträckning istället styrks genom antaganden och resonemang.

7.5 Slutsats av verifiering med referensprojekt

På många sätt är det tillvägagångssätt för återbruk av massiva betongbjälklag som tagits fram i detta arbete likt det tillvägagångssätt som använts vid referensprojektet i Helsingborg. Likheterna i det första steget kring okulär besiktning och kartläggning är stora, samt genomgång av befintlig dokumentation och omskrivningar av klassificeringssystem för materialparametrar. De mest framträdande skillnaderna avser den förstörande och oförstörande provningens omfattning. Den oförstörande provningen är mer omfattande i det tillvägagångssätt som tagits fram i detta arbete medan tillvägagångssättet från referensprojektet innefattar en betydligt mer omfattande förstörande provningsinsats.

Resultaten från den förstörande provningen indikerar att vissa analyser, som exempelvis bestämning av kloridhalt, i detta fall haft liten påverkan på den övergripande bedömningen av återbrukbarheten hos elementen. Motsvarande provning bör därför kunna reduceras eller behovsanpassas i liknande fall, vilket är vad som har gjorts i arbetets tillvägagångssätt där bestämning av kloridhalt inte har ansetts nödvändigt. Samtidigt framgår andra aspekter som i viss utsträckning inte har behandlats tillräckligt i det framtagna tillvägagångssättet. Analys av karbonatiseringsdjupet har i stor mån begränsats, medan det i referensprojektet framgick att detta nått förbi det täckande betongskiktet och armeringen vilket kan orsaka problem vid höga relativa luftfuktigheter. Detta motiverar utförandet av tester för bedömning av karbonatiseringsdjup. Att denna grad av karbonatisering har skett i väggelementen i vardagsrum motiverar dock en extra avvägning kring vilka element som ska antas tillhöra vilken exponeringsklass och tillvägagångssättet i kapitel 6 bör därför kompletteras med en utförligare beskrivning av detta.

Sammanfattningsvis visar jämförelsen mellan metoderna att det framtagna tillvägagångssättet har stor potential att tillämpas i praktiken. Samtidigt finns det möjligheter till förbättring, vilket påvisar svårigheterna med att ta fram en generell metod som är tillämpbar för olika projekt. Tillvägagångssättet kräver därmed viss anpassning utefter projektspecifika förutsättningar och syften.

8 Diskussion

I nedanstående kapitel diskuteras samtliga delar av rapporten och frågor som uppkommit längs med arbetets gång. Svårigheter, utmaningar och möjligheter tas upp samt luckor som upptäckts i litteraturen. Aspekter såsom vidare forskning inom ämnet med hänsyn till gällande avgränsningar diskuteras även.

8.1 Brister och kunskapsluckor i litteraturen

En central iakttagelse i arbetet är att det finns flera brister och luckor i litteraturen kring ämnet. I direkt koppling till de avgränsningar som gjorts finns det begränsat med litteratur som behandlar återbruk av prefabricerade massiva betongbjälklag. Istället fokuserar de flesta befintliga studier på håldäcksbjälklag (HDF).

Stora delar av litteraturen behandlar logistiken kring återbruk med demontering, lagring, transport etc. på ett djupare plan medan verifiering av tekniska egenskapskraven hanteras mer övergripigt. Kopplingen till gällande regelverk är i många fall otydlig och i många av de rapporter och artiklar som finns framgår knapp information om verifieringsprocessen kopplad till bärförmågan.

Detta påvisar ett behov av mer praktiskt inriktade studier där verifieringsprocessen kopplas till de gällande kraven och lagstiftningarna.

8.2 Begränsningar med metoden

Studiens metod presenterades i kapitel 2. Där framgick att studien har bestått av fyra olika delmoment. Som beskrivits i avsnitt 1.4.1, introducerar varje delmoment begränsningar och vissa osäkerheter.

Litteraturstudien baserades på befintliga och tillgängliga rapporter, standarder och artiklar. Detta kan ha medfört att resultatet påverkats av kvalitet och urval hos källorna även om informationssökningen varit källkritisk. Tillvägagångssättet inför verifieringen har en begränsad generaliserbarhet då förutsättningar kring varje enskilt projekt skiljer sig åt. Det framtagna och applicerade tillvägagångssättet inför verifieringen är baserat på kvalitativa studier och befintlig kunskap och undersöktes inte genom experimentell validering.

Studien av referensprojekten i kapitel 4 utgick från de identifierade stegen i samma kapitel och tog inte hänsyn till övriga prover eller antaganden som gjorts. Denna analys baserades på tillgängliga rapporter och befintliga resultat publicerade till allmänheten, vilket kan ha resulterat i att vissa delar föll bort. I flera fall var rapporterna otydliga

kring om ett visst test hade utförts eller inte. I vissa fall fanns det resultat för test som inte var beskrivna och ibland benämndes test som det sedan inte fanns något resultat för. Även formuleringar var i vissa fall otydliga, exempelvis kunde det stå "undersökning av armering" men inte mer specifikt kring vilka parametrar det gällde. Ett konservativt tillvägagångssätt applicerades därför, där få egna antaganden och slutsatser drogs vid sammanställning av resultaten.

Intervjustudien begränsades till ett antal öppna frågor à 30 minuter per intervju. Respondenterna var alla aktiva aktörer inom branschen men deras arbetsroller och kompetenser skiljde sig något åt. Då frågorna ställdes öppet kunde därmed ingen direkt jämförelse göras mellan alla svar. Resultatet på denna del av rapporten blev en sammanställning av vad som sagts och framförts under respektive intervju, där respondenterna har fått framföra egna tankar och antydningar vilka inte alltid stämde överens med varandra.

Som en metod för att bestyrka det tillvägagångssätt som tagits fram i arbetet har en teoretisk applicering på ett referensprojektet i Helsingborg (Skanska) utförts. Denna verifiering beaktade enbart hur väl tillvägagångssättet fungerar på ett enskilt projekt med en specifik uppsättning förutsättningar. Förutsättningarna för just detta projekt påverkar därav resultatet av verifieringen för tillvägagångssättet. Vidare var referensprojektet i Helsingborg (Skanska) ett pågående och inte färdigställt projekt, vilket bidrar med begränsningar vad gäller tillgänglig information och slutsatser.

I kapitel 7 har en teknisk beskrivning, konstruktionsritningar samt personlig kommunikation legat till grund för den information som presenteras. Det bör här uppmärksammas att projektet, på grund av förändrade förutsättningar, omvärderade återbruket till att omfatta ett mindre antal element under projekterings gång än vad som var tänkt från början. Detta resulterar även i att de mellanbjälklag som skulle återbrukas inte fyllde samma funktion i den nya byggnaden som i den gamla.

8.3 Tillämpbarhet och brister hos framtaget tillvägagångssätt

Att ta fram ett tillvägagångssätt för verifieringen av de tekniska egenskapskraven har visat sig vara en stor utmaning, speciellt utifrån ett mer generellt fall. Genom arbetets gång blev det tydligt att tillvägagångssättet ofta avgörs från projektens specifika förutsättningar. Tillvägagångssättet från kapitel 6 har gjorts med ambitionen att kunna applicera detta på olika typer av projekt, men där en viss anpassning utefter de specifika förutsättningarna kommer behöva göras. I avsnitt 1.4 presenteras förutsättningar som ligger till grund för resultatet i kapitel 6, där en förutsättning är att vissa av armeringens egenskaper är okända eller otillräckligt presenterade. Det specificeras inte exakt vilka egenskaper som förutsätts vara okända utan endast att någon eller några är det. Vad som menas med detta kan till exempel vara i ett scenario då dokumenterade egenskaper kring armeringen saknas, men genom brytning av betongytan eller uttag av provkroppar kan egenskaper såsom diameter och centrumavstånd avläsas.

Tillvägagångssättet förlitar sig starkt på indelningen av element i kontrollpartier genom befintlig dokumentation, visuell inspektion och oförstörande provning. I kapitel 6 beskrivs hur detta kan utföras genom tillämpning av olika metoder men mer ingående än så beskrivs inte det praktiska förfarandet. Vid det faktiska utförandet kan osäkerheter förväntas uppstå som inte tas upp i det beskrivna tillvägagångssättet. Detta grundar sig framförallt i att ambitionen har varit att hålla tillvägagångssättet på en så generell nivå som möjligt. Därmed förväntas det inte vara optimalt anpassat för att motverka och hantera projektspecifika problem som kan uppstå i de olika stegen.

En grundläggande del vad gäller provning av karbonatiseringsdjup är kategoriseringen av element i exponeringsklasserna X0 och XC1. Metoden går inte in på hur själva uppdelningen ska genomföras i praktiken, utan hänvisar istället till de riktlinjer som finns i gällande standarder. För att detta urval av element ska kännas tillförlitligt nog för att kunna utesluta provning av karbonatiseringsdjup för vissa element, krävs att en korrekt indelning har gjorts. Standarderna beskriver exponeringsklass XC1 som ständigt torr eller ständigt våt medan X0 beskrivs som mycket torr. Vart gränsen mellan dessa går är upp till ansvarig konstruktör och ett förbättringsförslag för det föreslagna tillvägagångssättet är därför att tydligare specificera var gränsen för dessa går. I nuläget rekommenderas att prover alltid utförs om osäkerheter kring exponeringsklass uppstår. För att underlätta framtida applicering av tillvägagångssättet bör gränserna för exponeringsklasserna exemplifieras och kategorisera utefter verkliga fall och inte enbart baserat på vad dagens standarder förmedlar. Detta då klassificeringssystem tenderar att ändras över tid. Det är samtidigt även viktigt att konstruktören kan göra egna bedömningar och inte endast förlita sig på ett klassificeringssystem.

8.4 Teori i relation till praktik

Under arbetets gång har flera skillnader mellan teorin och praktiken uppmärksamats. Många gånger handlar det om att man i praktiken väljer att ta avsteg från det teoretiska tillvägagångssättet för att konstruktören i fråga känner sig säker på att en viss aspekt inte kommer utgöra något problem eller att tidigare erfarenhet inom liknande projekt har påvisat att steg i teorin inte är nödvändiga. Det viktiga i detta sammanhang är de ingenjörsmässiga bedömningar och antaganden som gjorts och att konstruktören kan känna sig tillräckligt säker med att lämna ifrån sig något som denne vet kommer att hålla. Som nämnts både i avsnitt 3.3.4, samt i kapitel 5, är det inget krav att följa de standarder som finns, det gäller bara att de tekniska egenskapskraven samt kraven från PBL, se avsnitt 3.3, är uppfyllda.

Den största anledningen till skillnaderna mellan teorin och praktiken antas vara att teorin tar hänsyn till en mer utförlig provning och verifiering. I praktiken behöver hänsyn även tas till kostnader, tid, resurser osv. vilket gör att man i stor utsträckning vill sälla bort den provning som inte anses vara nödvändig i det aktuella fallet. Exempelvis kan det vara nödvändigt att undersöka kloridfronten i ett element som befunnit sig i utomhusmiljö nära havet medans samma behov inte finns för ett element i inomhusmiljö med kontrollerade fuktförhållanden. Behovet av olika prover varierar från projekt till projekt och detta är något som i praktiken måste tas hänsyn till.

Arbetet har behandlat frågan kring gruppbedömning av element inför återbruk från både ett teoretiskt och praktiskt perspektiv. Från teorin har det framgått att för att kunna tillämpa gruppbedömning måste elementens tillverkning och bakgrund vara kända, se 3.10.6 Gruppbedömning. I konversation med flera sakkunniga inom branschen har det dock framgått att det i många fall går att anta att lika bjälklagstyper i en byggnad kommer från samma tillverkare utan att det framgår i någon dokumentation. Antaganden som detta ges knappt något utrymme för alls i litteraturen och teorin, medan det i praktiken har en framträdande roll för att återbruk ska vara möjligt och av nytta.

8.5 Steg 0 i återbruksprocessen

Innan själva verifieringsprocessen startar är det viktigt att ha klargjort vilka begränsningar som finns med det aktuella återbruket. En central fråga i detta stadium är inte hur återbruket ska verifieras, utan om det i det aktuella fallet är motiverbart att överhuvudtaget genomföra. I avsnitt 1.4 framgår det att detta inte ingår i studiens omfattning, men det är en otroligt viktig del i återbruksprocessen som helhet.

Ett inledande “steg 0” är en förutsättning för att verifieringsprocessen ska vara meningsfull. I detta skede behöver återbruket värderas och motiveras utifrån flera olika faktorer. Miljömässiga vinster ställs ofta mot ekonomiska och praktiska aspekter. Även om återbruk generellt betraktas som positivt utifrån ett hållbarhetsperspektiv, är det inte alltid fallet i varje enskild situation. Omfattande behov av anpassning, förstärkningar eller transporter kan utmana de miljömässiga fördelarna. Det finns även osäkerheter kopplade till resursåtgång och risker. Återbruk av bärande konstruktionsdelar innebär ibland större osäkerheter än vad användning av nya material gör, vilket kan leda till ökade kostnader för utredningar, projektering och provning. En viktig avvägning är att definiera vart gränsen går för när återbruket inte längre anses vara till nytta. Om verifieringsprocessen blir alltför omfattande riskerar den att motverka sitt syfte både tidsmässigt och ekonomiskt. I och med detta blir det tydligt att verifieringsprocessen inte kan betraktas som ett isolerat problem, utan hela återbruksprocessen består av ett större beslutsflöde med flera utmaningar. Att detta “steg 0” har en framträdande roll i projektets början är därför extremt viktigt för både projektets utfall och framtiden för återbruk, då bristande planering och resultat hos vissa projekt kan avskräcka andra aktörer från att ens försöka.

8.6 Hantering av bristande dokumentation och gruppbedömning

Bristande dokumentation är ett stort problem vid återbruk, framförallt då det handlar om äldre byggnader där ritningar kan vara ofullständiga eller där information om ombyggnader saknas. Kraven på dokumentation skiljer sig från förr jämfört med idag och det finns även naturliga skillnader kring förvaltning av dessa beroende på vilket årtal byggnaden upprättades. Dokumentation kunde inte förvaltas i digitala databaser

förr i tiden vilket i sig kan vara en källa till att viktig information gått förlorad. Situationen kan även te sig så att företaget som tillverkade elementen inte längre finns kvar idag. Då dokumentationen inte alltid är komplett när det rör sig om äldre byggnader, och inte för alla nya heller, kan metoder som tungt bygger på befintlig dokumentation vara svårapplicerade. Verifiering genom provning blir då avgörande för att påvisa att de tekniska egenskapskraven är uppfyllda.

Hanteringen av bristande dokumentation utgör en central utmaning i återbruk av bärande element då det medför stora osäkerheter som kan leda till överdrivet konservativa antaganden eller å andra sidan riskfyllda beslut om inte verifiering genom provning tillämpas på ett tillförlitligt sätt. En avvägning måste göras mellan hur mycket osäkerheter som kan vara acceptabelt om återbruket ska genomföras. I flera av intervjuerna, se kapitel 5, framgår det att om det knappt finns någon information alls, är det oftast inte ekonomiskt och resursmässigt nyttigt att utföra återbruket och då lönar det sig mer att bara bygga nytt. Inför framtiden är detta ett av de viktigaste aspekterna för att kunna möjliggöra ett ökat återbruk av bärande element. Genom att säkerställa att en tydlig och komplett dokumentation efterlämnas inför framtiden kommer det att underlätta för nästkommande generationers arbete.

Att tillämpa gruppbedömning kan underlätta verifieringsprocessen markant, framförallt genom att minska omfattningen av prover som behöver utföras. I större projekt blir gruppbedömning en förutsättning för att ens kunna genomföra återbruket då provningen i annat fall blir oförsvarbart omfattande. Någon form av gruppbedömning blir därför nödvändig i nästan alla projekt. I avsnitt 3.10.5 framgår att för att gruppbedömning ska kunna tillämpas på en mängd element krävs det att elementen har haft samma tillverkningsprocess. Där framgår att utan dokumentation kan inte tillverkningsprocessen med säkerhet fastställas och därav kan inte gruppbedömning appliceras då dokumentationen är bristfällig eller saknas. Detta anses dock inte riktigt vara fallet i praktiken. Efter samtal med respondenterna i intervjustudien samt sakkunniga inom området har det fastställts att det i många fall handlar om en avvägning och om att göra antaganden. Två likadana prefabricerade element i samma byggnad eller två likadana prefabricerade element i olika byggnader som byggdes samtidigt under samma entreprenad kan i många fall antas komma från samma tillverkare. Att göra antaganden som detta kan vara nödvändigt för att återbruk av bärande element ska vara möjligt då det möjliggör verifiering av kontrollpartier istället för varje enskilt element.

Självklart medför detta även vissa risker. Att göra antaganden om att elementen inom samma kontrollparti är likvärdiga utan att vara helt säker är inte alltid riskfritt. Det kan förekomma variationer i materialet eller utförandet och det finns alltid en risk att "avvikande" element missas. En stor utmaning med både gruppbedömning och bristande dokumentation är att de är förutsättningar för varandra. Då dokumentationen är bristfällig ökar behovet av gruppbedömning för att hålla nere omfattningen av förstörande provning, men den bristfälliga dokumentationen ökar även osäkerheterna med gruppbedömningen då indelningen i kontrollpartier kan bli mer svårbedömd.

Det föreslagna tillvägagångssättet i kapitel 6 hanterar dessa problem genom att föreslå en mer omfattande oförstörande provningsfas. Genom att undersöka elementens egenskaper med oförstörande metoder kan indelningen i kontrollpartier utföras med större

säkerhet vilket ökar förutsättningarna för att en lyckad gruppbedömning ska kunna genomföras och den försrörande provningen på så sätt reduceras. Valet av metod vid bestämning av provningsfrekvens kan också spela in i gruppbedömningens framgång. Genom att tillämpa alternativ B: Statistisk utvärdering och uppdatering kan en successiv verifiering av elementen utföras där partier med osäkerheter i resultaten kan undersökas igen tills dess att resultaten anses tillförlitliga, medan grupper där resultaten anses tillförlitliga från början inte behöver iterera processen. Samtidigt kräver detta expertkunskap som det i nuläget råder brist på i Sverige.

Andra sätt att hantera problemet är att tillämpa en mer konservativ indelning av kontrollpartier där fler partier sammanställs med färre element i varje. Användning av tydliga säkerhetsmarginaler kan också ge större säkerhet i gruppbedömningen men samtidigt blir det en källa till överdriven materialanvändning.

8.7 Donatorbyggnader och tillgång på element

Förutsättningarna för återbruk är starkt beroende av utbudet och tillgången på lämpliga donatorbyggnader. Om återbruk ska vara möjligt att genomföra krävs det att element finns tillgängliga i rätt dimensioner, mängd och vid rätt tidpunkt. Projekteringen måste därför i stor utsträckning utgå från vilka resurser som finns tillgängliga snarare än de optimala konstruktionslösningarna. Större krav på flexibiliteten i designprocessen kan därför komma att ställas och en stor mängd begränsningar kan uppkomma. Det traditionella arbetssättet där elementen anpassas till byggnadens utformning utmanas och istället krävs det att byggnaden utformas efter utbudet av element.

Inte bara tillgängligheten på element utgör en utmaning för återbruket, placeringen och tidslinjen för potentiella donatorbyggnader kan också vara ett hinder. Sällan kan ett hus precis intill det nya projektet rivas och framförallt inte exakt vid den tidpunkt som passar det nya projektet. Lagring och transport blir därför viktiga aspekter i återbruksprocessen.

För att återbruk ska kunna ske i stor skala krävs en lösning på de logistiska problemen. Ett lager där förvaltning och registrering av elementen sker hade kunnat vara en eventuell lösning på detta problem. Genom att samla information kring vilka donatorbyggnader och element som finns tillgängliga och se till så att dessa förvaras på ett bra sätt hade återbruket kunnat främjas inom branschen. Att göra en digital plattform där alla element kan registreras hade underlättat ytterligare. Självklart kommer även detta med utmaningar. Stora lokaler krävs för att kunna lagra elementen, personal som förvaltar dem och kontrollerar dess egenskaper samt en tillräckligt stor efterfrågan för att detta ska vara lönsamt. Effektivisering av element-utbudet är dock något som hade gynnat återbruks-branschen mycket.

8.8 Demontering och lagring

En av de största utmaningarna när det kommer till återbruk av hela bärande element är demontering och lagring. Detta är faser i processen som inte hanteras inom ramen

för detta arbete men som kan ha stor inverkan på om elementen uppfyller de tekniska egenskapskraven genom hela processen. Demonteringsmomentet kräver större kunskap och försiktighet än vad vanlig rivning gör eftersom elementen behöver kunna plockas ut ur konstruktionen utan att skadas. Det kräver mycket planering och är markant dyrare än en vanlig rivningsprocess enligt flera av respondenterna i intervjustudien, se kapitel 5.

Lagringen mellan demontering och insättning i den nya byggnaden kan innebära stora påfrestningar på elementen. Vart och hur elementen förvaras kan påverka egenskaperna och extra verifiering kan därför komma att krävas i senare skeden av processen. Många gånger lagras element utomhus eller i icke uppvärmda lokaler vilket kan vara en stor risk för karbonatisering och korrosion på armeringen. Ju längre elementen förvaras i denna typ av klimat desto större blir behovet av skyddande åtgärder för att se till så egenskaperna hos elementet kan bevaras.

8.9 Digitalisering och spårbarhet

En annan utmaning under återbruksprocessen handlar om att hålla egenskaperna och informationen kopplade till specifika element. När ett element har testats och demonteras krävs det att resultaten kan fortsätta kopplas till just det elementet för att säkerställa att det placeras rätt i den nya konstruktionen, samt för att underlätta framtida ombyggnader och kontroller. Dagens samhälle ställer stora krav på att lättillgänglig dokumentation ska vara digitaliserad. Ett sätt att göra elementen spårbara och informationen lättillgänglig hade därför varit att förvalta den med någon ny form av spårningsteknik. För att underlätta framtida återbruk och demonteringar hade en rf-modul kunnat anslutas till elementen i samband med gjutning. Detta chip hade sedan kunnat skannas och på så sätt ge information kring tekniska egenskaper. På många sätt skulle detta underlätta både för elementens spårbarhet men också för att säkerställa att dokumentationen som lämnas vidare är mer komplett med elementets materialparametrar och mängder. Även beräkningar, gällande standarder och betongrecept hade kunnat lagras. Om ett system som detta implementeras hade återbruket i framtiden kunnat underlättas och ännu ett steg mot en cirkulär byggsektor kunna tas. Detta var även något som diskuterades med en av respondenterna i intervjustudien och denne bekräftade att det här är något som hade underlättat för framtida återbruksprocesser.

8.10 Ekonomiska aspekter och tillgång till resurser

Återbruk får inte bli för dyrt eller tidskrävande. Från intervjustudien framgår det tydligt att den ekonomiska aspekten spelar en stor roll när det kommer till såväl initiativtagande som val av tillvägagångssätt vid återbruk av konstruktionselement. Generellt är det idag billigare och mer tidseffektivt att producera nya element än att återbruka befintliga. Vid projektering av nya byggnader kan utformning och dimensioner av element skräddarsys för att uppnå en önskad planutformning och optimera byggnaden,

men vid återbruk fungerar inte detta i samma utsträckning då elementen redan finns tillverkade och utbudet är begränsat. Extra tid och resurser kan behöva läggas antingen på att anpassa de återbrukade elementen till den redan tänkta planutformningen för en ny byggnad eller på att anpassa den nya byggnaden efter de element som finns tillgängliga. Extra resurser behöver även läggas på inventering och kartläggningen av återbrukbara element, vilket är något som inte krävs på samma sätt för nyproducerade.

Provning och verifiering utgör en stor del av den extra resursinsats som krävs vid planerat återbruk. För nytillverkade element finns certifieringsmärkningar, såsom CE-märkning, vilket gör det väldigt enkelt för byggherren att veta om elementen uppfyller de gällande egenskapskraven. Vid återbruk hamnar istället ansvaret på byggherren själv att verifiera och bestyrka dessa egenskaper, vilket tillför ett extra (och relativt obeprövat) steg i hela projekteringsprocessen. Det är i princip omöjligt att undvika någon typ av provning inför återbruk av konstruktionselement även om omfattningen av denna varierar från fall till fall. En extra kostnad utifrån de förutsättningar som finns vid nybyggnad idag blir dessvärre ett faktum om användandet av återbrukade element ska vara möjligt.

Utöver de extra resurserna har även krav och byggnormer ändrats under de senaste årtiondena och de element som idag är intressanta för återbruk har med största sannolikhet genomlevt ett sådant skifte. Från litteratur- och intervjustudien är uppfattningen att kraven generellt har skärpts genom åren. I praktiken innebär detta att dessa element i många fall inte kan uppfylla dagens krav på exempelvis minimimängd armering eller täckande betongskikt utan att vidta någon form av åtgärd. Därmed kan extra insatser behöva göras för att uppfylla dessa krav, eller göra avväganden om det går att göra avsteg från vissa av dessa krav. Frågan kring om det finns någon ekonomisk vinning i att stärka upp ett befintligt bjälklag med exempelvis extra armering istället för att producera ett nytt som uppfyller alla krav kan absolut diskuteras.

Inom diskussionen kring de ekonomiska och resurskrävande aspekterna är det viktigt att poängtera att återbruk inte framställs som ett sätt att spara in på dessa, utan handlar om att uppnå de klimatutmaningar som byggsektorn står inför. Det motiverar således de avgränsningar som gjorts kring dessa aspekter inom arbete. Samtidigt kommer den ekonomiska aspekten alltid spela en stor roll i praktiken.

8.11 Reflektion kring verifieringsmetoder och beaktning av de tekniska egenskapskraven

Genom arbetet har provningsmetoder presenterats separat för att tydliggöra skillnaden mellan deras syfte och resultat, samt ge ett distinkt tillvägagångssätt. I verkligheten kan gränserna mellan de olika provningarna vara mer diffus. Genom provtagning för bestämning av en parameter kan i flera fall andra parametrar bestämmas genom analys av samma provkropp. Då fullskalig provning utförs kan exempelvis även information kring armeringens placering och diameter avläsas i samband med att elementet ska kasseras. Mätning av karbonatiseringsdjup kan också utföras efter fullskalig provning genom att använda delar av det redan förstörda elementet. I de fall då provning av farli-

ga substanser utförs kan detta göras på rester från trycktestade borrhärdar. I praktiken leder detta till att ett färre antal provkroppar kan behövas än vad som föreslås i det framtagna tillvägagångssättet genom att slå ihop undersökningen av olika parametrar i en och samma provningsmetod och därigenom effektivisera materialåtgången.

En central del av arbetet har kretsat kring att klargöra vilka tidsberoende effekter som kan påverka bärrigheten hos betongelement i befintliga byggnader, se avsnitt 3.5. Vissa av dessa faktorer har en direkt koppling till bärrigheten såsom hållfasthet, medan andra faktorer såsom karbonatisering har mer sekundär påverkan. Karbonatisering i sig påverkar inte betongens bärrighet utan det handlar snarare om de konsekvenser som kan följa på grund av att betongen har karbonatiserat. Därmed behöver informationen kring hållfastheten så som resultat av tryckhållfastheten från provning, behandlas på ett annat sätt än den information som kommer från provning av karbonatiseringsdjup. Även om betongen har en betydande karbonatisering behöver inte detta betyda att bärrigheten har påverkats. Armeringen skyddas inte längre från korrosion då karbonatiseringsdjupet är större än det täckande betongskiktet, men i teorin gäller det generellt att så länge den relativa luftfuktigheten är lägre än 60 % kommer armeringen inte att börja rosta. I teorin skulle detta innebära att bärrigheten inte påverkas av karbonatisering så länge fuktnivån hålls inom det som är typiskt för inomhusklimat. Det kan dock vara svårt att med säkerhet garantera att den relativa luftfuktigheten aldrig kommer stiga över 60 % när även andra steg i återbruksprocessen beaktas så som mellanlagring och transport. Därav är karbonatisering ändå en relevant parameter att ta hänsyn till när det kommer till beaktning av bärrigheten hos mellanbjälklag.

8.12 Återbrukets miljönytta

Återbruk lyfts ofta fram som ett sätt att minska klimatpåverkan från byggsektorn genom att minska behovet av nyproduktion och på så sätt reducera utsläppen från materialproduktion. Denna potentiella miljönytta är särskilt relevant för betongkonstruktioner då cementproduktionen är en stor bidragande faktor till koldioxidutsläppen inom sektorn. I praktiken kan återbruk av hela element innebära att en redan inbyggd klimatbelastning kan nyttjas under en längre tid vilket ökar det cirkulära resursutnyttjandet. Samtidigt visar detta arbete att den praktiska miljönyttan inte alltid är så enkel att bedöma. För att kunna genomföra ett lyckat återbruk krävs omfattande inventering, verifiering och demontering samt transporter och lagringsmöjligheter. Alla dessa processer bidrar med kostnader och ytterligare resursanvändning, vilket innebär att miljövinsten inte alltid är självklar.

Återbrukets nytta påverkas av ett stort antal projektspecifika faktorer som exempelvis elementens skick, byggnadens utformning och placering, logistiska förutsättningar samt tillgången på befintlig dokumentation. I vissa fall kan återbruket innebära stora miljöbesparingar, medan nyttan i andra projekt riskerar att minska eftersom långa transportsträckor och omfattande bearbetning blir nödvändigt. Därmed kan det argumenteras för att återbrukets största potential inte bara ligger i den direkta klimatbesparingen, utan även i utvecklingen av mer standardiserade och effektiva arbetssätt. För att denna utveckling ska kunna göras i större skala krävs dock en ökad samver-

kan mellan olika aktörer och tydligare riktlinjer för hur verifieringen och processen i stort ska gå till. En omställning av det traditionella arbetssättet krävs genom hela branschen för att återbrukets potential ska utnyttjas i så stor grad som möjligt.

8.13 Följder och vidare studier

Som redan nämnts har arbetet visat svårigheterna i att ta fram ett generellt tillvägagångssätt för verifiering av de tekniska egenskapskraven för massiva betongbjälklag inför återbruk. Detta beror på brist på befintliga vägledningar och standarder samt den stora mängd osäkerheter och projektspecifika faktorer som spelar in. För att möjliggöra vidareutveckling av ett sådant tillvägagångssätt krävs därför ökade styrmedel och tydligare riktlinjer.

Verifiering av de tekniska egenskapskraven kopplade till bärförmåga, stadga och beständighet är bara en liten del av en väldigt omfattande process vid återbruk. I detta arbete har avgränsningar gjorts och fokus lagts på själva verifieringen och provningen enbart. Några av de största utmaningarna med återbruk ligger dock i de logistiska aspekterna vilket nämns i tidigare delar av detta kapitel. Vidare undersökningar och analyser av hur demonteringsmoment, lagring och transporter kan standardiseras och effektiviseras är därför nödvändigt för att en sammantaget effektiv och nyttig återbruksprocess ska kunna implementeras i branschen.

För detta arbete har avgränsningar gjorts på så sätt att elementens prestanda i bruksstadiet inte behandlas och detta har därmed inte implementerats i tillvägagångssättet presenterat i kapitel 6. Däremot finns det befintliga lagkrav gällande detta i Plan- och bygglagen (PBL) vilket innebär att en sådan verifiering är nödvändig inför återbruk. För vidare studier inom området föreslås infallsvinkeln hur verifiering av egenskapskraven kopplade till elementets prestanda i bruksstadiet ska behandlas.

9 Arbetets slutsatser

9.1 Uppfyllelse av syfte och mål

Arbetets syfte var att ta fram ett tillvägagångssätt för verifiering av tekniska egenskaper kopplade till bärförmågan hos prefabricerade massiva betongbjälklag inför återbruk. Detta i enlighet med Plan- och bygglagen och Plan- och byggförordningen.

Resultatet visar ett tillvägagångssätt som gör det möjligt att identifiera relevanta material- och hållfasthetsparametrar för att bedöma om de tekniska egenskapskraven kopplade till bärförmåga, stadga och beständighet är uppfyllda. Den framtagna metoden bidrar därmed till ett stöd i beslutsprocessen kring återbruk av massiva betongbjälklag. Däremot krävs stora anpassningar efter projektspecifika förutsättningar för att optimera verifieringsprocessen och i flera steg krävs antaganden och ingenjörsmässiga bedömningar.

Målet var att redogöra för ett tillvägagångssätt vid verifiering av elementen som kan kännas tillförlitligt samt funktionellt för både om- och nybyggnationer där återbrukade element ämnas användas. Efter genomförandet av arbetet bearbetades resultatet från både litteraturundersökningen, intervjustudien och analysen av referensprojekt. Från detta framgår det att ett generellt tillvägagångssätt som är applicerbart på alla projekt inom avgränsningarna inte är möjligt att framställa utan riktlinjer, som kan vara i form av en gällande standard för återbruk av bärande element. Samtidigt framgår det att stora utmaningar finns i praktiken, framförallt kopplade till bristande dokumentation och logistik.

9.2 Svar på frågeställningar

Arbetets problemformuleringar och frågeställningar har besvarats löpande genom rapportens olika delar. Då området omfattar många tekniska och praktiska aspekter är det svårt att ge kortfattade och konkreta svar. Läsaren hänvisas därför till nedanstående sammanfattning samt till respektive kapitel för mer utförliga resonemang.

Studien visar att det idag finns flera metoder och tillvägagångssätt för verifiering vid återbruk av massiva bärande betongbjälklag. Flera större aktörer inom byggbranschen har sammanställt och presenterat vägledningar och rekommendationer för hur inventering, provning och verifiering kan genomföras, vilket behandlas mer ingående i avsnitt 3.9 samt 3.10. En central slutsats är att verifiering i de allra flesta fall behöver ske genom provning, eftersom återbrukade byggnadsdelar sällan kan redogöras för med exempelvis prestandadeklarationer och CE- märkning, vilket diskuteras i avsnitt 3.3.4.

Resultatet av studien visar att det är möjligt att sammanställa ett tillvägagångssätt

för verifiering av de tekniska egenskapskraven kopplade till stadga, bärförmåga och beständighet i enlighet med PBL och PBF. Däremot kan tillvägagångssättets generaliserbarhet diskuteras. Verifieringsprocessen är i hög grad beroende av projektspecifika förutsättningar, därav kan betydande variationer uppstå mellan olika projekt. Det framtagna tillvägagångssättet i kapitel 6 bedöms kunna appliceras inom ramen för arbetets avgränsningar, se avsnitt 1.4, men metoden behöver alltid anpassas efter förutsättningarna och det tillgängliga underlaget för det aktuella projektet.

I kapitel 7 provas det framtagna tillvägagångssättet i kapitel 6 genom tillämpning på ett verkligt referensprojekt. Med utgångspunkt från de förutsättningar som fanns i referensprojektet samt de avgränsningar som gjorts i avsnitt 1.4, har tillvägagångssättet kunnat tillämpas och anpassas praktiskt. Resultatet indikerar därmed att tillvägagångssättet är genomförbart, dock krävs påtaglig projektanpassning.

Studien identifierar flera betydande utmaningar inom verifieringsprocessen för återbruk av bärande betongelement. Några av de mest framträdande utmaningarna behandlas i kapitel 5 och kapitel 8 och omfattar bland annat diskussion kring logistik och mellanlagring av elementen, men även aspekter så som ekonomi, tillgången på dokumentation samt behovet av kartläggning och planering är framträdande utmaningar inom området. Samtliga av dessa faktorer påverkar verifieringsprocessens omfattning och möjligheten att genomföra återbruket i praktiken.

9.3 Slutsatser

Det genomförda arbetet visar att det är möjligt att framställa ett delvis generellt tillvägagångssätt för verifiering av de tekniska egenskaperna kopplade till bärförmåga, stadga och beständighet vid återbruk av massiva betongbjälklag i exponeringsklass X0 och XC1. Detta tillvägagångssätt kan fungera som ett ramverk för verifiering och bedömning av elementens återbrukspotential, men resultaten visar samtidigt att en hög grad av anpassning krävs efter projektspecifika förutsättningar. Även när samma grundläggande metodik används kan de tekniska lösningarna och det praktiska genomförandet skilja sig avsevärt mellan olika projekt.

Vidare framgår det att återbruk av bärande betongelement är en komplex process där ett stort antal ekonomiska, tekniska och logistiska aspekter påverkar genomförandet. Den övergripande problematiken är bred och standardisering av verifieringsprocessen utgör endast en begränsad del av denna. För att branschen ska kunna utvecklas inom detta område krävs tydligare standarder och gemensamma riktlinjer. Utan dessa riskerar varje projekt att bli omfattande och resurskrävande då bedömning och verifiering i stor utsträckning behöver anpassas från fall till fall.

Studien visar därmed att framtagandet av ett tillvägagångssätt för verifiering av de tekniska egenskapskraven är ett viktigt steg mot ökat återbruk. Däremot så löser detta i sig inte de utmaningar som kvarstår. Frågan om återbruk av bärande, massiva betongbjälklag är betydligt större och kräver lösningar i flera led där både tekniska, logistiska och praktiska aspekter behöver utvecklas parallellt för att återbruket ska kunna främjas.

Litteratur

- [1] Svensk betong. *Därför behöver vi betong*. u.å a. URL: <https://www.svenskbetong.se/om-betong/darfor-behover-vi-betong> (hämtad 2026-01-23).
- [2] SGU. *Cement och betong*. 2023. URL: <https://www.sgu.se/mineralnaring/industrimineral/cement-och-betong/> (hämtad 2026-01-23).
- [3] Naturskyddsföreningen. *Cement, klimat och miljö*. 2023. URL: <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/cement-klimat-och-miljo/> (hämtad 2026-01-23).
- [4] RISE. *Återbrukad betong bygger framtidens städer*. u.å a. URL: <https://www.ri.se/sv/byggd-miljo/betong-och-cement/berattelse/aterbrukad-betong-bygger-framtidens-stader> (hämtad 2026-01-23).
- [5] Boverket. *Återbruk av sammansatta byggprodukter och byggnadsdelar*. 2024 a. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/cirkulara-byggnader/aterbruk/byggprodukter/> (hämtad 2026-01-23).
- [6] Boverket. *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*. 2025 a. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/> (hämtad 2026-01-23).
- [7] Boverket. *Vägledning om återbruk av bärverksdelar*. 2025 b. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/vagledning/barverksdelar/> (hämtad 2026-01-23).
- [8] RISE. *Kvalitetssäkring av betongelement för återbruk*. u.å. URL: <https://www.ri.se/sv/byggd-miljo/betong-och-cement/tjanster/kvalitetssakring-av-betongelement-for-aterbruk> (hämtad 2026-01-29).
- [9] Svensk betong. *Produktionsmetoder*. u.å b. URL: <https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/produktionsmetoder> (hämtad 2026-01-23).
- [10] McNamee, M. et al. *Hållbar hantering av byggavfall - återbruk av brandklassade produkter*. 2021. URL: <https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/9841bb5e-3e1b-4295-9daa-ed79f524dc67/FinalReport/SBUF%2014009%20Slutrapport%20H%C3%A5llbar%20hantering%20av%20byggavfall%20%C3%A5terbruk%20av%20brandklassade%20produkter.pdf> (hämtad 2026-01-23).
- [11] Boverket. *Bygg- och fastighetssektorns uppkomna mängder avfall*. 2025. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/avfall/> (hämtad 2026-02-09).

- [12] Sveriges miljömål. *Mer bygg- och rivningsavfall återvinns och förbereds för återanvändning*. 2025. URL: <https://www.sverigesmiljomal.se/etappmalen/mer-bygg--och-rivningsavfall-materialatervinns-och-forbereds-for-ateranvandning/> (hämtad 2026-02-09).
- [13] Boverket. *Cirkulära byggnader*. 2025. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/cirkulara-byggnader/> (hämtad 2026-02-09).
- [14] EUR-Lex. *EU:s lagstiftning om avfallshantering - sammanfattning av Sirektiv 2008/98/EG*. 2026. URL: <https://eur-lex.europa.eu/SV/legal-content/summary/eu-waste-management-law.html> (hämtad 2026-02-09).
- [15] Naturvårdsverket. "Från avfallshantering till resurshushållning". I: *Naturvårdsverket Rapport 6502* (2012).
- [16] Boverket. *Miljönyttan med cirkulärt byggande*. 2024. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/cirkulara-byggnader/miljonytta/> (hämtad 2026-02-09).
- [17] Boverket. *Projektering och utförande av byggnader - säkerhet vid användning*. 2025 h. URL: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/sakerhet-anvandning/projektering-utforande/> (hämtad 2026-03-12).
- [18] Boverket. *Krav vid ändring av byggnader*. 2025 g. URL: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/andring-av-byggnader/krav-vid-andring-av-byggnader/> (hämtad 2026-03-10).
- [19] Boverket. *Ombyggnad*. 2026. URL: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/andring-av-byggnader/ombyggnad/> (hämtad 2026-03-12).
- [20] Boverket. *Regler och ansvar*. 2025 d. URL: https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/vagledning/barverksdelar/regler_och_ansvar/ (hämtad 2026-01-28).
- [21] Sveriges riksdag. *Plan- och bygglag (2010:900)*. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan-och-bygglag-2010900_sfs-2010-900/. [Hämtad: 2026-01-29]. 2010.
- [22] Sveriges riksdag. *Lag(1994:847) om tekniska egenskapskrav på byggnader mm.* https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-1994847-om-tekniska-egenskapskrav-pa_sfs-1994-847/S. [Hämtad: 2026-01-29]. 1994.
- [23] Boverket. *Boverkets föreskrifter och allmänna råd om bärförmåga, stadga och beständighet i byggnader m.m. (BFS 2024:6)*. <https://rinfo.boverket.se/BFS2024-6>. [Hämtad: 2026-01-29]. 2024.
- [24] Jan Suchorzewski, Fabio Santandrea och Katarina Malaga. *Quality assurance for reused concrete building elements*. 2023.
- [25] Europeiska kommissionen. *Standarder i Europa*. 2026. URL: https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/standards/standards-in-europe/index_sv.htm (hämtad 2026-02-09).

- [26] Boverket. *CE-märkning och återbruk*. 2021. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/styrmedel/ce-markning-och-aterbruk/> (hämtad 2026-02-09).
- [27] Svenska Institutet för standarder. *CE-märkning*. u.å. URL: <https://www.sis.se/standarder/ce-markning/> (hämtad 2026-02-02).
- [28] Boverket. *Typgodkännande*. 2021. URL: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/byggprodukter/att-salja-byggprodukter/typgodkannande/> (hämtad 2026-02-02).
- [29] Boverket. *Byggherrens ansvar*. 2025 k. URL: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/lov--byggande/byggprocessen/byggherrens-ansvar/> (hämtad 2026-01-29).
- [30] Alexander Jimenez, Jarkko Erikshammar, Lars Stehn, Johanna Andersson, Sandra Moberg och Luleå Tekniska Universitet IN3PRENÖR. “Öka återbruk i byggandet”. I: *SBUF* (2025).
- [31] Boverket. *Byggregler – en historisk överblick*. 2022. URL: <https://www.boverket.se/contentassets/ba75fc25915f4a79bad02ff6e9a5eb02/byggregler-en-historisk-oversikt-2022.pdf> (hämtad 2026-03-17).
- [32] Göran Fagerlund. “Betongkonstruktioners beständighet: en genomgång av officiella svenska regler 1926-2010”. I: *Rapport TVBM* (2010).
- [33] Naturvårdsverket. “Produkters livslängd och återbrukbarhet – översiktlig beskrivning av befintlig kunskap”. I: *Swedish Environmental Protection Agency NV-00076-20* (2020).
- [34] Vesa Penttala. “Causes and mechanisms of deterioration in reinforced concrete”. I: *Failure, distress and repair of concrete structures*. Elsevier, 2009, s. 3–31.
- [35] Samanta Robuschi. *Natural corrosion in reinforced concrete structures*. Chalmers Tekniska Högskola (Sweden), 2021.
- [36] Mark Alexander och Hans Beushausen. “Durability, service life prediction, and modelling for reinforced concrete structures–review and critique”. I: *Cement and Concrete Research* 122 (2019), s. 17–29.
- [37] Svenska Institutet för Standarder. “Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader”. I: *Eurokod* ().
- [38] Stålbyggnadsinstitutet. *Stålbyggnad*. 6. utg. Stockholm, Sweden: Stålbyggnadsinstitutet, febr. 2008.
- [39] BE Group. *Armering*. u.å. URL: <https://www.begroup.se/produkter/armering> (hämtad 2026-04-22).
- [40] Stena Stål. *Armeringsstål*. u.å. URL: <https://www.stenastal.se/vad-vi-erbjuder/armering/armeringsstal/#:~:text=Armeringsstål%20tar%20upp%20drag%20%2C%20skjuv%20och%20vissa,och%20får%20hindrar%20sprickbildning%20i%20byggnadens%20olika%20partier.> (hämtad 2026-04-22).

- [41] Svenska Institutet för Standarder. *Produktspecifikation för SS-EN 10080:2005 - Armeringsstål - Svetsbart armeringsstål - Tekniska leveransbestämmelser för stång, coils, svetsat nät och armeringsbalk*. <https://www.sis.se/produkter/metallurgi-dfbdd22b/jarn-och-stalprodukter/stal-for-armering-av-betong/ss2125402014/>. [Hämtad: 2026-04-22]. 2014.
- [42] Svenska Institutet för Standarder. *SS-EN 10080:2005 Armeringsstål - Svetsbart armeringsstål - Allmänt*. <https://www.sis.se/produkter/metallurgi-dfbdd22b/jarn-och-stalprodukter/stal-for-armering-av-betong/ssen100802005/>. [Hämtad: 2026-04-22]. 2005.
- [43] Tom Harrison. “Concrete properties: setting and hardening”. I: *Advanced Concrete Technology* 90.66 (2003), s. 64.
- [44] Xiangling Gao, Jie Li och Xiaodan Ren. “Probabilistic Model for Long-Term Time-Dependent Compressive Strength of Concrete in Existing Buildings”. I: *Journal of Performance of Constructed Facilities* 32.5 (2018), s. 04018074. DOI: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001217.
- [45] Binna Lee, Jong-Suk Lee och Jae-Suk Ryou. “Long-term compressive strength properties of concrete incorporating admixtures: Outdoor exposure testing in a coastal environment”. I: *International Journal of Concrete Structures and Materials* 18.1 (2024), s. 54.
- [46] Luping Tang, Liming Huang, Ingemar Löfgren och Nilla Olsson. “Hållfasthetsutveckling och uttorkning av betong”. I: (2024).
- [47] K Walz. “Festigkeitsentwicklung von Beton bis zum Alter von 30 und 50 Jahren”. I: *BETONTECHNISCHE BERICHTE 1976* 1976 (1977).
- [48] Jeremy P. Ingham. “5 - Concrete”. I: *Geomaterials Under the Microscope*. Utg. av Jeremy P. Ingham. Boston: Academic Press, 2013, s. 75–120. ISBN: 978-0-12-407230-5. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407230-5.50013-3>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124072305500133>.
- [49] K Sakr. “Effect of cement type on the corrosion of reinforcing steel bars exposed to acidic media using electrochemical techniques”. I: *Cement and Concrete Research* 35.9 (2005), s. 1820–1826.
- [50] Anders Selander, Carlos Gil Berrocal, Ingemar Löfgren, Stefan Sandelin och Katarina Malaga. *Karbonatisering-En förbisedd koldioxidsänka*. 2022.
- [51] Abdulrahman Fahad Al Fuhaid och Akbar Niaz. “Carbonation and corrosion problems in reinforced concrete structures”. I: *Buildings* 12.5 (2022), s. 586.
- [52] Mike Otieno, Jacob Ikotun och Yunus Ballim. “Experimental investigations on the effect of concrete quality, exposure conditions and duration of initial moist curing on carbonation rate in concretes exposed to urban, inland environment”. I: *Construction and Building Materials* 246 (2020), s. 118443.
- [53] Svenska Institutet för Standarder. “Betong - Användning av SS-EN 206:2013+A2:2021 i Sverige”. I: *Eurokod* ().

- [54] Huy Tang Bui och Kang Hai Tan. “Intelligent corrosion detection in reinforced concrete slabs using GPR and YOLOv11: A fully non-destructive and automated deep learning framework”. I: *Construction and Building Materials* 506 (2026), s. 145014.
- [55] SP Tastani och Stavroula J Pantazopoulou. “Behavior of corroded bar anchorages”. I: *ACI Structural Journal* 104.6 (2007), s. 756.
- [56] Johan Ahlström. “Corrosion of steel in concrete at various moisture and chloride levels”. I: (2014).
- [57] Bo Yu, Jianbo Liu och Bing Li. “Improved numerical model for steel reinforcement corrosion in concrete considering influences of temperature and relative humidity”. I: *Construction and Building Materials* 142 (2017), s. 175–186.
- [58] Fagerlund, Göran. *Ytrepåreparation av betongkonstruktioner: metoder, beständighet*. swe. Tekn. rapport 3160. Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, 2011. URL: {<https://lup.lub.lu.se/search/files/3399976/2154292.pdf>}.
- [59] Stålbyggnadsinstitutet. *Rostskydd: Korrosion*. u.å. URL: <https://www.sbi.se/rostskydd-2/> (hämtad 2026-05-08).
- [60] Boverket. *Befintlig dokumentation*. 2025 j. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/vagledning/barverksdelar/bedomning-skick/dokumentation/> (hämtad 2026-03-19).
- [61] Boverket. *Märkningars innebörd*. 2023 c. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/vagledning/barverksdelar/bedomning-skick/markningars-innebord/> (hämtad 2026-03-31).
- [62] Boverket. *Byggregler – en historisk översikt*. Tekn. rapport. Karlskrona, Sweden: Boverket, juli 2018.
- [63] Boverket. *Äldre byggregler*. <https://www.boverket.se/contentassets/ba75fc25915f4a79bad02ff6e9a5eb02/alldre-byggregler-2022-09-01.pdf>. Accessed: 2026-05-18. 2022.
- [64] H. Adriaanse A. Van den Berg M. Voordijk. “Recovering building elements for reuse (or not) - Ethnographic insights into selective demolition practices”. I: *Journal of Cleaner Production* 256 ().
- [65] S. Thelandersson. *Assessment of material property data for structural analysis of nuclear containments*. Tekn. rapport TVBK-3051. Lund, Sweden: Division of Structural Engineering, Lund University, 2004.
- [66] Boverket. *Dokumentationssystem för byggprodukter vid nybyggnad*. Tekn. rapport Rapport 2015:46. Karlskrona, Sweden: Boverket, 2015.
- [67] Boverket. *Byggregler – en historisk översikt*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/regler-och-krav/regelverkets-historia/>. [Hämtad: 2026-01-29]. 2022.
- [68] E. Iacovidou och P. Purnell. “Mining the physical infrastructure: Opportunities, barriers and interventions in promoting structural component reuse”. I: *Science of the Total Environment* (2016). DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.03.098.
- [69] Boverket. *Provning inför återbruk*. 2025 c. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/vagledning/barverksdelar/verifiera-kvalitet/provning/> (hämtad 2026-01-23).

- [70] Svenska Institutet för Standarder. *Vad är en standard?* u.å. d. URL: <https://www.sis.se/standarder/vad-ar-en-standard/> (hämtad 2026-03-27).
- [71] Svenska Institutet för Standarder. *Förtillverkade betongprodukter*. u.å. c. URL: <https://www.sis.se/delta-och-paverka/tksidor/tk100199/sistk191/> (hämtad 2026-02-17).
- [72] Standard Norge. *NS3682:2022 Hulldekker av betong til ombruk*. <https://online.standard.no/nb/ns-3682-2022>. [Hämtad: 2026-01-20]. 2022.
- [73] Standards Norway. *Norwegian Standards for hollow core slabs for reuse - NS 3682*. u.å. URL: <https://standard.no/en/sectors/byggevarer/norwegian-standard-for-hollow-core-slabs-for-reuse--ns-3682/> (hämtad 2026-02-18).
- [74] Europeiska standardiseringskommittén - CEN. *Eurocode 2: design of concrete structures; part 1-1: general rules and rules for buildings*. https://www.sis.se/produkter/externa-kategorier/externa-ovrigt/en-1992-1-1/?tid=KhXjbQ59REKBopRWvXqI0Q_tq=en+1992-1-1_thit.id=SISe_siteFeaturesProductCatalogs_standardProduct/CatalogContent_57b122c2-b6cf-4dc7-85a6-69a5bafa5ba8_sv_thit.pos=4_ttags=andquerymatch,language:sv,siteid:326c3465-4f01-4d81-93c2-166392ce4789. [Hämtad: 2026-05-04]. 2004.
- [75] Teknologisk Institut. *(P)RECAST - Genbrug af betonelementer - Om projektet*. u.å. URL: <https://www.teknologisk.dk/projekter/p-recast/om-projektet/43884?cms.query=precast> (hämtad 2026-04-17).
- [76] Teknologisk Institut, COWI och Aarhus Universitet. *Kvalitetssikring og dokumentation*. Teknisk rapport (P)RECAST Rapport 6. Version 1.0. Taastrup, Danmark: Teknologisk Institut, mars 2026.
- [77] Jan Suchorzewski, Mathias Flansbjer, Gabriel Sabau, Miguel Prieto och Katarina Malaga. "Implementation of reuse of concrete elements in large scale-condition assessment and quality assurance for prefabricated and in-situ cast concrete in Sweden". I: *MATEC Web of Conferences*. Vol. 409. EDP Sciences. 2025, s. 01004.
- [78] Linus Brander, Dimitrios Boubitsas och Ida Gabrielsson. *Rivningsobjekt-från kostnad till resurs: Pilotstudie återbrukspotential för tunga stomdelar i två rivningsobjekt*. 2021.
- [79] Boverket. *Återbruksprocessen*. 2023. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/vagledning/barverksdelar/aterbruksprocessen/> (hämtad 2026-01-29).
- [80] Boverket. *Återbruk i bygg- och rivningsprocesser*. u.å. URL: <https://www.wsp.com/sv-se/tjanster/aterbruk> (hämtad 2026-05-04).
- [81] Byggföretagen. *Bilaga 23: Process och bedömningsgrunder för återbruksinventering*. Tekn. rapport. Bilaga till *Resurs- och avfallsriktlinjer vid byggande och rivning*. Byggföretagen, 2025. URL: <https://byggforetagen.se/app/uploads/2025/09/Bilaga-23-Process-och-bedomningsgrunder-for-aterbruksinventering.pdf>.

- [82] Kamran Amini, Mehdi Jalalpour och Norbert Delatte. “Advancing concrete strength prediction using non-destructive testing: Development and verification of a generalizable model”. I: *Construction and Building Materials* 102 (2016), s. 762–768.
- [83] Svenska Institutet för Standarder. *SS-EN 13791:2019 Bedömning av tryckhållfasthet i färdiga betongkonstruktioner och förtillverkade betongelement*. <https://www.sis.se/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/byggnadsstommar/betongkonstruktioner/ss-en-137912019/>. [Hämtad: 2026-02-09]. 2019.
- [84] Panagiotis G Asteris och Vaseilios G Mocos. “Concrete compressive strength using artificial neural networks”. I: *Neural Computing and Applications* 32.15 (2020), s. 11807–11826.
- [85] RJ Wheen. “Non-destructive testing of concrete”. I: *Building Science* 9.3 (1974), s. 157–166.
- [86] Proceq (Screening Eagle Technologies). *What is the difference between a Schmidt Hammer and other rebound hammers?* <https://www.screeningeagle.com/en/wiki-print/17404>. [Hämtad: 2026-02-04]. 2024.
- [87] Benjamin Matthews, Diego Allaix, Simon Wijte och Marcel Vullings. “Advancing non-destructive concrete compressive strength estimation: Large-Scale datasets and machine learning framework”. I: *NDT & E International* (2025), s. 103549.
- [88] Ömer Ariöz, Ahmet Tuncan, Mustafa Tuncan, Taner Kavas, Kambiz Ramyar, Kadir Kılınç och Bekir Karasu. “Use of combined non-destructive methods to assess the strength of concrete in structures”. I: *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 9.3 (2009), s. 147–154.
- [89] Svenska institutet för standarder (SIS). *SS-EN 12504-4:2021 Provning av betong i färdig konstruktion – Del 4: Bestämning av ultraljudshastighet*. Standard. 2021.
- [90] Aapo Räsänen, Jukka Lahdensivu, Kjartan Gudmundsson, Arlind Dervishaj, Helena Westerlind, Thijs Lambrechts, Marcel Vullings, Arnold Viktoria och Satu Huuhka. *Properties and quality of precast concrete elements deconstructed in ReCreate’s pilots*. 2024.
- [91] B. Täljsten, H. Hedlund och T. Blanksvärd. *Spännbetongkonstruktioner – tillståndsbedömning och åtgärder*. Tekn. rapport Rapport 13887. Sweden: Svenska byggbranschens utvecklingsfond (SBUF), 2023.
- [92] Luigi Capozzoli, Gregory De Martino, Davide Di Gennaro, Giuseppe Salvia, Emilia Vasanelli, Stefania Imperatore, Cristina Monteleone, Hadi Monsef Ahmadi och Francesca Nerilli. “Monitoring of Reinforced Concrete Degradation Phenomena by GPR and Other NDTs: A Laboratory Test”. I: *2025 13th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR)*. IEEE. 2025, s. 1–5.

- [93] Svenska Institutet för Standarder. *Armeringsstål och stål för spännarmering - Provningsmetoder - Del 1: Stång, valstråd och tråd (ISO 15630-1:2019)*. <https://www.sis.se/produkter/metallurgi-dfbdd22b/jarn-och-stalprodukter/stal-for-armering-av-betong/ss-en-iso-15630-12019/?tid=no56Ug8-TUK793oUxltU3wtq=ss-en+iso+15630thit.id=SISsiteFeaturesProductCatalogsStandardProduct/CatalogContent864a5873-3d1f-44b2-b36d-43640cae129asvthit.pos=2tags=andquerymatch,language:sv,siteid:326c3465-4f01-4d81-93c2-166392ce4789>. [Hämtad: 2026-04-22]. 2019.
- [94] Svenska institutet för standarder (SIS). *SS-EN 12504-1:2021 Provning av betong i färdiga konstruktioner - Del 1: Borrkärnor - Uttag, undersökning och tryckprovning*. Standard. 2021.
- [95] Svenska Institutet för standarder. *Betong - Specifikation, prestanda, tillverkning och överenbestämmelse - Del 1: Prestanda, krav, fabriksproduktionskontroll och bedömningskriterier för individuella värden*. [Online]. Accessed: 2026-05-06. Swedish Institute for Standards (SIS), 2026. URL: https://www.sis.se/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/byggnadsmaterial/betong-och-betongprodukter/SS-EN-206-12026/?tid=iGE_kpw9T0-56RYMVpgs0w&t_q=SS-EN+206-1:2026&t_hit.id=SIS_site_Features_Product_Catalogs_StandardProduct/CatalogContent_d2b7b013-95fb-4fbd-87dc-1d1486262269_sv&t_hit.pos=1&t_tags=andquerymatch,language:sv,siteid:326c3465-4f01-4d81-93c2-166392ce4789.
- [96] Svenska Institutet för Standarder. *Provning av betong i färdig konstruktion - Del 4: Bestämning av ultraljudshastighet (SS-EN 12504-4)*. <https://www.sis.se/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/byggnadsmaterial/betong-och-betongprodukter/ss-en-12504-42021/>. [Hämtad: 2026-02-10]. 2021.
- [97] Svenska Institutet för Standarder. *Betongkonstruktioner - Provning av produkter och system för skydd och reparation - Bestämning av karbonatiseringsdjup (SS-EN 14630:2006)*. Standard - Betongkonstruktioner - Provning av produkter och system för skydd och reparation - Bestämning av karbonatiseringsdjup SS-EN 14630:2006 - Svenska institutet för standarder, SIS. [Hämtad: 2026-02-10]. 2006.
- [98] Nationalencyklopedin AB. *Fenolftalein*. Hämtad 2026-03-04. u.å. URL: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/läng/fenolftalein>.
- [99] Svenska Institutet för Standarder. *Metalliska material - Dragprovning - Del 1: Testmetod vid rumstemperatur (ISO 6892-1:2019)*. https://www.sis.se/en/produkter/metallurgy/testing-of-metals/mechanical-testing-of-metals/ss-en-iso-6892-12019/?tid=gQbuhdHwRXemYliW2hzcHg_tq=ISO+6892-1thit.id=SISsiteFeaturesProductCatalogsStandardProduct/CatalogContent2f911731-d475-4201-a29f-abd7b2415c07enhit.pos=1tags=andquerymatch,language:en,siteid:326c3465-4f01-4d81-93c2-166392ce4789. [Hämtad: 2026-04-23]. 2019.

- [100] Ibrahim MH Alshaikh och Abdullah M Zeyad. "Reliability of the tests' results of Schmidt Hammer and core cutting for assessing actual compressive strength of concrete". I: *Journal of Building Pathology and Rehabilitation* 7.1 (2022), s. 70.
- [101] American concrete institue. *Load Testing of Concrete Structures - Code and Commentary*. https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/437.2-22_preview.pdf. [Hämtad: 2026-02-10]. 2023.
- [102] Peter A. Claisse. "Chapter 27 - Assessment of concrete structures". I: *Civil Engineering Materials*. Boston: Butterworth-Heinemann, 2016, s. 287–302. ISBN: 978-0-08-100275-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100275-9.00027-9>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081002759000279>.
- [103] Dario Coronelli, Marco Lamperti Tornaghi, Luca Martinelli, Francisco-Javier Molina, Aurelio Muttoni, Ion Radu Pascu, Pierre Pegon, Marco Peroni, António Pinho Ramos, Georgios Tsionis m. fl. "Testing of a full-scale flat slab building for gravity and lateral loads". I: *Engineering Structures* 243 (2021), s. 112551.
- [104] Svenska Institutet för Standarder (SIS). *Förtillverkade betongprodukter - Fullskaleprovning - Krav i standarder för förtillverkade betongprodukter (SIS-CEN/TR 14862:2008)*. Stockholm, Sverige: SIS, 2008.
- [105] Abolfazl Eslami, Sara Moshfeghi, Hossein Molaabasi och Mohammad M Eslami. *Piezcone and cone penetration test (CPTu and CPT) applications in foundation engineering*. Butterworth-Heinemann, 2019.
- [106] Boverket. *Miljö- och hälsoskadliga ämnen*. Hämtad 2026-04-08. 2025. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/vagledning/barverksdelar/bedomning-skick/miljo-och-halsa/>.
- [107] Svenska Institutet för Standarder. *Cementprovning - Del 2: Kemisk analys av cement*. <https://www.sis.se/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/byggnadsmaterial/cement-gips-kalk-bruk/ss-en-196-22025/>. [Hämtad: 2026-05-13]. 2025.
- [108] Boverket. *Gruppbedömning av bärverksdelar*. 2023. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/vagledning/barverksdelar/verifiera-kvalitet/gruppbedomningar/> (hämtad 2026-02-17).
- [109] Pietro Croce, Francesca Marsili, Frank Klawonn, Paolo Formichi och Filippo Landi. "Evaluation of statistical parameters of concrete strength from secondary experimental test data". I: *Construction and Building Materials* 163 (2018), s. 343–359.
- [110] Kungliga Tekniska högskolan. *Stokastiska variabler (Föreläsning 3)*. <https://www.math.kth.se/matstat/gru/5b1501/T/f3.pdf>. Accessed: Apr. 21, 2026. n.d.
- [111] Douglas A Reynolds m. fl. "Gaussian mixture models." I: *Encyclopedia of biometrics* 741.659-663 (2009), s. 3.
- [112] Daniel Straub och Iason Papaioannou. "Bayesian updating with structural reliability methods". I: *Journal of Engineering Mechanics* 141.3 (2015), s. 04014134.

- [113] Sharmistha Chowdhury och Matthias Kraus. “Design-related reassessment of structures integrating Bayesian updating of model safety factors”. I: *Results in Engineering* 16 (2022), s. 100560.
- [114] Svenska Institutet för standarder. *Eurocode – Basis of structural design*. [Online]. Accessed: 2026-05-04. Swedish Institute for Standards (SIS), 2002. URL: <https://www.sis.se/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/byggnadsindustrin/tekniska-aspekter/ssen1990/>.
- [115] Återhus. *Återhus – att bygga hus av hus*. u.å. URL: <https://aterhus.nu> (hämtad 2026-02-18).
- [116] Återhus. *Återhus UDI 3*. u.å. URL: <https://aterhus.nu/aterhus-udi3/> (hämtad 2026-02-18).
- [117] A.-C. Ackebo och L. Wall. *Arbetspaket 7 – Pilottester (Bilaga 9)*. I: Återhus – att bygga hus av hus (Dnr 2020-04171). Återhus-projektet, 2023. URL: https://aterhus.nu/wp-content/uploads/2023/08/Arbetspaket_7.pdf.
- [118] Jan Suchorzewski, Fabio Santandrea och Katarina Malaga. “Reusing of concrete building elements–Assessment and quality assurance for service-life”. I: *Materials Today: Proceedings* (2023).
- [119] ReCreate. *ReCreate – reusing precast concrete for a circular economy*. u.å. URL: <https://recreate-project.eu/about-us/project-structure/> (hämtad 2026-02-18).
- [120] Julie Rachel Devènes, Maléna Bastien Masse, Célia Marine Küpfer och Corentin Fivet. “Zürich Stadtsptial Triemli Personalhäuser–Resource assessment of structural elements”. I: (2022).
- [121] Célia Küpfer, Maléna Bastien-Masse, Maxence Grangeot, Christian Meier, Lancelot Graulich, Julien Pathé och Corentin Fivet. “From soon-to-be demolished mushroom column slabs to reused reinforced concrete saw-cut assemblies: the case of the rebuiLT pavilion”. I: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 1363. 1. IOP Publishing. 2024, s. 012052.
- [122] Statens Betongkommitté. *Bestämmelser för betongkonstruktioner - Material och utförande: Betong*. Utgåva 2. Stockholm, Sverige: Svensk byggtjänst, 1973.
- [123] Statens Betongkommitté. *Bestämmelser för betongkonstruktioner - Material och utförande: Armering*. Utgåva 2. Stockholm, Sverige: Svensk byggtjänst, 1978.

A Intervjufrågor

Nedan följer typiska intervjufrågor som ställts vid intervjuerna med respondenterna i intervjustudien.

- Vill du börja med att berätta lite om dig själv, vad är din roll idag?
- Har du några erfarenheter när det kommer till återbruk av betongkonstruktioner?
- Hur upplever du att dagens regelverk hanterar återbruk av bärande betongelement?
 - Möjliggörs återbruk?
 - Finns det hinder?
 - Är tolkningen given eller upplever du att den kan skilja sig från olika projekt?
 - Är det rimligt att återbrukade betongelement ska uppfylla samma krav som för nyproduktion? Eller bör reglerna tolkas annorlunda?
- Är kraven på verifiering rimliga eller upplever du att de är svåra att uppfylla i praktiken i sammanhanget kring återbruk?
- Stjälper kraven och reglerna snarare än hjälper?
- Hur kan tillvägagångssättet vid verifiering av tekniska egenskaper påverkas beroende på förutsättningar och tillgänglig dokumentation?
- Hur stor roll spelar konstruktörens/andra aktörers bedömning och erfarenhet in kring processen kring återbruk?
- Var ser du framtiden för återbruk av betongelement?

B Sammanställning av intervjuer

Nedan följer en sammanställning av varje intervju från intervjustudien.

Respondent 1: Professor inom konstruktionsteknik

Datum för intervju: 2026-03-10

Respondent 1 har sedan flera år tillbaka varit professor inom bärande konstruktioner samt akademisk forskare.

Vid frågan om vad respondenten har för erfarenheter kring återbruk av betongkonstruktioner, fås svaret att personen inte har någon direkt erfarenhet kring återbruk, men besitter mycket kunskap kring att utvärdera saker och ting. Det framgår att respondent 1 är tveksam till återbruk av bärande konstruktioner när det syftar till att plocka ut element från ett ställe och använda på ett annat. Det anses inte ekonomiskt lönsamt då det består av byggnader som finns idag inte är anpassade för demontering. Det är svårt att säga så mycket om hur det blir i framtiden, menar respondent 1. I teorin är det möjligt att göra en innovation inom branschen där det bestäms att framtida byggnader ska byggas på ett sätt som underlättar återbruk, men i praktiken kan detta få större utmaningar. Ett hus består inte bara av en demonterbar stomme utan även av klimatskydd och installationer mm. Det krävs ett väldigt konservativt tänk redan från början för att kunna skilja dem åt. Respondenten poängterar att hus i första hand byggs för att stå där de står, inte för att demonteras. Istället lyfts aspekten av att använda befintliga byggnader på ett bättre sätt just där de står, att satsa mer på ombyggnad och renovering.

I fortsatt diskussion kring vilka steg som är nödvändiga för återbruksprocessen, betonar respondent 1 att den tillgängliga dokumentationen har stor betydelse för vilka tester som bör utföras. Även fortsatt användningssätt för elementet har stor betydelse menar respondenten. Om ett enskilt element ska användas på samma sätt med samma last men i en ny konstruktion behöver egentligen inga tester göras, förutsatt att elementet inte skadas i flytten. Det är ofta testerna handlar mer om att bekräfta och ha något att luta sig tillbaka på, det blir överdrivet. Däremot så är det väldigt problemberoende och svårt att avgöra generellt. Om elementet ska användas för andra laster kan det vara viktigt att ta reda på exempelvis armeringsinnehåll. Respondent 1 belyser exemplet att om ett bjälklag i en bostad, som har funnits där och använts i flera år, ämnas återbrukas i en ny byggnad men att det kommer fylla exakt samma funktion, borde det kunna ses som verifierat genom att det redan har använts och fungerar. Om bjälklaget däremot ska användas på ett nytt sätt måste elementets egenskaper förstas undersökas, vilket kan göra att vissa tester blir relevanta. Problemet med överdriven verifiering och provning kvarstår dock menar respondenten, detta i sig får en negativ inverkan på återbruk då varje test kostar i både tid och pengar, vilket gör att färre aktörer är

benägna att implementera det i projekten.

Respondent 1 tar upp omställningen mellan dagens ingenjörskonst och hur det var förr. Förr handlade mycket om att optimera och använda så lite material som möjligt, medan det idag handlar mycket om att man måste möta och uppfylla alla krav och regler som ställs. Respondenten berättar om ett projekt söder om Lund där en ny järnvägsbro med två extra spår byggdes 2020 intill en äldre bro med två järnvägsspår som stått i 50 år. Broarna ser likadana ut och fyller samma funktion, ändå användes 70% mer betong och 2,5 gånger mer armering. Detta resulterade i att både kostnaderna, omräknat till samma år, och klimatavtrycket för den nya bron blev dubbelt så stora som för den gamla bron även om de byggts för samma ändamål. Resultatet anses grunda sig framförallt i de skärpta normer som hänvisar till att det alltid är säkrast att välja det värsta fallet. Bland annat så hade bromskrafter från tåg som färdas över bron beräknats vara fem gånger högre än vid dimensioneringen för den gamla bron.

Avslutningsvis diskuteras framtiden inom återbruk av betongbjälklag. Respondent 1 framför en viss skepsis. Om det ska vara praktiskt möjligt att återbruka bärande betongelement i stor skala behöver det göras på ett sätt som inte drar för mycket resurser och kostar för mycket pengar. Istället bör mer fokus läggas på att optimera byggnaderna och minska betongmängden. Respondenten försäkrar dock att om ett strukturerat och smidigt sätt att återbruka betongelement kan tas fram skulle detta göra stor nytta, men att det skulle kunna vara mer lönsamt att börja med optimering och materialinnehåll.

Respondent 2: Adjungerad professor inom konstruktionsteknik samt konstruktör

Datum för intervju: 2026-03-12

Respondent 2 jobbar i huvudsak som konstruktör samt är adjungerad professor inom konstruktionsteknik.

Vad gäller erfarenheter kring återbruk av betongkonstruktioner berättar respondenten att denne inte har någon praktisk erfarenhet i frågan, men har varit delaktig i Boverkets process kring att ta fram en generell vägledning kring återbruk för bärverk som publicerades för några år sedan. Respondenten har även varit delaktig i några referensgrupper och forskningsprojekt kring frågan. När det gäller regelverken kring återbruk återberättar respondenten att de genom åren fått mycket frågor kring CE-märkning - vad det är för något och hur det ska användas för återbrukade element. Där ville Boverket tydliggöra att det inte finns några formella krav på CE-märkning för varken återbrukade eller nyproducerade element, utan att det är ett utav flera möjliga sätt att visa på att regelverken uppfylls men inte ett krav för att elementet ska kunna användas.

Vid frågan kring huruvida regelverken och standarderna tar hänsyn till återbruk svarar respondenten att de är utvecklade för, och har sitt största fokus på nya byggnader med nytillverkade element. Det uppges inte finnas något formellt hinder för återbruk, men de är inte optimalt anpassade för det. Respondenten beskriver att CE-märkning och

typgodkännande gör det lättare för byggherren eftersom att den själv inte behöver ta reda på elementets egenskaper utan kan genom märkningen lita på att de är tillräckliga. För återbrukade element där en sådan typ av märkning ännu inte finns behöver alltså byggherren själv ta reda på, och ta ansvar, för att egenskaperna är tillräckliga i enlighet med våra lagkrav och standarder. Respondentens uppfattning är att detta ofta kan utgöra ett hinder för byggherren när det kommer till att använda återbruka element, och nyproducerade element får här en fördel. En möjlig lösning i framtiden skulle kunna vara framtagandet av ett motsvarande system som CE-märkning för återbrukade element, där vi på förhand kan deklarerat egenskaperna innan de ska stoppas in i en ny byggnad. En annan möjlighet skulle kunna vara att vid återbruk använda sig av lite konservativa värden vilket skulle kunna möjliggöra att inte alla kontroller hade behövt genomföras varje gång. Respondenten vill ändå betona att alla krav fortfarande måste vara uppfyllda, men genom att bedöma skicket på element inför återbruk och sedan använda konservativa värden i fråga om t.ex. bärförmåga så skulle det möjligtvis kunna räcka med en bedömning av att en minsta säkerhetsmarginal är uppfylld. En sådan situation skulle exempelvis kunna vara takbalkar som suttit i en byggnad i 50 år med ett avstånd på 5 meter. Om skicket bedöms som bra på takbalkarna och inga tecken på nedbrytning upptäcks bör de rimligtvis vara mindre belastade om de återbrukas i en ny byggnad med ett avstånd på 3 meter. Då bör säkerhetsmarginalen definitivt inte vara mindre än vad den var från början.

Respondenten får frågan kring hur kunskap och erfarenhet inom återbruk hos de inblandade i projekten kan spela för roll när det kommer till tillvägagångssätt för att verifiera de tekniska egenskapskraven. Respondenten ger svaret att detta kan ses som en utav nackdelarna med dagens regler och standarder, att det blir lättare att använda nyproducerade än återbrukade element om tidigare erfarenhet inom användning av återbruk saknas. Detta har att göra med att det inte finns någon tydlig vägledning inom frågan, vilket enligt respondenten bryts ned till att det krävs lite mod för att våga gå dit.

Vidare så diskuteras det kring hur tydligare riktlinjer i form av en standard skulle kunna främja användandet av återbrukade element inom branschen framöver. Respondenten tror att hårdare styrmedel från samhällets sida, antingen via krav från politiker eller någon form av belöning för den som återbrukar, behöver upprättas i kombination med tydligare riktlinjer så som en standard för att återbruk ska kunna ske i en större skala. I framtiden tror respondenten både på ändring av byggnader för att slippa komma till skedet för demontering och återbruk, såväl som återbruk i de fall då endast ändring inte är möjligt. Genom en kombination av en vägledning och teknisk utveckling hade återbruket inom branschen kunnat främjas.

Respondent 3: Doktorand vid institutionen för byggvetenskap

Datum för intervju: 2026-03-13

Respondent 3 arbetar i nuläget med sin doktorsexamen vid institutionen för arkitektur och samhällsbyggnad vid KTH. Respondenten har en bakgrund som arkitekt och har arbetat i bland annat Italien och Finland i ca 9 år. Respondentens forskning berör

återbruk av bärande betongelement samt utvecklingen av digitala arbetsflöden för att öka cirkulärt byggande inom byggsektorn. Forskningen fokuserar främst på hur digitala verktyg och modelleringsmetoder, så som BIM-baserade arbetsflöden och öppna standarder, kan främja bedömning, dokumentation och hantering för återbruk av bärande element. Arbetet undersöker hur hållbarhetsbedömning, återstående livslängd, karbonatisering och bundet koldioxid kan integreras i digitala beslutsbedömande arbetsflöden för att utvärdera den tekniska och miljönyttiga möjligheten för återbruket. Respondenten har deltagit i projektet ReCreate där en del av projektet riktat in sig på kvalitetssäkring, logistik och hantering av digitala tillgångar för återbruk av betongelement.

Respondenten är involverad i processen att ta fram en ny svensk standard för återbruk av betong. Vid diskussion kring detta framgår att som utgångspunkt har den norska standarden (NS 3682:2022) om återbruk av håldäck använts. Denna standard innehåller inga beräkningar kring livslängd och detta är bland annat något som har tagits i beaktning inför den nya standarden. Livslängden för ett återbrukat element kan påverkas mycket av vad elementet har använts för och vad det ska användas till, exempelvis kan det vara fördelaktigt för livslängden att ett element som designats för utomhusbruk, återbrukas för att användas i inomhusklimat. Vidare diskuteras att det i dagens standarder ofta görs konservativa antaganden så som att de bara tar hänsyn till initieringsfasen av korrosion och antar att livslängden är över när karbonatiseringsfronten når armeringen. I verkligheten krävs det en viss relativ fuktighet för att korrosion ska bli påtaglig. Vid återbruk av element kommer man aldrig att starta vid noll och det kan därför bli viktigt att överväga aspekter så som om reparationer eller skyddande åtgärder kan utnyttjas och hur och vart ett element ska användas. Även utformningen av den nya konstruktionen kommer behöva styras mycket efter vilka element som finns tillgängliga och hur dessa kan nyttjas. I diskussionen mellan ingenjörer, arkitekter och beställare kan de nya svenska standarderna om återbruk därför underlätta processen och ge riktlinjer för vad som ska, behöver och kan göras.

Vidare diskuteras hur respondenten uppfattar skillnaderna kring återbruksprocessen så som den beskrivs i litteraturen och hur det går till i praktiken. Respondenten belyser att det i litteraturen ofta läggs fokus på att vara på den säkra sidan medan det i praktiken inte är så lätt. I verkligheten måste någon utföra och betala för alla de tester som efterfrågas och därav blir det i praktiken mer fokus på att avgöra vad som faktiskt är relevant för det aktuella projektet.

I frågan om hur framtiden kommer se ut för återbruk av bärande betongelement svarar respondenten att det finns potential för uppskalning av detta område och att det i framtiden till och med kan komma att behövas då klimatkrisen blir allt mer påtaglig.

Respondent 4: Professor inom hållbar betong

Datum för intervju: 2026-03-17

Respondent 4 arbetar idag deltid som professor och deltid på en konsultfirma och har varit i kontakt med ReCreate-projektet.

Samtalet leder snabbt in på hur designen bör utföras för byggnader då återbrukade betongelement ska användas. Respondenten betonar att detta skiljer sig från hur tillvägagångssättet ser ut för helt nya byggnader där alla betongelement tillverkas utefter den valda utformningen av den nya byggnaden. I fallet då återbrukade betongelement ska användas blir det omvänt - att designen bör utformas utefter de tillgängliga elementen. På det sättet kan den nya byggnaden optimera användandet av de återbrukade elementen.

Respondenten delar med sig av sina erfarenheter kring de olika återbruksprojekten som denna varit delaktig i. I respondentens mening blev det tydligt under demonteringsprocessen att nyckeln för att genomföra verifiering av ett betongelements tekniska egenskaper inför återbruk är den information och data som finns tillgänglig om elementet. Utan teknisk dokumentation blir det svårt att genomföra återbruket på ett strukturellt tillförlitligt sätt. Om dokumentation finns tillgänglig är nästa utmaning att hålla informationen kopplad till elementet efter att demonteringen utförts. Vid det fallet då dokumentationen är bristfällig eller helt saknas anser respondenten att återbruk blir väldigt svårt att genomföra utifrån ett ekonomiskt perspektiv. Om teknisk information saknas behöver ett flertal undersökningar utföras bland annat kring armeringens mängd och placering samt materialegenskaper. Denna typ av information är nödvändig för att kunna använda de återbrukade elementen på ett tillförlitligt sätt. Respondenten menar att sådana typer av tekniska undersökningar går att utföra men anser inte att de är realistiska att genomföra i en stor skala utifrån ett ekonomiskt perspektiv.

Vid vidare diskussion kring fallet då dokumentation är bristfällig eller saknas anser respondenten att det skulle kunna vara möjligt att göra vissa antaganden för en grupp betongelement för att applicera en typ av gruppbedömning. Exempelvis om det i en byggnad finns identiska element som alla tillverkats i samma fabrik skulle detta kunna möjliggöra ett scenario där inte alla elements tekniska egenskaper behöver verifieras individuellt. Istället för att då genomföra testning av varje enskilt element kan ett färre antal väljas ut som representanter för hela gruppen. Men respondenten betonar att detta endast är möjligt då du med säkerhet vet att elementen kommer från samma tillverkare, annars måste varje enskilt element testas. Inom sammanhanget kan det också vara relevant att titta på byggnadens historik vad gäller tidigare verksamheter, genom denna skulle en konservativ kapacitet kunna antas i teorin.

Respondenten får en fråga kring hur erfarenheten hos en konstruktör involverad i processen för återbruk av betongelement kan spela roll inom det fallet då dokumentation saknas. Respondenten tror att detta kan spela en stor roll och innebära stora utmaningar för projektet om kompetens saknas. Om projektet består av flera personer som saknar tidigare erfarenhet inom återbruk och dokumentationen är bristfällig skulle detta kunna vara fällande för hela projektet.

Andra erfarenheter som respondenten tagit med sig från tidigare projekt är att oförstörande provning för att bestämma diameter och placering av armering inte alltid är helt tillförlitlig. Provningen kan i vissa fall ge avvikande resultat på ± 4 mm när det kommer till armeringens diameter. Detta har bland annat att göra med att tekniken var anpassad för kvadratiska tvärsnitt och inte runda, som ju är fallet för armeringen. Ett sätt att ta hänsyn till osäkerheterna som kan följa med oförstörande provning är

att komplettera dessa med förstörande provning. På detta sätt kan ett mindre antal förstörande prover utföras för att bestyrka de testresultat som tagits fram genom den oförstörande provningen.

Vid frågan kring huruvida dagens standarder berör återbruk instämmer respondenten med att det krävs en utveckling. Respondenten poängterar dock att det första steget är att skapa erfarenhet inom området och sedan delas dessa genom en standard. Möjligtvis befinner sig branschen just nu i det stadiet där erfarenhet skapas. Respondenten tror även på andra åtgärder för att gynna återbruk, så som en ökad kostnad för utsläpp av koldioxid. För betong skulle detta innebära att cement skulle gå upp i kostnad, vilket tillslut kan leda till att ett återbrukat betongelement blir billigare än ett nyproducerat. Om du jämför Eurokod, poängterar respondenten, från 10 till 20 år tillbaka kretsade nästan alla standarder kring design av nya byggnader. Idag kan vi däremot se en utveckling av standarder kring existerande byggnader.

För att skala upp återbruk av betongelement i framtiden tror respondenten att konstruktören bör ha framtida återbruk i tanken vid design av nya byggnader. Det är viktigt att tänka på att elementen inte bara ska ha en funktion i den aktuella byggnaden utan också bör kunna användas på nytt. Man kan ha i åtanke att laster och användning kan komma att ändras i framtiden, och därmed designa med en viss flexibilitet.

Respondent 5: Expert inom tekniska frågor vid Skanska

Datum för intervju: 2026-03-17

Respondent 5 arbetar på Skanska med tekniska frågor inom husbyggnad. Mycket handlar om husstommar både i stål, trä och betong, både platsgjutet och prefabricerat men mestadels prefabricerad betong.

I frågan om vilken erfarenhet respondenten har kring återbruk framgår det att mycket av erfarenheten kommer från att återbruk är något som diskuteras i mer eller mindre alla projekt, trots detta är det väldigt få som väljer att gå vidare och faktiskt genomföra återbruket. Detta menar respondenten beror på flera olika orsaker. Det handlar delvis om ekonomi. På många sätt är det idag mycket dyrare att återbruka än att bygga nytt. En annan faktor kan handla om utbudet av tillgängliga element för återbruk. Vid användning av återbrukade element i ett nytt bygge blir man väldigt låst till de dimensioner och spännvidder som finns tillgängliga. För att kunna återbrukas måste dessa element matchas in i det nya projektet. Ytterligare en faktor är demonteringsmomentet av processen och dess svårigheter och logistiska problem. För att kunna överväga om element i en stomme ska kunna återbrukas krävs det att demonteringen sker på ett kontrollerat sätt. Man ska kunna lyfta ner elementen utan att de tar skada och sen måste de lagras och transporteras på ett sätt så att egenskaperna bevaras. Detta i sig kräver både tid, pengar och kompetens.

Om man i dimensioneringen hade haft i åtanke att man ska kunna göra det lättare att demontera hade det kostat ca 30% mer än vad nyproduktion gör och så som det ser ut idag vill man gärna optimera. Detta leder till att man gärna undviker att göra saker

som det inte finns specifika krav på. Däremot så finns det krav på en rivningsplan som en relationshandling i PBL och om mer vikt hade lagts vid denna hade demontering lättare kunnat implementerats i processen.

När det kommer till hur regelverket och standarderna hanterar återbruk och framförallt hur de tekniska egenskapskraven läggs fram poängterar respondenten att det inom branschen finns en viss okunskap bland aktörerna om vad kraven egentligen säger. Självklart är det alltid någon som känner till dem men systemet är ofta uppbyggt på ett sådant sätt att verifiering av element sker genom CE-märkning. Denna kvalitetskontroll sker ofta på annan ort, vilket i praktiken innebär att den enskilda aktören inte alltid är så involverad i själva verifieringsprocessen. I dagsläget finns det inte några vedertagna certifieringsmärkningar som går att tillämpa på elementen vid återbruk. Dessutom är många av de objekt som kan tänkas demonteras inför återbruk äldre än de harmoniserade standarderna, vilket gör att elementen inte kan jämföras mot dessa samt att det vid uppförandet av byggnaden förmodligen fanns andra regler som gällde än de som finns idag. Någonstans är kraven inte uppnåbara för återbrukade material, det kanske inte går att bestyrka egenskaperna hos ett element för att företaget som tillverkade produkten finns inte kvar, inga recept kan återfinnas och annan viktig information saknas. På senare år har omskrivningar börjat göras, exempelvis att skriva bedömda egenskaper istället för bestyrkta och i praktiken gör det genast stora skillnader. Det är den här sortens omskrivningar som krävs för att göra återbruk möjligt.

Vidare diskuteras fallet med bristfällig dokumentation vid planerat återbruk och de utmaningarna som detta medför. Respondenten belyser att ju bristfälligare dokumentationen är desto mer måste man arbeta baklänges. Man måste bedöma egenskaperna hos elementen istället för att designa dem, och man måste demontera för att kunna använda igen och inte bara riva. En viktig del i att underlätta återbruksprocessen är att ta fram industriella metoder för demontering istället för att det ska vara en vanlig rivning men med extra insatser.

Andra logistiska problem som framförs under intervjun tar upp vikten av planering när det kommer till verifiering av de tekniska egenskaperna. Det krävs en tydlig plan för när man ska göra vad i verifieringsprocessen. Det är sällan fallet att när ett bygge startar så ska samtidigt ett annat bygge rivas med återbrukbara och lämpliga element för det nya bygget. Det tillkommer oftast en lagringsperiod för elementen mellan rivning och nybyggnad. Beroende på förhållandena som elementen lagras i, om det är en uppvärmd inomhuslokal eller om de ligger exponerade för utomhusmiljö, kan dess egenskaper påverkas och olika tidsberoende effekter kan ske som till exempel karbonatisering. Det gäller att göra en avvägning för när testerna behöver göras. Görs de för tidigt finns det risk att egenskaperna har ändrats fram till att elementen ska användas men samtidigt behöver man kanske göra något test tidigt för att använda som underlag vid beräkningar.

Respondent 6: Specialist inom betongkonstruktioner samt adjungerad professor

Datum för intervju: 2026-03-23

Respondent 6 jobbar idag heltid som specialist och expert inom betongkonstruktioner och deltid på universitet som adjungerad professor inom betongbyggnad. Respondenten har själv ingen praktiskt erfarenhet inom återbruk av betongkonstruktioner och beskriver att sådan erfarenhet är det ont om inom branschen generellt.

Vid frågan kring hur Eurokoderna hanterar återbruk av prefabricerade element i betong svarar respondenten att inget sådant alls nämns i Eurokoderna. I utvecklingen av den nya Eurokod 2 kommer däremot bärighetsberäkning av befintliga betongkonstruktioner att ingå. Nya standarder är under utveckling som ska hantera just frågor kring hur vi ska undersöka dessa element efter att de plockats ut och hur vi ska bedöma deras prestanda inför återbruk i nya byggnader. Idag tillämpas Eurokoderna när vi vill kontrollerar bärförmågan och kapaciteten hos gamla element men de säger egentligen ingenting om vilka krav som ska ställas på specifikt återbrukade element. Här är det relevant att poängtera att de nu gällande Eurokoderna lägger sitt fokus på nybygge.

När det kommer till att bestämma bärförmågan inför återbruk av element ger respondenten exempel på provning. Detta ska täckas av den nya Eurokoden och vägledning ska bland annat kunna fås kring hur många prover som ska plockas ut ur befintliga konstruktioner, samt tester för att få fram armeringsmängd och betonghållfasthet.

Utöver krav och specifikation av prestandan hos återbrukade element anser respondenten att den stora utmaningen är att organisera marknaden. Om prefab ska återbrukas i en ny byggnad behövs en donator, och helst i ett tidigt skede för att kunna planera återbruket. Det finns redan en typ av marknad för återbruk av tegel och även marknaden för återbruk av stål har kommit längre än vad den gjort för prefabricerad betong. Respondenten föreslår ett upprättande av en sådan marknad även för betong, en typ av förvarings- och lagringsbank för demonterade element.

Vid frågan kring hur respondenten tror att framtiden ser ut för återbruk av betongelement tror respondenten att ett upprättandet av en standard, en branschpraxis, genom anvisningar eller en handbok kommer öka möjligheterna för återbruk. Detta kommer förhoppningsvis leda till en större tillämpning. Respondenten beskriver själv situationer från arbetslivet där kollegor varit intresserade av att tillämpa återbruk i projekt men bristen på anvisningar och handböcker har gjort det väldigt svårt att utföra i praktiken. Hjulet måste uppfinnas på nytt varje gång. Respondenten upplever branschen som positivt inställd till återbruk och att det faktiskt efterfrågas från både byggherrarna och fastighetsbolagen. Respondenten uttrycker även att mycket utav kunskapen redan finns, det handlar bara om att sätta den på papper och utveckla systemet.

Respondent 7: Marknadschef inom betongteknik och betongkonstruktioner

Datum för intervju: 2026-03-25

Respondent 7 jobbar för närvarande som marknadschef inom betongteknik och betongkonstruktioner, men har även en bakgrund som forskare.

Respondenten har praktiskt erfarenhet kring återbruk då denne medverkat i projektet Återhus som beskrivs ovan i 4.1 Återhus. I de flesta återbruksprojekt som respondenten medverkat i har dokumentation funnits men i olika grad och detalj, till exempel i ett projekt saknades tryckhållfastheten för betongelementen. Tillvägagångssättet blev då till en början att anta en tryckhållfasthet som var vanlig på den tiden då byggnaden upprättades, och sedan bekräfta detta genom testning. I praktiken ska alla element vara beprövade efter tillverkning, men respondenten tycker det är viktigt att själv bekräfta att informationen stämmer. Boverkets vägledning för återbruk staterar tydligt att byggherren har ett ansvar att byggda element har beprövade egenskaper, vilket är viktigt att poängtera. Tillverkningsdokumentation är viktig i sammanhanget för att bland annat veta hur armeringen är utformad, saknas denna information så krävs det omfattande provningar. Vad gäller nedbrytning och beständighet så säger respondenten att det är exponeringsförhållandena som ska undersökas, vad för exponeringsklass som elementet befinner sig i just nu och vad det ämnas användas till i framtiden.

Vid frågan kring hur många antal prover/provkroppar som ska testas svarar respondenten att det finns metoder att tillämpa så som konfidensintervall och beräkning av tillåten felmarginal. I den norska standarden för håldäck (NS 3682) har urvalet av antalet tester baserats mer på praktik och erfarenhet vilket också är ett möjligt tillvägagångssätt, berättar respondenten. Annars gäller det att värdera resultaten genom statistiska beräkningar, därefter kan en bedömning göras kring om antalet prover var tillräckliga eller inte. Alltså börja i mindre skala och sedan göra fler tester tills resultatet verkar tillförlitligt.

Vidare diskuteras det kring huruvida oförstörande provning skulle kunna användas som ett komplement för förstörande provning, om OFP skulle kunna tillåta att mindre FP behöver utföras. Respondenten förklarar att OFP i praktiken används för att bedöma om vi har att göra med samma kvalitet genom hela konstruktionen, vilket tillåter oss att skapa så kallade grupper av element eller kontrollpartier som det heter i standarderna. Mängdprovning behöver därefter utföras för varje kontrollparti. OFP används mer som ett underlag för FP, en slags uppskattning som sedan behöver bekräftas. Vid frågan kring när i processen oförstörande provning utförs svarar respondenten att det kan ske både innan och efter demontering, samt även efter installationen i det nya huset. Varför det är vanligt att utföra OFP innan demontering är för att byggherren ska få en uppfattning, eller ett slags ekonomiskt underlag, kring om det är värt att satsa på återbruk av elementen eller inte.

Respondenten får frågan kring hur erfarenheten hos konstruktören kan spela roll inom återbruksprojekt. Respondenten anser att alla utbildade konstruktörer i grunden har kunskapen som krävs inom sammanhanget för att göra de tekniska bedömningarna. Det har diskuterats kring huruvida ett kompetenskrav ska upprättas för dessa typer av bedömningar, men diskussionen har landat i att detta skulle kännas orimligt.

Kommentarer kring hur dagens regler och standarder hanterar återbruk cirkulerar kring problematiken att uppfylla kraven från Boverkets och EKS för återbrukade element. Det är vanligt att återbruksprojekt i Sverige i dagsläget förlitar sig på standar-

der från utlandet, eftersom att dagens svenska standarder inte behandlar denna typ av problematik. Sen så vill respondenten även lyfta det faktum att en standard, om inte harmoniserande, inte är ett gällande krav utan bara en branschöverenskommelse. En konstruktör kan frångå standardens rekommendationer om denne känner sig trygg i detta och har tillräckligt med kunskap för att påvisa att den alternativa lösningen fungerar.

Vid frågan kring framtiden för återbrukade betongelement tror respondenten att detta kommer öka. Det finns flera aktörer som driver efterfrågan framåt i kombination med strängare krav och ökade priser på utsläpp av koldioxid. Det kan framöver blir dyrare att bygga nytt och det blir även dyrare att deponera med tiden.

C Utökad tabell för referensprojekt

Referensprojekt	Visuell inspektion	Oförstörande provning		Förstörande provning		Fullskalig provning	Övriga tester
			Typ av metod		Typ av metod		
Tempere, Finland (ReCreate)	Okulär besiktning	Betongkvalitet	Studshammare	Tryckhållfasthet	Provning av borrkärnor	Load test	
		Täckande betongsikt	Profometer	Karbonatiseringsdjup	Fenolftalein (pH-indikator)		
		Placering av armering		Klorid innehåll			
		Diameter armeringsstänger		Farliga substanser	Enligt RT 103501 (2022)		
		Homogenitet & defekter	Ultrasonic tomography (A1040 MIRA)				
Drottninghög, Sverige (ReCreate)	Okulär besiktning	Betongkvalitet		Tryckhållfasthet	Provning av borrkärnor	Load test	
		Täckande armering	Georadar (GPR)	Karbonatiseringsdjup	Indikatorvätska, enligt SS 137242 (1988)		
		Placering av armering	Georadar (GPR)	Klorid innehåll	Potentiometrisk titrering		
		Diameter armeringsstänger		Farliga substanser	Enligt Bygg-IS-1 (ALS, 2024)		
		Homogenitet & defekter					
Prinsenhof, Nederländerna (ReCreate)	Okulär besiktning	Betongkvalitet		Tryckhållfasthet	Provning av borrkärnor	Load test	
		Täckande betongsikt	Ferroskan & Georadar (GPR)	Karbonatiseringsdjup			
		Placering av armering	Ferroskan & Georadar (GPR)	Klorid innehåll			
		Diameter armeringsstänger	Ferroskan & Georadar (GPR)	Farliga substanser	Enligt Arbeidsomstandighedenwet (2023) & Asbestverwijderingsbesluit (2005)		
		Homogenitet & defekter					
Triemli Personalhäuser, Zürich	Okulär besiktning	Betongkvalitet	Studshammare	Tryckhållfasthet	Provning av borrkärnor	Load test	
		Täckande betongsikt		Karbonatiseringsdjup	Fenolftalein (pH-indikator)		
		Placering av armering		Klorid innehåll			
		Diameter armeringsstänger		Farliga substanser			
		Homogenitet & defekter					
Bilia Haga Norra (Återhus)	Okulär besiktning	Betongkvalitet	Studshammare	Tryckhållfasthet	Provning av borrkärnor	Load test	Draghållfasthet armering
		Täckande betongsikt	–	Karbonatiseringsdjup	–		
		Placering av armering	–	Klorid innehåll	–		
		Diamater armeringsstänger	–	Farliga substanser			
		Homogenitet & defekter					
Yrket 3 (Återhus)	Okulär besiktning	Betongkvalitet	Studshammare	Tryckhållfasthet	Provning av borrkärnor	Load test	Draghållfashet armering
		Täckande betongsikt	–	Karbonatiseringsdjup	–		
		Placering av armering	–	Klorid innehåll	–		
		Diameter armeringsstänger	–	Farliga substanser			
		Homogenitet & defekter					
Hugin (Återhus)	Okulär besiktning	Betongkvalitet	Studshammare	Tryckhållfasthet	Provning av borrkärnor	Load test	Draghållfasthet armering
		Täckande betongsikt		Karbonatiseringsdjup	–		
		Placering av armering		Klorid innehåll	–		
		Diameter armeringsstänger		Farliga substanser			
		Homogenitet & defekter					
m, Yrket 4, Ekelund 1, Teknikhöjden, Värby	Okulär besiktning	Betongkvalitet	Studshammare	Tryckhållfasthet	Provning av borrkärnor	Load test	
		Täckande betongsikt	Georadar (GPR)	Karbonatiseringsdjup	Tymolftalein		
		Placering av armering	–	Klorid innehåll	–		
		Diameter armeringsstänger	–	Farliga substanser			
		Homogenitet & defekter					
RebuiLT Pavilion	Okulär besiktning	Betongkvalitet	Studshammare	Tryckhållfasthet	Provning av borrkärnor	Load test	
		Täckande betongsikt		Karbonatiseringsdjup			
		Placering av armering	Georadar (GPR)	Klorid innehåll			
		Diameter armeringsstänger		Farliga substanser			
		Homogenitet & defekter					