



RISE SAMHÄLLSBYGGNAD
MATERIALDESIGN



Återhus

Rivningsobjekt – från kostnad till resurs:
Omvärldsanalys

Ida Gabrielsson, Linus Brander

RISE Rapport 2021:57

Innehåll

Innehåll.....	1
Förord.....	3
1 Introduktion	4
2 Regelverk och riktlinjer	6
2.1 EU:s Byggproduktsförordning.....	6
2.2 EU:s Avfallsdirektiv	6
2.3 EU:s kemikalieslagstiftning REACH	7
2.4 Miljöbalken	8
2.5 Avfallsförordningen	8
2.6 PBL och BBR.....	8
2.7 CE-märkning och certifiering	9
2.7.1 Allmänt	9
2.7.2 CE-märkning av återvunnen ballast i betong.....	10
2.7.3 CE-märkning av återanvända strukturer och element.....	10
2.8 Boverkets råd gällande återbruk.....	12
2.9 EU Green Deal	13
2.10 Sammanfattning	13
3 Testmetoder för återanvändning	14
3.1 Tillståndsbedömning	15
3.1.1 Betong	15
3.1.2 Trä.....	16
3.1.3 Stål.....	16
3.1.4 Tegel	18
3.2 Icke-förstörande metoder	20
3.2.1 Georadar	20
3.2.2 Täckskiktsmätare.....	21
3.2.3 Ultraljudshastighetsmätare.....	22
3.2.4 Handhållen XRF.....	22
3.3 Laboratorietester på mindre provkroppar	23
3.3.1 Rivningsavfall som betongballast.....	24
3.3.2 Tryckhållfasthet på utborrade betongprover	24
3.3.3 Kloridinträngning och Kloridhalt i betong.....	25
3.3.4 Karbonatiseringsdjup i betong	25
3.3.5 Undersökning i polarisationsmikroskop.....	26
3.3.6 Utdragshållfasthet förankringar i betong.....	26
3.3.7 Tegelprovningar	27

3.3.8	Stålprovningar	28
3.4	Laboratorietester på hela byggdelar	29
3.5	Testmetoder hälsa och miljö.....	31
3.6	Sammanfattning	31
4	Mjukvara för datahantering	33
4.1	Designdata	33
4.1.1	Intervju om designdata	33
4.2	System för katalogisering	34
5	Klassificeringssystem för material och byggnadsdelar för återbruk ..	36
5.1	Kartläggning	36
5.2	Analys.....	36
6	Rivnings- och sorteringsmetoder	37
6.1	Befintliga metoder och system	37
6.2	Demontering av byggnadsdelar	37
6.2.1	Demontering av betongkonstruktion	37
6.2.2	Demontering av stålprofiler	39
6.3	Analys och utvärdering	39
6.3.1	Intervju 1.....	39
6.3.2	Intervju 2	40
6.4	Projektera för demontering i framtiden	41
6.5	Sammanfattning	41

Förord

Det som presenteras i denna rapport utgör en del av arbete och resultat från innovationsprojektet *Rivningsobjekt – från kostnad till resurs*, med stöd från det Strategiska Innovationsprogrammet (SIP) RE:Source. Samverkande partner i projektet har varit Codesign, NCC, Faberge och RISE.

RISE rapport 2021:57

ISBN 978-91-89385-46-7

1 Introduktion

Just nu är vi inne på en resa mot ett resurseffektivare samhälle, som bygger på cirkulär ekonomi. I en sådan ekonomi stannar de råvaror och tillgångar vi tar ut från naturen (tex sten och kalksten till ballast och cement, och malm till stål) i samhällets materialkretslopp och slösas inte bort genom att tex läggas på deponi. I en cirkulär ekonomi undviker vi så långt som möjligt att avfall uppstår, men när något faktiskt måste kasseras så ska det återvinnas och ännu hellre återanvändas. Mål om ökad återvinning och återanvändning finns på såväl EU-nivå som nationell nivå inom de flesta sektorer och i och med EU:s Nya Gröna Giv, så har dessa strävande fått ökad tyngd. Samtidigt måste vi minska utsläppen av gaser som spär på växthuseffekten och den globala uppvärmningen, något som också i regel gynnas av ett mer resurseffektivt samhälle.

Inom byggnadssektorn uppstår stora mängder avfall varje år när byggnader och konstruktioner rivs (i Sverige minst 10 miljoner ton mineraliskt rivningsavfall varje år), men fortfarande är såväl återvinnings- som återanvändningsgraden av dessa mycket låg. Sällan beror detta på att inte tekniken finns eller att det vi vill återvinna eller återanvända inte klarar de tekniska krav som finns för möjliga användningar, utan snarare på andra faktorer, som otydligheter regelverk och riktlinjer kring hur och när alternativa material får och kan användas och att offentliga beställare inte känner till vad som är möjligt att kräva (se RE:Source-rapport *Ökad resurseffektiv användning av sekundära råmaterial i konstruktioner*; van Praagh, Brander och Olsson, 2020).

I EU-projektet RE4 samverkade forskningsutförare, arkitekter och teknikonsultbolag med företag inom återvinning, Prefabbetong och robotteknik, kring återvinning av rivningsavfall som ballast i olika typer av betong (www.re4.eu). Olika betongrecept togs fram där upp till 90% av ballasten i betongen ersattes med återvunnet rivningsavfall och där betongen förstås bibehöll den tekniska prestanda som Prefabföretaget behövde. Finalen i RE4 var byggandet av två demohus, ett utanför Belfast och ett i Madrid, med Prefabelement tillverkade med rivningsavfall. LCA som utfördes visade på besparingar i det totala resursutnyttjandet, men däremot påverkar återvinningen av rivningsavfall som ballast i ny betong i regel inte utsläpp av växthusgaser, eftersom det fortfarande krävs cement för att tillverka ny betong. Däremot kan såväl användande av nya naturresurser som klimatutsläpp minska genom *återanvändning* av hela betongdelar.

Två exempel på projekt där Prefabelement i betong har återanvänts är *Uddenprojektet* och *Nya Uddenprojektet* i Östergötland (*The Conditions and Constraints for using reused materials in building projects*; M. Eklund m.fl.), där det förra är två lägenhetshus från 1960-talet i Finspång där delar togs ut och flyttades till Linköping och det senare ett studentboende. I Uddenprojektet handlade det framförallt om platsgjutna betongväggar och balkar (men även andra material och produkter), som sågades ut varsamt med diamantklinga. Delar från två lägenhetshus med totalt 50 stora lägenheter, räckte till 22 mindre lägenheter i Linköping. I Nya Udden-projektet rörde det sig framförallt om Prefabelement (ytterväggar, innerväggar, balkar och trappor), vilket underlättade demonteringen. Den höga kostnaden för demontering jämfört med att bygga konventionellt gjorde att man sänkte ambitionsnivån, men trots detta byggdes i alla fall ett hus med 54 lägenheter. En viss överdimensionering gjordes genom att använda förstärkande stålprofiler, för att täcka upp eventuella brister i återanvända element. Båda Udden-projekten genomfördes med bara 10–15 % högre kostnader, jämfört med

konventionellt projekt med nya byggnadsdelar; fördyrningen finansierades med statligt stöd.

Projektet *Rivningsobjekt – från kostnad till resurs* fokuserar på återanvändning av tunga byggprodukter och konstruktionsdelar, framförallt stomme av betong eller stål. Att jobba med återanvändning av tunga byggnadsdelar är förenat med andra utmaningar än vid återvinning, men också behäftat med större vinster (minskat behov av nya naturresurser OCH lägre utsläpp av klimatpåverkande gaser). Framgångsrik återanvändning av byggnadsdelar från ett hus som ska rivas bygger på att en grundlig inventering, kartläggning och kvalitetsbedömning har gjorts av dessa, så att demontering och hantering av de i regel tunga och otympliga elementen kan göras på ett säkert sätt, som inte äventyrar arbetsmiljö. Dessutom måste detta göras på ett varsamt sätt så att inte elementens funktion och prestanda äventyras.

I detta dokument går vi igenom olika aspekter som är intressanta ur perspektivet återbruk av tunga byggnadsdelar. Fokus är på regelverk och riktlinjer och på undersökningsmetodik och testmetoder som bör användas för att bedöma prestanda och kvalitet, men också en del andra aspekter berörs.

2 Regelverk och riktlinjer

2.1 EU:s Byggproduktsförordning

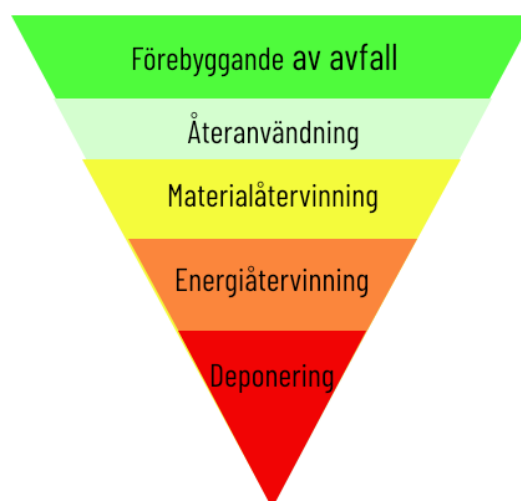
Enligt byggproduktförordningen (EC 305/2011, Construction Products Regulation, förkortad CPR), som trädde i full kraft i juli 2013, måste byggprodukt som faller under EU-harmoniserad produktstandard CE-märkas. CPR reglerar hur teknisk prestanda och funktion för material och produkter ska testas och redovisas, typiskt genom harmoniserade EU-standarder. Arbetet genererar nödvändiga dokument, tex prestandadeklaration och CE-märke för produkter. I Sverige är det Boverket som ansvarar för information och tillsyn av lagens efterlevnad.

2.2 EU:s Avfallsdirektiv

EU:s avfallsdirektiv (2008/98/EC) är ett allmänt ramverk för avfall och fastställer grundläggande avfallshanteringsdefinitioner. Avfallsdirektivet infördes 2008 och ersatte tre gamla direktiv: ramdirektivet (2006/12/EG) om avfall, direktiv (91/689/EEG) om farligt avfall och direktiv (75/439) om spillolja. För avfall från byggsektor ska EU:s medlemsstater senast år 2020 ökat sin återanvändning och återvinning av icke farliga byggnads- och rivningsavfall (exklusive energiutvinning) till 70 vikt%.

Avfallsförordningen beskriver också den så kallade avfallshierarkin (Figur 1):

- Förebyggande av att avfall uppstår
- Återanvändning
- Materialåtervinning (inkluderar ej användning som fyllnadsmassor, eng. *back-filling*)
- Energiåtervinning och annan återvinning
- Deponering



Figur 1 Avfallshierarkin.

Strävan är att komma så högt upp i avfallshierarkin som möjligt. Således är undvikande att avfall ens uppstår bättre än återanvändning, medan återanvändning generellt är att föredra framför materialåtervinning, som i sin tur är bättre än energiåtervinning. Sista steget, deponi, bör undvikas så långt det går, eftersom material då försvinner helt ur ekonomin/resursflödet.

Avfallsdirektivet specificerar också de åtgärder som krävs för att ett avfall ska upphöra vara avfall och bli så kallad *sekundär råvara*, som fortsättningsvis regleras genom aktuell produktlagstiftning (tekniska standarder), tex CPR för byggprodukter. Enligt Naturvårdsverket sker detta när:

- Användning av ämnet eller föremålet inte kommer leda till allmänt negativa följder för miljön eller människors hälsa
- Det finns ett specifikt användningsområde för ämnet eller föremålet
- Det finns en marknad eller efterfrågan på ämnet eller föremålet
- Ämnet eller föremålet har likvärdiga egenskaper som andra produkter som finns på marknaden
- Ämnet eller föremålet uppfyller de tekniska kraven för det tänkta användningsområdet och befintlig lagstiftning för produkter

EU-kommissionen har tagit fram gemensamma kriterier för när ett antal olika material upphör att vara avfall, så kallade "End-of-Waste kriterier" (EoW). I dessa konkretiseras och tydliggörs åtgärder och förutsättningar för att uppfylla de fem punkterna ovan för det aktuella avfallsslaget (tex vad gäller teknisk prestanda och nivåer av potentiellt farliga ämnen och substanser), till nytta för såväl tillsynsmyndigheter, avfallsägare och återvinningsaktörer, som beställare och slutkunder. När denna rapport skrivs finns det kriterier för järn-, stål- och aluminiumskrot, glaskross, samt kopparskrot. I avsaknad av EoW-kriterier på EU-nivå för visst avfallsslag finns möjlighet ta fram sådana på nationell nivå, men i avsaknad av sådana sker bedömning av om ett avfall kan anses upphöra vara avfall eller inte på fall-till-fall-basis. Nationella EoW-kriterier för bygg- och rivningsavfall saknas i Sverige, varför bedömning därmed görs från fall till fall. Tillsynsmyndighet är kommunerna.

Sverige införde 2011 EU:s avfallsdirektiv i svensk lagstiftning. Två av effekterna av införandet var ett nytt 15 kapitel i miljöbalken och en ny avfallsförordning (2011:927).

2.3 EU:s kemikalieslagstiftning REACH

REACH-förordningen är en kemikalielagstiftning (EC 1907/2006) som trädde i kraft i hela EU 2007. REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*) innehåller bland annat regler för vad en producent har för ansvar och skyldigheter som rör produkter och verksamhet. I REACH gör man skillnad på ämnen, blandningar och varor. I första hand är det ämnen och blandningar som regleras i REACH och där finns en kandidatförteckning av ämnen som på något sätt är skadliga. Ämnen som finns i förteckningen kan vara cancerframkallande, skada arvsmassa och vara hormonstörande, störa fortplantningsförmågan, eller ansamlas i miljön. Kemikalieinspektionen ansvarar för efterlevnad av förordningen i Sverige.

Återbruk av produkter ska klara dagens kemikalielagstiftning. Eventuella farliga ämnen som finns med på REACH-listan i en produkt ska redovisas. Det är producenten som sätter produkten på marknaden som är ansvarig att detta följs.

2.4 Miljöbalken

Miljöbalken är en svensk ramlag som syftar till att främja en hållbar utveckling. I miljöbalkens kapitel 15 definieras ett avfall som *”varje ämne eller föremål som innehavaren gör sig av med eller avser eller är skyldig att göra sig av med”* och när avfall övergår till att bli restprodukter eller biprodukt, alltså återvinns. Specifika bestämmelser om bygg- och rivningsavfall saknas i miljöbalken. Enligt kapitel 9 anses inte bygg- och rivningsverksamhet vara anmälnings- eller tillståndspliktig. I kommunerna är det miljönämnderna som har tillsynsansvar enligt avfallsdirektivet.

2.5 Avfallsförordningen

Avfallsförordningen 2011:927 ligger under Miljö- och energidepartementet och kom ut 2011. Förordningen innehåller bestämmelser om avfall och hur sådant ska hanteras.

Dessa bestämmelser kommer sannolikt påverkas i samband med att det så kallade ”avfallspaketet” infogas i svensk lag, där avfallspaketet syftar på de sex reviderade direktiv som i slutet av 2015 presenterades av EU-kommissionen som del av paketet om cirkulär ekonomi. Syftet är att främja en övergång till en mer cirkulär ekonomi och bland den lagstiftning som finns i de sex direktiven finns bland annat nya regler kring bygg- och rivningsavfall. Det kommer bland annat ställas krav på sortering i specificerade fraktioner, bättre planeringsunderlag för förebyggande av avfall och krav hushållen att källsortera bygg- och rivningsavfall. Till skillnad från EU-förordningar gäller inte EU-direktiven direkt i medlemsstaterna när det träder i kraft, utan måste genomföras i den nationella lagstiftningen enligt en viss tidsplan. De är dock fortfarande bindande och tvingande att införas.

2.6 PBL och BBR

Enligt Plan- och Bygglagen (2010:900, PBL) krävs rivningslov för byggnader inom detaljplanerat område och att byggherren har en kontrollplan, som inkluderar materialinventering och hur eventuella farliga ämnen ska omhändertas. PBL ställer också krav på att sortering av bygg- och rivningsavfall ska ske på platsen där det uppkommer, även om undantag får göras där detta inte är möjligt, på grund av exempelvis platsbrist. Byggherren ska i kontrollplan också beskriva hur rivningsmaterialet ska tas om hand, dvs. vad som går till återanvändning, materialåtervinning, energiåtervinning, deponi, osv.

Den 1 augusti 2020 träder en ändring i PBL i kraft, som ska främja bättre hantering av bygg- och rivningsavfall genom selektiv rivning och att möjliggöra avlägsnande och säker

hantering av farliga ämnen. Syftet är att underlätta återanvändning och högkvalitativ materialåtervinning. Konkret ska bland annat byggherren vid tekniska samråd redovisa hur identifiering av avfall och återanvändbara byggprodukter har gjorts, och i kontrollplanen ska redovisas vilka byggprodukter som ska återanvändas (och hur det ska göras) och vilka avfall som åtgärden kan ge upphov till och hur dessa ska tas om hand, tex för att möjliggöra materialåtervinning.

Boverkets byggregler (2011:6, BBR) innehåller framförallt föreskrifter och allmänna råd till PBL och PBF (Plan och Byggförordningen). BBR säger inget specifikt om återanvändning av strukturer eller konstruktionsdelar. Däremot finns regler för utformning av utrymmen som helhet i byggnader och det finns krav på exempelvis tillgänglighet, brandsäkerhet, ventilation, värmeisolering och ljudisolering. En tolkning kan därför vara att återanvändning av strukturer och konstruktionsdelar är tillåten, så länge samma krav som för nytillverkade delar uppfylls. Här kan återbruk av strukturer och produkter designade efter gamla krav stöta på problem gentemot dagens krav.

2.7 CE-märkning och certifiering

2.7.1 Allmänt

Enligt byggproduktförordningen (CPR) måste byggprodukt som faller under EU-harmoniserad produktstandard förses med en prestandadeklaration och CE-märkas. Exempel på produkter som faller under harmoniserad EN-standard är bland annat betongballast (SS-EN 12620+A1:2008) och många Prefab-produkter i betong, såsom plattbärlagselement (SS-EN 13747:2005+A2:2010) och väggelement (SS-EN 14992:2007+A1:2012). I Sverige är det Boverket som är den myndighet som informerar om och övervakar efterlevnad av byggproduktförordningen (CPR).

För produkter som täcks av harmoniserad standard eller EAD (*European Assessment Documents*), en frivillig väg till CE-märkning som kan göras när harmoniserad standard saknas, så är ingen annan typ av certifiering eller märkning tillåten. Det finns dock många byggprodukter som inte faller under harmoniserad standard eller EAD och dessa kan om så önskas märkas enligt nationella eller andra typer av märkningssystem. Ibland täcker inte heller en harmoniserad standard alla relevanta egenskaper och lämnar några öppna för det enskilda medlemslandet att själva besluta om ("*provisions in place of use*"); även dessa fall öppnar för andra märkningssystem för de specifika egenskaperna.

Tillverkaren ska i enlighet med gällande produktstandard upprätta ett kvalitetssystem där en kvalitetsmanual med rutiner för produktionen säkerställer att det som utlovas i prestandadeklaration och CE-märke efterlevs (dvs. att varje produktenhet som levereras faktiskt har den prestanda som utlovas). Kvalitetsmanualen ska innehålla och beskriva sådant som organisation, kontrollrutiner, produktionsledning, provning och transport.

I regel måste tillverkaren använda en tredje part (ett oberoende så kallat *anmält organ*), för granskning av hur kvalitetssystem efterlevs. Produkttyp och tänkt användning avgör den utsträckning till vilket ett anmält organ måste involveras och beskrivs som fem nivåer i CPR (bilaga V): AVCP-system 1+, 1, 2+, 3 och 4 (AVCP = *Assessment and Verification of Constancy of Performance*). Standarden för den aktuella produkten

anger vilken nivå som gäller (finns i ZA-bilagan, som är obligatorisk i alla harmoniserade EU-standarder). System 4 gäller typiskt för produkter utan krav på bärighet och där gör producenten det mesta själv och behöver inte använda ett anmält organ, medan de flesta bärande byggprodukter faller under det strängare System 2+. System 2+ innebär att det anmälda organet utfärdar ett certifikat, i vilket ingår en årlig produktionskontroll (revision), där en revisor går igenom kvalitetssystem, rutiner, provningar, kompetens, utrustning och praktiskt utförande. I certifikatet ingår att tillverkaren deklarerar produktens/materialets egenskaper.

2.7.2 CE-märkning av återvunnen ballast i betong

För att få använda och sälja ballast för användning i betong måste materialet vara CE-märkt enligt system 2+ (se SS-EN 12620 + A1:2008). Detta gäller såväl bergkross och grus som återvunna material. System 2+ innebär att man har certifikat utfärdat av ett anmält organ. I certifikatet ingår en årlig produktionskontroll (revision), med genomgång av kvalitetsmanual, rutiner, provningar, kompetens, utrustning och praktiskt utförande.

2.7.3 CE-märkning av återanvända strukturer och element

För betongelement gäller lite olika regler beroende på typ av element. Vissa faller under harmoniserad SS-EN-standard och ska därmed CE-märkas, andra faller utanför sådana standarder och har därmed inte krav på CE-märkning.

Flera standarder för prefabricerade element har gått igenom, i syfte att se vilka produkter som nämner återanvändning och vilka som måste CE-märkas (Tabell 1). Ingen av dessa nämner återanvändning specifikt, vilket å ena sidan kan tolkas som att de omfattar återanvända produkter enligt samma krav som för nyproducerade dito. Å andra sidan kan det tolkas som att återanvända byggdelar hamnar utanför aktuell standard, om tex det system för fabrikskontroll som beskrivs endast är utformat för nyproduktion. Om det inte nämns specifikt hur egenkontroll ska gå till vid återanvändning, så krävs sannolikt en EAD, om återanvändning av produkttypen ska ske på industriell skala.

Tabell 1 Valda granskade normer och produktstandarder

Beteckning	Titel	Återbruk?
SS-EN 13501-1:2019	Brandteknisk klassificering av byggprodukter och byggnadselement – Del 1: Klassificering baserad på provningsdata från metoder som mäter reaktion vid brandpåverkan	Nämns ej
SS-EN ISO 717-1:2013	Byggakustik – Värdering av ljudisolering i byggnader och hos byggdelar – Del 1: Luftljudsisolering	Nämns ej
SS-EN ISO 717-2:2013	Byggakustik – Värdering av ljudisolering i byggnader och hos byggdelar – Del 2: Stegljudsisolering	Nämns ej
SS-EN ISO 10456:2007	Byggmaterial och produkter – Fukt- och värmetekniska egenskaper – Tabeller med beräkningsvärden och metoder för bestämning av termiska egenskaper för deklarerat resp. beräkning	Nämns ej
SS-EN ISO 13787	Värmeisoleringsprodukter för teknisk isolering – Bestämning av deklarerat värmekonduktivitet	Nämns ej
SS-EN 1992-1-1:2005	Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader	Nämns ej
SS-EN 1992-1-2:2004	Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner – Del 1-2: Allmänna regler – Brandteknisk dimensionering	Nämns ej
SS-EN 13670:2009	Betongkonstruktioner – Utförande	Nämns ej
SS-EN 10080:2005	Armeringsstål – Svetsbart armeringsstål – Allmänt	Nämns ej
SS-EN 12794:2005+A1:2007	Förtillverkade betongprodukter – Betongpålar *	Nämns ej
SS-EN 14991:2007	Förtillverkade betongprodukter – Grundläggningselement *	Nämns ej
SS-EN 14992:2007+A1:2012	Förtillverkade betongprodukter – Väggelement *	Nämns ej
SS-EN 15037-1:2008	Förtillverkade betongprodukter – Bjälklagssystem, balk och block – Del 1: Balkar *	Nämns ej
SS-EN 15037-2:2009+A1:2011	Förtillverkade betongprodukter – Bjälklagssystem, balk och block – Del 2: Betongblock *	Nämns ej
SS-EN 15037-3:2009+A1:2011	Förtillverkade betongprodukter – Bjälklagssystem, balk och block – Del 3: Tegelblock *	Nämns ej
SS-EN 1168:2005+A3:2011	Förtillverkade betongprodukter – Håldäcksplattor *	Nämns ej
SS-EN 13747:2005+A2:2010	Förtillverkade betongprodukter – Plattbärlageelement*	Nämns ej
SS-EN 13224: 2011	Förtillverkade betongprodukter – Bjälklags- och takelement med T- eller TT-tvärnsnitt *	Nämns ej
SS-EN 13225:2013	Förtillverkade betongprodukter – Balkar och pelare *	Nämns ej
SS-EN 13693:2004+A1:2009	Förtillverkade betongprodukter – Speciellt utformade Takelement *	Nämns ej
SS-EN 14843:2007	Förtillverkade betongprodukter – Trappor *	Nämns ej
SS-EN 15258:2008	Förtillverkade betongprodukter – Stödmurselement *	Nämns ej
SS-EN 520:2004+A1:2009	Gipsskivor – Definitioner, krav och provning *	Nämns ej
SS-EN 1993-1-1:2005	Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader	Nämns ej
SS-EN 1993-1-2:2005	Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner – Del 1-2: Brandteknisk dimensionering	Nämns ej
SS-EN 771-1:2011+A1:2015	Mursten och murblock – Krav – Del 1: Tegelsten	Nämns ej
SS-EN 13830:2015	Glasfasader – Produktstandard *	Nämns ej

*ZA-bilaga/krav på CE-märkning

2.8 Boverkets råd gällande återbruk

Boverkets bedömning är att CPR inte ställer krav på CE-märkning av återbrukade produkter (dialog med Sara Elfving, Boverket, december 2020). Som visas i Tabell 1 nämner de flesta standarderna för byggnadsdelar inte återanvändning och den tillverkningskontroll som beskrivs i dessa kan inte göras i efterhand:

”Även om scoopet i en harmoniserad standard tycks omfatta en begagnad produkt så föreskriver standarden inte bara metoder för att bestämma produkttypen, utan även en viss nivå av tillverkningskontroll. Eftersom begagnade produkter redan har tillverkats går det inte att tillverkningskontrollera dem i efterhand, vilket gör att kraven enligt de föreskrivna systemen för bedömning och fortlöpande kontroll av prestanda inte kan uppfyllas, vilket i sin tur gör att standarderna inte är tillämpliga fullt ut, om det inte uttryckligen framgår av standarderna hur tillverkningskontrollen ska ersättas.” (Sara Elfving, Boverket, december 2020).

Vill man CE-märka återbrukade produkter finns den alternativa vägen att gå när harmoniserad produktstandard saknas, dvs. genom en EAD (European Assessment Document), där befintlig standard tas som utgångspunkt men tillverkningskontrollen anpassas för återbruk. Detta är dock en ganska omfattande process, men kan vara rimligt för ett företag som vill handla med större mängder återbrukade enheter (ett bra exempel är Bruksspecialisten som handlar med återvunnet tegel, se senare i denna rapport). Det pågår arbete på Europainivå om att eventuellt revidera CPR så att den tar bättre hänsyn till återbruk, men ett sådant arbete tar ganska lång tid (sannolikt flera år).

Oavsett om en produkt är CE-märkt eller inte så är det alltid byggherren som avgör om produkten är lämplig i den tänkta användningen. I EKS (Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder) uttrycks detta på följande sätt: *”26 §8 Mottagningskontroll ska alltid göras. Byggherren ska förvissa sig om att material och byggprodukter har sådana egenskaper att materialen och produkterna korrekt användas i byggnadsverket gör att detta kan uppfylla egenskapskraven i denna författning”*. Fördelen med CE-märkta produkter är att byggherren ska kunna lita på den prestanda som anges där och lätt kunna jämföra med andra produkter, och därmed inte själv behöva prova alla egenskaper.

När CE-märkning saknas (för tex återbrukade produkter men också nytillverkade som inte faller under harmoniserad EU-standard) finns råd i Boverkets föreskrifter om hur byggherren själv tar fram prestanda, för att kunna bedöma byggproduktens lämplighet för den specifika användningen. Ett sätt är att låta ett ackrediterat laboratorium prova (och certifiera) produkten, tex genom att utgå från den relevanta harmoniserade standarden och bestämma prestandan efter denna (med skillnaden att produkten inte blir CE-märkt). Vid återbruk av produkter i Sverige så finns det dock inga krav på att prestandan måste vara bedömd och redovisad på ett särskilt sätt, utan endast att produkten ska vara lämplig.

2.9 EU Green Deal

Den europeiska gröna given är en färdplan för en hållbar ekonomi i EU, där miljöutmaningarna omvandlas till möjligheter och omställningen till en resurseffektiv ekonomi genomförs på ett rättvist sätt. Målen är bland annat:

- inga nettoutsläpp av växthusgaser år 2050
- ekonomiska tillväxten har frikopplats från resursförbrukning (cirkulär ekonomi)
- inga människor eller platser lämnas utanför
- förlorad biologisk mångfald är återställd och föroreningarna har minskat

Åtgärder som nämns inom olika ekonomiska sektorer är investeringar i miljövänlig teknik, stöd till innovativ industri, energieffektivare byggnader och utfasning av fossila bränslen.

2.10 Sammanfattning

Med dagens regelverk kring produkter och de harmoniserade EU-standarder som finns för olika byggprodukter, så är inte CE-märkning av återbrukade byggnadsdelar möjlig (och därmed inte heller krav). Vill man CE-märka måste man gå vägen via en EAD för den specifika produkten.

Detta hindrar dock inte att byggprodukter återbrukas, men prestandan måste säkerställas så att byggherren kan projektera in delen i den nya byggnaden, på ett säkert sätt som följer Boverkets riktlinjer och PBL.

För återanvändning krävs sannolikt godkännande från kommunens tillsynsmyndighet, generellt Miljöförvaltning eller liknande, eftersom byggnadsdel som demonteras från byggnad som ska rivas troligen faller under avfallslagstiftning. Därmed behöver man på något sätt visa hur man fastställer att byggnadsdelen ska upphöra vara avfall, dvs. att kraven i Avfallsförordningen uppfylls, på att det tex finns ett tekniskt och kommersiellt värde och att inga ämnen som potentiellt kan vara skadliga för människa och miljö finns.

3 Testmetoder för återanvändning

För bedömning av en byggnadsdels (tex en stålbalk eller ett håldäck i betong) skick och återstående livslängd, möjligheter till säker och varsam demontering eller uttag, samt i längden kvalitetssäkring för återbruk, krävs en process där tillräcklig andel av de enheter av byggnadsdelen som finns i byggnaden undersöks och eventuellt testas. För att säkerställa att delarna som väljs ut för laboratorietester är representativa för byggnaden, så bör mest resurser och tid läggas på det tidiga skedet (inventering, kartläggning och okulär bedömning av byggnaden). Kartläggningen ligger till grund för det provuttag och provning som i slutändan görs och kvaliteten på den förra avgör i stort kvalitet och relevans på den senare. Summerat ser stegen ut enligt följande (se också Figur 2):

1. Inventering och kartläggning av material och konstruktionsdelar. Metod: genomgång befintlig dokumentation (tex konstruktionsritningar) samt platsbesök.
2. Bedömning av materials och byggnadsdelars skick. Metod: platsbesök där byggnadsdelar, material och konstruktionslösningar okulärbesiktigas (dvs sådant som är synligt för blotta ögat noteras och dokumenteras, tex sprickor, flagningar), eventuellt kompletterat med icke-förstörande provning och mindre åverkan (tex borrarning av mindre hål i betong för karbonatiseringsdjup eller studera armering).
3. Sammanställning av inventering och skick bedömt okulärt och med icke-förstörande provning. Genomgång med kund där eventuella kompletterande tester föreslås.
4. Kompletterande provuttag. Metod: tex borkärnor från betong för bestämning av tryckhållfasthet, karbonatiseringsgrad, typ och mängd armering; sågning av stålbalk för bestämning av mekaniska egenskaper och kemisk sammansättning; uttag av tegelstenar för bestämning av tryckhållfasthet och porositet.
5. Analyser och rapport med rekommendationer för återbruk.

Den åverkan som åsamkas beror på det specifika fallet, men tumregeln är att den är obefintlig eller liten i steg 1 och 2, måttlig i steg 4 och 5 (om behov av provning föreligger).

Optimalt utförs denna process efter lätttrivningen, då inventarier, ledningar och ytskikt har inventerats och plockats ut. Det blir då lättare att komma åt och inspektera skick på stommen och andra blottlagda delar av huskroppen.



Figur 2 Strategi för tillståndsbedömning av byggnad för möjlighet till återbruk.

3.1 Tillståndsbedömning

I samband med en rivningsinventering, platsundersökning eller tillståndsbedömning av en byggnad får man en bild av vilka material en byggnad eller konstruktionsdel är uppbyggd av och i vilket skick de olika delarna är.

Rivningsinventering är ett krav i samband med rivningslov och dess främsta mål är att lokalisera olika typer av farligt avfall och vilka mängder dessa förekommer i. Därför kan det vara svårt att vid en rivningsinventering se sådana produkter, material och konstruktionsdelar som passar till återanvändning eller materialåtervinning. Vid *tillståndsbedömning* är målet att bedöma hela eller delar av en byggnad för att se om det föreligger behov av åtgärder såsom reparation eller renovering på byggnadens bärande och i vissa fall icke bärande konstruktioner.

3.1.1 Betong

Vid tillståndsbedömning av bärande stommar och konstruktioner i betong används flera metoder för att säkerställa materialens tillstånd. *Okulärgranskning* görs med blotta ögat och synliga skador och avvikelser, tex sprickor, flagningar, utfällningar och missfärgningar, noteras och dokumenteras. Vid *bomknackning* knackar utföraren med en hammare och lyssnar efter ihåliga ”bom-ljud”, som kan tyda på delaminering, eller betonglagringar som sitter löst eller förlorat vidhäftning mot underlaget.

Vid bedömningen används också *icke-förstörande provningsmetoder*, dvs metoder som ger indikationer och data från byggnaden, utan att orsaka skada. Georadar och täckskiktsmätare är två exempel som kan användas för att bestämma betongens armeringstillstånd. Ultraljud kan användas för att exempelvis undersöka naturstens och liknade materials skick, då ultraljud generellt korrelerar mot materials hållfasthet.

Efter arbete och mätningar på plats identifieras behov av mer avancerade provningar på laboratorium, planerar för detta, samt tar ut provkroppar från konstruktionen.

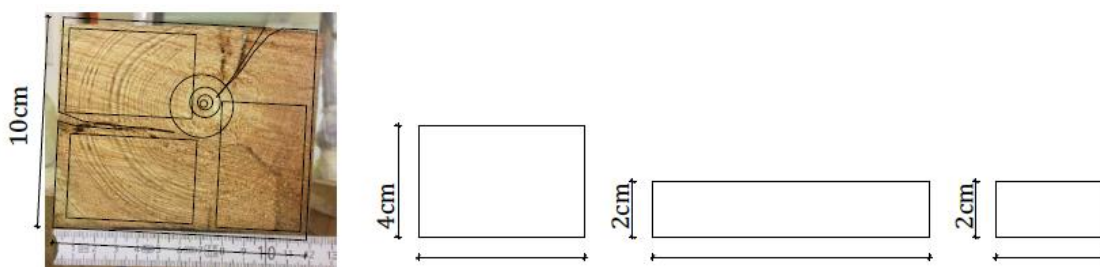


Figur 3 Undersökning av yt- och tätskikt fungerar lika bra på tegel som på betong. Foto: Ida Gabrielsson (RISE).

3.1.2 Trä

Vad gäller trä och trästommar för återbruk finns det inte så mycket publicerat när denna rapport skrivs. I länder där återbruk av träelement är vanligare än i Sverige använder man oftast okulär inspektion för att bedöma om kvaliteten är tillräckligt bra. Vi har dock inte funnit någon publikation som visar vad som ska kontrolleras (och hur) för att konstatera att ett träelement är godkänt för återanvändning. Det finns dock FoU-initiativ som helt eller delvis jobbar med trä, däribland de två Horizon2020-projekten *InFutureWood* (<https://www.infuturewood.info/>) och *RE⁴* (REuse and Recycling of CDW materials and structures in energy efficient pREfabricated element for building REfurbishment and construction, www.re4.eu). InFutureWood kretsar kring återbruk av trä, med fokus på inventering, demontering, kvalitet och egenskaper.

I RE⁴ undersöktes och arbetades med flera olika materialflöden från rivna byggnader och nyttiggörande av dessa flöden i nya konstruktionsmaterial, vilket vid projektets slut kulminerade i två demohus, byggda av prefab-element baserade på återvunna material. Vad gäller trä demonterades balkar, plankor och brädor från äldre hus, varpå de efter visuell kontroll modifierades genom att såga bort skadade delar och ytor, metalldelar och kvistar (Figur 4). Brädor och plank av nya dimensioner sammanfogades till nya element, bland annat innerväggar och fasadsandwichelement (med isolering tillverkad av sågspån från sågmomenten). Strikt handlade det alltså snarare om återvinning än återbruk.



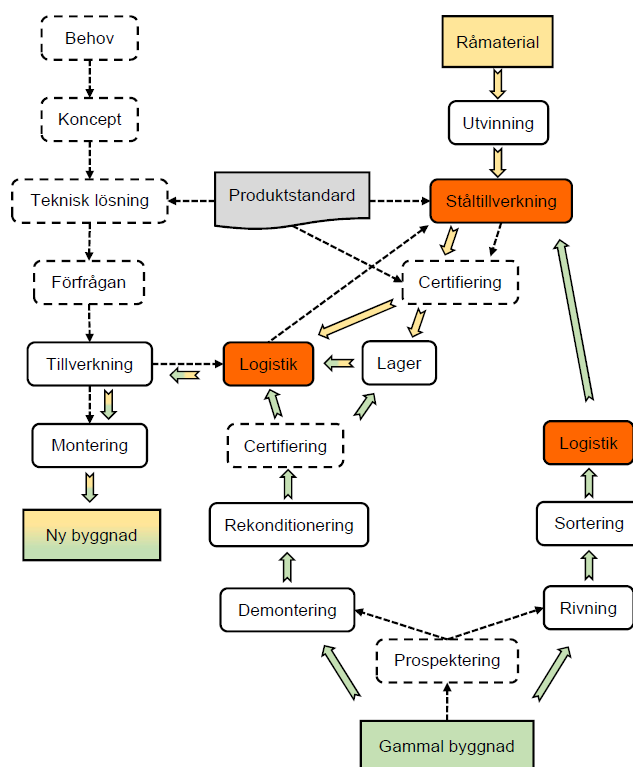
Figur 4 Foton från RE⁴-projekt där man från en demonterad träbalk sågar ut för nya dimensioner på brädor och plank. Källa: RE4-rapport D5.2 Development of prefabricated components.

3.1.3 Stål

Enligt SBUF-rapporten "Återbruk av stålkomponenter" kan stål återvinnas många gånger och även återbrukas. Återvinning sker redan i stor utsträckning men återbruk är inte alls stort, varken i Sverige eller i andra länder. I gällande regelverk för dimensionering och utförande finns inga hinder för återbruk, så länge grundläggande krav på seghet, hållfasthet och kemisk sammansättning uppfylls och finns dokumenterade. Detta gäller såväl standardiserade som icke standardiserade stålsorter. För standardiserade stålsorter (EN-stål med nödvändig dokumentation) räcker i regel oförstörande provning för att säkerställa kvalitet, medan kvalitetssäkring av äldre stål och stål som saknar dokumentation ofta kräver förstörande provning. Exempel på *oförstörande provningar* är hårdhetsmätning för brottgräns och kemisk analys med portabel spektrometer (OES eller XRF). Hårdhetsmätning är en mycket enkel metod och ger bra resultat med en liten spridning, för snabb kategorisering i materialgrupper. OES möjliggör analys av alla grundämnen som behövs för att beräkna stålets kolekvivalent. XRF kan användas vid en grov sortering eller analys av tungmetaller i färg.

Redan idag används stålkonstruktioner med standardiserade komponenter för infästningar, men förankringar mellan stål och betong behöver utvecklas. För att återbruka mera stålkomponenter behövs en översyn av förband som används. Det är redan vanligt med skruvförband men användningen borde öka mer på bekostnad av svetsförband, för enklare demontering. SBUF-rapporten nämner tre återbruksmodeller:

1. *Bygga nytt utifrån en gammal byggnad.* Hitta lämpligt objekt där stommen kan demonteras och sedan återmonteras, vilket kräver lite tur och viss flexibilitet. I England finns två företag med affärsidé att sälja begagnade hallbyggnader med stomme av stål. Stommen demonteras och säljs vidare utan några större förändringar på själva stålet, dock vanligare med blästring och ommålning. Möjligt alternativ även i Sverige, så länge hänsyn tas till olika snö- och vindlaster.
2. *Bygga nytt med återbrukade komponenter.* Kräver varsam demontering, frakt, lagerhållning och att delarna passar i det nya projektet. Kvaliteten måste också säkerställas. Det finns ett företag i England som säljer ca 3 000 ton återbrukade stålprofiler per år; de granskar komponenterna på rivningsplatsen och köper loss det stål de bedömer lämpligt. Företaget provar inte kvaliteten på stålet utan nedgraderar istället kvaliteten och lägger det sedan på lager. Köparna är ofta byggföretag som använder komponenterna till tillfälliga konstruktioner.
3. *Integrerat återbruk* (Figur 5). Så länge produkten uppfyller gällande krav ska det inte vara skillnad mellan att använda nytt eller återbrukat. Fördelen med återbruk är att det kan bli snabba leveranser till kund. Ett engelskt företag erbjuder både nya och återbrukade stålrör; produkterna delas in i två kvalitetsklasser, en certifierad med erforderliga dokument, en med lägre kvalitet och utan dokument (kvalitet säkerställs genom oberoende förstörande provning).



Figur 5 Integrerat återbruk av stålprodukter. Källa: Rapport Återbruk av stålkomponenter – Analys av möjligheter och hinder för en ökad återanvändning idag, SBUF ID 13488.

3.1.4 Tegel

Det finns två olika typer av tegelsten – fasadtegelsten och mursten (*Återbruk av tegelstenar*, M Öhn och S Isaksson, CTH). Idag används tegel nästa bara till fasadbeklädnad och inte i lika stor utsträckning som tidigare som bärande konstruktion. Vid återbruk måste de två typerna hållas isär då de har olika egenskaper. Fasadstenen är mer tålig för väder och vind men inte lika stark (lägre tryckhållfasthet) som mursten. Ofta är det murbruket mellan tegelstenarna som åldras och som behöver underhållas. Tegelstenarna i sig är oftast i bra skick och lämpar sig därmed för återbruk, men kan ha skadats av frostsprängning, kalksprängning, föroreningar och slag (kantstötning). Vid varsam selektiv rivning eller demontering kan tegelsten plockas ut och renas från murbruk och annan smuts, genom tex tvättning, skrapning, skakning och vattenskarvning. Priset för en återbrukad tegelsten kan vara något högre än för en nyttillverkad och tar ibland längre tid att mura på grund av att de ofta är mer massiva och tyngre än nya (nyttillverkad tegelsten har i regel håligheter).

Den danska tegelstenstillverkaren *Gamle mursten* har återbrukat tegelsten i nästan 15 år. De tar emot tegel, även via kommunala återvinningscentraler, och genom tvättning och skakning avlägsnas murbruk och smuts. Tegelstenarna kontrolleras, sorteras och CE-märks och har därmed samma garantier, även mot frost, som nyttillverkad tegelsten.

3.1.4.1 Brukspecialisten och återbruk av tegelsten

Då återbruk av tegelsten utgör ett mycket intressant exempel på reell återanvändning av tyngre byggdelen, så arrangerades ett intervjumöte mellan *Brukspecialisten tegel*, som är svensk återförsäljare av Gamle murstens återbrukade tegelsten, och projektet *Rivningsobjekt – från kostnad till resurs*. Mötet hölls via Microsoft Teams den 25 juni 2020 och från projektet deltog Louise Wall (NCC), Nadine Aschenbach (Codesign) och Ida Gabrielsson (RISE). Informationen som återges nedan kommer från det mötet och uppföljande mejlkorrespondens, sammanställt av Ida Gabrielsson.

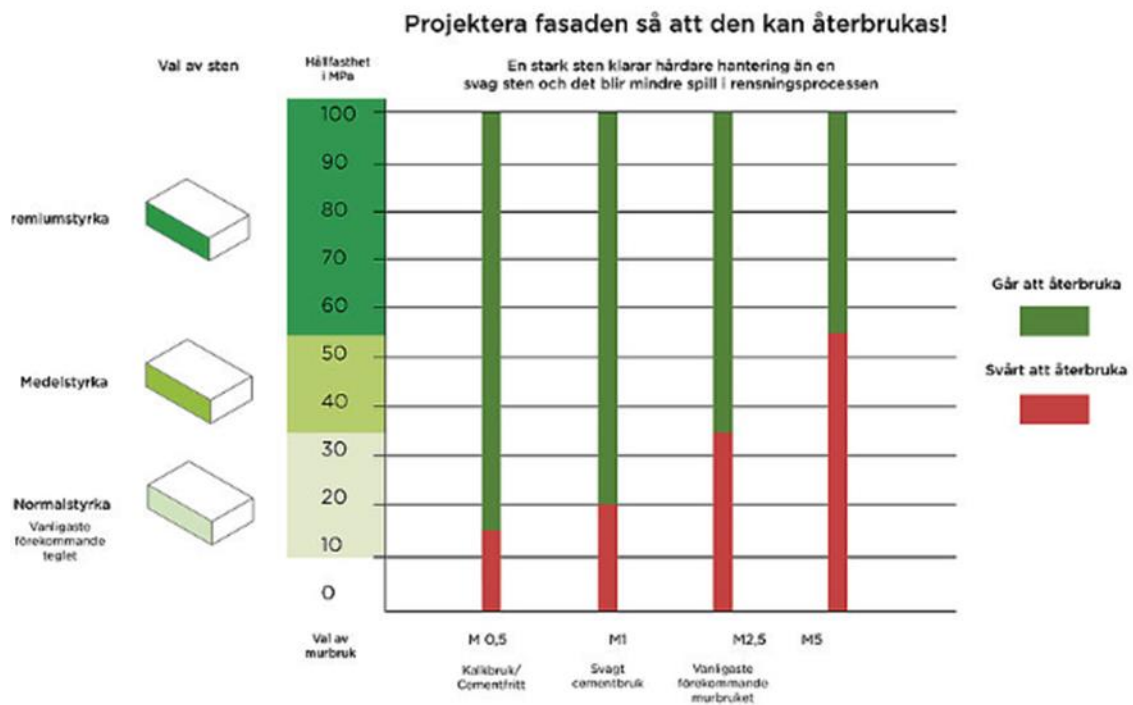
Brukspecialisten vill få till återbruk av tegelsten, där taktiken summeras i tre steg:

1. Att redan i projekteringsläget tänka på att byggnaden ska gå att återbruka
2. Att använda rätt teknik och material, dvs rätt sten med rätt murbruk (Figur 6)
3. Att i projekt prioritera återbrukad tegelsten

Brukspecialisten ämnar i närtid till att denna rapport skrivs öppna en fabrik i Sverige där tegel ska återbrukas på industriell skala. Produkterna kommer att vara CE-märkta och certifierade i system 2+ enligt en ETA, vilket innebär att det inte finns en harmoniserad EN-standard för produkten och då görs CE-märkning på frivillig basis enligt speciell procedur (se avsnitt om EAD). Det finns en harmoniserad standard för tegelsten, men eftersom den produktionskontroll som beskrivs i den är utformad för nyproduktion, så anses inte återbrukad tegelsten omfattas av denna. Garantier på frostbeständighet kommer dessutom ges. Återbruksprocessen kommer att genomföras i följande steg:

1. *Inventering* och första kontroll av material, för bedömning av om teglet är lämpligt för återbruk. Ofta är byggnadstyp och ändamål den haft viktigare än tegelstenstyp, då materialet kan vara förorenat om det suttit i tex en industribyggnad. I vissa fall har ett för starkt murbruk använts till en för svag tegelsten och då kan det vara svårt att få loss stenen oskadad.

2. *Upphandling* av materialet och tillvägagångssätt.
3. *Rivning*. Entreprenör utför rivning, med metod som möjliggör återbruk av tegel.
4. *Transport* av teglet till fabrik för återbruk.
5. *Rensning och kvalitetssäkring*. Väl på plats i fabriken sker rensning för att få bort murbruk. Nu sker också kvalitetssäkring av produkten.
6. *Leverans eller lagerhållning*. Tegelstenarna gå direkt ut till nästa projekt eller lagerhålls i väntan på användning.



Figur 6 Schema över att välja rätt murbruk till rätt tegelsten. Källa: www.tegel.brukspecialisten.se.

Kvalitetssäkringen tillgår så att för varje produktionsmängd om ca 15 000 tegelstenar som går igenom fabriken, plockas ett antal ut för provning av tryckhållfasthet, vattenabsorption, densitet, initial vattenabsorption och porositet. CE-märkning är i skrivande stund inte klar. Det finns en EAD som är framarbetad av Gamle mursten i Danmark som man nu arbetar på för att få till en ETA mot vilken CE-märkning är möjlig.

Bruksspecialisten (Figur 7) har framgångsrikt återbrukat fasadtegel i Furutorpsparken, ett studentboende i Helsingborg, och i Mellanvångsskolan i Staffanstorp.



Figur 7 Grönt murverk, återbruk av tegel. Källa: www.tegel.brukspecialisten.se.

3.2 Icke-förstörande metoder

3.2.1 Georadar

Med en handhållen georadar undersöks konstruktionen på plats utan att skada den genom provuttag eller liknade. Georadarn förs över konstruktionsdelen som undersöks (Figur 8). Resultatet är en bild där material med olika elektromagnetiska egenskaper syns som kontraster (Figur 9). Med georadar kan man bland annat:

- Positionera armering och andra delar i pelare och bjälklag, tex för att undvika att kapa dessa vid håltagning eller demontering
- Bestämma armeringsinnehåll i betongkonstruktioner, tex i bjälklag
- Positionera eventuella skador, håligheter, sprickor, ledningar och rör
- Utredda om armering rostat i större omfattning

En georadar använder radiovågpulser, en typ av elektromagnetisk strålning med längre våglängd än synligt och infrarött ljus, i sammanhanget generellt av frekvensen 10–5000 MHz. Pulserna alstras av en sändare (antenn), penetrerar det undersökta materialet och sprids och reflekteras inne i detta, på ett sätt som bestäms av de materialspecifika elektro-magnetiska egenskaperna. Mottagarantennen fångar upp de reflekterade radiovågorna och använder dessa för att tolka det som finns under ytan. Metoden beskrivs mer utförligt i Mussett & Khan (2000, *Looking into the Earth*).

Mät djupet beror av byggdelen materialens egenskaper och sändarens frekvens. Höga elektrisk ledningsförmåga absorberar signalen snabbt (litet mät djup), medan låga dito låter radarsignalen passera djupare. Sändarens frekvens påverkar inte bara mät djup utan också upplösning; låga frekvens ger större djup, men lägre upplösning och tvärtom. Eftersom kontroll av byggnadsdelars skick kräver en upplösning på minst cm-nivå medan djupet inte är så intressant (några cm till dm), så är en frekvens på några 1000 MHz vanligt (SBUF-rapport 12952, *Icke-förstörande provning i samband med tillståndsbedömning – En förstudie*). Georadar används också vid markundersökningar, arkeologi och malmprospektering, vilket kräver större djuppenetration och därmed lägre frekvens.



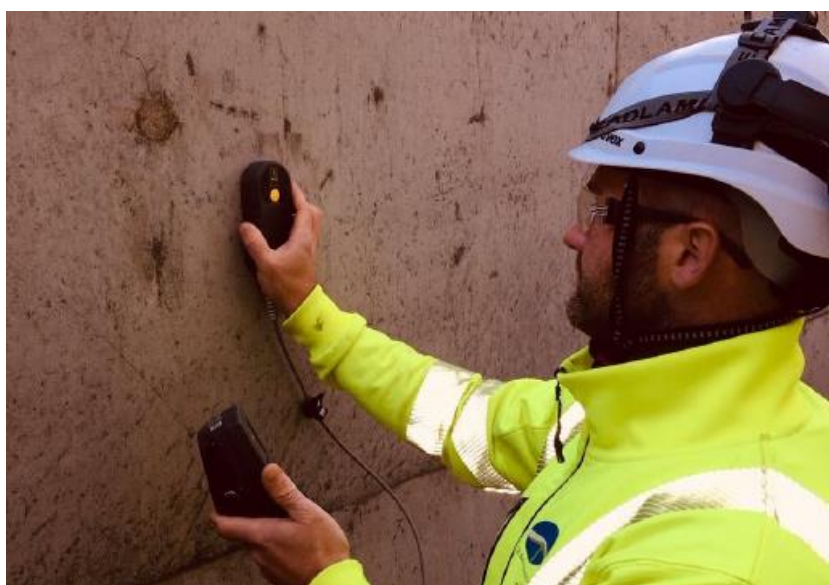
Figur 8 Användning av georadar. Källa: *Underhållsplan för vattenverkets betongkonstruktioner*.



Figur 9 Exempel på hur resultat från mätning med georadar kan se ut. På datorskärmen syns armeringens och elektriska ledningars läge i betong, i bakgrunden armering och dragna ledningar innan gjutning. Källa: <http://georadar.priv.no/tjenester/betongkontroll.html>.

3.2.2 Täcksiktismätare

För att lokalisera armeringen i en betongkonstruktion så kan man en täcksiktismätare användas. En sådan ger utslag när den förs över en betongyta och ger indikation om vilket djup armering ligger på. Den informationen är viktig för att tex kunna placera provuttag rätt och bedöma betongkonstruktionens status. Det täckande skiktets tjocklek (djup till armering) är viktig då många skademekanismer kan uppstå om det är för tunt. Den naturliga karbonatisering behöver då inte gå så djupt innan korrosionsskyddet försvinner och armeringen börjar korrodera, dvs rostar sönder och tappar sin bärighet. Täcksiktets tjocklek regleras i standarder, där kraven beror på vilken exponeringsmiljö betongen ska vara i och hur länge man räknar med att konstruktionen ska hålla.



Figur 10 Användning av täcksiktismätare på betongyta. Källa: *Underhållsplan för vattenverkets betongkonstruktioner.*

3.2.3 Ultraljudshastighetsmätare

Ultraljudshastighet är en väletablerad teknik inom byggnadsvård och för test av betong- och stenkvalitet (Svahn 2006, *Non-Destructive Field Tests in Stone Conservation Field and Laboratory Tests*; SBUF-rapport 12952, *Icke-förstörande provning i samband med tillståndsbedömning – En förstudie*). Ljudets hastighet genom ett material beror av dess täthet, vilket betyder att om materialet åldras, försvagas och därmed blir porösare och förekomst av (mikro)sprickor ökar, så kommer ljudhastigheten att bli lägre jämfört med i oskadat material. Ultraljudshastighet kan mätas med handhållen mätare, som bygger på att ljudpuls av viss frekvens alstras i kontaktyta mellan materialet och mätarens ljudkälla, varefter tiden det tar för ljudet att färdas till mätarens mottagare registreras. Ljudhastigheten är avståndet mellan ljudkällan och mottagaren dividerat med uppmätt tid. Då olika typer av material (tex betong) har olika densitet och täthet oavsett om de är nya eller äldre, så måste samband mellan ultraljudshastighet och hållfasthet etableras för det aktuella materialet, innan mätningarna kan avslöja om kvaliteten försämrats.

Ett sådant samband etablerades bland annat i EU-projekten TEAM och I-STONE, där såväl ultraljudshastighetsmätningar som böjhållfasthetsprovning genomfördes på nya och demonterade fasadplattor av marmor (Tabell 2). Baserat på det sambandet har mätningar utförts på Nyköpings stadshus marmorfasad, där syftet var att identifiera och byta ut fasadplattor som var undermåliga och dessutom skulle medföra stor risk för personskador om någon platta föll ned (*Hållbar Sten*, tidningen STEN 2011).

Tabell 2 Ultraljudshastighet och korresponderande hållfasthet från TEAM-projektet

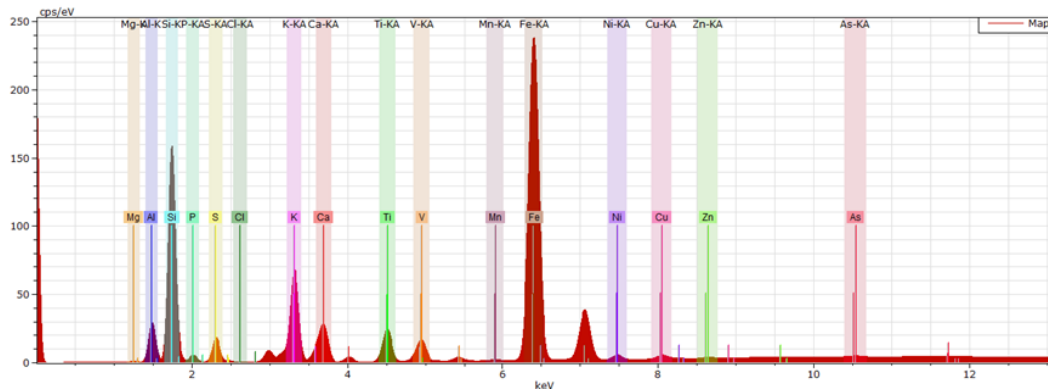
UPV (m/s)		MPa
< 2000		< 3,5
2000 - 2500		3,5 - 5,0
2500 - 3000		5,0 - 6,8
3000 - 3500		6,8 - 8,5
3500 - 4000		8,5 - 10,0
> 4000		> 10,0

3.2.4 Handhållen XRF

Med en portabel (handhållen) XRF är det möjligt att i fält, dvs. utanför laboratorium och utan provpreparering, analysera ett materials kemiska sammansättning. Kunskap om kemisk sammansättning är användbar dels för ren materialkaraktärisering (tex kemisk sammansättning för klassning av stål), dels för att identifiera förekomst av substanser olämpliga med avseende på miljö och hälsa.

Vid XRF-analys (**X-Ray Fluorescens**) bestrålas materialet med röntgenstrålning, vars energi är tillräcklig för att excitera inre elektroner i materialets atomer. För att återställa elektronstabilitet sker en elektronövergång i atomen, vilket resulterar i att en sekundär röntgenstråle vars energinivå är karaktäristisk för grundämnet emitteras. Ju fler atomer av det grundämnet som finns i provet, desto fler fotoner med den grundämnesspecifika energin kommer alstras och detekteras, vilket visas i ett energi-intensitet-diagram (Figur 11). På så sätt kan man *identifiera* vilka grundämnen som finns i materialet. Är instrumentet dessutom kalibrerat mot standarder med kända koncentrationer av olika grundämnen, så kan halterna av materialets grundämnen *kvantifieras*.

Normalt kan grundämnen tyngre än natrium (Na) identifieras och kvantifieras; de som är lättare har för låg energi i elektronövergångarna så de hamnar i bakgrundsbruset. Detektionsgränsen är olika för olika grundämnen och beror på flera faktorer, såsom att olika grundämnen fluorescerar (dvs. genererar sekundära röntgenstrålning vid bestrålning) olika effektivt; tyngre grundämnen ger oproportionerligt större respons jämfört med lättare. Vidare kan det bli överlapp i energimängd mellan närliggande grundämnen, den specifika materialmatrisen kan ge olika respons på strålningen och mätspecifika förhållanden kan påverka, tex ytans beskaffenhet och inställningar.



Figur 11 Exempel på spektrum från mätning med XRF-teknik (Källa; RISE). På x-axeln visas energi i keV och på y-axeln intensitet i cps/eV. Vertikala färgade streck som slutar i ruta med bokstäver är positionen i energi för olika grundämnen (dvs. dess karaktäristiska elektronövergång), medan topparna i uppmätt spektrum (breda i basen, spetsiga i toppen) visar intensitet för detekterade röntgenfotoner av olika energi. Den högsta toppen är för järn (Fe), den näst högsta för kisel (Si).

3.3 Laborrietester på mindre provkroppar

Till skillnad från när okulär bedömning och icke-förstörande metoder används, så kräver laborietester provuttag ur konstruktionen och vanligtvis att det som tas ut förstörs i själva provningen. Fördelen är att då icke-förstörande metoder generellt endast ger indikation om skick, så genererar laborier reella mätresultat.

Vid bedömning av betongkonstruktion borrar provkroppar vanligtvis ut ur byggdelar med kärnborr. Provkropparna analyseras därefter i laboratorium med avseende på tex tryckhållfasthet, kloridhalt och karbonatiseringsdjup, tre egenskaper som ger en bra bild av hur betongen mår. Tryckhållfastheten säger något om bärigheten, medan kloridhalt och karbonatisering samverkar och påverkar stålarmeringen negativt, då denna kan rosta sönder och tappa i funktion. Ibland syns det inte på den utborrade kärnan med blotta ögat om något är fel, utan då behöver mindre provkroppar tas från borkärnan för materialundersökning i mikroskop. I mikroskopet kan såväl materialets beståndsdelar som strukturer och skador (tex sprickor) undersökas och karaktäriseras, varefter det är möjligt att dra slutsatser om vilken mekanism eller process som orsakat försämringen i och om den processen är intern eller extern, dvs. orsakad av någon komponent i betongen eller orsakats utifrån. Materialets kemiska och mineralogiska sammansättning är också intressanta att karaktärisera, vilket kan göras med en kombination av mikroskopi, XRD (röntgendiffraktion) och mikro-XRF.

I vissa fall är det av olika skäl inte möjligt att återanvända hela strukturer, men då bör materialen istället återvinnas som del i nyttillverkade byggnadsdelar. Ett exempel när det gäller betongkonstruktioner är att återvinna de lämpliga delarna från rivningsmassorna, som ballast vid gjutning av ny betong. Även för sådan tillämpning krävs kvalitetssäkring av materialet, med analys av samma egenskaper som krävs för jungfrulig ballast, men också ett par extra speciella egenskaper som gäller specifikt för återvunnen ballast.

3.3.1 Rivningsavfall som betongballast

För byggnadsdelar som inte bedömts återanvändbara, så bör möjligheten för nästa steg i avfallshierarkin – materialåtervinning – undersökas. Rivningsmassor dominerade av krossad betong kan lämpa sig för återvinning till ny betongballast. Produktstandarden för ballast i betong (SS-EN 12620+A1:2008) är harmoniserad och således måste ballast CE-märkas. Gällande system enligt standard är 2+ vilket innebär certifikat utfärdat av ett anmält organ. Vidare godkänner betongstandarderna (SS-EN 206:2013+A1:2016 och SS 137003:2015) återvunnet avfall som sekundär ballast i betong. CE-märkningen gäller alltså även återvunna material och för detta ändamål krävs provning av ett antal egenskaper enligt Tabell 3. Dessa provningar görs i laboratorium.

Tabell 3 Typprovning av återvunnen ballast enligt SS-EN 12620+A1:2008 och 137003:2015

Metod	Metodstandard	Material*
Kornstorleksfördelning (inklusive finmaterialhalt)	SS-EN 933-1	Alla sorteringar
Klassificering av återvunnen ballast**	SS-EN 933-11	Grovballast
Petrografiska analys	RILEM AAR 1, SS-EN 932-3	Alla sorteringar
Korndensitet och vattenabsorption	SS-EN 1097-6	Alla sorteringar
Organiska föroreningar (Humus)	SS-EN 1744-1	Finballast
Alkalireaktivitet **	RILEM AAR 2	Finballast Grovballast
Syralöslig Kloridhalt**	SS-EN 1744-1	Finballast
Vattenlöslig sulfat**	SS-EN 1744-1	Finballast
Påverkan av initial bindningstid hos cement***	SS-EN 1744-6	Grovballast Typ B
Kornform, Flisighetsindex	SS-EN 933-3	Grovballast

* Finballast <4 mm, grovballast >4mm

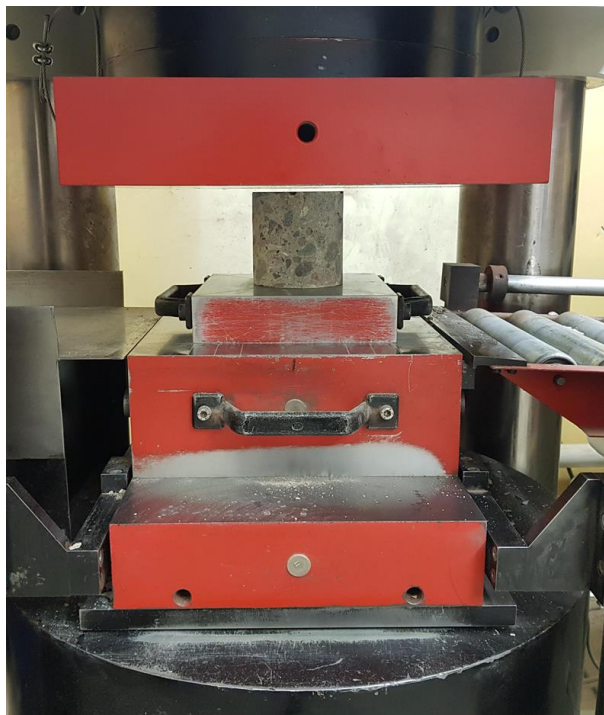
** Egenskap som måste provas specifikt för ballast av återvunnet rivningsmaterial

*** Bindetid provas enligt EN 196-3 på dels bruk med vanligt vatten, dels bruk med vatten som extraherats från det uppfuktade återvunna materialet (EN 1744-6)

3.3.2 Tryckhållfasthet på utborrade betongprover

För att vid en tillståndsbedömning av betongkonstruktion få närmare kännedom om betongens kvalitet är det lämpligt att borra ut *kärnor* ur väl valda delar av konstruktionen och prova tryckhållfasthet på dessa. Provtagningen kräver generellt en borr som klarar att ta ut prov med diameter från 50 mm och uppåt, vanligtvis upp till 100 eller 150 mm. Provingen sker därefter i laboratorium, där provkropp belastas till brott i en tryckpress (Figur 12). Brottlast registreras och från denna och belastningsytan beräknas tryckhållfasthet i enheten MPa, vilket kan översättas till betongkvalitet. En

lägre tryckhållfasthet än förväntat kan tyda på skador, såsom sprickbildning eller kemiska angrepp, felaktiga materialval vid projektering av byggnaden eller felgjutningar.



Figur 12 Tryckpress. Betongkärna mellan röda belastningsplattor. Foto: Ida Gabrielsson (RISE).

3.3.3 Kloridinträngning och Kloridhalt i betong

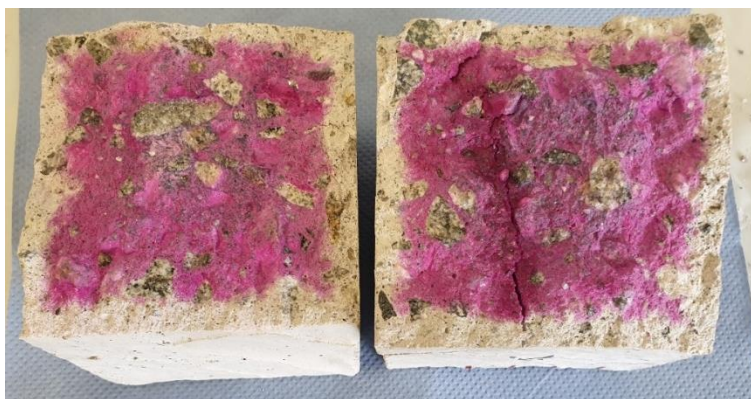
Vattenlösliga (dvs. tillgängliga) kloridjoner i betong är oönskade, då dessa kan ge upphov till skador på i första hand armeringen, som kan korrodera. Armeringskorrosion gör dels att armeringen tappar sin bärighet, dels att betongen spricker, eftersom rost tar större plats än stål (volymökning). Betongsprickorna öppnar dessutom vägar för fler skadliga ämnen att ta sig in i konstruktionen. Klorider kommer in i betongen utifrån genom sprickor och porer, från tex havsvatten i marina konstruktioner eller från tölsalter där sådana används (tex parkeringshus, broar och byggnader vid vägar). Kloridhalten mäts i laboratorium på borrkärnor eller på de betongbitar som uppstår vid borringen. Fördelen med att göra mätningar på borrkärna är att mätning görs på olika positioner på borrkärnan, med andra ord djupet i betongen, för att få en så kallad kloridprofil. Mätresultaten anges vanligen i förhållande till cementvikten, då ballasten kan påverka resultatet. Vid kloridhalt $<0,4$ vikt-% bedöms risken för armeringskorrosion vara låg. Viktigast är att konstatera om kloriderna tagit sig till armeringen eller ej.

3.3.4 Karbonatiseringsdjup i betong

Vid tillverkning av cement kalcineras råvaran, vilket innebär att dess karbonatmineral (främst kalcit) vid upphettning till $850\text{--}900\text{ }^{\circ}\text{C}$ bryts ned och kemiskt bunden koldioxid frigörs (samtidigt som lermineral i råvaran bryts ned och kristallbundet vatten frigörs). De kalcinerade produkterna sintras därefter samman till cementklinker vid ca $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$. När cementpulver (mald cementklinker) blandas med vatten i bruk eller betong bildas en bindande matris av framförallt kalcium-silikat-hydrater och kalciumhydroxid, vilket

ger betongen ett pH-värde på ca 13. Detta är gynnsamt i stålarmerad betong då det höga pH-värdet skyddar armeringen mot korrosion. Då kalciumhydroxid är en mindre stabil fas än kalciumkarbonat, kommer cementpastan över tid ta upp koldioxid från luften och ombilda kalciumhydroxid till kalciumkarbonat (allteftersom kalciumhydroxiden karbonatiseras kommer jämvikten att förskjutas så att även kalcium-silikat-hydrater karbonatiseras, genom att de bildar bland annat kalciumhydroxid och kiseldioxidgel). Denna *karbonatisering* sänker pH i porvätskan till ca 9, vilket minskar skyddet mot armeringskorrosion. Upptaget sker genom diffusion varför karbonatiseringsfronten går från ytor som är exponerade mot luft och inåt (se referenser i Andersson 2016, *Koldioxidupptag i betong – Accelererade laboratorieförsök*, examensarbete KTH).

Karbonatiseringsdjup i betong uppskattas med hjälp av en pH-indikator som gör att den opåverkade betongen (pH 13) färgas blå-lila, medan den karbonatiserade (pH 9) betongen förblir grå (Figur 13). Det finns olika pH-indikatorer för detta ändamål, bland annat fenolftalein. Karbonatiseringsdjup kan mätas i fält vid en tillståndsbedömning, genom att små hål borrar i betongen, en pH-indikator sprayas in i dessa och djup till det att betongen ändrar färg mäts. I laboratorium används vanligen utborrade betongprover; provet knäcks, pH-indikator sprayas på ytan och djupet mäts (Figur 13).



Figur 13 Karbonatiseringsprov på betongkuber. Lilafärgad betong ej karbonatiserad. Källa: RISE.

3.3.5 Undersökning i polarisationsmikroskop

Polarisationsmikroskop kan användas för att studera materialet på mikroskala. Syftet kan vara alltifrån materialkaraktärisering till skadeutredningar och kvalitetsbedömning. Mer specifikt kan en petrografisk analys fastställa ...

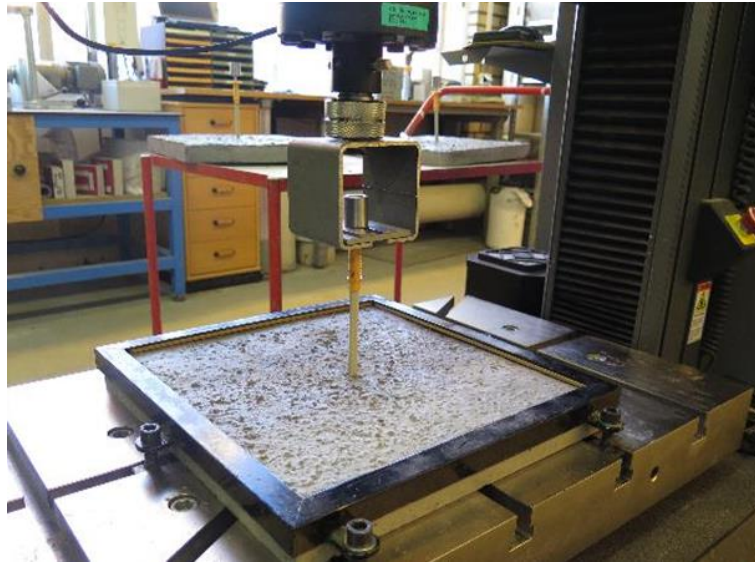
- ... orsak till dålig eller förändrad (tex genom skador) kvalitet
- ... cementtyp, ballasttyp, hydratationsgrad, vatten-cement-tal, luftpormängd
- ... skador från alkali-silika-reaktion och ballastens reaktivitet
- ... kemiska reaktioner mellan olika beståndsdelar och externa ämnen
- ... fysikalisk påverkan från yttre miljö eller last

3.3.6 Utdragshållfasthet förankringar i betong

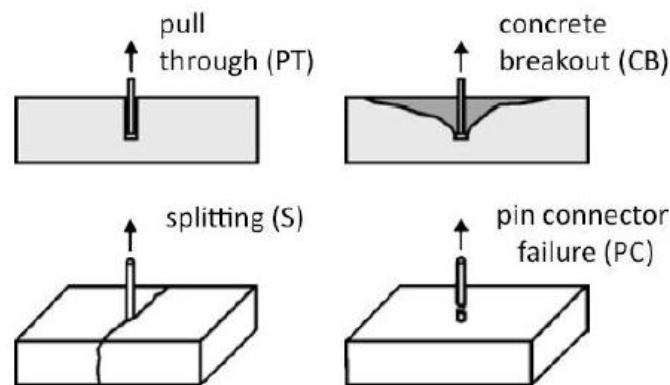
Betongelement är ofta förankrade i byggnadens stomme eller ett annat element via förankringar. Dessa gjuts in i betongen vid tillverkningen och är projekterade att passa på ett visst sätt med resten av byggnaden. För att se att förankringar funkar som de ska

kan ett så kallat *utdragshållfasthetstest* göras. I testet drar en maskin i den ingjutna förankringen tills brott uppstår och den lossar från betongen (Figur 14). Med metoden provas alltså såväl vidhäftningen mellan betongen och förankringen, som styrkan i de båda enskilda materialen (förankring och betong). När inte vidhäftningen funkar kommer betongelementet stanna på sin plats medan förankringen dras ut (se Figur 15).

Metoden kan appliceras på ny betong, där förankring gjuts in i ett betongelement av önskade dimensioner och design, eller på demonterade byggdelar från befintlig byggnad.



Figur 14 Provning av förankrings motstånd mot att dras ut. Källa: RISE.



Figur 15 Olika utfall vid provning av förankringens motståndskraft mot att dras ut. Källa: Rapport D5.3 *Prefabricated element based on concrete*, från RE4-projektet.

3.3.7 Tegelprovningar

En viktig egenskap för tegelsten är tryckhållfasthet och denna kan provas i tryckpress, på likande sätt som för betong. Resultatet jämförs mot tryckhållfasthet för tegelstenar som nyproduceras för olika ändamål. Andra viktiga egenskaper är kompaktdensitet (på malt prov, Figur 16), samt porositet och skrymdensitet (på utsågade kuber, Figur 17). En tät högränd sten har bättre frostbeständighet och motstånd mot slag.

Med röntgendiffraktion (XRD) kan de mineral tegelstenen innehåller identifieras och den informationen gör det möjligt att avgöra vid vilken temperatur den ursprungligen brändes vid. Analysen är relativt enkel. Ett representativt prov på några gram mals till ett mycket finkornigt pulver, som analyseras i röntgendiffraktometer. Bränntemperatur (över eller under 1000 °C) ger en uppfattning om tegelstenens styrka. Har tegelstenen (leran) bränt vid ännu högre temperatur bildas glas och detta syns också i XRD-analysen.



Figur 16 Prover för mätning av kompaktdensitet. Källa: RISE.



Figur 17 Tegelsten före utsågning av kuber för mätning av porositet och skrymdensitet. Källa: RISE.

3.3.8 Stålprovningar

Som alla andra material måste stål för återanvändning kvalitetssäkras, främst med avseende på mekaniska egenskaper (sträckgräns, brottgräns, brottförlängning och slagseghet), kemisk sammansättning, dimensioner och ytbeläggningar. *Sträckgräns* är avgörande för den bärande förmågan hos framför allt långa profiler (balkar och pelare), medan *brottgräns* styr dimensionering av detaljer i stålet, tex svets och skruvförband. *Brottförlängning* måste vara tillräcklig för att säkerställa ett segt brottbeteende; stål som satts på marknaden efter 1938 kan anses klara kraven med avseende på denna egenskap. *Slagseghet* används vid indelning i seghetsklasser.

Det finns inte många icke-förstörande provningsmetoder för indikation av mekaniska egenskaper, men ett undantag är mätning av hårdhet, som kan ge en indikation på brottgräns. Däremot kan icke-förstörande provning användas med avseende på stålets kemiska sammansättning (tex XRF). Av intresse är kolhalt och kolekvivalent, samt halter av mangan, fosfor, kväve, koppar, krom och andra legerande metaller.

Dimensioner ska inte förändras med tidens gång och med enkla metoder är det lätt se och känna igen en stålprofil. Enklare lasermätare kan användas för mätning av längder. Många stålkomponenter har krav på *ytbeläggning* – kraven kan vara såväl estetiska som med avseende på rost- eller brandskydd. Exempel på ytbeläggning är försinkning, sprutmetallisering, målning eller sprutisolering (brandskydd). Äldre färger och brandskyddslösningar kan innehålla farliga och/eller förbjudna ämnen. Asbest har använts i brandskydd och blymönja var en vanlig rostskyddsisolering före 1960, men klassas idag som miljö- och hälsofarligt.

Kvalitetssäkringen av stål för återbruk kan variera från att det helt enkelt nedgraderas och används i tillämpningar med lägre krav, till att ett tillräckligt stort antal ståldelar underkastas ett fullprovningsschema med förstörande provning. Valet beror bland annat på hur väl materialet är dokumenterat från början (Källa: Återbruk av stålkomponenter).

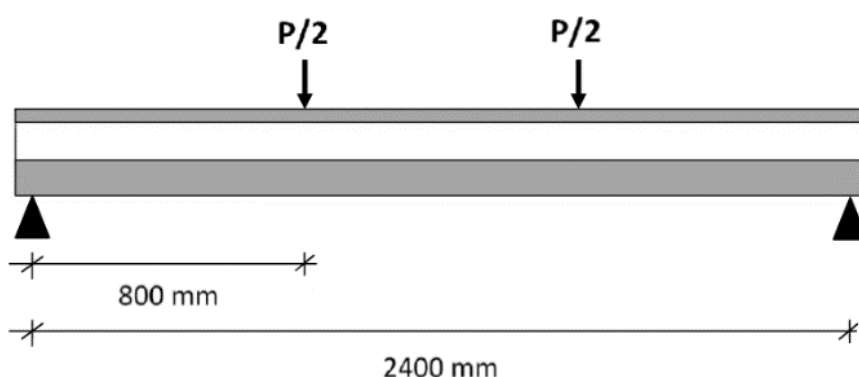
Regelverket för stålkonstruktionsprodukter kräver att stålprodukter inom EU är CE-märkta mot standarden EN 1090–1. Återbrukade stålprodukter kan inte CE-märkas, men samma krav på prestanda som finns hos motsvarande nya CE-märkta produkter måste förstås uppfyllas, tex genom provning av egenskaper på laboratorium. Skillnad ska inte behöva göras mellan en nyproducerad och en återbrukad stålprodukt, så länge egenskaperna är säkerställda. I standard EN 1090–2 anges vilka egenskaper som ska provas, däribland hållfasthet (sträck- och brottgräns), brottförlängning och slag- eller brottseghet.

3.4 Laboratorietester på hela byggdelar

Det är möjligt att i laboratorium testa hela element, komponenter eller strukturer och inte bara utborrade provkroppar eller mindre delar av en konstruktion. Begränsningarna ligger snarare i kostnad och rimlighet än om teknisk utmaning. En nedmonterad del av en sandwichvägg (i tex betong) eller en balk eller pelare (i tex stål) kan provas med avseende på böjhållfasthet (Figur 18, Figur 19). Storleksbegränsningen ligger rimligen på 6–7 meter i större laboratorier. Sådan provning är av naturen förstörande, så de element som utsätts för provningen kan inte återbrukas. Böjhållfasthetsprovningen ger besked om vilken last elementet klarar i böjning, relativt de krav som ställs på nya element, men det är också möjligt att med olika system registrera deformationen och hur den fördelas allteftersom last läggs på. Exempel är *optisk töjningsmätning*, som filmar elementet som provas med teknik där enstaka pixlar identifieras. Systemet återger sedan hur de olika pixlarna förändras relativt varandra från bild till bild. Detta ger indirekt information om skicket på armering, förankringar och liknande inne i betongen, då dessa när de fungerar optimalt ska hjälpa till att fördela last och deformation över elementet.



Figur 18 Provuppställning för provning av ett sandwich-elements böjhållfasthet (Foto: RISE). Elementet är 240 cm långt och vilar på två stöd i ändarna, medan lasten appliceras kontrollerat via de två balkarna på ovansidan (provningen är alltså fyrpunkts böjhållfasthetsprovning). Sandwich-elementet består underifrån och upp av en innerpanel i betong, isolering och slutligen en ytterpanel i betong. Sidorna på betongpanelerna har sprayats med specialfärg för att göra det lättare för det digitala töjningssystemet att hitta objekt att jämföra från foto till foto.



Figur 19 Principskiss över provuppställning för provning av sandwich-elements (eller generellt för olika typer av större elements) böjhållfasthet. Källa: RISE.

Andra egenskaper av intresse är en återbrukad konstruktionsdels isoleringsförmåga (U-värde) i relation till dagens krav; sannolikt är det så att det ställs högre krav idag än då den tillverkades och monterades i byggnaden. U-värde provas på väggelement 2 x 2 m² stora. Regntäthet, lufttäthet och vindbestållning mäts på olika utomhuskonstruktioner, såsom väggar, tak, underlagstak och fönster; storlek 3 x 3 m² och i vissa fall ännu större. Fukt- och ångmotstånd är intressant för inomhuskonstruktioner och här brukar element vara i storleksordning 1 x 1 m.

Produkter som återbrukas måste klara dagens krav på brandsäkerhet och akustik. Detta gäller alla produkter men är kanske särskilt viktigt för dörrar och fönster.

3.5 Testmetoder hälsa och miljö

För att kunna återbruka byggnadsdelar måste det säkerställas att inga farliga ämnen eller substanser finns i materialet. Fördelen när det kommer till återbruk är att en tydlig koppling och spårbarhet finns till inventeringsfasen, där farliga material sorteras ut i ett tidigt skede (tex blåbetong, asbest och fogmassor med PCB). Den inledande inventeringen och tillståndsbedömningen kommer vidare svara på om byggnadsdelarna är lämpliga för återbruk eller om de är det förutsatt att vissa tester görs. Om inga idag otillåtna byggnadsdelar finns och det rör sig om kontors- eller bostadsbyggnad så är risk för farliga ämnen eller substanser sannolikt mycket låg, men om verksamheten varit industri, garage eller kemikaliehantering så behöver det säkerställas att byggnaden inte kontaminerats med olämpliga ämnen, såsom PCB (polyklorerade bifenyler), PAH (polycykliska aromatiska kolväten), oljor eller tungmetaller.

Tungmetaller kan mätas på plats med hjälp av tex handhållen XRF. Tungmetaller och andra potentiellt farliga ämnen kan även analyseras i laboratorium på uttagna prover.

Lakningsförsök görs ofta på granulära material, tex krossat rivningsavfall avsett för återvinning. Vid återvinning av krossat rivningsavfall i vägbyggnad, kräver Trafikverket genom TDOK 2013:0532 (Alternativa material för vägkonstruktioner) att totalhalter av grundämnen mäts och redovisas enligt standard SS-EN 13656, medan lakningspotential mäts och utvärderas enligt standard SIS-CEN/TS 14 405 (perkolationstest).

Det är också möjligt att utföra lakningsförsök på hela provkroppar, tex utborrade betongkärnor eller mindre byggnadsdetaljer. Metoden är SIS-CEN/TS 16637-2 (*Bygg- och anläggningsprodukter – Bedömning av avgivning av farliga ämnen – Del 2: Metod för dynamisk provning av utlakning från ytor*). Kort går den ut på att lakning av oorganiska (tex tungmetaller) och ej flyktiga organiska substanser (tex PAH och PCB) mäts och redovisas per area över viss tid, från monolitiska eller platta produkter i kontakt med vattenlösning (lakvätska). Produkten/provkroppen måste vara tillräckligt stor så att minst 100 cm² av dess yta exponeras för vattenlösningen.

3.6 Sammanfattning

Det finns en mängd tester, provningar och mätningar som kan göra på återbrukade material. Det viktigaste är dock att det alltid är byggherren som beslutar om en byggnadsdel kan installeras i en byggnad på ett säkert sätt som uppfyller ställda krav, oavsett om produkten är CE-märkt eller inte. I det senare fallet måste byggherren själv tillse att prestandan testas på ett tillräckligt antal byggnadsdelar, i regel genom att testa de egenskaper som krävs för en nytillverkad motsvarande produkt enligt metoder som anges i produktstandard.

Tumregeln för provning av prestanda på byggnadsdelar för återbruk är dock att bygga laboratorietesterna på en stabil inventering och kartläggning av byggnaden och dess delar. Utifrån granskning av befintlig dokumentation (ritningar, material- och produktspecifikationer, rivningsinventering, osv.) och kartläggning på plats med okulär bedömning av skick samt användning av icke-förstörande provning, kan en kvalificerad tillståndsbedömare rekommendera vilka delar som lämpar sig för återbruk, hur dessa

bör provas i laboratorium, samt hur många av de befintliga byggnadsdelarna som måste provas, för att säkerställa att eventuell spridning i kvalitet upptäcks.

4 Mjukvara för datahantering

Ett sätt att hantera data är med Building Information Modeling (BIM) eller på svenska *Bygginformationsmodellering*. BIM innebär att en 3D-modell av byggprocessen skapas för projektering och visualisering, där all typ av information om byggnaden samlas.

4.1 Designdata

BIM och liknande verktyg kan utformas på olika sätt och för olika aspekter av en byggnad eller anläggning. Lämplig information om byggnadsdelar som kan läggas i BIM är storlek, placering i byggnaden, kostnad och tidsplanering. BIM kan användas för att se hela byggnadens livscykel och ingående data kan användas vid återbruk, då det i tidigt skede är tydligt vilken typ av element som finns i en byggnad och vilka egenskaper de har. Idag används tyvärr inte BIM fullt ut i den utsträckning det finns potential för.

En *Digital tvilling* är en exakt mjukvaruavbild av exempelvis en byggnad. Inspektioner och felsökningar görs i den digitala tvillingen och på så vis kan kommande problem och renoveringsbehov förutses, samt information inför framtida återbruk lagras.

Sensorer spås få större användning i framtiden. En sensor är en apparat som kan byggas in i byggnad och samla in en signal eller data. *Drönare* används för filmning och 3D-skanning av byggnader. Skanning av ett rivningsobjekt kan ge viktig information om konstruktionen, och en drönare med värmekamera kan ge information om varma och kalla platser, kopplade till isolering, ventilation och luftkonditionering.

Alla dessa system skapar mycket information, vilket kräver system för att handskas med och lagra data. Olika alternativ är Cloud Computing, machine learning och artificiell intelligens (Källa: *Framtida trender inom Samhällsbyggnadsbranschen och dess påverkan på bygg- och rivningsavfall, Projektet Constructivate*).

4.1.1 Intervju om designdata

Ett intervjumöte genomfördes via Microsoft Teams den 30 juni 2020, mellan NCC:s BIM-samordnare Carl Liberg och projektet *Rivningsobjekt – från kostnad till resurs*. Från projektet deltog Louise Wall (NCC), Nadine Aschenbach (Codesign) och Ida Gabrielsson (RISE). Informationen nedan nedtecknat av Ida Gabrielsson.

Hur skulle BIM kunna hjälpa till med återbruk?

BIM kan hjälpa till med återbruk. Den information om olika byggkomponenter som man har lagt in i databaser, kan man ha nytta av vid ett framtida återbruk.

Idag finns många databaser men de är inte standardiserade och benämning på olika saker varierar fast man menar samma sak. Benämningen är ett problem, men kommer att styras mer och mer med vilka parametrar som ska tas med och i lika enheter. Många databaser är svåra att söka information i.

Vilken data behövs? Standarddata? Vilka parametrar ska alltid med?

Data som behövs för återbruk måste definieras och standardiseras, samt vad som är minimum på data. Parametrar och enheter behöver vara standardiserade, så att alla aktörer lägger in rätt information och man får ut rätt saker vid sökning i databasen.

Hur gör man det användarvänligt?

Någon slags portal där man kan söka på de krav som är kopplade till det projekt man har, exempelvis väggar med brandskyddsklass X. Användarvänligheten är viktigt om man vill att portalens ska användas; ingen kommer lägga tid i ett system som inte funkar.

Hur behåller man data aktuell efter flera år? Vem har ansvaret för data?

När NCC lämnar över en byggnad med en digital tvilling är det förvaltaren som är ansvarig att uppdatera informationen.

Upprätta en Digital tvilling av projektet för att hjälpa återbruk i framtiden?

Ja, det är viktigt. Detta görs inte i dagsläget då det inte finns någon beställare som har ställt krav på detta och är villig att betala för tjänsten. För återbruk behövs mycket data där man i framtiden kan söka på information som läggs in. Förvaltaren ska också ha nytta av systemet och upprätthålla informationen.

Vem tar kostnaden för att ett projekt ska byggas upp i BIM eller likande system och sedan underhållas? Vem samlar ihop all information från olika aktörer, såsom rör, ventilation, stomme, arkitekter mm?

Beställaren måste sätta detta som krav och vara villig att betala för det. Informationen kan sedan tas över av beställare/förvaltare.

Koppling mellan BIM och exempelvis byggvarubedömning och andra system? Hur kan de arbeta tillsammans?

NCC jobbar med byggvarubedömningar och andra system där det finns mycket data redan och man skulle kunna koppla dessa till BIM. NCC har ett system som heter Construction Connector, där man samlar projekteringsinformation (tex hållbarhet, kalkyler, mängdning och inköp), där olika delar i projektering har nytta av samma typ av data. Data läggs in allteftersom man blir klar.

4.2 System för katalogisering

I dagsläget finns inget system för katalogisering eller gemensamt system för hantering av byggnadsinformation. Stora branscher jobbar på olika sätt och tar fram sina egna system. NCC utvecklar ett system som heter *Construction Connector* (se ovan), som försöker samla all information på ett katalogiserat sätt, med gemensamma benämningar. Tanken är att alla ska ha tillgång till och ha nytta av samma information.

NCC drev också projektet *Loop rocks*, som lades ner under 2019. Där försökte man få till bättre materialflöden av fyllnadsmassor, sten, jord och andra sekundära material direkt mellan platser utan lagerhållning. Där katalogiserade man olika material och mängder.

Centrum för Cirkulärt Byggnade (CCBuild, <http://www.ccbuild.se>) är både en plattform för bygg- och fastighetsbranschens cirkulära byggande och ett innovationsprojekt som leds av IVL. Under våren 2019 startades forskningsprojektet Återbruk Väst för att testa och utveckla CCBuild och dess lösningar. Återbruk Väst är en samverkan mellan

fastighetsägare, arkitekter, offentliga aktörer och forskare för att hitta metoder för att skala upp återbruket inom byggsektorn till industriell nivå. I projektet kan partners lägga upp produkter på projektets marknadsplats och använda inventeringsverktyg för att sälja och köpa återbrukat material. Inverteringsverktyget är en applikation (APP) som heter *Dacke by CCB*, där den samverkar med en produktbank och marknadsplatsen.



Figur 20 Centrum för cirkulärt byggande. Källa: <http://www.ccbuild.se>.

5 Klassificeringssystem för material och byggnadsdelar för återbruk

5.1 Kartläggning

Idag finns det inga klassificeringssystem för material och byggnadsdelar för återbruk, utan material och byggnadsdelar som ska återanvändas i byggnader har samma krav som nytillverkade. Det är EN-standarder som anger hur och vilka egenskaper som ska fastställas. Däremot kan vissa standarder ta upp hur man ska handskas med återvunnet material. Ett exempel är ballast till betong (EN 12620 och SS 13 70 03) och vägbyggnad, som redan idag tar upp och behandlar återvunnen ballast specifikt.

BAMB är ett EU-finansierat projekt, som tittar på system för att öka byggmaterials värde i det cirkulära flödet. En idé är att ge material ”pass”, som följer med materialet eller byggdelen genom hela dess livslängd och ger olika aktörer tillgång till informationen.

I Sverige finns ett system med byggvarudeklarationer (byggvarubedömning) och det internationella systemet med miljövarudeklarationer, där avsikten med båda systemen är att underlätta för kunden att välja den vara som bäst passar behovet, men också för att vid underhålls-/rivningsarbete kunna bedöma eventuell miljöhänsyn som bör tas.

Miljövarudeklarationerna (Environmental Product Declaration, EPD) är ett verifierat dokument som jämför produkters eller tjänsters miljöpåverkan i ett livscykelperspektiv. Miljövarudeklarationerna uppförs enligt ISO 14025 och baseras på livscykelanalys (LCA). Hur LCA utförs beror på aktuell produkt och dess produktkategori. EPD granskas av tredje part innan den verifieras i EPD-system (se tex <https://www.environdec.com/>).

Byggvarubedömning är ett system för att bedöma en produkt utifrån dess kemiska innehåll, miljöpåverkan under livscykelperspektiv och social påverkan i leverantörsledet. Mallen för hur byggvarudeklarationerna bör utformas har utarbetats av Svensk Byggtjänst i samarbete med Byggsektorns Kretsloppsråd. Kretsloppsrådet är ett samarbetsorgan där byggbranschens samtliga aktörer finns representerade. Man har gemensamt fastställt vad som ska ingå respektive vad som bör ingå i de byggvarudeklarationer som upprättas. Se <https://www.byggvarubedomningen.se/> för mer information. Många stora byggföretag använder byggvarubedömningen, tex NCC, Skanska och Peab. I detta system kan i ett livscykelperspektiv ta med aspekten på återbruk av produkten, element eller komponenten.

5.2 Analys

Det byggs upp och kommer fler och fler system, men vilket system man ska använda och varför är just nu en intressant frågeställning. Hur många system behövs? Ska flera aktörer lägga tid och pengar på att utveckla olika system som i slutändan ska arbeta för samma sak? Många av systemen som finns idag, är viktade på ett eller annat sätt och har olika för- och nackdelar.

Inget system tar hänsyn till ett återbrukat elements tekniska egenskaper och lämplighet.

6 Rivnings- och sorteringsmetoder

6.1 Befintliga metoder och system

I Sverige reglerar plan- och bygglagen (PBL) rivningen och för att utföra rivning krävs ett rivningslov, åtminstone inom detaljplanelagt område eller där det finns andra krav. Rivningslov behövs inte om inte bygglov behövdes för att uppföra den ursprungliga byggnaden. Rivningslovansökan ställs till Byggnadsnämnden i kommunen.

Vid rivningslov är en rivningsinventering ett krav och dess främsta mål är att lokalisera olika typer av farligt avfall och vilka mängder dessa förekommer i. Där ska också finnas en rivningsplan eller avfallshaneringsplan där man tar upp sortering av avfallsfraktioner med tyngd på farliga ämnen, samt en översiktlig beskrivning av hantering av avfall och eventuella produkter för återanvändning och hur de ska hanteras.

Det finns olika metoder för rivning, allt från varsam demontering till rivning genom kollaps (Tabell 4). Valet bygger på markförhållande, omgivande byggnader, strukturen på byggnaden som ska rivas och arbetsmiljöaspekter så som buller och damm.

Tabell 4 Rivningsmetoder

Rivning ...	Beskrivning
... element för element	Byggnaden plockas ner ett element i taget, i omvänd ordning som när byggnaden uppfördes. Vanligen arbetar man våning till våning eller golv till golv.
... till kollaps	Två metoder finns: rivningskula och explosion. Båda kräver gott om utrymme runt rivningsobjektet. Används inte för stålkonstruktioner.
... med kombination	En kombination av metoderna ovan, där man först har plockat ner element för element av det som man kan och är intresserad av, därefter river resterade genom kollaps

6.2 Demontering av byggnadsdelar

För att återbruk ska vara möjligt måste rivningen göras element för element, dvs. genom demontering. Inför demontering måste förstas metod väljas baserat på hur byggnadsdelarna ser ut och hur de monterats i byggnaden. Metoden måste vara sådan att byggnadsdelen inte skadas eller förlorar i prestanda, men också så att säkerhet och arbetsmiljö för utförarna beaktas (tex rasrisk, klämskador, vibrationer, damm).

6.2.1 Demontering av betongkonstruktion

En skillnad mellan nyttillverkade element och återbrukade är att vid återbruk kan det saknas lyftdon eller lyftinfästningar för att kunna lyfta ut elementen från byggnaden. Elementen kan dessutom vara i dåligt skick så man inte kan lyfta ut dem i sin helhet utan att de går sönder eller skadas ytterligare. En lösning är att använda alternativa lyftmetoder, genom att tex borra hål i elementet för nya förankringar eller att elementet måste kapas i kortare del.

Arbetsmiljön är viktigt att tänka vid rivning och demontering, då arbete med olika borrar och sågar kan ge problem med damm, buller eller vibrationer. Bilning är också en vanlig metod för att få bort betong, vilket kan göras för hand eller med en så kallad bilningsrobot. Vid lyft av tunga element så måste säkerhetsnivån vara hög, oavsett om alternativa förankringar har gjorts eller om äldre befintliga används. Avlastning av bärande konstruktioner måste ske innan elementet monteras ner och ut ur byggnaden.

Demontering av betongkonstruktion kan delas upp i sex steg (Källa: RE4-rapport D2.2).

1 Förberedelse – Undersökning

För säker och kvalitetsbevarande demontering krävs någon form av undersökning av byggnadens alla delar: Vilken typ av element finns och i vilket tillstånd är de i? Det är också bra att inventera vilka konstruktionsmetoder som har använts för att få veta vad för slags infästningar och förankringar som finns. Farliga ämnen måste också inventeras. Tillståndsbedömning bör göras av en byggteknisk kunnig person.

2 Förberedelse - Bedömning och materialinventering

En bedömning görs med avseende på demonterbarhet och hur stora mängder av olika element som finns. En preliminär bedömning av ekonomiska faktorer bör också göras i det här skedet, samt en fördjupad materialinventering av farliga ämnen.

3 Förberedelse - Rivningsplan

Utformning av rivningsplan utifrån de tidigare stegen. I detta skede är det också bra att tänka på märkning av delar för återbruk, hur de ska lagrhållas eller transporteras.

4 Förberedelse – Demontering av farliga material

Farliga ämnen måste tas bort innan demontering av byggnaden. Detsamma gäller skadat material, tex fuktskadat som gett upphov till mögel och sådant som inte är tillräckligt bra för att kunna återbrukas, men också material som är skadligt för rivningsarbetarnas hälsa. Här finns det arbetsmiljökrav att ha hänsyn till. Farliga ämnen kan vara asbest, PCB, bly, elektiska komponenter eller isoleringsmaterial.

5 Demontering av icke bärande och bärande konstruktioner och installationer

Betongbyggnaden ska demonteras element för element och golv efter golv i omvänd ordning som det monterades, med hjälp av den rivningsmetod som valts. Först tas installationer, icke bärande väggar och fast inredning. Därefter taket och sist de bärande elementen. Vid demontering av tak börjar man med takbeläggning, därefter takstöd och slutligen takkonstruktion. Bärande väggar tas bort när vikten har avlastats, samt vid behov golvet på våningen över har förstärkts. Icke-bärande fasadelement kan demonteras våning för våning, bärande dito demonteras först när allt ovanför är borta. Demontering av den bärande stommen, skelettet, kan utföras när allt annat är borttaget. Bygghandlarna bör dock skyddas mot väder och vind under arbetet.

6 Kvalitetsgranskning

Kvalitetsgranskning och kvalitetssäkring av element som ska återbrukas är en viktig del. I många fall kan det räcka med en okulär granskning, men för ett större sammanhang och för kommersiell byggmarknad behövs tydligare kvalitetssäkring. Det kan handla om

klassning av produkter, lagar och förordningar, CE-märkning men också säkerhet vid brand och buller, hållfasthet och hälsa.

6.2.2 Demontering av stålprofiler

Stålprofiler i en byggnadskonstruktion måste avlastas innan demontering. Vanligt är att stålprofil kapas i lämplig punkt med plasmaskärare, särskilt om de är svetsade och inte går att skruva isär (ur demonteringssynvinkel är skruvförband bättre än svetsförband).

6.3 Analys och utvärdering

6.3.1 Intervju 1

Den 29 juni 2020 genomfördes en intervju via Microsoft Teams mellan NCC och RISE. Deltagare från NCC: Tomas Holmer, Tobias Melander och Louise Wall. Från RISE deltog Ida Gabrielsson. Diskussionen fördes kring rivningsmetoder, anpassning av dessa för återbruk och hur få till återbrukstänk i större perspektiv. Anteckningar: Ida Gabrielsson.

Tekniker för rivning?

Det finns olika tekniker för att riva en byggnad och teknikval beror bland annat på byggnadens material och hur konstruktionen ser ut. Det finns behov av att utveckla och förfinas rivningsmetoder för återbruk av konstruktionsdelar. Man måste tänka på arbetsmiljö och säkerhet. Hur gör man med lyftdon på element och delar man vill återbruka? Hur säkerställer man att byggnaden eller element inte kollapsar eller välter under demonteringen?

Skador när demontering/rivning av element inte gick som det var tänkt?

Om man tänker att stomelement ska direkt från demontering till ett nytt projekt och elementet går sönder eller skadas, hur löser man då detta? Kan man nytillverka? Detta är en stor utmaning. Man kanske ska räkna med att kunna använda 75 % av materialet, en viss del av element måste kanske bort på grund av håltagningar för avlopp, ventilation mm och inte kan användas i det nya projektet.

Lagerhållning och sortering av produkter?

Lagerhållning kan bli ett problem, var ska man lagerhålla produkterna? Detta måste projekteras i tid. Är det lönsamt att lagerhålla produkterna i väntan på ett projekt eller ska man enbart demontera produkter som direkt har en ny användning och bara mellanlagras i väntan på det nya projektet. Produkter kan behövas lagerhållas för att genomgå en kvalitetssäkring.

Vilka kriterier styr urvalet av återbruksmaterial?

Tidsplaner, budget och miljöpåverkan.

Vilka krav ställs det på utbildning och kompetens? Nya specialister eller yrkesroller?

Kvalificerad personal för lätttrivningen som kan plocka ner material och produkter på ett bra sätt och även få till märkning, paketering och logistiken på ett bra sätt. Här kanske flyttfirmor är mer lämpliga än rivningsföretag.

Vilken roll spelar tidsaspekten i ett demonteringsprojekt?

Tiden är väldigt viktig! Väldigt olika för olika projekt, varsam demontering och återbrukstänk måste vara med från början och finnas med i budgeten och tidplan, jättesvårt att komma in för sent i ett projekt och ställa om till återbruk.

Andra fördelar med återbruk?

Att det känns väldigt bra att göra en bra sak. Nyttan med en positiv miljöeffekt. Visa andra att det faktiskt går att återbruka och återvinna mera. Vore kul att i ett projekt få ta ut de tunga stommarna och exempelvis för stålet med hjälp av inventering, därefter demontering och sedan skicka tillbaka det till fabriken som sedan kan kvalitetssäkra produkten och skicka ut det på marknaden igen.

6.3.2 Intervju 2

Den 11 november 2020 genomfördes en intervju via Microsoft Teams mellan NCC och RISE. Deltagare från NCC: Maud Wallman. Från RISE deltog Ida Gabrielsson. Diskussionen fördes kring rivningsmetoder, anpassning av dessa för återbruk och hur få till återbrukstänk i större perspektiv. Anteckningar: Ida Gabrielsson.

Tekniker för rivning?

Det finns många olika tekniker för rivning, allt går att riva. Rivningsteknik beror på vilken typ av byggnad det och vilka material. Det behövs mycket utveckling inom rivningsbranschen, speciellt med tanke på mer varsam demontering. Man kan utveckla metoder för varsam demontering med hjälp av exempelvis brokkar. Då kan man kanske få ut material mer i sin helhet och med mindre skador, men man skulle också förbättra arbetsmiljö med anseende på damm och vibrationer. Arbetsmiljö är ofta ganska dålig vid rivning och inte allt prioriterad. Damm kan hanteras bättre.

Lagerhållning och sortering av produkter?

Detta kan vara ett problem, vem ska göra detta? Kanske kan man sätta ”gamla snickare med arbetsskador” på detta på arbetsplatser som har ett bra öga på vad det är för produkter och kvaliteten på dem. Vad de kan användas till längre fram.

Vilka kriterier styr urvalet av återbruksmaterial?

Vilka material och stomsystem det är. Arkitektoniskt värde.

Vilka krav ställs det på utbildning och kompetens? Nya specialister eller yrkesroller?

Behövs kompetens här, och kanske mer förståelse för arkitektur och grad av skador. Vilka och hur ska olika byggelement skulle användas igen. Kanske blir en ny yrkesroll.

Vilken roll spelar tidsaspekten i ett demonteringsprojekt?

Sälja in idén till beställaren! Sälja in idén med att rivningen kommer att ta längre tid men att det kommer vinster i helheten. Att man kan sälja material vidare. Det kanske kan bli

billigare. Tiden kanske inte spelar så stor roll om man ser att det blir andra positiva effekter, exempel spara resurser.

Andra fördelar med återbruk?

Sparar på resurser och man måste börja någonstans. Nästa generation kanske tar detta som en självklarhet att göra. Det kan vara något att tänka på att koppla ihop K-märkta hus med återbruk. Man kan tänka sig att man får bidrag eller likande för att bevara K-märkta hus med att man återbrukar material som är från samma tidsålder och stil. Länsstyrelsen har redan idag att man kan söka bidrag för renovering av K-märka hus. Här skulle återbruk ha en naturlig plats. Länsstyrelsen kanske i framtiden kan sätta upp en databas och hantera återbrukat material.

6.4 Projektera för demontering i framtiden

I rapporten "Att projektera för demontering" av Frida Axelsson, nämns begreppet "PfD" (Projektera för Demontering, engelska: DfD Design for Deconstruction). Planering för framtida återbruk redan i projekteringsskedet underlättar förstås den demontering som kommer och detta kan göras genom att välja ett demonterbart byggsystem och rena material. En byggnad som utformas på detta sätt ska bland annat eftersträva:

- Demonstreringsbara monteringspunkter
- Demonstrerbara byggnadsdelar som går separera i materialfraktioner (tex sandwichelement som kan delas upp i betongdelar och isolering)

Vidare redogör rapporten för 27 riktlinjer för projektering för framtida demontering, däribland att undvika sammansatta material, beläggningar och ytbehandlingar, minimera variationer i materialslag, använda stomme separerad från övriga komponenter, minimera antal fästpunkter och sammanfogningssystem och dessutom, planera för hjälpmedel vid lyft, samt sammanställa en demonteringsplan.

6.5 Sammanfattning

Följande rekommendationer kan göras för demontering för återbruk:

- Projektering med avsatt tid och budget för återbruk måste in i ett tidigt stadium i projektet.
- Montering har sannolikt gjorts i en väldigt specifik och välplanerad ordning; demontering måste ske på samma välplanerade men omvända ordning.
- Planering för vilka element som ska tas ner och hur demonteringen ska genomföras, med avseende på demonteringsteknik, säkerhet och arbetsmiljö, samt att den tekniska prestandan och kvaliteten bibehålls.
- Hur demonterade element ska märkas för att komma till rätt projekt eller lagervållas i väntan på projekt. Projektera för logistik och eventuell lagervållning.

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 200 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Materialdesign
RISE Rapport 2021:57
ISBN:

Bilaga till Slutrapport **Rivningsobjekt - från kostnad till resurs**
AP3 Illustrationer

Codesign[®]

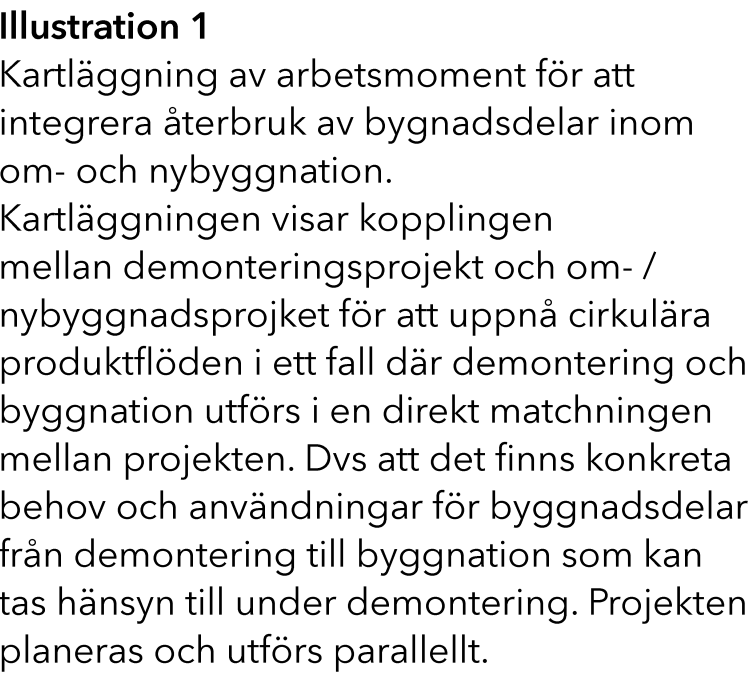


Återhus

2021-02-12

OM- & NYBYGGNADSPROJEKT

DEMONTIERUNGSPROJEKT



OM- & NYBYGGNADSPROJEKT

HUVUD-
SKEDEN

DEL-
SKEDEN

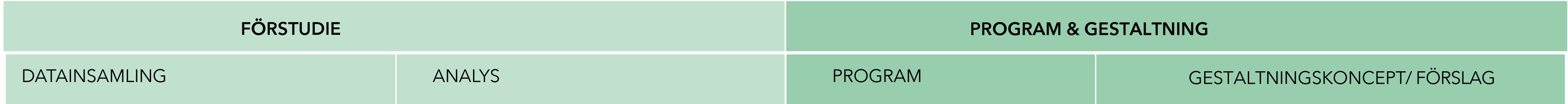
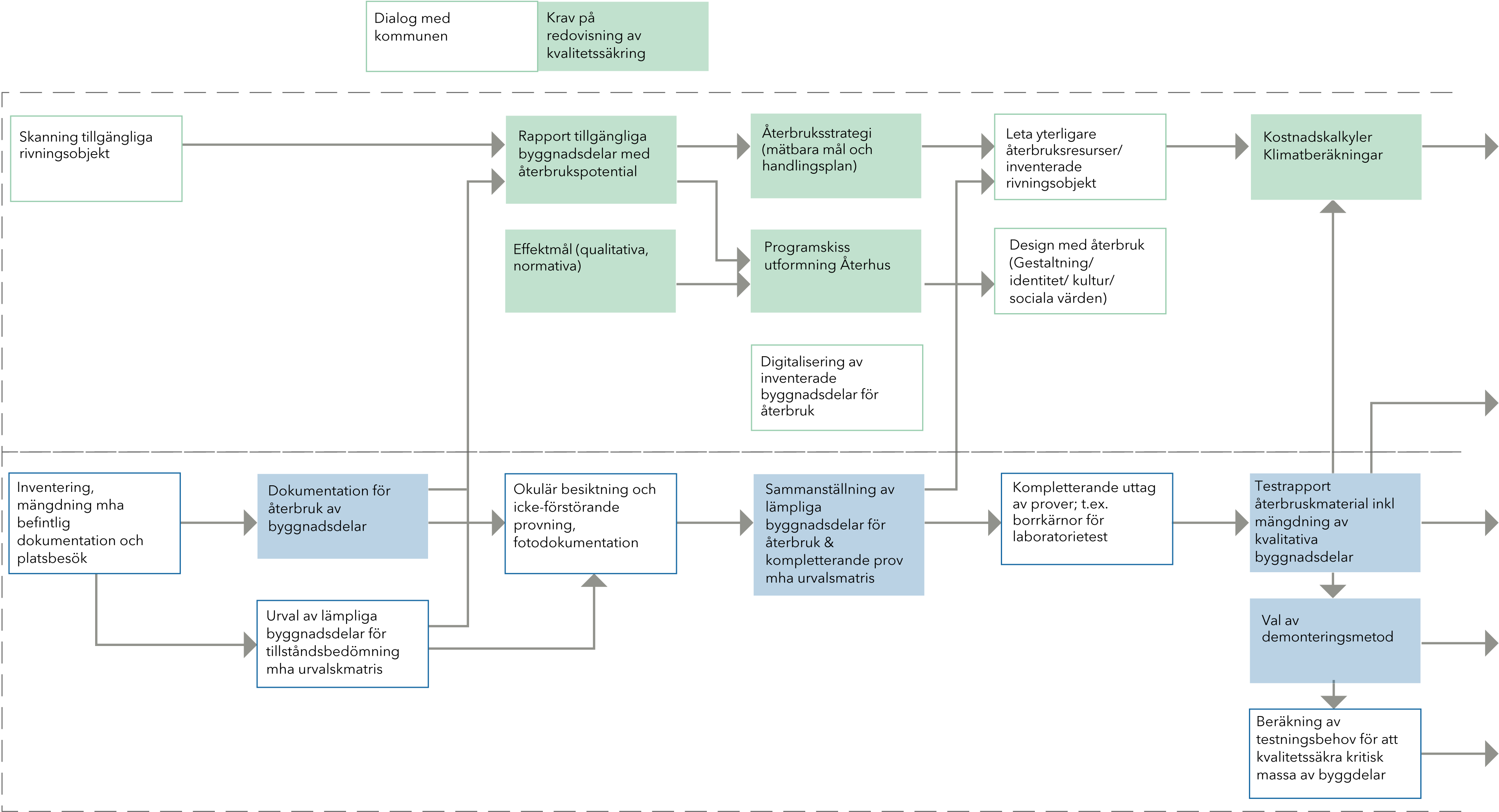
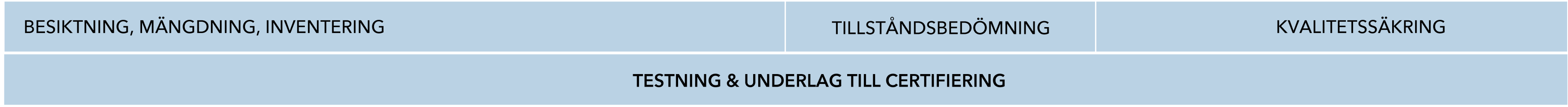


Illustration 2.1 och illustration 2.2
Arbetsf öde av arbetsmoment för att integrera återbruk av byggnadsdelar inom demontering och om-/nybyggnation baserat på Case 1 - matchning.



DEL-
SKEDEN

HUVUD-
SKEDEN



DEMONTERINGSPROJEKT



Återhus

2021-02-12

OM- & NYBYGGNADSPROJEKT

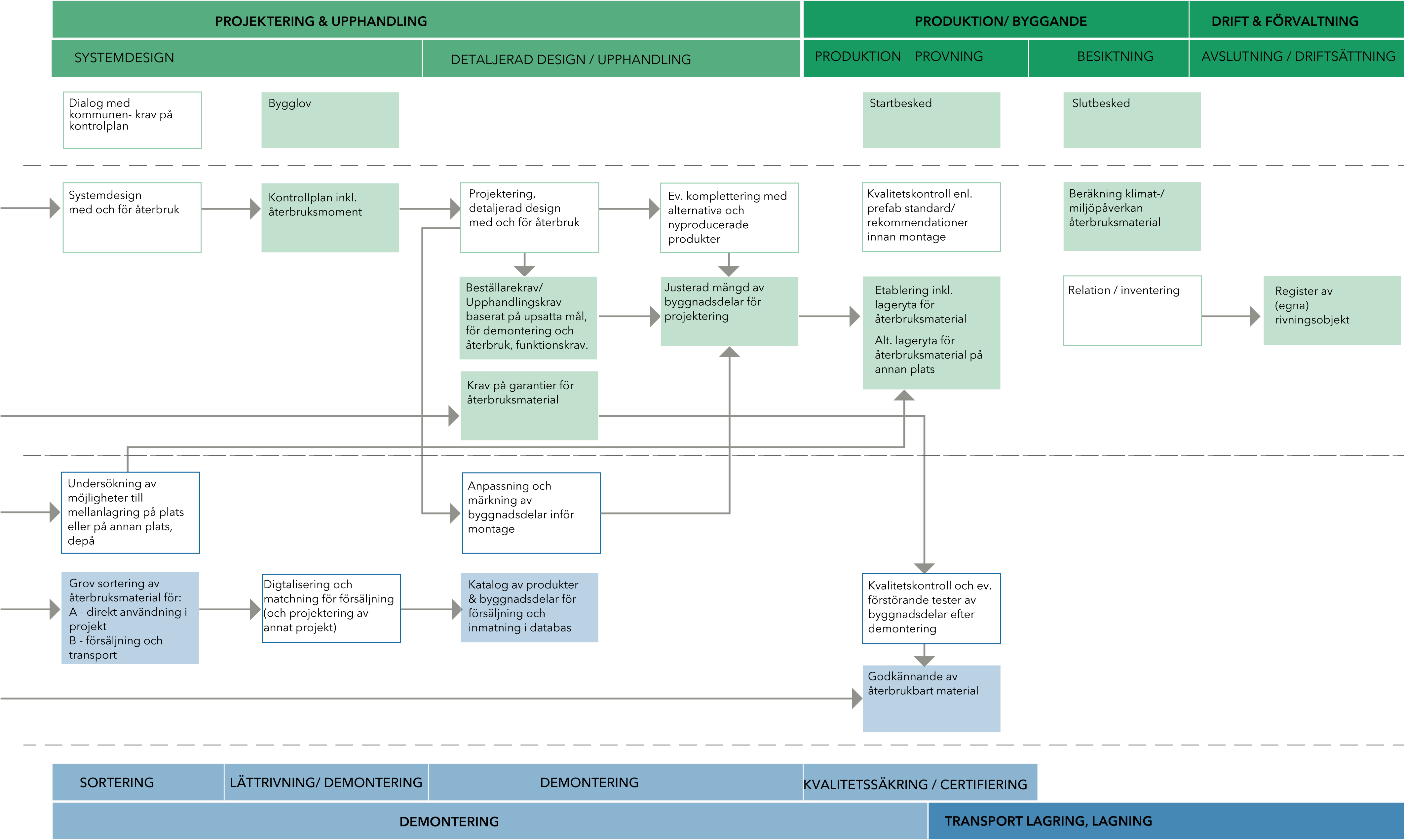


Illustration 2.2



Återhus

2021-02-12

Miljönyttan med återbruk

En byggnads livscykel kan delas in i olika steg eller moduler, enligt standarden för byggnader (EN 15978:2011), se tabell 1, och där varje modul är förknippad med en miljöpåverkan i form av tex. emissioner eller resursutvinning.

Eftersom ett återbrukat material, en gång tillverkades i syfte att fylla en viss funktion i den redan uppförda byggnaden så får denna byggnad också bära ”miljöskulden” från produktionen av materialet, dvs. från modul A1-A3 (tabell 2). Återbruk leder därför till att samma material, sett i den nya byggnadens livscykel, blir lika med noll i modul A1-A3.

Tabell 1. Livscykelsteg för en byggnad definierade enligt standarden EN 15978:2011

Modul	A1-A3			A4-A5		B1-B7							C1-C4				D
Livscykelsteg	Produkt			Byggproduktion		Drift och underhåll							Slutskede				Fördelar & belastningar utanför systemgränsen
Processer	Råmaterial	Transporter	Tillverkning	Transporter	Byggprocessen	Drift	Underhåll	Reparation	Utbyte	Renovering	Energianvändning	Vattenanvändning	Demontering	Transporter	Avfallshantering	Bortskaffande	
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	

I tabell 2 visas det resursuttag som krävs, samt de CO₂-emissioner som uppstår under tillverkning av 1 m³ betong, uppdelat på betongens ingående komponenter. Eftersom åtgången av naturresurser längs hela kedjan från råvaruutvinning till tillverkning, i vissa fall är större än vad som tillslut hamnar i produkten, på grund av exempelvis spill, så har materialresurserna i tabell 2 multiplicerats med en faktor, enligt följande:

- Ballast och filler: försvinnande lite produktionsspill i modern produktion av krossberg, då avsättning finns för finmaterial
- Cement: per 1 kg åtgår 1,6 – 3 kg råmaterial
- Stål: per 1 kg järnmalm genereras ungefär lika mycket gråberg och anrikningssand. Utvinning och tillverkning lika stor åtgång (inkl. koks och flussande material)

Återbruk av ett material har en miljönytta i form av *undviken* nyproduktion av motsvarande material. Tabell 2 kan därför också ses som den miljönytta återbrukat betong skulle ha i form av *undvikna* resursuttag samt *undvikna* CO₂-

emissioner, uppdelat på respektive komponent. Denna miljönytta tillräknas i den nya byggnadens D-modul i tabell 1.

Tabell 2. Resursuttag (kg) samt klimatpåverkan (kg CO₂e), per m³ betong.

	Resurser [kg/m³]	Faktor	Resurser [kg/m³]	Klimatpåverkan [kg CO₂e/m³]	Kommentar
Ballast (krossberg, sand)	1600	1	1600	5	Berg från täkt
Ballast (filler)	120	1	120	0,4	Berg från täkt
Cement ¹	400	2	800	320	Kalksten, sand, lera, gips
Vatten ²	200	1	200	-	
Stål (armering)	100	4	400	50	Malm, gråberg, kol, kalk

¹ I modern betong kommer en viss del av cementen troligen vara ersatt med restmaterial från olika industriprocesser, som tex flygaska, masugnsslagg och kiselstoft.

² Klimatpåverkan från vattenproduktion anses vara försumbar.

Rapport enkel

Yrket 3

Solna

Till	Hans Ivarsson och Sebastian Lembke
Från	Joakim Andersson
Datum	2020-10-22
Uppdragsnummer	7135064
Uppdragsnamn	Yrket 3
Granskad	
Status	Preliminärhandling
Godkänd	
Signatur	JAN

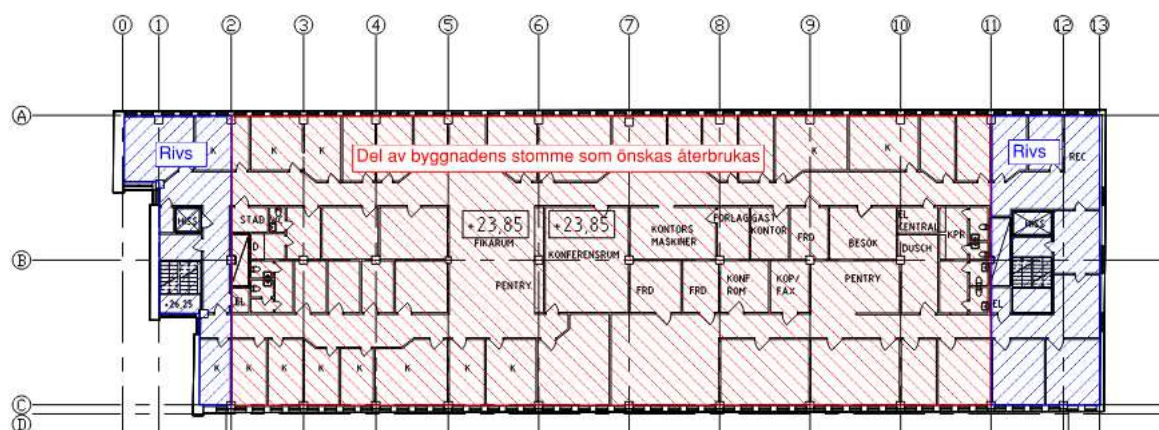
Återbruk av prefabricerade betongelement

NCC Teknik och Hållbarhet, Konstruktion MN, har på uppdrag av Hans Ivarsson och Sebastian Lembke på Avdelning Hus Sthlm gjort en översyn av möjligheter för återbruk av prefabricerade stomelement i Yrket 3.

Yrket 3 är en kontorsfastighet i Solna Business Park. Byggnaden består av en del som är 3 våningar hög och en del som är 5 våningar hög exkl. fläktrum.

Stommen är i prefabricerad betong. Pelar-balkstomme invändigt och i fasad. Bjälklagen utgörs av håldäckskassetter troligtvis HDF120/27 på normalplanerna. Fasaden består av lätta utfackningsväggar. Stabilisering sker horisontellt med hjälp av bjälklagsskivorna (HDF) och vertikalt av väggarna kring trapphus mm, men detta behövs utredas vidare, se nedan under rubrik: *Rivning gaveldelar*.

Denna rapport begränsas till att endast studera återbruk av prefabricerade betongpelare, betongbalkar och håldäcksbjälklag för normalplan, se bild nedan. I rapporten ingår även att titta översiktligt på hur rivningen av gaveldelarna runt trapphus mm för högdelen kan hanteras, se bild nedan.



Verksamhetssystem

Dokument-ID: Yrket 3 - Återbruk av prefabricerade betongelement.docx

Mall-ID: Rapport enkel - Mall

Dokumentägare: Teknik

Mall upprättad datum: 2020-02-05

Mall senast ändrad: 2020-03-13

Rapport enkel

Prefabricerat håldäcksbjälklag (HDF)

Sannolikt är håldäcken av typen HDF120/27 med en kanaldimension på ca 185 mm. Det är den mest vanligast förekommande HDF plattan med höjden 27 cm (265 mm). Denna typ av håldäckselement har 5 hålskanaler.

Byggnaden är uppförd under perioden då det var vanligt med spackel som innehåller Kasein. Kasein förbjöds 1983 eftersom det avger hälsofarliga emissioner vid en relativt låg RF. Om RF kan hållas under 75% avges normalt inte spackel några hälsofarliga emissioner. Vid återbruk/demontering kommer elementen utsättas för höga relativ fuktighet (>75%). Det behöver säkerställas om håldäckskassetterna har avjämnats med spackel innehållande Kasein. Spacklet behöver då saneras bort från HDF-plattans ovandel. Normalt utförs detta genom försiktig bilning för att inte skada HDF:en.

Man behöver säkerställa håldäckens bärförmåga m.h.t. framtida belastning av påförda egentygnder och nyttiga laster. Mäta upp dimension HDF, antal linor mm. Ett antal plattor kan belastas genom förstörande provning för att ta reda på vilken bärförmåga HDF:en har.

Demontering

- Innan demontering får påbörjas skall byggnaden lätttrivas från innerväggar, installationer mm, dvs stomrent. Lätta utfackningsväggar rivs också. Detta för att minimera lasten från vind till stabiliserande enheter.
- HDF stämpas vid varje upplag (upplag på betongbalk) ca 300 mm från balkupplag. 2 stämp per HDF förordas c/c stämp 400 mm.
- Nya dräneringshål borras i uk HDF ca 1,2 m från varje plattände i varje hålskanal.
- 2+2 genomgående hål, $\phi 50$ mm, borras genom de yttersta hålskanalerna vid upplag ca 600 mm från upplag. Dessa hål nyttjas senare för att lyfta håldäcken.
- Innan sågning utförs skall HDF kontrolleras så att det inte finns några längs- och tvärgående sprickor. Finns sprickor i HDF bör dessa kasseras. HDF bör även inspekteras efter demontering.
- HDF sågas centriskt i fogar som löper parallellt med håldäckskassetterna. Djup ca 220 mm. Viktigt att inte sågsnittet avviker allt för mycket från centrumlinje fog. Detta för att inte skada yttersta livet på håldäcken.
- HDF sågas tvärs vid upplag bara någon cm från upplaget på balken.
- HDF lyfts med kätting som träs genom de genomgående hålen.
- Demontering av HDF bör ske växelvis för mittbalken. Detta för att undvika stämpan uk balk till våningen under m.h.t. vridning av balken.
- HDF kanter rensas från betongrester från fogbetongen. HDF ursprungsutseende vill man få fram för att möjliggöra framtida membranverkan när man senare fogjuter ihop håldäckselementen till en sammanhängande platta/skiva.
- Vid lagring och transport av HDF bör betongelementen pallas mm enligt prefabindustriens anvisningar.
- Linändarna kan behövas rostskyddsbehandlas ifall det är lång tid mellan demontering och återbruk.
- Kontroll av eventuella linglidningar bör utföras efter demontering. Har linglidning skett kan HDF behöva kasseras. Om HDF ska kasseras beror på hur många linor som glidit. Troligtvis är inte detta något som inträffar vid demontering, men det bör kontrolleras.

Rapport enkel

Återbruk

- HDF som demonteras kommer få en specifik längd. Ska demonterade HDF återbrukas behöver antingen nya stommen anpassas utifrån dessa längder eller så måste HDF sågas ytterligare en gång till på tvären för att anpassas till önskad stomplacering.
- Demonterade HDF kommer att ha en rak ände. Dagens HDF som tillverkas idag har normalt en K-ände. Om HDF kommer läggas upp på en betongbalk på samma sätt som i Yrket 3 kommer inte en K-ände krävas. Däremot om HDF läggs upp på HSQ-balk, vägg mm kommer K-ände krävas. K-ände skapas genom att såga HDF snett vid ändarna. Detta för att inte få problem med inspänningsmoment av HDF vid upplag på vägg och även utrymme för fogarmering. I Yrket 3 är tillgänglig upplagslängd på balken troligtvis 150 mm. Det krävs 80 mm upplagslängd för HDF120/27. Teoretiskt kvar mellan ände HDF till balkens liv är 70 mm. Detta utrymme borde vara tillräckligt för framtida fogarmering förutsatt att håldäcket läggs upp på en liknande balk med 150 mm bred upplagsfläns.

Prefabricerade betongbalkar (FB)

Befintliga balkar är så kallade flänsbalkar. Balkarna är försedda med flänsar för upplag av bjälklagselement (HDF). Dessa balkar benämns FB. Balkarna är antingen slakarmerade eller armerade med förspända armeringslinor. Gissningsvis är dessa balkar armerade med förspända armeringslinor och byglar.

Balkarna ligger upplagda på pelarkonsoler.

Eventuellt Kaseinspackel behöver saneras från balkens ovansida, se rubrik ovan:

Prefabricerat håldäcksbjälklag (HDF).

Man behöver säkerställa balkarnas bärförmåga m.h.t. framtida belastning av påförda egentygnder och nyttiga laster. Mäta upp balkdimension, mängd armering mm. Ett antal balkar kan belastas genom förstörande provning för att ta reda på vilken bärförmåga som balkarna har. Ett annat alternativ kan vara att ta ut borrkärnor och provbelasta dessa för att bestämma betongens hållfastighet. Man behöver även säkerställa kvaliteten på armeringen (spännlinor och byglar).

Momentkapaciteten är troligtvis tillräcklig för framtida påförda egenvikter och nyttiga laster (kontors kategori B, EKS). Det som kan bli en utmaning är att klara bärförmågan m.h.t. tvärkraften. Bärförmågan med avseende på tvärkrafter är enligt gällande norm lägre än dåtidens norm. Om man behöver förstärka balkens bärförmåga med avseende på tvärkraft så blir det relativt kostsamt. Ett alternativ är att kolfiberarmera balkarna vid balkupplag. Kolfiberarmeringen behöver brandskyddas.

Demontering

- Balken är kopplad till pelarens konsol troligtvis med en dubb som gjutits in i balkens liv. Dubben lokaliseras och hål ca $\varnothing 50$ kärnböras från ök balk genom balkens liv centriskt över dubben. Borrkärnan bör på något sätt knäckas så att inte balken nyper mot dubben vid lyft. Dubben i pelarens konsol rengörs från betongrester mm och målas med grundskyddsfärg.
- Mellan balkände och pelaren finns troligtvis fogbetong. Denna del kan vara svår att komma åt vid demontering. Varsam sågning/bilning föreskrivs.

Rapport enkel

- Balk lyfts förslagsvis med lyftstroppar. Lyftstroppar bör säkras så att inte balken börjar glida. Kantskydd bör användas så att inte stropparna skaver mot eventuella vassa betongkanter. Alternativt tas hål genom flänsar 2+2 ϕ 50 som lyftkätting dras igenom i princip lika HDF. Armering i flänsar bör ej kapas.
- Vid lagring och transport av balkar bör betongelementen pallas mm enligt prefabindustrins anvisningar.
- Balken rensas från betongrester från tidigare foggjutningar.
- Eventuellt synliga linändar kan behövas rostskyddsbehandlas ifall det är lång tid mellan demontering och återbruk.
- Kontroll av eventuella linglidningar bör utföras efter demontering. Har linglidning skett kan balken behöva kasseras. Om balken ska kasseras beror på hur många linor som glidit. Troligtvis är inte detta något som inträffar vid demontering, men det bör kontrolleras ifall man missat detta vid tidigare montage.
- Balkar bör inspekteras före och efter demontering med avseende på sprickor. Böjsprickor bör synas på undersidan och är mindre allvarliga eftersom ett böjbrott är ett segt brott. Tvärkraftssprickor uppträder i de flesta fall vid upplag. Dessa syns på sidan av balken och lutar ca 45 grader från horisontalplanet. Tvärkraftsbrott sker ofta utan förvarning.

Återbruk

Balkar som demonteras kommer få en specifik längd vilket bestämmer c/c pelaravståndet längs balklinjen för framtida stomme. Avkortade demonterade balkar bör ej återbrukas om inte en konstruktör har kontrollerat dimensionerat balken.

Prefabricerade betongpelare (RP)

Pelare som önskas återbrukas är rektangulära prefabricerade betongpelare, RP, försedda med betongkonsoler för upplag av flänsbalkarna som bär håldäcksbjälklaget.

Man behöver säkerställa pelarnas och dess konsolers bärförmåga m.h.t. framtida belastningar. Mäta upp pelardimension och konsoler, mängd armering mm. Förstörande provning av hela pelare är inte lämpligt. Man bör istället borra ut provkroppar ur pelarna för att bestämma betongens hållfasthet. Kvalité på armering behöver också fastställas. Pelarna kan ha olika mängd armering i sig beroende på vilket plan det står på. Viktigt att pelarna märks upp och dokumenteras inför framtida återbruk.

Demontering

- Pelarna stagas i två vinkelräta riktningar innan demontering av HDF får påbörjas. Om pelarna är flervåningshöga kan man behöva staga högre upp på pelaren. Stagning bör utföras 2/3 upp på pelaren. Stag fästs med expander i ök HDF och centriskt ök betongbalk samt i pelaren. Expander får inte skada befintlig armering i balk.
- Pelarna är fixerade över varandra med antingen 1-2 dubbar eller 4 st pelarskor. Detta bör säkerställas innan demontering påbörjas. Om pelarna är försedda med pelarskor bilas betong bort och muttern demonteras. Fogbetong rensas bort i pelarskona och uppstickande gängstänger. Gängstång och pelarskor bör rostskyddsbehandlas. Om det är uppstickande dubbar från underliggande pelare så får dessa helt enkelt kapas när man sågar loss pelarna från varandra enligt nedan.
- Mellan pelarna finns en undergjutning. Vid sågning för att frigöra ovanliggande pelare till underliggande pelare behöver man såga centriskt i undergjutningen. Man

Rapport enkel

behöver säkerställa så att inte egenvikten av pelaren nyper sågklingan. Det kan vara svårt att komma åt med sågbladet vid rivning. Eventuellt måste intilliggande HDF vid pelare demonteras innan denna sågning kan utföras.

- Pelarna lyfts med pelarok. Hål borraras strax under konsoler i vilket oket placeras i. Om pelarna är flervåningshöga kan två hål behövas tas i pelarna för att möjliggöra lyft av pelaren när den är liggande
- Rester från undergjutning rensas bort från ök och uk pelarna.
- Fogrester vid och på konsoler rensas bort.
- Pelarna märks upp och dokumenteras för senare återbruk m.h.t. bärformåga.

Återbruk

Pelare som demonteras kommer få en specifik höjd vilket bestämmer våningshöjden för framtida stomme.

För att hantera framtida dragkopplingar och montagesäkring förses pelare med 1+1 utanpåliggande plåtar på vardera motstående sida. Plåtarna förankras till pelarna (ovan och underliggande pelare) med erforderlig mängd expandrar eller genomgående gängstänger genom pelaren för att hantera krav på vertikal raskoppling. Om pelarna är kopplade med 4 st. pelarskor istället för dubb, se ovan, så kan pelarskorna troligtvis användas som framtida vertikalkopplingar.

Rivning av gaveldelar

Tanken man har idag är att gaveldelarna för högdelen rivs efter att mittskeppet demonterats. En förutsättning för att detta skall vara möjligt är att man har tillräckligt med stabiliserande väggar kring trapphus, hissar mm Det är inte helt klart hur stommen stabiliseras. Byggnaden är inte så hög så det finns en möjlighet att tidigare konstruktör räknat in alla pelare i stabiliseringen. Det behövs utredas vidare vilka de vertikalt stabiliserande enheterna är.



Återhus

Rivningsobjekt – från kostnad till resurs:
Pilotstudie återbrukspotential för tunga
stomdelar i två rivningsobjekt

Linus Brander, Dimitrios Boubitsas, Ida Gabrielsson

RISE Rapport 2021:58

Innehåll

Innehåll.....	2
1 Pilotstudiens syfte	4
2 Process för urval för återanvändning.....	6
3 Pilotobjekt Kv Herrnhutaren 2.....	9
3.1 Bakgrund.....	9
3.2 Platsbesök	11
3.3 Inventering våning 3.....	13
3.4 Provuttag.....	16
3.5 Provning i laboratorium	19
3.5.1 Mekaniska egenskaper	20
3.5.2 Kemisk analys.....	23
3.5.3 Icke-förstörande provning	25
3.6 Resultat och analys	29
3.6.1 Jämförelse icke-förstörande och förstörande provningar	29
3.6.2 Kolekvivalent i relation till kravbild.....	31
3.6.3 Antagen stålsort från testresultat.....	31
3.7 Slutsatser	33
4 Pilotobjekt Kv. Yrket 3	34
4.1 Bakgrund och platsbesök.....	35
4.2 Inventering och kartläggning	38
4.3 Provuttag.....	43
4.4 Provning i laboratorium	43
4.4.1 Okulär granskning och tryckprovning första uttaget.....	43
4.4.2 Okulär granskning och tryckprovning andra uttaget.....	45
4.5 Resultat och analys	47
4.5.1 Uppskattning av tryckhållfasthet för strukturell bedömning av håldäckselementen vid valt område.....	47
4.5.2 Teoretisk spänningsförlust i håldäcksplattor.....	49
4.6 Slutsatser	50
5 Process för bedömning av återbrukspotential.....	52
5.1 Steg 1 - Inventering/kartläggning.....	52
5.2 Steg 2 - Okulär besiktning	53
5.3 Steg 3 – Beslut om fortsatta åtgärder	53
5.4 Steg 4 – Förstörande provning	54
5.5 Steg 5 – Rapport	54
5.6 Steg 6 – Kontroll efter demontering och verifiering av prestanda.....	54

Bilaga 1. Beräkningsexempel kvarvarande spännkraft i prefabricerade HD/F bjälklag efter 41 år	55
1. Grundförutsättningar	55
2. Tidsberoende spännkraftsförlust	56
3. Spännstålets relaxation	56
4. Betongens totala krympning.....	57
5. Betongens krypning.....	57
5. Spänningen i betongen på spännstålets nivå (långtidslast),.....	58

Förord

Det som presenteras i denna rapport utgör en del av arbete och resultat från innovationsprojektet *Rivningsobjekt – från kostnad till resurs*, med stöd från det Strategiska Innovationsprogrammet (SIP) RE:Source. Samverkande partner i projektet har varit Codesign, NCC, Faberge och RISE.

RISE rapport 2021:58

ISBN 978-91-89385-47-4

1 Pilotstudiens syfte

I projektet "Rivningsobjekt – från kostnad till resurs" undersöks återbrukspotentialen i rivningsobjekt. Målet är att skapa förutsättningar för återbruk (återanvändning) av befintliga funktionella byggnadsdelar och material, som idag förstörs under rivningen. I projektets arbetspaket 6 har två pilotobjekt studerats utifrån olika aspekter som är av intresse vid ett potentiellt återbruk, tex teknisk kvalitet, demonterbarhet, hanterbarhet, materialtyper och arkitektoniskt värde. Utgångspunkten för att skapa en process som hanterar och värderar dessa aspekter är en kombination av två olika tjänster som redan idag tillhandahålls av olika aktörer: *tillståndsbedömning* och *materialinventering i samband med rivning*. Den tänkta processen är avsedd att ge indata till en urvalsmatris med olika kriterier som är viktiga för värderingen av hur man går vidare (ekonomiskt värde, värde minskade utsläpp av klimatpåverkande gaser, osv).

För att testa och revidera den initiala processen för kvalitetsbedömning valdes två olika byggnader ut som pilotobjekt: Kv. Herrnhutaren i Göteborg (NCC) och Kv. Yrket i Solna (Faberge). De två rivningsobjekten kompletterar varandra med avseende på ålder, typologi, användning, byggnadsteknik och materialval. Kv. Herrnhutaren 2 är från 1800-talet och är platsbyggd, med stålstomme och bärande tegelväggar, men med väldigt lite betong. Byggnaden är ombyggd och tillbygg i flera omgångar. Användningen har varit främst affärs- och restauranglokaler, samt kontor och vindslager. Som kontrast är Kv. Yrket från 1980, till största delen byggd med Prefabelement i betong och har använts till kontor och lagerlokal.

2 Process för urval för återanvändning

Enligt Plan- och Bygglagen (2010:900, PBL) krävs rivningslov för byggnader inom detaljplanerat område. Det krävs också att byggherren upprättar en kontrollplan, som inkluderar materialinventering och hur eventuella farliga ämnen ska omhändertas. Byggherren ska i kontrollplan också beskriva hur rivningsmaterialet ska tas om hand, dvs. vad som avses gå till återanvändning, materialåtervinning, energiåtervinning, deponi, osv. Den 1 augusti 2020 trädde en ändring i PBL i kraft, som ska främja bättre hantering av bygg- och rivningsavfall genom selektiv rivning och att möjliggöra avlägsnande och säker hantering av farliga ämnen. Syftet är att underlätta återanvändning och högkvalitativ materialåtervinning. Konkret ska bland annat byggherren vid tekniska samråd redovisa *hur* identifiering av avfall och återanvändbara byggprodukter har gjorts. I kontrollplanen ska byggherren vidare redovisa vilka byggprodukter som ska återanvändas (och hur) samt vilka avfall som åtgärden kan ge upphov till och hur dessa ska tas om hand, tex för att möjliggöra materialåtervinning.



Figur 1 Avfallshierarkin. Källa: EU:s avfallsdirektiv (Directive 2008/98/EC on waste).

För att bedöma återbrukspotentialen för en byggnadsdel – tex en stålbalk eller ett håldäck i betong – krävs en utvärderingsprocess där ett antal faktorer undersöks och frågor kring dessa besvaras. Dessa faktorer är byggnadsdelens ...

skick och typologi. Är byggnadsdelen platsbyggd eller förtillverkad? Hur är infästningar och kopplingar mot andra byggnadsdelar och stommen skaffade? Finns skador eller andra tecken på degraderad kvalitet? Den konstruktiva integriteten bedöms och provas.

byggnadens och byggnadsdelarnas ålder. Behövs för att bedöma kvarvarande livslängd hos element som med tiden relaxerar eller förlorar i teknisk prestanda, och för att få ledning om byggnormer som gällde då byggnadsdelen installerades eller vilka materialslag (med potentiellt innehåll av farliga ämnen) som kan ha använts.

tidigare användning. Byggnadens historia är viktig. Har byggnaden använts som kontorslokaler eller bostäder så har verksamheten i sig sannolikt inte påverkat byggnaden negativt, medan den misstänkas ha gjort det om användningen varit industri,

garage, verkstad, simhall eller djurhållning. Verksamheter som i regel bör ligga mitt i detta spann av potentiell påverkan torde vara restauranger, lager eller affärslokaler.

exponering. Hänger delvis ihop med tidigare användning, men framförallt om exponering mot fukt, temperaturväxlingar och andra yttre faktorer. En byggnadsdel som utgör del av stommen har i regel skyddats mot yttre faktorer, medan ett fasadelement verkligen varit utsatt och därmed exponerats för olika nedbrytande skademekanismer. Exempel på processer som kan påverka materialprestanda är karbonatisering (upptag av koldioxid i fuktig miljö som innebär att korrosionsskyddet försvagas), kloridinträngning från tössalter eller salt i restaurangmiljö (kan leda till korrosion), frys-tö-växling (frostsprängning som mekaniskt förstärker betong) eller kemiska angrepp (från tex jord, vatten eller historisk verksamhet).

demonteringsmöjligheter. Möjligheter till säker och varsam demontering eller uttag måste bedömas, utifrån byggnadsdelens skick och typologi. Optimalt skulle det lättaste vara att helt enkelt skruva loss de olika delarna från varandra i fästpunkterna, men byggnader är ytterst sällan designade för demontering (kanske inte finns ett enda exempel i nuvarande bestånd?). I regel kommer demontering ske genom att Prefabelement av betong kapas med diamantsåg eller knäcks loss nära sina infästningspunkter, medan stålprofiler kapas med laser- eller plasmaskärare nära svetsförband, vilket gör att delar inte kommer att kunna återanvändas i hela sina ursprungliga längder. Dessutom måste uttaget ske på ett sätt som i sig inte skadar byggnadsdelen; även om en byggnadsdel bedöms vara i mycket gott skick, så är återbruks mycket lågt om den inte kan demonteras med bibehållen prestanda.

hanteringsmöjligheter. Hantering av tunga byggnadsdelar är ett arbetsmoment som innebär risker och därmed måste utvärderas och genomföras med mycket god arbetsmiljö och riskmedvetenhet. Lyftpunkter kan saknas i byggnadsdelen och måste monteras, för säkra lyft. Om ovanliggande våningsplan eller andra byggnadsdelar finns kvar och delvis eller helt belastar byggnadsdelen, så måste denna givetvis stämpas upp eller avlastas, före en säker demontering kan göras.

I denna process måste en tillräcklig andel av de enheter av byggnadsdelen som finns i byggnaden undersökas och eventuellt testas. För att säkerställa att delarna som väljs ut för laboratorietester är representativa för byggnaden, så bör mest resurser och tid läggas på det tidiga skedet (inventering, kartläggning och okulär bedömning av byggnaden). Kartläggningen ligger till grund för det provuttag och provning som i slutändan görs och kvaliteten på den förra avgör i stort kvalitet och relevans på den senare. Till skillnad från traditionell tillståndsbedömning, som generellt syftar till att endast bedöma byggnadens strukturella status, så måste samtidigt materialen i byggnaden inventeras med fokus på farliga avfall. Mest effektivt blir det sannolikt att utföra rivningsinventering och inventering för tillståndsbedömning integrerat och parallellt; på det sättet kommer man längre än bara plan för hantering av farligt avfall, nämligen till en plan även för vidare användning (återanvändning, återvinning, deponi) för de olika avfallsslagen, och hur dessa då optimalt ska hanteras.

Eftersom fokus i materialinventering inför rivning främst syftar till att lokalisera olika typer av farligt avfall och vilka mängder dessa förekommer i, kan det vara svårt att se sådana produkter, material och konstruktionsdelar som passar till återanvändning eller materialåtervinning. Vid tillståndsbedömning är målet att bedöma hela eller delar av en byggnad för att se om det föreligger behov av åtgärder såsom reparation eller renovering

på byggnadens bärande och i vissa fall icke bärande konstruktioner, men å andra sidan ligger inte något fokus på ämnen som kan vara skadliga för människa och natur.

I följande två kapitel redovisas resultaten från de två studerade pilotobjekten (Kap. 3 respektive 4). I sista kapitlet (Kap. 5) presenteras en procedur för *undersökning av återbrukspotential*, som baseras på lärdomar från pilotobjekten.

3 Pilotobjekt Kv Herrnhutaren 2

3.1 Bakgrund

Kv Herrnhutaren 2 i centrala Göteborg ligger med den norra fasaden mot Kungsgatan 55 och med den södra mot Vallgatan 40. Fastigheten har sitt ursprung i 1600-talet och har under tidens gång genomgått brand och ett flertal ombyggnader och tillbyggnader. Det mesta av dagens byggnad är från 1800-talet. Fastigheten som den ser ut idag är en sammanslagning av tre olika fastigheter. Fastigheten har innan rivning varit butik och restaurang i de två nedersta planen, medan de övre planen har inhyst kontor och lager. Anledningen till att fastigheten ska rivas är att det inte längre är möjligt att bygga om och modifiera byggnaden ytterligare i enlighet med hyresvärdens önskemål, utan att göra stor inverkan på den bärande konstruktionen.

Den bärande konstruktionen skiljer sig mycket åt i olika delar av fastigheten och består av tegelpelare, tegelväggar, stålpelare och stålbalkar. Bjälklag är vanligen i trä och fasaden är solid tegelvägg.

Undersökningsrivning har pågått i över ett år och lätttrivning av fastigheten påbörjades i mars 2020. Fasaden mot Kungsgatan ska sparas medan resten av byggnaden ska helt rivas och ersättas av modern byggnad med stålstomme och betonghåldäck.



Figur 2 Flygfoto som visar läget för Kv Herrnhutaren 2 i centrala Göteborg (Källa: Eniro).

3.2 Platsbesök

Platsbesök på Kv Herrnhutaren 2 genomfördes den 2020-09-08 av Dimitrios Boubitsas, Ida Gabrielsson och Linus Brander från RISE. Kontakt på plats var Maud Wallman, platschef NCC. Efter en rundtur i hela fastigheten bestämdes att inventering och karteringar av byggnadsdelar skulle koncentreras till våning 3. Skälen till detta var flera, men de avgörande var att det var den våningen som det var minst rivningsaktivitet på och därmed säkrast ur arbetsmiljöhänsyn, samt att det var många olika materialslag, med både tegel, stål och betong.

Nedan vissas översiktsbilder på bärande konstruktioner, mellanväggar med mera från våning 3 (Foton tagna av Ida Gabrielsson, RISE).



Figur 5 Översiktsbilder på norra fasaden (mot Kungsgatan). Denna fasad ska sparas.



Figur 6 Interiör översiktsbild från våning 3. Notera speciellt bärande tegelpelare och ytterväggar i tegel.



Figur 7 Interiör översiktsbild från våning 3. Notera speciellt bärande stålpelare och balkar, såväl nyare från 1970-talet (rödmålade) som äldre (rostbruna, omålade).



Figur 8 Detaljbild från våning 3. Äldre bärande konstruktion i stål och bjälklag i trä.



Figur 9 Detaljbild från våning 3. Nyare (1970-tal) bärande konstruktion i stål och bjälklag i trä.



Figur 10 Detaljbild från våning 3. Äldre bjälklag i trä.

3.3 Inventering våning 3

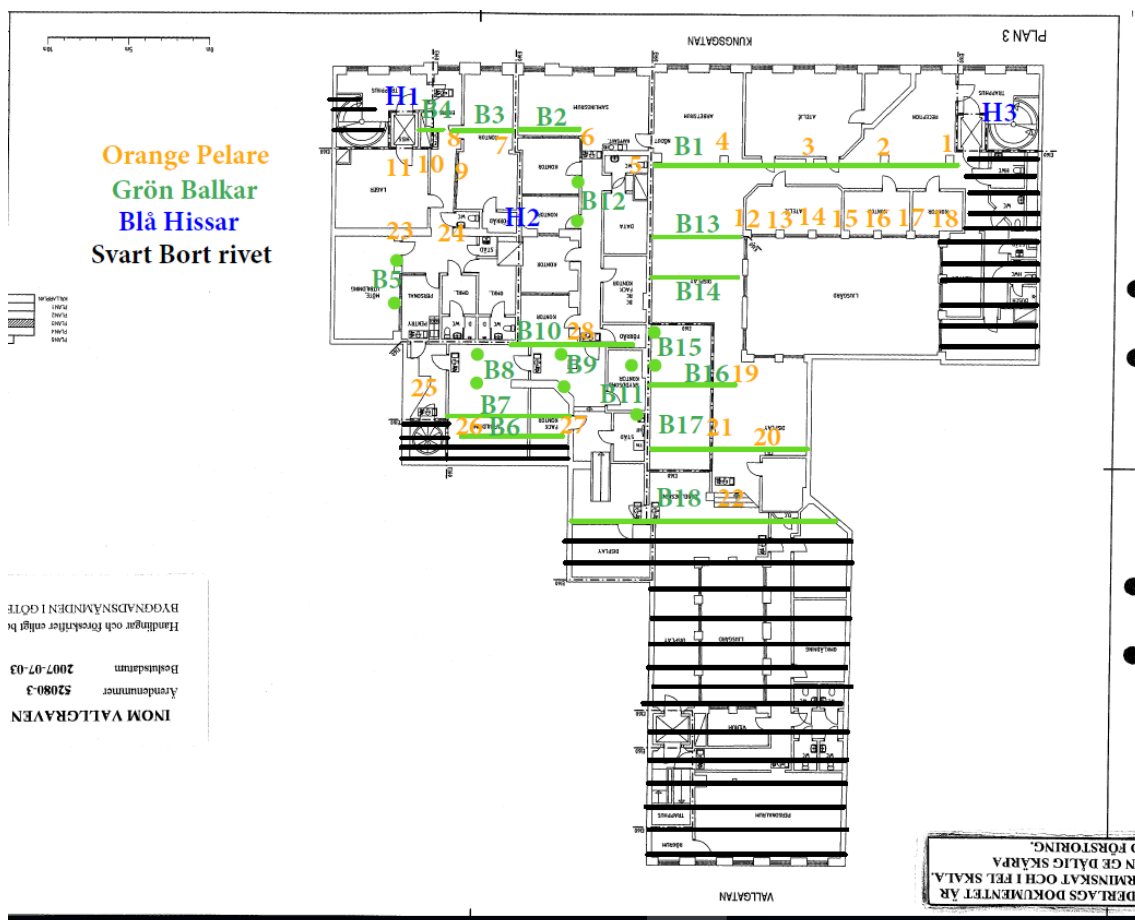
På våning 3 genomfördes en inventering och kartläggning av stomelement, där hela våningsplanet systematiskt gicks igenom. De stomelement som identifierades var pelare och balkar i stål, tegelpelare och någon enstaka betongpelare. Därav blev fokus på pelare och balkar i stål och gjutjärn, VKR-kvadratiska stålprofiler och HEA- och I- stålprofiler. Även hissschakt inventerades.



Figur 11 Inventering av pelare (t.v.) och balk (t.h.) och bedömning av okulärt skick.



Figur 12 Dimitrios Boubitsas från RISE inspekterar tegelpelares skick med hjälp av icke-förstörande provning. Till vänster studshammare, till höger täktskiktsmätare.



Figur 13 Ritning över våningsplan 3 med inspekterade delar markerade.

Tabell 1 Inventerade pelare på våningsplan 3

PELARE									
LITTERA	DIM	TYP	ANT	LÄNGD	ÅR	SKICK	EXPONERING	TIDIGARE	DEMONTERING
	[mm]			[cm]	[uppskattat]	[okulärt]		ANVÄNDNING	
1	Ø = 200	Gjutjärn	1	297	1800-tal	Ytrost	Inomhus	kontor, lager	Lätt
2. - 5.	480*480	Tegel	4	297	1800-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Svår
6	75*75	VKR-stål	2	254	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
	60*60	VKR-stål	2	254	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
7		Tegel	1	297	1800-tal	Dåligt	Inomhus	kontor, lager	
8		Tegel	1	297	1800-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Svår
9	70*70	VKR-stål	1	254	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
10. - 11	75*75	VKR-stål	2	235	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
12. - 18.	500*440	Tegel	7	297	1800-tal	Dåligt	Inomhus	kontor, lager	Svår
19	300*300	Betong	1	315		Dåligt	Inomhus	kontor, lager	
20	Ø = 200	Gjutjärn	1	315		Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
21	Liv = 14 Fläns = 16 H = 315	I-profil stål	1	315	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
22	Liv = 17 Fläns = 19.5 H = 276	I-profil stål	1	315	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
23. - 25.	95*95	VKR-stål	3	263	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
26. - 27.	95*95	VKR-stål	2x2	230	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
28	95*95	VKR-stål	1	263	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt

Tabell 2 Inventerade balkar på våningsplan 3

BALKAR									
LITTERA	DIM	TYP	ANT	LÄNGD	ÅR	SKICK	EXPONERING	TIDIGARE	DEMONTERING
	[mm]			[cm]	[uppskattat]	[okulärt]		ANVÄNDNING	
B1	H = 300	I-balk	2	2230	1800-tal	osäker	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B2	H = 300	I-balk	2	360	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B3	H = 300	I-balk	1	200	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B4	H = 175	I-balk	1	300	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B5	H = 250	I-balk	1	580	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B6	H = 240	I-balk	2	600	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B7	H = 330	I-balk	1	800	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B8	H = 330	I-balk	1	830	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B9	H = 330	I-balk	1	650	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B10	H = 300	I-balk	1	620	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B11		Ingjutet	1			Dåligt	Inomhus	kontor, lager	
B12	H = 240	I-balk	2	400	?	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B13	H = 300	I-balk	2	600	1800-tal	Dåligt	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B14	H = 300	I-balk	1	600	?	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B15	H = 200	I-balk	1	490	?	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B16	H = 240	U-balk	2	600	?	Ok	Inomhus	kontor, lager	osäker
B17	H = 240	I-balk	1	900	?	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B18	H = 350	I-balk	2	900	?	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt

Tabell 3 Inventerade hisschakt på våningsplan 3

HISSCHAKT									
LITTERA	DIM	TYP	ANT	LÄNGD	ÅR	SKICK	EXPONERING	TIDIGARE	DEMONTERING
	[mm]			[cm]	[uppskattat]	[okulärt]		ANVÄNDNING	
H1	100*100	VKR-stål	4	230	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Mellan
	100*60	VKR-stål	4	210					
H2		Platsgjuten betong	1		1920-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Svår
H3	100*100	VKR-stål	4	230	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Mellan
	100*60	VKR-stål	4	210					

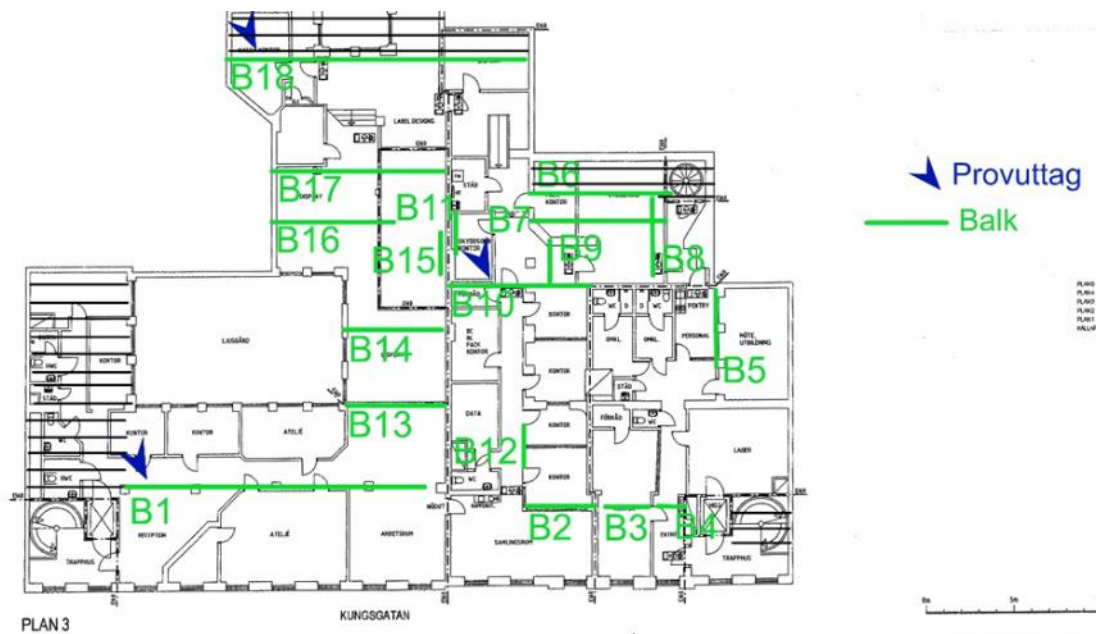
3.4 Provuttag

Efter inventering beslutades om provuttag av tre balkar (B1, B10 och B18) och två pelare (P9 och P28); dessa är fetmarkerade i Tabell 1 och Tabell 2. Pelare P9 levererades dock inte till RISE och dessutom har en annan balk än B10 tagits ut, eftersom dimensioner, ålder och skick på den balk märkt B10 som RISE mottagit inte stämmer med kartläggningen i Tabell 2. Sannolikt är det balk B11 som tagits ut; fortsättningsvis i rapporten används dock benämningen B10 för den balk som mottagits och provats i laboratorium. Summerat så har följande stålprofiler levererats till RISE för provning:

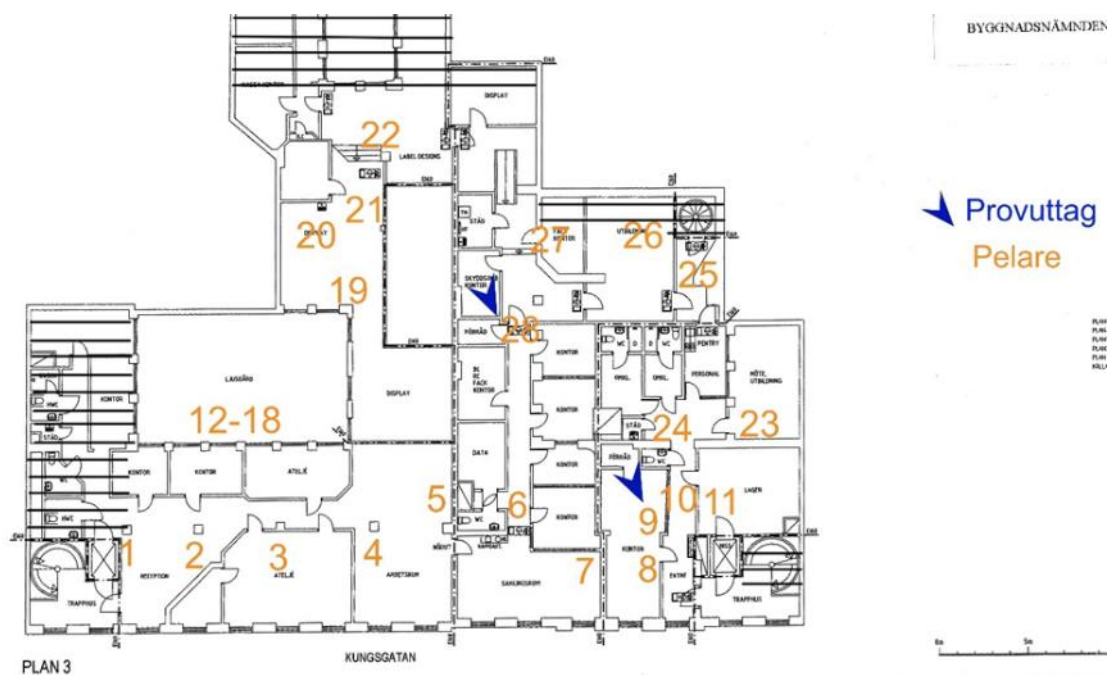
- Balk B1 – I-balk, förmodligen från 1800-tal, okulärt skick: kraftig ytkorrosion
- Balk B10 (sannolikt egentligen **B11**) – I-balk, förmodligen från 1800-tal, okulärt skick: kraftig ytkorrosion
- Balk B18 – I-balk, okänd ålder, okulärt skick: ok
- Pelare P28 – VKR-profil, förmodligen från 1970-talet, okulärt skick: ok

Vid rivningen av Kv. Herrnhutaren används en så kallad *högrivare*, där våning för våning rivs med hjälp av en grävmaskin, utrustad med en lång kranarm med klo. Med högrivaren plockas byggelement ner bit för bit, en våning i taget, ovanifrån och ner. Stålprofiler kapas med *plasmaskärare* och monteras ner med hjälp av högrivaren. Avlastning utgjorde inget problem i detta fall, då våningsplanen ovanför redan var rivna. Såväl NCC som det rivningsbolag de använde bedömde att demontering av stålprofilerna var relativt lätt att genomföra. Rivningsbolagets representanter var lite skeptiska till en början, men när arbetet väl kommit igång gick det problemfritt med såväl demontering som att flytta och transportera stålprofilerna; detta tog inte mycket längre tid än andra liknande moment. Varje stålprofil togs ner i nära fullängd; vid demonteringen kapades i infästningspunkterna, vilket lämnade kvar en liten del från varje profil. Stålprofilerna granskades okulärt efter demontering, men inga skador noterades. Efter demontering lät NCC från vardera av tre balkar och en pelare kapa av en meterlång sektion, som RISE hämtade upp och transporterade till laboratoriet i Borås.

Ett alternativ för framtida demontering är att istället för högrivare använda en så kallad *brokk*, som är en liten maskin som kan riva eller bila av betong inne i byggnaden på våningsplanet, innan totalrivning. Högrivaren används för snabb rivning, ner hela strukturen plockas ner ovanifrån och ner.



Figur 14 Ritning över våningsplan 3 som visar provtagningspunkter för balkar.



Figur 15 Ritning över våningsplan 3 som visar provtagningspunkter för pelare.



Figur 16 Balk B18. Balkens läge i byggnaden (t.v.) och den kapade sektion som RISE hämtat till laboratoriet i Borås för analyser och provningar (t.h.). Sektionens mått: 360*170*1250 mm.



Figur 17 Balk B10 Foto på den kapade sektionen av stål balk som RISE hämtat till laboratoriet i Borås för analyser och provningar. Sektionens mått: 125*55*1000 mm.



Figur 18 Balk B1. Balkens läge i byggnaden (t.v.) och den kapade sektionen som RISE hämtat till laboratoriet i Borås för analyser och provningar (t.h.). Sektionens mått: 300*125*760 mm.



Figur 19 Pelare P28. Pelarens läge i byggnaden (t.v.) och den kapade sektionen som RISE hämtat till laboratoriet i Borås för analyser och provningar (t.h.). Sektionens mått: 95*95*1000 mm.

3.5 Provning i laboratorium

Konstruktionsstål har tre huvudegenskaper som kan variera mycket och ska ingå i en karakterisering av stålet [W. Husson, O. Lagerqvist, Återbruk av Stålkomponenter, SBUF Rapport 13488, 2018]:

- Hållfasthet
- Seghet
- Kemisk sammansättning

Hållfasthetsvärden (sträck- och brottgräns) är oftast de som är avgörande vid dimensionering av konstruktionsstål. Seghet avser i detta sammanhang stålets förmåga att plasticera och få stora deformationer innan brott. Detta kan ge en förvarning om att brott kan vara nära förestående.

Den kemiska sammansättningen tas i beaktning främst i svetsade konstruktioner då olika legeringshalter påverkar svetsbarheten. Kolekvivalenten är ett sammanvägt mått av de betydande legeringsämnen som påverkar svetsbarheten.

Efter demontering, kapning och transport av de avkapade balk- och pelarsegmenten till RISE i Borås, togs prover ut från dessa. Nedan bilder visar hur proverna har tagits ut från en balk (Figur 20), där en ”puck” tagits ut från balkens fläns och en bit från balkens liv. Pucken analyseras med avseende på kemisk sammansättning och på provet från livet provas mekaniska egenskaper.



Figur 20 Exempel på uttag av provbit, "puck", ur balk, för analys av kemisk sammansättning.



Figur 21 Exempel på uttag av provbit i livet på balk, för vidare provning av mekaniska egenskaper.

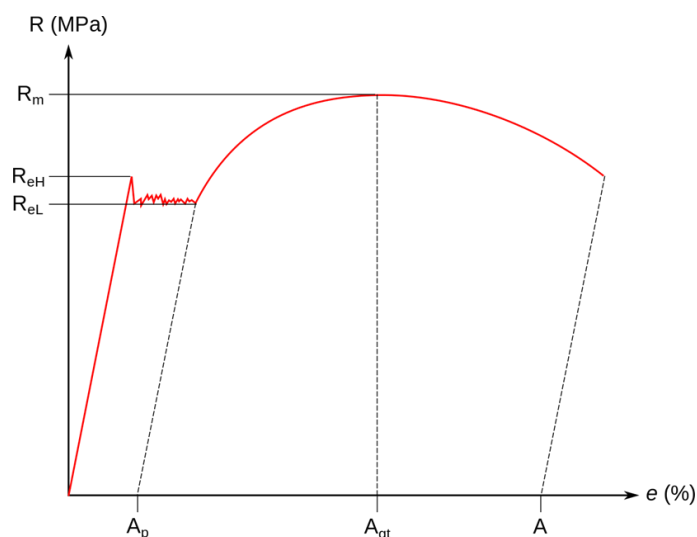
3.5.1 Mekaniska egenskaper

De viktigaste mekaniska egenskaperna vid dimensionering av stålkonstruktioner är

[W. Husson, O. Lagerqvist, Återbruk av Stålkomponenter, SBUF Rapport 13488, 2018]:

- Sträckgränsen, R_{eH}
- Brottgränsen, R_m
- Brottförlängning, A
- Slagseghet

Hållfastheten för stål anges normalt med sträckgränsvärdet och brottgränsvärdet. Sambandet mellan spänning och töjning benämns *arbetskurvan* (Figur 22). Eventuellt kan deformationer i tjocklekriktningen (tvärkontraktion) och inre spänningar i valsade konstruktioner vara av intresse.



Figur 22 Arbetskurvan för varmbearbetat stål.

I denna rapport begränsades de mekaniska provningarna till att inkludera sträckgräns, brottgräns och brottförlängning. Resultaten presenteras i Tabell 4 till Tabell 7.

Dragprovning utfördes enligt SS-EN ISO 6892-1:2019 B. Dragprovstavar tillverkades av RISE från de demonterade stålprofilerna. Provstavarna uttogs från balkarnas flänsar i längsriktning, ett prov per sida. Från balkarnas liv uttogs en provstav i balkens längsriktning och om möjligt ett prov i tvärriktning. Alla provstavar tillverkades med full plåttjocklek, förutom de från flänsar med varierande godstjocklek, där ena sidan planslipades. Från pelaren P28 uttogs en provstav per sida i balkens längsriktning.

Tabell 4 Resultat mekaniska egenskaper balk B1

Prov märkning	Objekt	Läge ¹⁾	Övre sträckgräns, R_{eH} N/mm ²	Brottgräns, R_m N/mm ²	Brottförlängning, A %
1	B1 fläns ²⁾	L	308	379	25,5
2	B1 fläns ²⁾	L	317	402	35,5
3	B1 fläns ²⁾	L	338	408	29
4	B1 fläns ²⁾	L	297	398	33,5
Medel			315	397	31
Std. Av.			17	13	4
5	B1 liv	L	314	394	34
6	B1 liv	T	326	389	26,5
Medel			320	392	30
Std. Av.			8	4	5

1) Läge: L= längs och T= tvärs, 2) En sida slipad

Tabell 5 Resultat mekaniska egenskaper balk B10

Prov märkning	Objekt	Läge ¹⁾	Övre sträckgräns, R_{eH} N/mm ²	Brottgräns, R_m N/mm ²	Brottförlängning, A %
7	B10 fläns ²⁾	L	284	342	39
8	B10 fläns ²⁾	L	278	342	35,5
9	B10 fläns ²⁾	L	293	347	33,5
10	B10 fläns ²⁾	L	283	350	32
Medel			285	345	35
Std. Av.			6	4	3
11	B10 liv	L	337	396	27,5

1) Läge: L= längs och T= tvärs, 2) En sida slipad

Tabell 6 Resultat mekaniska egenskaper balk B18

Prov märkning	Objekt	Läge ¹⁾	Övre sträckgräns, R_{eH} N/mm ²	Brottgräns, R_m N/mm ²	Brottförlängning, A %
1	B18 fläns	L	260	362	37,5
2	B18 fläns	L	265	362	38,5
3	B18 fläns	L	254	367	42
4	B18 fläns	L	271	363	39,5
Medel			263	364	39
Std. Av.			7	2	2
5	B18 liv	L	305	401	41,5
6	B18 liv	T	287	405	31,5
Medel			296	403	37
Std. Av.			13	3	7

1) Läge: L= längs och T= tvärs

Tabell 7 Resultat mekaniska egenskaper pelare P28

Prov märkning	Objekt	Läge ¹⁾	Övre sträckgräns, R_{eH} N/mm ²	Brottgräns, R_m N/mm ²	Brottförlängning, A %
12	B9	L	404	525	35,5
13	B9	L	417	524	36
14	B9	L	422	530	36
15	B9	L	433	538	36,5
Medel			419	529	36
Std. Av.			12	6	0

3.5.2 Kemisk analys

I Trafikverkets säkerhetsstyrningssystem för järnväg [Trafikverket TDOK 2012:23] anges att i den kemiska analysen ska stålets andel, uttryckt i viktsprocent, av följande grundämnen framgå:

- Kol (C)
- Kisel (Si)
- Mangan (Mn)
- Fosfor (P)
- Svavel (S)
- Krom (Cr)
- Nickel (Ni)
- Koppar (Cu)
- Molybden (Mo)
- Vanadin (V)

Beräkning av kolekvivalenten:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni + Cu}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{5}$$

Bestämning av legeringselement gjordes med våglängdsdispersiv röntgenfluorescens (WDXRF), enligt metod SP1494. Proven slipades före analys. Det instrument som användes var en ARL Advant'X Intellipower™ 3600 XRF Uniquantometer (Figur 23).



Figur 23 ARL Advant'X Intellipower™ 3600 XRF Uniquantometer.

Principen för WDXRF är att ett röntgenrör i instrumentet sänder ut ett brett spektrum av röntgenstrålar, som träffar provet. Denna primära röntgenstrålning exciterar de atomer av olika grundämnen som finns i provet, med följden att de fluorescerar och emitterar sekundära röntgenstrålar av olika våglängder, där varje specifik (*karaktäristisk*) våglängd är specifik för ett visst grundämne. Den sekundära strålningen delas upp i olika våglängdsspann med hjälp av en monokromator och de olika våglängderna träffar en detektor (t.ex. gasflödes- eller scintillationsdetektor). Genom att använda flera olika monokromatorer eller genom att använda en goniometer kan ett högre upplöst spektrum eller delar av spektrum tas fram för ett våglängdsintervall av särskilt intresse. Ström och spänning till röntgenröret kan varieras så att olika delar av spektrumet exciteras, om man tex vill analysera specifika grundämnen med större

noggrannhet och lägre detektionsgräns (generellt ökar energin som krävs för excitation med atomvikten och motsvarande minskar då våglängden för den sekundära röntgenstrålning som emitteras). För att minska bakgrundsstrålningen eller öka excitationen för delar av spektrumet kan filter gjorda av olika ämnen sättas mellan röntgenröret och provet. Den karaktäristiska strålningens intensitet (dvs. topphöjd i detekterat spektrum), tillsammans med en kalibrering mot en liknande matris som för provet, ger halter av olika grundämnen i provet. För det instrument som användes finns tre filter inbyggda och kalibrering för bland annat matrisen *stål*.

Det finns några begränsningar med metoden. Om ett grundämne finns i provet i hög halt men inte finns med i kalibreringen, så kommer resultatet av analysen vara felaktigt. Instrumentet kräver att provet som analyseras går in i en rund analyskopp med diameter 50 mm och höjd 30 mm. För analys av stål så är metoden endast en ytanalys, speciellt för lättare grundämnen såsom kisel, svavel och fosfor. Detta då den primära röntgenstrålningen (från röntgenröret), men framförallt den sekundära strålningen (från exciterade grundämnen), endast tränger genom stålet en kort sträcka.

Resultatet av den kemiska analysen presenteras i Tabell 8. Den andel som kvarstår för att summera till en total på 100 vikt-% utgörs av järn (Fe). Fe-halten är således ca 99 vikt-%. Beräknad kolekvivalent ges i Tabell 9.

Tabell 8 Kemisk analys våglängdsdispersiv röntgenfluorescens

Grundämne	B1	B10	B18	P28
	vikt-%			
C*	0,060	0,052	0,090	0,159
Cr	0,01	0,02	0,02	0,01
Cu	0,02	0,02	0,03	0,02
Mn	0,58	0,40	0,55	1,40
Ni	0,04	0,04	0,06	0,02
P	0,05	0,04	0,01	0,01
Si	<0,10	0,10	<0,10	0,26
S	0,12	0,08	<0,01	0,01
Mo	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
V	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fe	rest	rest	rest	rest

*Analys enligt metod SP0653

Tabell 9 Kolekvivalent beräknad från kemiska analysdata från förstörande provning

Kolekvivalent	B1	B10	B18	P28
	0,17	0,13	0,20	0,40

3.5.3 Icke-förstörande provning

3.5.3.1 Kemisk analys

De oförstörande kemiska analyserna utfördes med en handhållen XRF (Thermo Niton XL3t 950 GOLDD+ (Figur 24). Principen är att ett röntgenrör sänder ut ett brett spektrum av röntgenstrålar som träffar provet. Röntgenstrålningen exciterar grundämnena i provet, så att de fluorescerar och emitterar röntgenstrålar med för varje grundämne specifika våglängder. Den från provet utsända strålningen detekteras med en energidispersiv detektor och ett spektrum produceras. Genom att variera ström och spänning till röntgenröret kan olika delar av spektrumet exciteras. För att minska bakgrundsstrålningen eller öka excitationen för delar av spektrumet kan filter gjorda av olika ämnen sättas mellan röntgenröret och provet. Topphöjden, tillsammans med en kalibrering med en liknande matris som för provet, ger halter av olika grundämnen i provet. För instrumentet som användes finns fyra filter inbyggda och kalibrering för bland annat stål.

Instrumentet kan endast användas för matriser och grundämnen för vilka det finns kalibrering. Störningar med XRF är många och då inte alla ämnen mäts görs inte heller alla korrektioner; viktiga lätta grundämnen som inte mäts är bor, kol, kväve, syre, fluor, natrium och magnesium. Även resultat för aluminium och kisel kan vara osäkra. För analys av stål med XRF är metoden endast en ytanalys, speciellt för lättare grundämnen såsom kisel, svavel och fosfor. Detta då röntgenstrålningen från röntgenröret, men framförallt strålningen från de exciterade grundämnena, endast tränger genom materialet en väldigt kort sträcka.

Resultaten från den kemiska analysen med handhållen XRF presenteras i Tabell 10.



Figur 24 Handhållen XRF för oförstörande kemisk analys.

Tabell 10 Resultat kemisk analys med handhållen XRF

Grundämne	B1	B10	B18	P28
	vikt-%			
Cr	0,10	<0,10	0,10	0,10
Cu	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Mn	0,60	0,40	0,50	1,40
Ni	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
P	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Si	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
S	<0,10	0,20	<0,10	<0,10
Mo	<0,10	<0,01	<0,10	<0,10
V	<0,10	<0,01	<0,10	<0,10
Fe	rest	rest	rest	rest

3.5.3.2 Hårdhetsmätning

Det finns inga oförstörande provningsmetoder för att direkt bestämma ståls mekaniska egenskaper. Hårdhetsprovning är dock en oförstörande provning som ger en indikation på brottgränsen. Stålprofilerna undersöktes med den portabla hårdhetsmätaren EQUOTIP (Figur 25) från proceq.

Denna hårdhetsmätare är konstruerad för provning av metalliska material vars hårdhet sträcker sig från mycket låga till mycket höga värden. Hårdhetsprovningen kan utföras direkt på stålprofilens plats i konstruktion eller på stålprofiler som har demonterats. Under testet stöter en slagkropp utrustad med en sfäriskt formad volframkarbidspets mot provstyckets yta. Hårdhetsvärdet (L) beräknas utifrån förhållandet mellan slag- och returhastighet och anges i apparatens display. L-värdet kan konverteras till hårdhetsvärden för andra hårdhetsprovningar, så som Brinell, Rockwell och Vickers.

Konverteringstabeller mellan olika skalor för vanliga stål anges i SS-EN ISO 18265:2013. I denna standard anges även stålets brottgräns relaterat till hårdhetsvärdet. L-värdena som mättes upp konverterades till värden i Vickers skalan (tabell i utrustningsmanualen) och vidare till brottgräns med konverteringstabellen A1 i SS-EN ISO 18265:2013.

Det måste påpekas att testobjektets tjocklek och massa påverkar all hårdhetstestning. Standarden (SS-EN ISO 16859-1:2015) för provningsutförande av den använda metoden kräver en minsta tjocklek på 25 mm och en minsta massa på 5 kg. Detta för att förhindra böjning och deformation av den stora kraften som skapas vid provning. Då testobjekten i detta fall har en tjocklek som understiger den i standarden angivna ska detta beaktas vid tolkning av resultaten.

Mätningarna började med att kontrollera utrustningen mot ett metallstycke som ingår i utrustningen och används som referens med känd hårdhet ($L = 838 \pm 6$). Resultaten från kontrollprovningen presenteras i Tabell 11.

Tabell 11 Kontrollmätning mot referens

Kontrollprovning	1	2	3	4	medel	STDAV
Ref. 838 ± 6	820	825	840	863	837	15

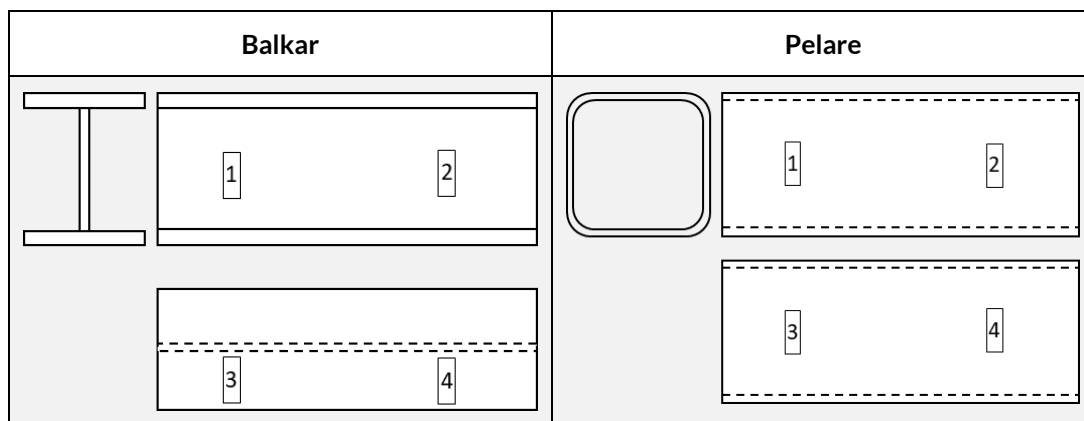


Figur 25 Portabel hårdhetsmätare (EQUOTIP proceq).

Innan stålprofilerna testades så slipades ytorna manuellt med sandpapper. För varje stålprofil valdes fyra mätpunkter och 5 mätningar utfördes vid varje mätpunkt (Figur 26). Mätsonden flyttades något inför varje mätning, vilket föreskrivs i metodmanualen. Mätpunkter och resultat visas i Figur 27 och Tabell 12.



Figur 26 Hårdhetsmätning med portabel mätare.



Figur 27 Mätpunkter för hårdhetsprovning.

Tabell 12 Resultat från hårdhetsprovning med portabel mätare

Balk B1 (300x125, t _{liv} = 10,6, t _{fläns} = 12, 5 mm)					
Mätpunkt	L-värde		Vickers-skalan	Brottgräns*	Medel brottgräns
	Medel	Std Av	HV	MPa	MPa
1 Liv	327	14	93	294	290
2 Liv	322	24	91	287	
3 Fläns	352	12	108	342	329
4 Fläns	338	12	100	316	
Balk B10 (125x55, t _{liv} = 6, t _{fläns} = 6 mm)					
Mätpunkt	L-värde		Vickers-skalan	Brottgräns*	Medel brottgräns
	Medel	Std Av	HV	MPa	MPa
1 Liv	300	22	80	252	263
2 Liv	314	36	87	274	
3 Fläns	339	14	100	316	310
4 Fläns	333	14	96	303	
Balk B18 (360x170, t _{liv} = 9, t _{fläns} = 12 mm)					
Mätpunkt	L-värde		Vickers-skalan	Brottgräns*	Medel brottgräns
	Medel	Std Av	HV	MPa	MPa
1 Liv	330	5	95	300	295
2 Liv	324	12	92	290	
3 Fläns	344	18	103	326	332
4 Fläns	350	15	107	338	
Pelare P28 (95x95x5 mm)					
Mätpunkt	L-värde		Vickers-skalan	Brottgräns*	Medel brottgräns
	Medel	Std Av	HV	MPa	MPa
1	359	16	113	358	310
2	332	14	96	303	
3	314	14	87	274	
4	334	28	97	306	

*Brottgräns enligt konverteringstabellen A1 i SS-EN ISO 18265:2013

3.6 Resultat och analys

Ansatsen i detta kapitel är att utvärdera resultaten från laborietesterna med fokus på två delar: först en jämförelse av resultat från förstörande respektive icke-förstörande provningar, i syfte att utvärdera lämplighet i att använda en viss icke-förstörande metod som indikator på materialets eller byggdelsens egenskaper och prestanda, samt hur man i så fall bäst tillämpar metoden. Därefter sätts resultaten från testerna i relation till gällande material- och byggnadsdelskrav.

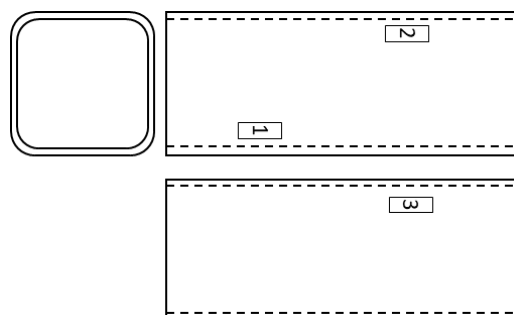
3.6.1 Jämförelse icke-förstörande och förstörande provningar

En jämförelse av brottgränsen mellan icke förstörande provning och förstörande provning presenteras i Tabell 13. För balkarna underskattas brottgränsen med ca 20% med den icke-förstörande metoden. För pelaren P28 är underskattningen ca 40%. Detta kan förklaras med att de provade profilernas tjocklek är <25 mm och där speciellt pelaren (P28) är mycket tunnare (5 mm).

Tabell 13 Jämförelse mellan icke förstörande och förstörande provning av brottgränsen (R_m)

Provkropp	Icke förstörande	Förstörande	Skillnad
	N/mm		%
B1	310	395	22
B10	286	355	19
B18	314	377	17
P28	310	529	41

För pelaren P28 som är av typ VKR med en annan geometri och tjocklek (tunnare) än balkarna (I-balkar) utfördes en extra omgång hårdhetsmätning. Vid detta tillfälle utfördes mätningen närmare kanten jämfört med första mätningstillfället (Figur 28) där det kan antas att inverkan av böjning och deformation påverkar mätresultatet mindre.



Figur 28 Mätpunkter för extra hårdhetsprovning av pelaren P28.

Resultaten från den extra hårdhetsprovningen av pelare P28 presenteras i Tabell 14. Medelvärde av dessa mätningar som utfördes där mätpunkterna hade placerats nära kanten på pelaren (se Figur 1Figur 28) visade sig överskatta brottgränsen med ca 7% jämfört med förstörande provning. Den stora skillnaden i resultat för pelare P28 visar att det icke förstörande testet som använts kan ge stora skillnader på resultaten beroende på stålprofilens geometri. Dessa skillnader noterades inte för balkarna med I-profil.

Tabell 14 Resultat från extra hårdhetsprovning av pelare P28

Extra mätning Balk P28 (95x95)					
Mätpunkt	L-värde		Vickers-skalan	Brottgräns*	Medel brottgräns MPa
	Medel	Std Av		MPa	
1	446	9	180	572	566
2	439	10	174	553	
3	436	9	171	543	

*Brottgräns enligt konverteringstabellen A1 i SS-EN ISO 18265:2013

En jämförelse mellan icke-förstörande och förstörande provning av den kemiska sammansättningen presenteras i Tabell 15. För flera grundämnen ger den icke-förstörande provningen en halt som är 5-10 gånger den från förstörande dito; detta gäller tex krom, och delvis för koppar, fosfor, svavel, molybden och vanadin. För nickel ser det bättre ut då icke-förstörande provning ger 1-2 gånger den halt som den förstörande analysen ger, medan mangan och kisel ger i stort sett samma resultat.

Tabell 15 Jämförelse förstörande och icke-förstörande kemisk analys

Grundämne	B1	B10	B18	P28
	Förstörande/Icke-förstörande (vikt-%)			
Krom, Cr	0,01	0,02	0,02	0,01
	0,10	<0,10	0,10	0,10
Koppar, Cu	0,02	0,02	0,03	0,02
	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Mangan, Mn	0,58	0,40	0,55	1,40
	0,60	0,40	0,50	1,40
Nickel, Ni	0,04	0,04	0,06	0,02
	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Fosfor, P	0,05	0,04	0,01	0,01
	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Kisel, Si	<0,10	0,10	<0,10	0,26
	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Svavel, S	0,12	0,08	<0,01	0,01
	<0,10	0,20	<0,10	<0,10
Molybden, Mo	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
	<0,10	<0,01	<0,10	<0,10
Vanadin, V	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	<0,10	<0,01	<0,10	<0,10

I Tabell 16 presenteras en jämförelse av kolekvivalent beräknad med analysresultat från de två olika provningstyperna. Här är inte skillnaderna mellan icke-förstörande och förstörande provning lika stora som för de enskilda analyserna; kolekvivalent för förstörande provning är konsekvent ca 25% lägre än för icke-förstörande provning. Detta beror på att de grundämnen som styr mest vid beräkning av kolekvivalent är kol och mangan; kol har i båda beräkningarna tagits från den förstörande provningen, då den teknik som valts för icke-förstörande provning inte analyserar kol, medan mangan är det grundämne för vilket överensstämmelsen mellan förstörande och icke-förstörande provning var bäst. För att icke-förstörande provning ska kunna användas fullt ut i detta sammanhang, så måste en icke-förstörande metod som också analyserar kol användas (tex Optisk emissionsspektroskopi, OES).

Tabell 16 Jämförelse kolekvivalent beräknad från förstörande respektive icke-förstörande analys

Kolekvivalent	B1	B10	B18	P28
Förstörande analys	0,17	0,13	0,20	0,40
Icke-förstörande analys*	0,23	0,16	0,25	0,47

*Värde för C (kol) har tagits från förstörande provning

3.6.2 Kolekvivalent i relation till kravbild

Vid jämförelse mot EN-standarder för stål och den högsta kolekvivalent ett stål får ha för olika stålsorter, så klarar alla balkarna maxgränserna för alla stålsorter (Figur 29). Detta oavsett om värde för kolekvivalent tas från förstörande eller icke-förstörande provning. Kolekvivalent för pelaren avviker dock, i att såväl värde för förstörande som det för icke-förstörande tangerar eller tom överskrider maxvärde i flera fall. I det här fallet är det dock bra att de icke-förstörande analyserna överskattar kolekvivalent och med andra ord är på den säkra sidan. Tittar vi bara på kolekvivalent från förstörande analys så klarar pelaren kemiska krav för alla stålsorter, utom för S235 (Figur 29).

Stålsort	S235	S275	S355	S420	S460
EN 10025, EN 10219	0,35	0,40	0,45	0,43	0,53
EN 10210	0,39	0,43	0,47	0,52	0,55

Figur 29 Tabell som visar max kolekvivalent för olika stålsorter, enligt tre olika EN-standarder för stål. Källa: Husson W och Lagerqvist O, 2020: *Prospekteringsmetodik för återanvändning av stålkonstruktioner*.

3.6.3 Antagen stålsort från testresultat

För att utvärdera hur resultaten från den förstörande mekaniska provningen (Tabell 4 - Tabell 7) relaterar till gällande krav, så har dessa jämförts med värdena i Tabell 17 [Husson W, Lagerqvist O: *Prospekteringsmetodik för återanvändning av*

stålkonstruktioner, 2020]. Varje element måste uppfylla alla kriterier i Tabell 17 för att den ska antas tillhöra en identifierad stålsort. En klassning av analyserade stålprofiler enligt detta förfarande redovisas i Tabell 18.

Tabell 17 Identifiering av stålsort från testresultat [Husson W, Lagerqvist O: Prospekteringsmetodik för återanvändning av stålkonstruktioner, 2020]

Acceptanskriterier				
Stålsort	$R_{eH} \geq$ [MPa]	$R_m \geq$ [MPa]	Brottförlängning ($L_0 = 5,65\sqrt{A_0}$)	R_m/R_{eH}
S235	267	396	$\geq 15 \%$	$\geq 1,10$
S275	313	452		
S355	391	505		
S420	463	559		
S460	490	560		

Tabell 18 Utvärdering mekaniska egenskaper relativt Husson och Lagerqvist 2020

Objekt	ReH, lägsta värde		Rm, lägsta värde		A, lägsta värde		Rm/ReH	
	Resultat	Stålsort	Resultat	Stålsort	Resultat	OK?	Resultat	OK?
B1	297	S235	379	-	26	Ja	1,19	Ja
B10	278	S235	342	-	28	Ja	1,18	Ja
B18	254	-	362	-	38	Ja	1,31	Ja
P28	417	S355	524	S355	36	Ja	1,24	Ja

ReH = sträckgräns, Rm = brottgräns

Det poängteras både i [Husson W, Lagerqvist O: Prospekteringsmetodik för återanvändning av stålkonstruktioner, 2020] och i [D.G. Brown, R.J. Pimentel, M.R. Sansom: STRUCTURAL STEEL REUSE ASSESSMENT, TESTING AND DESIGN PRINCIPLES, SCI PUBLICATION P427, 2019] att 1970 är ett gränssår när det gäller återbruk av stålkonstruktioner. Detta för att materialegenskaperna för stål tillverkat efter 1970 har beaktats vid framtagandet av moderna konstruktionsstandarder (Eurokod) och att stålsorter introducerades med egenskaper motsvarande dagens stålsorter. För återbruk av stål som är äldre ska en mer omfattande förstörande provning utföras och utvärderas statistiskt, för att korrekt definiera de mekaniska egenskaperna.

Den enda av de testade stålprofilerna som med avseende på hållfasthetsegenskaper uppfyller något av kraven i Tabell 17, är P28, som motsvarar stålsort S355. Denna stålsort är ett traditionellt konstruktionsstål som används i bärande konstruktioner inom byggindustrin.

3.7 Slutsatser

Icke-förstörande provning av balkar undervärderar stålets brottgräns med 20 %, medan den för pelaren antingen undervärderas med 40 % eller övervärderas något (dock endast med <10%), beroende på var i pelaren mätning utförs. Icke-förstörande provning med portabel hårdhetsmätare ger i undersökt fall därmed en konservativ indikation om stålets brottgräns och är därmed ett verktyg vars tillämpning bör undersökas närmare. Innan mer erfarenhet har inhämtats och fler korrelationer mellan portabelt uppmätt hårdhet och brottgräns gjorts, bör metoden dock användas med försiktighet och korrelation mellan de två metoderna undersökas i varje nytt fall, där befintlig stålkonstruktion undersöks i återbrukssyfte.

Icke-förstörande provning är en utmärkt metod för att vid platsundersökning utföra en screening av alla byggnadsdelarna och utifrån resultaten kategorisera dessa i olika grupper, som förutsätts ha mer eller mindre homogena egenskaper. Genom att varje grupp provtas och provas med förstörande provning, så kan omfattningen av den förstörande provningen minimeras och ändå antas vara representativ för hela beståndet.

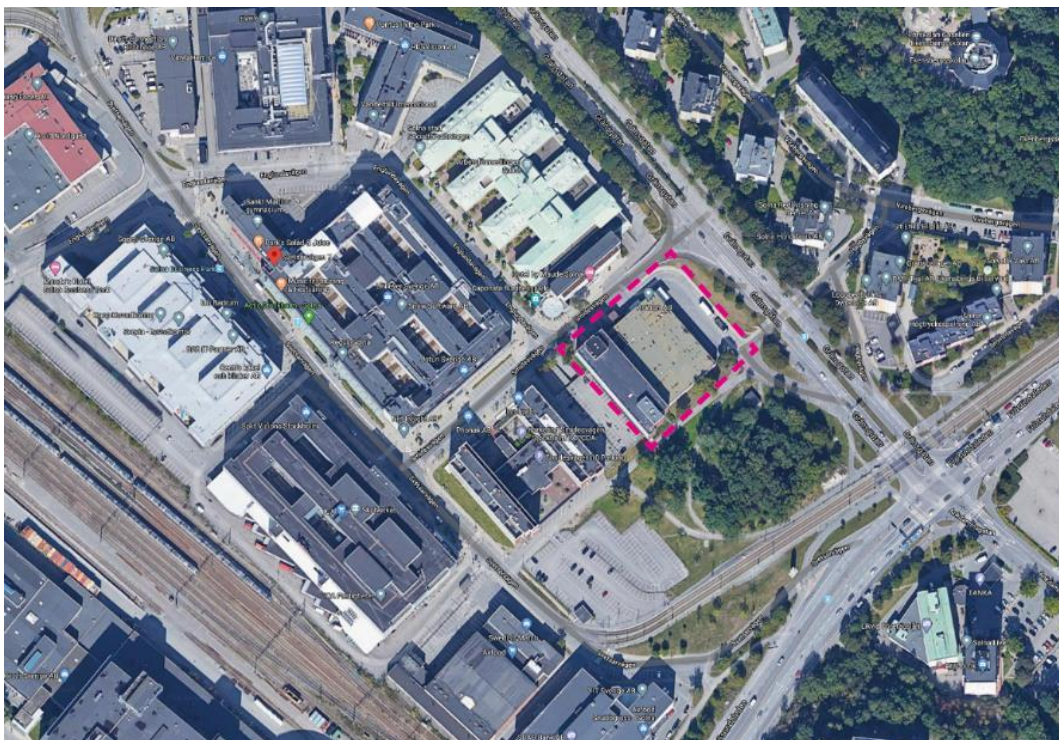
Icke-förstörande kemisk analys av det stål som i projektet har undersökts gav varierande resultat när det gäller legeringsgrundämnen, med alltifrån kraftigt överskattade halter (tex krom och vanadin) till halter som stämde mycket väl överens med resultat från förstörande analys (mangan och kisel). Koncentrationerna av legerande grundämnen i stålet är dock generellt låga (promillenivå), vilket förstärker de relativa skillnaderna; mangan, som ger bäst överensstämmelse, har en koncentration som är upp till 140 gånger så hög som de lägsta övriga. Eftersom mangan också styr mest i beräkning av kolekvivalent, tillsammans med kolhalt som bara analyserats med förstörande metod, så ger icke-förstörande provning blott en överskattning på 25–30 % mot förstörande analys. Även för denna metod rekommenderas dock att korrelation etableras mellan förstörande och icke-förstörande provning av stål i varje nytt projekt, tills tillräcklig erfarenhet byggts upp kring hur väl den indikativa icke-förstörande metoden fungerar. En möjlig icke-förstörande metod för att mäta kolhalt är optisk emissionsspektroskopi (OES). Dock ska inte för mycket fokus läggas på kolekvivalent, som är en egenskap som är viktig vid svetsning. Vid ett eventuellt återbruk bör ju design för framtida demontering eftersträvas, med användning av skruvförband istället för svetsförband.

Den enda av de testade stålprofilerna som med avseende på hållfasthetsegenskaper uppfyller något av kraven var pelaren (P28), som motsvarade stålsort S355. Ingen av balkarna klarade någon av klasserna för modernt stål; två av dem klarade krav vad gäller sträckgräns, men inte brottgräns. En förklaring kan vara de olika åldrarna. Enligt uppgift från NCC och den okulära besiktningen uppskattas pelaren vara från 1970-talet, medan balkarna är äldre och därmed inte tillverkade enligt moderna kravspecifikationer. Vid framtagande av sådana (Eurokod) har materialegenskaper motsvarande dagens stålsorter legat till grund (1970-talet och framåt).

4 Pilotobjekt Kv. Yrket 3

Kv. Yrket 3 ligger i Solna Business Park (Figur 30). Vid första besöket, 2020-05-29, tittade representanter från RISE, Codesign, NCC och Fabege på flera byggnader i Solna Business Park, med syftet att hitta en eller flera lämpliga byggnader för vidare undersökning. Bland dessa valdes Kv. Yrket 3 ut som pilotobjekt. Byggnaden ägs av företaget Fabege och består av en kontorsdel på 3 våningar och en lagerlokal med högt i tak i en stor del av den (Figur 31).

Delar av detta kapitel (Besök 1, 2 och 3, dvs. inledande besök, platsundersökning, samt första provuttaget och tryckhållfasthetsprovningsen) bygger på rapport P104610 (Ghassem Hassanzadeh, RISE).



Figur 30 Kartutsnitt från Eniro, som visar läget för Kv. Yrket 3 i Solna Business Park. Tomten gränsar i NV mot Smidesvägen, i NO mot Grängsgatan.

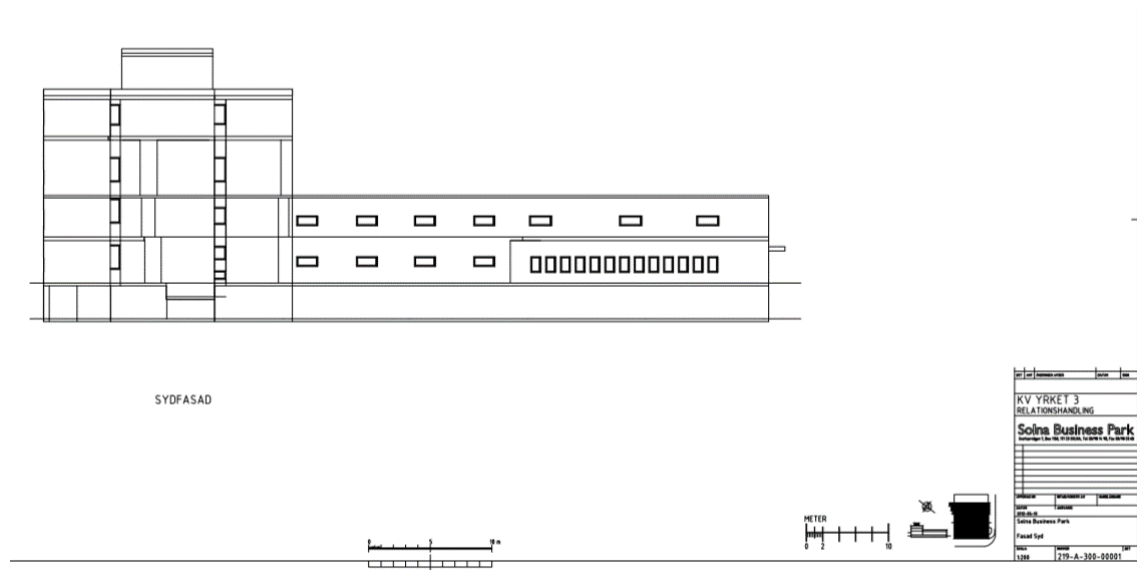


Figur 31 Byggnaden Yrket 3 i Solna.

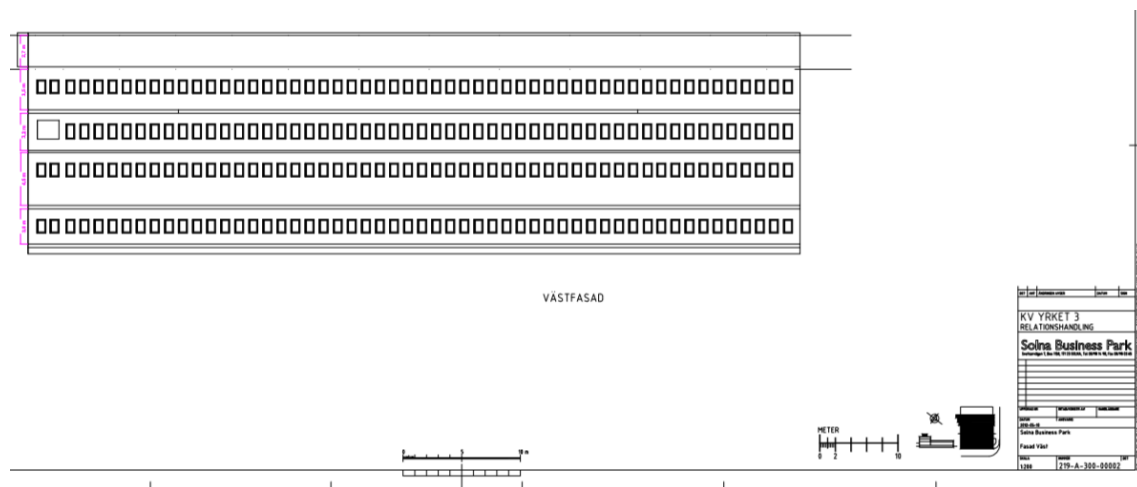
4.1 Bakgrund och platsbesök

Vid första besöket visade en kortare inspektion att Yrket 3 mestadels är byggt av prefabricerade betongdelar, förutom hisschaktet, som var svåråtkomligt att undersöka. Kontorsdelen består av prefabricerade envånings-höga pelare, sammanbindande balkar, samt bjälklag av håldäck. Befintlig dokumentation föreligger främst i form av relationsritningar; några exempel återfinns i Figur 32, Figur 33, Figur 34 och Figur 35. Dessa omfattar dock inte detaljer om alla ingående betongdelar eller anslutningar. Den granskning av Yrket 3 som presenteras i denna rapport begränsas till observationer på åtkomliga delar, utan att gå in på kontrollberäkningar av varje typ av konstruktionsdelar.

Figur 36 visar ritning över plan 3, där en mindre del valdes ut för undersökning inom pilotprojektet (se markering i figuren).



Figur 32 Ritning som visar sydfasaden (Källa: Fabege).



Figur 33 Ritning som visar västfasaden (Källa: Fabege).

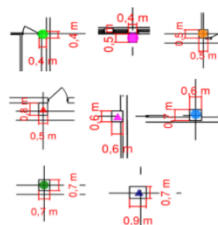
Innan inventering och kartläggning genomfördes av RISE på plats, så gjorde NCC en inventering och mängdning av de olika typerna av bjälklag, pelare och balkar. Resultatet från det arbetet återges i Figur 37.

Mängdning stomme Yrket 3 (approximativt)

Balkar (mängdat från centrum pelare)						Osäker om balk eller ej	
Längd	Sida i pdf	4,8 m (st)	6,0 m (st)	3,8 m (st)	1,9 m (st)	4,8 m (st)	6,0 m (st)
Plan -1	5	-	-	-	-	-	-
Plan 0	6	17	30	-	-	-	-
Plan 1	7	11	21	0	0	6	11
Plan 2	8	19	30	-	-	-	-
Plan 3	9	10	18	-	-	-	-
Plan 4	10	4	17	1	1	-	-
Summa		61	116	1	1	6	11

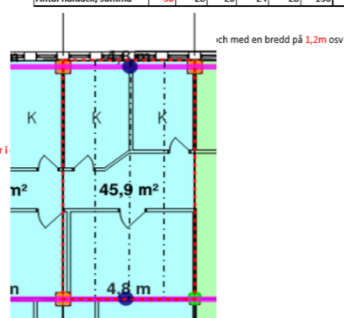
Pelare	Sida i pdf	Takhöjd (m)	0,4*0,4 (st)	0,4*0,5 (st)	0,5*0,5 (st)	0,5*0,8 (st)	0,6*0,6 (st)	0,6*0,7 (st)	0,7*0,7 (st)	0,7*0,9 (st)
Plan -1	5	2,7	4	-	14	2	1	4	46	3
Plan 0	6	3,5	33	-	29	-	-	7	-	-
Plan 1	7	3,2	18	13	35	-	-	-	-	-
Plan 2	8	4,5	3	-	32	-	-	-	-	-
Plan 3	9	3,0	2	-	32	-	-	-	-	-
Plan 4	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Pelarnas storlek och symbol (på ritning)



Rödsträckade markeringen = en sektion, innehåller i

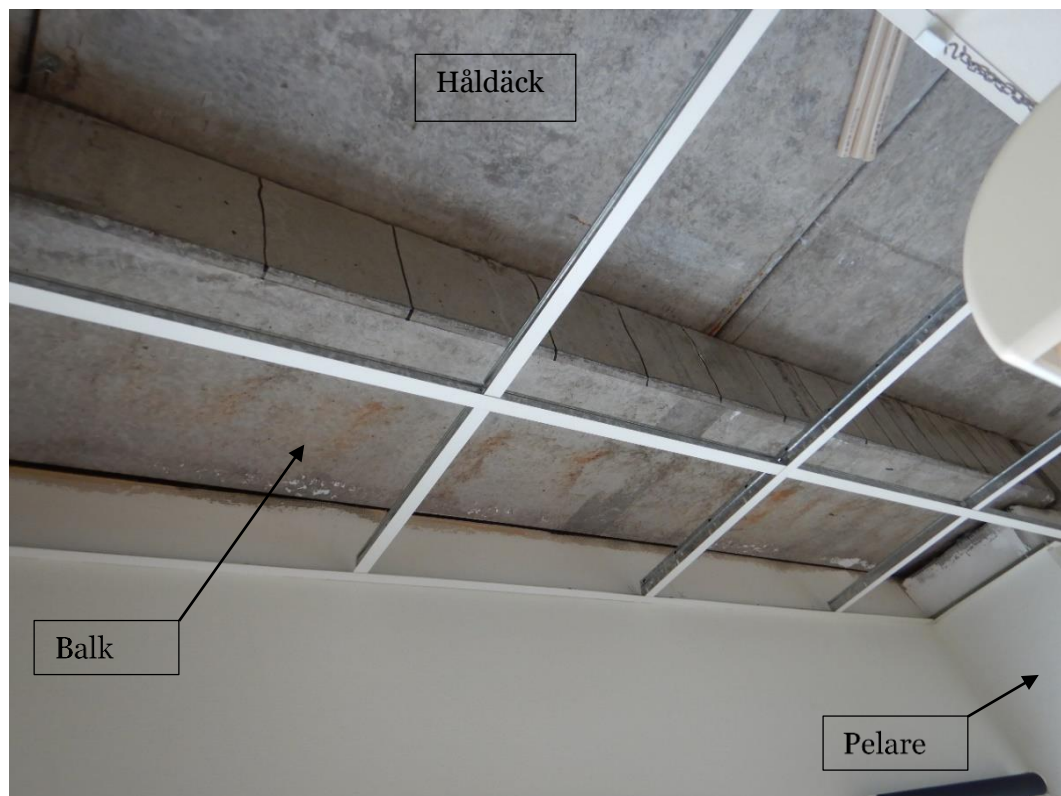
Bjälklag (mängdat från centrum pelare)												
Bredd (sektion, m)	4,8m (4 st x 1,2m)				6,0m (5 st x 1,2m)							
Längd (m)	9,5	9,6	9,7	19,2	19,8	9,5	9,6	9,7	19,2	19,8		
Plan -1 (st)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plan 0 (st)	3	3	-	2	3	6	6	-	5	6		
Plan 1 (st)	3	1	-	-	-	6	2	-	-	-		
Plan 2 (st)	3	3	-	4	4	6	6	-	6	6		
Plan 3 (st)	3	-	3	-	-	6	-	6	-	-		
Plan 4 (st)	2	-	2	-	-	6	-	6	-	-		
Antal sektioner (st)	14	7	5	6	7	30	14	12	11	12		
Hållräck per sektion (st)	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5		
Antal hållräck, summa	56	28	20	24	28	150	70	60	55	60		



Figur 37 Inventering och mængdning av bjälklag, pelare och balkar, utförd av NCC från existerande relationsritningar. Källa: Fabege och NCC.

4.2 Inventering och kartläggning

Vid andra besöket undersöktes de prefabricerade betongdelarna – pelare, balkar och bjälklagets håldäck – okulärt. Syftet var att kartlägga uppbyggnaden, hitta eventuella bompartier och skador (med hjälp av bomknackning), samt markera armeringsstängernas placering (med hjälp av Georadar). Armeringens placering är viktig att känna till innan man borrar ut betongprover från byggnadsdelen, så att inte själva provuttaget skadar armeringsstängerna. I Figur 38 visas de olika typerna av betongelement som ingår i stommen och som har undersökts i detta projekt.



Figur 38 De tre prefabricerade betongelementen: balk, pelare och bjälklagshåldäck.

Pelarna är av typen envånings-höjd. En pelare undersöktes med hjälp av Georadar för att markera placering av armeringsstängerna inför uttag av betongkärnor. Figur 39 visar både stående armeringsstänger och byglar i pelaren. Från vetskapen om armeringens läge har plats för uttag av betongkärna markerats, så att det kan göras utan att skada stängerna. Beslutar man sig för att återbruka en viss typ av konstruktionsdel, bör en del arbete läggas på att mäta armeringsstängernas dimensioner.



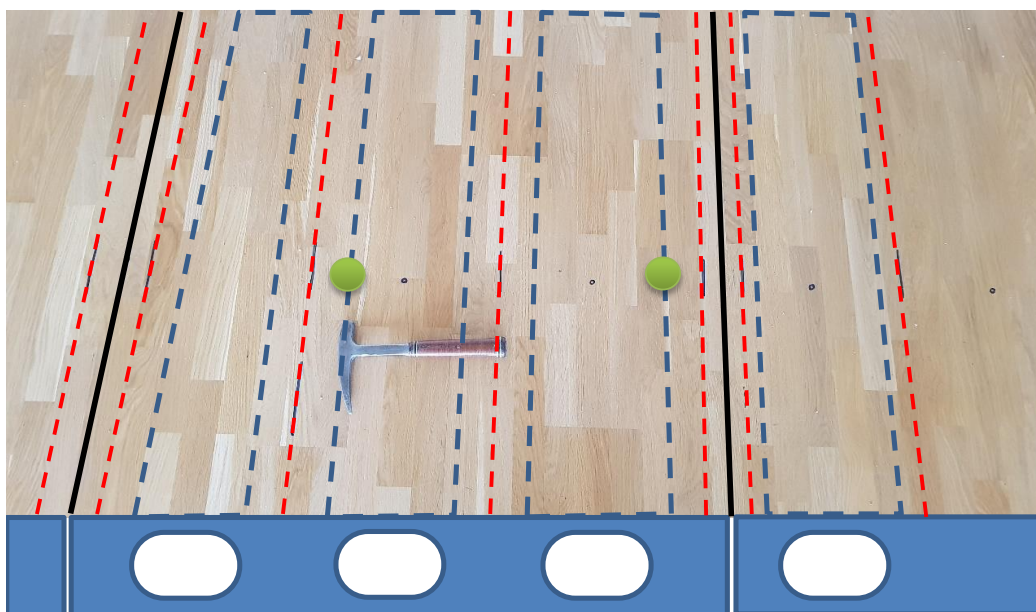
Figur 39 En pelare där stående armeringsstänger och liggande byglar har markerats med svarta streck (kartlagt med georadar). Plats för uttagning av betongkärna är markerad med gulgrön cirkel.

En balk undersöktes okulärt och med hjälp av en geologhammare, i syfte att upptäcka eventuella bompartier, samt med georadar för att identifiera armeringens position och markera denna. Figur 40 visar en balk där de befintliga byglarna har markerats på ytan.



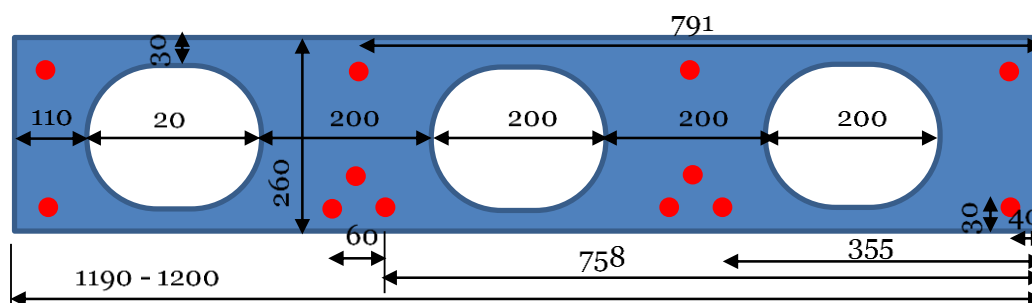
Figur 40 Balk med armeringsbyglar markerade med svarta streck (identifierade med georadar). Plats för uttagning av betongkärna är markerad med gulgrön cirkel.

Bjälklaget undersöktes från översidan medan parketten fortfarande var på plats. Syftet med detta var att få fram information om utformning av håldäckselementen. Figur 41 visar gränsen mellan olika håldäckselement (svarta heldragna linjer), de förspända kablarnas position (röda streckade linjer) och hålens placering (blå streckade linjer).



Figur 41 Resultat av undersökning av bjälklagshåldäcken med georadar. Plats för uttagning av betongkärnor är markerade med gulgröna cirkel.

Figur 42 visar ett schematiskt tvärsnitt av ett håldäckselement sett från kortsidan, med dess olika dimensioner samt position för ingjutna spännkablar. De angivna siffrorna har avlästs under skanning med georadar och de kan variera några millimetrar jämfört med de verkliga dimensionerna. Dessa kan vara bra indata för att eventuellt hitta tillverkaren eller utföra en kontrollberäkning av elementens kapacitet.



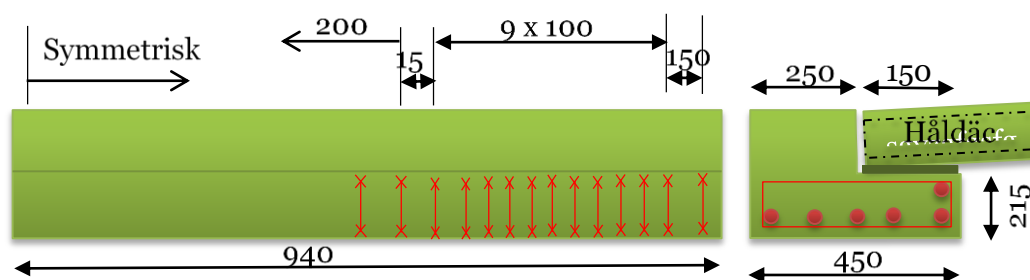
Figur 42 Schematisk bild över dimensionerna på håldäckselementet. Siffrorna har tolkats från georadar och kan variera några millimetrar i verkligheten. Röda cirkclar visar läge för tryckarmering (överkant) respektive spännarmering (nederkant).

Figur 43 visar utformning av upplagen för balkarna. Skanning med georadar gav information om antal byglar, deras inbördes avstånd samt täckande betongskikts tjocklek (dock har inte armeringsstängernas dimensioner bestämts).



Figur 43 Utformning av upplag för balk ovanför pelartoppen.

Vid undersökningen markerades befintliga armeringsstänger och byglar samt att täckande betongskikt på balk och pelare mättes upp. Täcksiktet var ca. 35 mm för pelaren och ca. 30 mm för balken. Utifrån observationer, mätningar och skanningen av balkens synliga delar, samlades följande information om balken (Figur 44).

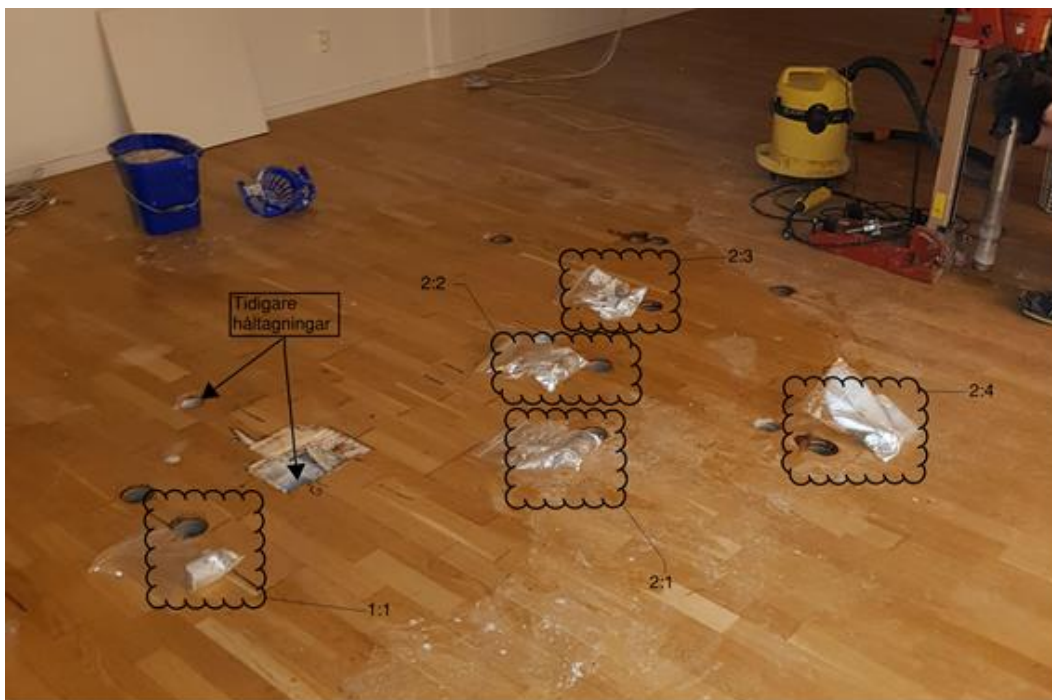


Figur 44 Information om balk på yttersidorna av byggnaden. Upplag för håldäcken är ca. 150 mm. Mellan håldäck och upplag finns ett visst mellanrum på ca 50 mm (notera mått på ovansidan, 250+150, som inte summerar till undersidans 450).

4.3 Provuttag

Det tredje besöket ägde rum 2020-10-06, då RISE tog ut betongkärnor från de olika betongdelar som undersökts vid inventeringen och kartläggningen. Dessa betongkärnor granskades okulärt, i syfte att bland annat identifiera synliga skador. Tre betongkärnor från respektive typ av byggnadsdel, dvs. pelare, balk och håldäck, borrades ut och lämnades till RISE betonglaboratorium i Stockholm, för förberedelse och provning.

Under arbetet med pilotprojektet blev det tydligare att det från fastighetsägarens (Fabeges) sida finns ett specifikt intresse för återbruk av just håldäck. På grund av detta genomfördes ytterligare ett platsbesök (2020-12-18), denna gång av Mikael Kläth från NCC, för kompletterande uttag av fem betongkärnor från just håldäck. Syftet var att prova tryckhållfasthet på dessa och få ett statistiskt bättre underlag för bedömning av just håldäckens kvalitet. De kompletterande proverna fördelar sig på *ett* ytterligare från det håldäck varifrån tre prover togs vid provtagningen 2020-10-06, de *fyra andra* från ett intilliggande håldäck som inte tidigare provtagits (Figur 45).



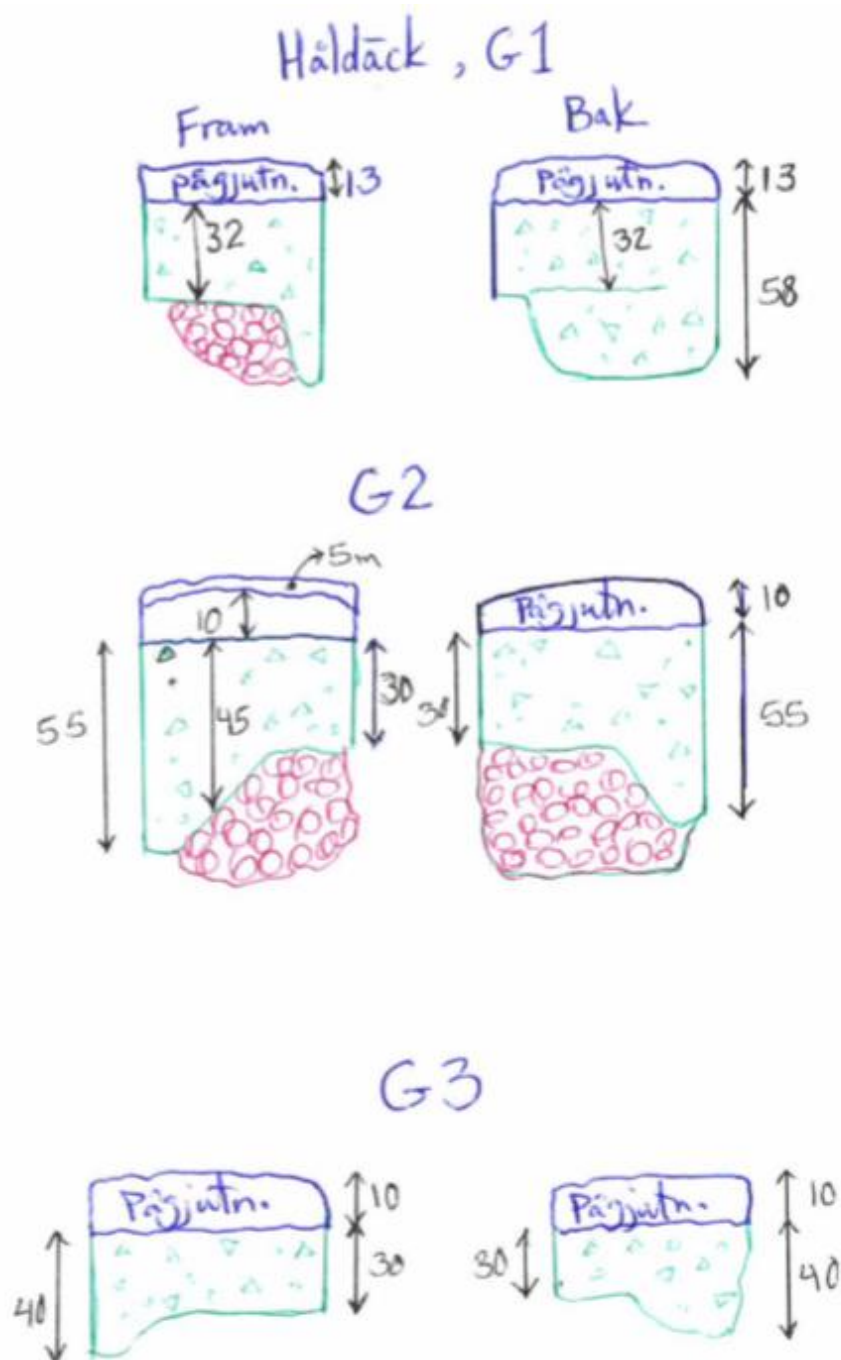
Figur 45 Golvyta där åtta borrprover på betong tagits ut från två håldäck, dels vid tillfälle 2020-10-06 ("tidigare håltagningar"), dels vid tillfälle 2020-12-18 (hål 1:1, 2:1, 2:2, 2:3 och 2:4. Foto: Mikael Kläth.

4.4 Provning i laboratorium

4.4.1 Okulär granskning och tryckprovning första uttaget

Vid okulär granskning av betongkärnor uttagna vid första tillfället (2020-10-06) var alla intakta och utan synliga skador på betongen. Resultat av betongens tryckhållfasthet i olika betongkonstruktioner visas i Tabell 19. Vid okulär granskning av betongkärnorna ritades en skiss av betongkärnorna G1 tom G3, uttagna från håldäcken (Figur 46).

Resultatet för G1 visar att betongens tjocklek över hålen var ca 32 mm och pågjutningen hade en tjocklek på ca. 13 mm. Pågjutningen hade varierande tjocklek mellan 5–13 mm och har använts som en avjämningsmassa då håldäcken har en överhöjning efter tillverkningen, på grund av ojämnt antal spännkablar i tvärsnittet.



Figur 46 Uppritade vyer på betongkärnorna G1, G2 och G3. Grönt är betong, blått är pågjutning och rosa är frigolit. Dimensionerna i mm.

Tabell 19 Resultat av betongens tryckhållfasthet – pelare, balkar och håldäck

Märkning	Diameter d (mm)	Höjd h (mm)	Densitet ρ (kg/m ³)	Brottlast F (kN)	Tryckhållfasthet f_c (MPa)
P1	70,3	69,9	2340	252	64,9
P2	70,6	69,7	2330	198	50,4
P3	70,4	69,7	2340	169	43,4
B1	70,5	69,7	2350	223	56,9
B2	70,4	60,8	2410	217	53,6
B3	70,4	69,8	2410	249	63,9
G1	44,8	28,7	2340	135	74,5
G2	48,0	28,6	2330	88,4	41,7
G3	48,3	28,9	2320	134	62,4

Resultat av tryckhållfasthetstesterna visar att betongen har en godkänd hållfasthetsklass trots stor spridning hos håldäck och pelare. Spridningen i tryckhållfasthet kan härröra från tillverkningen, men även ballastens grovlek kan ha inverkan vid provning av små provkroppar.

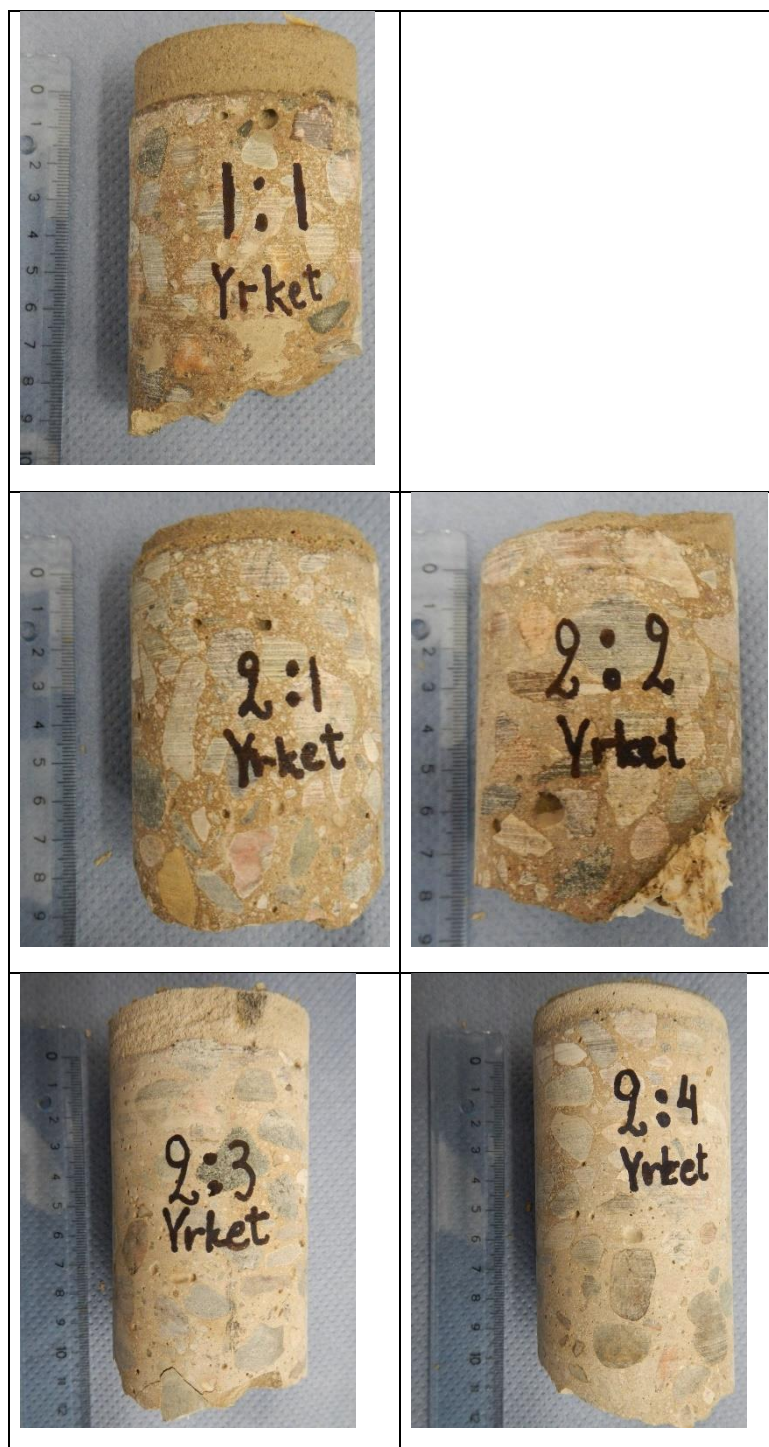
4.4.2 Okulär granskning och tryckprovning andra uttaget

Vid okulär granskning av betongkärnor uttagna vid andra tillfället (2020-12-18) var alla intakta och utan synliga skador på betongen (Figur 47). Dimensioner, uppskattad maximal stenstorlek och anmärkningar på inkomna betongkärnor uttagna vid andra tillfället presenteras i Tabell 20.

Resultat av betongens tryckhållfasthet i håldäck visas i Tabell 21. Där har också resultaten från håldäck från första provtagningen lagts in, så att resultaten är direkt jämförbara.

Tabell 20 Okulär granskning av betongkärnor uttagna vid andra tillfället

Prov	Diameter (mm)	Längd (mm)	Max stenstorlek (mm)	Anmärkning
1:1	54	50 - 86	22	Pågutning 15 mm
2:1	54	62	17	Pågutning 9 mm
2:2	54	46 - 66	20	Pågutning 11 mm Cellplast
2:3	54	77	21	Pågutning 13 mm
2:4	54	96	19	Pågutning 8 mm



Figur 47 Foto av de fem kompletterande betongkärnorna från håldäck.

Borrkärnor med längd:diameter-förhållande på 2:1 eller 1:1 och en diameter ≥ 75 mm rekommenderas i SS-EN 13791:2019 (*Bedömning av tryckhållfasthet i färdiga betongkonstruktioner och förtillverkade betongelement*). Vidare föreslås att borrkärnor med diameter 50 mm får användas om man av praktiska skäl måste undvika armering. Detta medför att spridningen i resultaten ökar och detta i synnerhet när stenstorleken är större än 16 mm. I detta fall så valdes borrkärnor med diameter 50 mm p.g.a. bjälklagens geometri. Vid den okulära granskningen så noterades det att maximal stenstorlek var

större än 16 mm. Detta kan förklara den relativt stora spridning man kan se i Tabell 21; tryckhållfasthet varierar där mellan 41,7 och 74,5 MPa, med ett medel på 61 MPa.

Tabell 21 Resultat av betongens tryckhållfasthet – kompletterande från håldäck

Märkning	Håldäck nr	Diameter (mm)	Höjd (mm)	Densitet (kg/m³)	Brottlast (kN)	Tryckhållfasthet (MPa)
Yrket 2:1	2	54	50	2390	133	58,6
Yrket 2:2		54	49	2370	151	67
Yrket 2:3		54	50	2370	159	69,5
Yrket 2.4		54	49	2380	160	70,1
Yrket 1:1	1	54	50	2340	102	45,1
G1		44,8	28,7	2340	135	74,5
G2		48	28,6	2330	88,4	41,7
G3		48,3	28,9	2320	134	62,4
Medelvärde						61
Standardavvikelsen						±11

4.5 Resultat och analys

4.5.1 Uppskattning av tryckhållfasthet för strukturell bedömning av håldäckselementen vid valt område

Eftersom provet märkt G2 i Tabell 21 visar ett tryckhållfasthetsvärde som är ca 20 MPa lägre än medelvärdet, så används Grubbs test (Ekvation 1) för att avgöra om detta resultat är en statistisk avvikare (outlier). Det lägsta testvärdet kan betraktas som en outlier om följande villkor uppfylls:

Ekvation 1
$$\frac{f_{c,m} - f_{c,low}}{s} > G_p$$

$f_{c,m} = 61 \text{ MPa}$ (medelvärde av de åtta tryckhållfasthetsresultaten)

$f_{c,low} = 41,7 \text{ MPa}$ (tryckhållfasthetsresultat för prov G2)

$s = 11 \text{ MPa}$ (standardavvikelsen för tryckhållfasthetsresultaten)

$G_p = 2,274$ (kritiskt värde för Grubbs test med signifikansnivå 1%, ur tabell)

$$\frac{f_{c,m} - f_{c,low}}{s} = 1,731$$

Då detta värde är lägre än G_p så kan inte tryckhållfastheten för prov G2 anses vara en outlier.

Enligt SS-EN 13791:2019 kan den karakteristiska tryckhållfastheten (karakteristiska värdet i det här fallet motsvarar ett "lägstavärde" i tryckhållfasthet, som maximalt 5 % av populationen får understiga) för strukturell bedömning uppskattas enligt följande. Det lägsta värdet av:

Ekvation 2
$$f_{c,k} = f_{c,m} - k_n s$$

$f_{c,k}$ = karakteristiskt värde för tryckhållfasthet

$f_{c,m}$ = 61 MPa (medelvärde av de åtta tryckhållfasthetsresultaten)

s = 11 MPa (standardavvikelsen för tryckhållfasthetsresultaten)

k_n = konstant från tabell 6 i SS-EN 13791:2019

Ekvation 3
$$f_{c,k} = f_{c,low} + M$$

$f_{c,low}$ = 41.7 MPa (tryckhållfasthetsresultat för prov G2)

M = konstant från tabell 7 i SS-EN 13791:2019

Det måste påpekas att förutom att proverna ska komma från ett mindre testområde så ska nedanstående kriterier vara uppfyllda enligt SS-EN 13791:2019, för att uppskatta den karakteristiska tryckhållfastheten för strukturell bedömning med Ekvation 2 och Ekvation 3.

Minst:

- åtta tryckhållfasthetsresultat utförda på borrhärdar ≥ 75 mm i diameter, eller
- tolv tryckhållfasthetsresultat utförda på borrhärdar med diameter 50 mm, där betongens största stenstorlek är ≤ 16 mm.

För elementen i det valda området (Figur 36) skulle den karakteristiska tryckhållfastheten var det minsta värdet av:

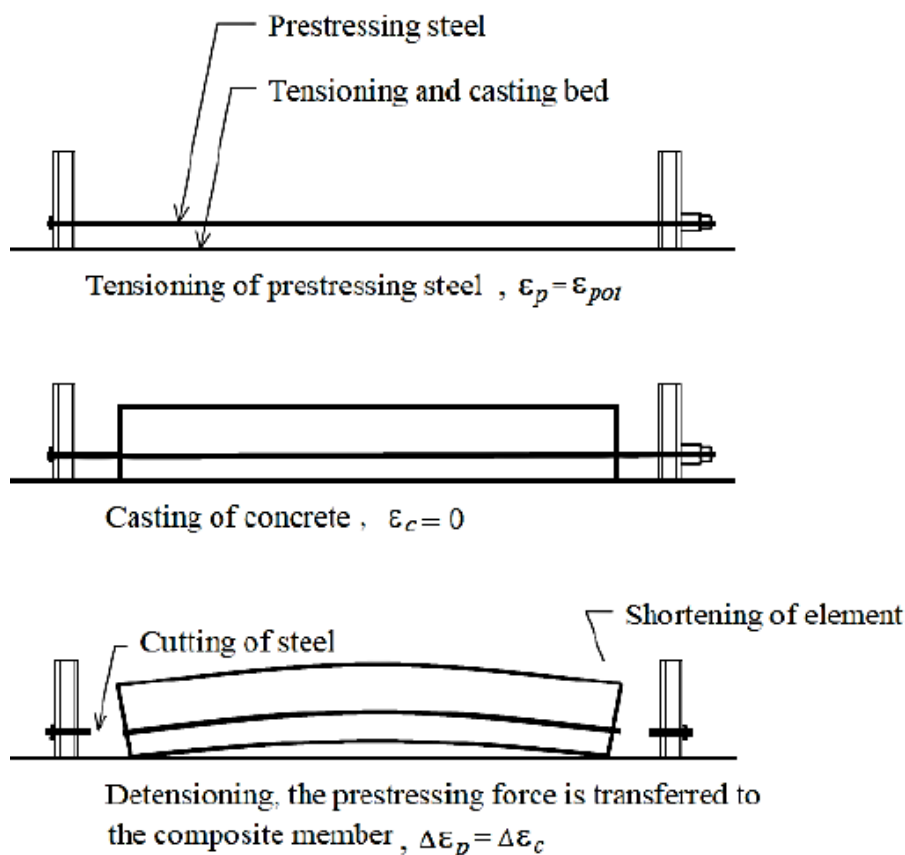
Ekvation 2
$$f_{c,k} = 61 - 2 * 11 = 39 \text{ MPa}$$

Ekvation 3
$$f_{c,k} = 41,77 + 4 = 45,8 \text{ MPa}$$

Baserat på analysresultat och beräkningar, så bedöms betongkvaliteten ligga nära tryckhållfasthetsklass C40/50. Denna ska dock användas med försiktighet, eftersom inget av de två kriterierna ovan är uppfyllda, dvs. största stenstorlek är >16 mm och minsta provstorlek är <75 mm (diameter borrhärna).

4.5.2 Teoretisk spänningsförlust i håldäcksplattor

För att öka spännvidden hos ett håldäcksbjälklag och på grund av betongens låga draghållfasthet, så förspänns detta med spännstål. Spännstålet placeras i tvärsnittets underkant och det innebär att undersidan trycks ihop vid avspänning och att elementet kröker sig uppåt (Figur 48).



Figur 48 Tillverkning av håldäck [Engström, "Design and analysis of prestressed concrete structures," Chalmers University of Technology, Göteborg, 2011]

Med tiden minskar förspänningskraften i armeringen med ungefär 15–20 %, dels på grund av betongens krypning och krympning, dels på grund av relaxationen i spännstålet [Engström, "Design and analysis of prestressed concrete structures," Chalmers University of Technology, Göteborg, 2011.]. Om dessa förspänningsförluster blir för stora så kan konstruktionens bärande förmåga äventyras. Ett exempel på beräkning enligt Eurokod, av spänningsförluster efter ca 40 år för ett vanligt förekommande håldäck (HD/F 120/27), ges i Bilaga 1. Beräkningen visar att med hänsyn till de antagande som gjorts så har förspänningskraften minskad med 17%. Antagandena i beräkningen har anpassats att i möjligaste mån efterlikna förhållandena i pilotobjektet Kv. Yrket 3.

4.6 Slutsatser

Den betong som undersökts håller sannolikt en tryckhållfasthetsklass C40/50. Då endast en (1) pelare och en (1) balk har provats, så får resultaten anses ge en preliminär indikation på betongens kvalitet. I en tillståndsbedömning för återbruk där hela beståndet avses, bör provtagningsplan utökas för att vara representativ.

Tryckhållfasthetsklass för betong i håldäck har uppskattats till ungefär C40/50, baserat på resultat från två håldäck. Storlek på borrhärdar i relation till största stenstorlek i ingående ballast gav dock inte optimala provningsförhållanden, varför tolkningen får göras med viss försiktighet och ses som preliminär, om hela beståndet avses.

Håldäck har en förspänningskraft i spännarmeringen, som är dimensionerad efter håldäckets spännvidd och den förväntade lasten. Med tidens gång sker en relaxation i stålet och förspänningskraften minskar. För de håldäck som undersökts i detta projekt så har den teoretiska spänningsförlusten efter 41 år beräknats till 17%. Beräkningen bygger dels på indata från platsundersökning och laboratorieprovning (dimensioner, tryckhållfasthetsklass), dels på flera antagande, såsom armeringens dimensioner och förspänningskraft direkt efter tillverkning, samt betongens krympning och krypning. Detta är information som kan fås från tillverkarens produktspecifikation eller liknande dokumentation, men då sådan saknas måste antagande göras, som i sig leder till osäkerheter i beräkningarna. Beräkningens resultat kan dock verifieras genom böjhållfasthetsprovning av helt håldäck, efter att sådant demonterats.

Vid en skarp tillståndsbedömning för återbruk tas en provtagningsplan fram, baserad på vad som framkommit i kartläggning och okulär bedömning av byggnadsdelar (med eller utan icke-förstörande provning). Om analyserna uppvisar en stor spridning i resultat, så måste i regel provningen kompletteras, för att få en bättre bild av byggnadsdelarnas kvalitet.

Generellt gäller att ju mer som finns i form av relevant dokumentation från byggnaden och dess byggnadsdelar och material, tex ritningar och produktspecifikationer från tillverkare, desto mer sparar man i regel in i behov av dyra provningar och analyser. Med rätt och tillförlitlig dokumentation och spårbarhet, kan mer adekvata beräkningar och antagande om hur byggnadsdelen eventuellt har "åldrats" göras. I brist på dokumentation krävs i regel fler antagande och utökade testprogram, jämfört med om sådan funnits. Man sparar alltså kostnader och tid för detektivarbete och tester, om man har god dokumentation om byggnadsdelar och byggnad.

Den betongkvaliteten som tagits fram gäller endast för byggnadsdelen på sin plats i byggnaden, men så länge den inte skadas vid demontering, hantering, transport och lagring, så bör betongkvaliteten vara den samma när den ska fogas in i ny byggnad och återbrukas. En kontrollrutin som säkerställer detta bör dock tas fram, innan demonteringen påbörjas.

Vad gäller betongens "livslängd", så måste denna ses ur perspektivet beständighet och därmed vad betongen historiskt varit utsatt för. Vid exponeringsmiljö Xo (normal inomhusmiljö) finns inga direkta "åldringsrisker". Om elementet däremot exponerats mot strängare miljöer under sin livstid, tex om det rör sig om en fasaddel som exponerats mot väder och vind eller en inomhusdel i restaurang- eller industrimiljö, så kan olika typer av nedbrytningsmekanismer ha varit verksamma och skadat betongen. Då kan

betongens "livslängd" ha påverkats. De stomdelar som undersökts i detta projekt har enligt fastighetsägaren under hela sin livstid bara varit i inomhusmiljö och med kontor som verksamhet, varför riskerna för skadlig exponering får anses vara minimala.

Det ska också förtydligas att det som gjorts i föreliggande arbete med Kv. Yrket 3 är inom ramarna för ett forsknings- och utvecklingsprojekt, med syftet att utveckla en metod för kvalitetsbedömning för återbruk. I föreliggande projekt har endast Steg 1 tom 5 i den metoden testats, då demontering av pilotobjektet ännu återstår.

Om delar från en betongbyggnad inte avses återbrukas, så bör de istället tillvaratas genom återvinning. För att bibehålla högt tekniskt och ekonomiskt värde, måste materialfraktionerna hållas så rena som möjligt. Betongdelar bör rivas eller demonteras och hanteras separat, så krossning av dessa och magnetseparation leder till nästan rena betong- och stålflöden. Det finns återvinningsaktörer som tvättar och siktar upp krossad rivningsbetong till återvunnen ballast, som kan användas tex i vägar eller vid tillverkning av ny betong. Den återvunna ballasten måste analyseras och CE-märkas i enlighet med SS-EN 12620 och dessutom behöver man hitta en aktör som är villig ta emot materialet.

5 Process för bedömning av återbrukspotential

Summerat ser stegen ut enligt följande (se också Figur 49):

1. Inventering/kartläggning
2. Okulär besiktning och icke-förstörande provningar
3. Beslut om fortsatta åtgärder
4. Förstörande provning
5. Rapport med analyser och rekommendationer för återbruk
6. Kontroll efter demontering och verifiering av prestanda

Det är viktigt att förstå att med förstörande provning avses sådan provning som innebär att skador uppstår i byggdelar eller material, men inte att de tappar sin funktion i konstruktionen. Skadan är vanligtvis av estetisk art och kan lagas om den förväntas ge skadliga effekter på sikt. Icke-förstörande provning å andra sidan, är sådan provning som inte lämnar några märken efter sig. Den åverkan som åsamkas beror på det specifika fallet, men tumregeln är att den är obefintlig eller liten i steg 1 och 2, liten till måttlig i steg 4 (om behov av provning föreligger).

Optimalt utförs denna process efter lätttrivningen, då inventarier, ledningar och ytskikt har inventerats och plockats ut. Det blir då lättare att komma åt och inspektera skick på stommen och andra blottlagda delar av huskroppen.



Figur 49 Strategi för tillståndsbedömning av byggnad för möjlighet till återbruk.

5.1 Steg 1 - Inventering/kartläggning

Metod: genomgång befintlig dokumentation (tex olika typer av ritningar och rapport från materialinventering), samt platsbesök.

Byggnaden inventeras och kartläggs med fokus på material och konstruktionsdelar. En preliminär mängdning av olika konstruktionsdelar görs; denna verifieras i Steg 2. I en

vanlig tillståndsbedömning fokuseras genomgång av dokumentation främst till att skapa sig en bild av den bärande konstruktionens verkningssätt. Detta för att bedöma den eventuella skadans inverkan på den bärande konstruktionens säkerhet och funktion. När det gäller återbruksinventering där en vanlig tillståndsbedömning kan vara en del så tillkommer en kartläggning som ska inkludera en mängdberäkning och konstruktionsdelars demonterbarhet. Ett exempel på en sådan inventeringsmatris visas i Figur 50. Givetvis ska det både vid en vanlig tillståndsbedömning och vid en återbruksinventering ingå upplysningar som när en byggnad uppfördes, användning genom åren och eventuella ombyggnationer. Vissa delar av inventeringsmatrisen kompletteras vid en okulärbesiktning t.ex. befintligt skick.

STÅLBALKAR									
LITTERA	DIM (mm)	TYP	ANT	LÄNGD (cm)	ÅR	SKICK (okulärt)	EXPONERING	TIDIGARE AVÄNDNING	DEMONTERING
B1	H = 300	I-balk	2	2230	1800-tal	Osäker	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B2	H = 300	I-balk	2	360	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B3	H = 300	I-balk	1	200	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt
B4	H = 175	I-balk	1	300	1970-tal	Ok	Inomhus	kontor, lager	Lätt

Figur 50 Exempel på inventeringsmatris.

5.2 Steg 2 - Okulär besiktning

Metod: platsbesök där byggnadsdelar, material och konstruktionslösningar okulärbesiktigas, dvs sådant som är synligt för blotta ögat noteras och dokumenteras, samt eventuellt provas med icke-förstörande metoder. Mängdningen från Steg 1 verifieras.

Bedömning av materials och byggnadsdelars skick. Den uppställda inventeringsmatris som bygger på ritningar och annan dokumentation går igenom på plats för att notera eventuella avvikelser och fastställa befintligt skick. Om tillgång till dokumentation om byggnaden är bristfällig uppförs inventeringsmatrisen på plats vid den okulära besiktningen. Vid fastställandet av befintligt skick noteras och dokumenteras allt som är synligt, tex sprickor, fuktskador osv. Vidare kan man komplettera med icke förstörande provning och mindre åverkan (tex borring av mindre hål).

5.3 Steg 3 – Beslut om fortsatta åtgärder

Avstämning av resultat från de första två stegen och genomgång med uppdragsgivare, där eventuella kompletterande tester och andra åtgärder föreslås.

5.4 Steg 4 – Förstörande provning

Metod: Kompletterande provuttag och provning av olika egenskaper i laboratorium.

Man kommer aldrig undan förstörande provning helt vid en tillståndsbedömning. Syftet med icke förstörande provning är att minimera omfattningen av den förstörande provningen. I princip så mäter en icke förstörande metod en signal på en fysikalisk egenskap som indirekt kan kopplas tex till en mekanisk egenskap. Man måste alltid med hjälp av förstörande testning (tex borrhärdor från aktuell plats) etablera en empirisk relation (kalibreringsmodell) mellan den icke förstörande mätningen och den materialegenskapen som man är intresserad av. Det existerar tyvärr inga universella kalibreringsmodeller då flera andra faktorer kan påverka mätningarna, tex, betongssammansättning (mängd/storlek på ballast), relativ fuktighet eller armeringstäthet.

5.5 Steg 5 – Rapport

Analys och rekommendationer för det som kan återanvändas och för återvinning av sådant som inte bedöms möjligt att återanvända. Rekommendationer för hur de olika konstruktionsdelarna kan användas och i vilken exponeringsmiljö. Förslag på demonteringsteknik och hantering.

Rekommendationer på hur de hela byggnadsdelarna kan testas när de väl har demonterats, för att verifiera teknisk kvalitetsbedömning baserad på platsundersökning, icke-förstörande provning, analys i laboratorium, samt beräkningar. Bör även innehålla anvisningar till hur konstruktionsdelarnas skick ska granskas efter demontering och före installation i ny byggnad, för att säkerställa att delarna inte skadats eller på annat sätt förlorat i prestanda vid demontering och hantering.

5.6 Steg 6 – Kontroll efter demontering och verifiering av prestanda

Metod: Återupprepning av Steg 2 tom 4, enligt rekommendation given i Steg 5, för verifiering av teknisk prestanda och säkerställa att byggnadsdelar inte skadats i hanteringen.

Kan utföras genom okulär besiktning av alla demonterade byggnadsdelar, användning av adekvat icke-förstörande metod, samt förstörande provning av statistiskt urval, baserat på tex homogenitet i material, byggnadsdelens komplexitet och variationen i resultat från okulär besiktning och icke-förstörande provning.

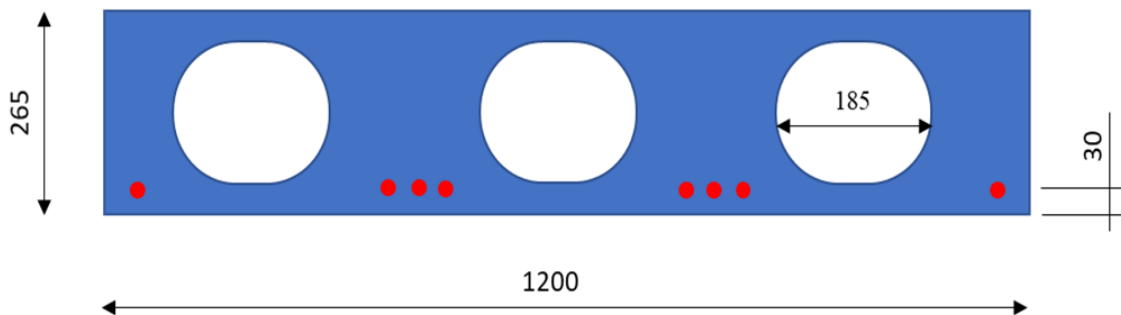
Bilaga 1. Beräkningsexempel

kvarvarande spännkraft i prefabricerade HD/F bjälklag efter 41 år

1. Grundförutsättningar

Håldäck (HD/F 120/27) ingående i kontorsbyggnad (inomhusmiljö i uppvärmda lokaler, RH ~50%), dvs exponeringsklass Xo (finns inga nedbrytningsmekanismer).

Dimensioner: 9500 x 1200 x 265 [mm]



Material

Betong

Normalhårdande cement

Hållfasthetsklass C45/55 (antagen)

Karaktäristisk tryckhållfasthet, $f_{ck} = 45$ MPa

(indata från Eurokod 2)

Betongens E-modul, $E_{cm} = 36$ GPa

(indata från Eurokod 2)

Tvärsnittsparametrar (Indata från "Bygga med prefab", Betongelementföreningen)

Tröghetsmoment, $I_c = 1,34 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$

Tvärsnittsarea, $A_c = 0,16 \text{ m}^2$

Spännstål

Relaxationsklass 2

Karaktäristisk dragspänning (brott), $f_{pk} = 1860$ MPa

E-modul, $E_p = 195$ GPa

Åtta stycken 7-trådig spännlina $\varnothing_p 13$ mm (Antagen)

Tvärsnittsarea, $A_p = 100 \text{ mm}^2$

Förspänningskraft/lina, $P_i = 100$ kN (Antagen)

Stålspänning vid uppspänning, $\sigma_{pi} = 1000$ MPa

Total spänningskraft, $P_{tot} = 8 \text{ st} \times 100 \text{ kN/st} = 800 \text{ kN}$

2. Tidsberoende spännkraftsförlust

Den spännkraft som uppkommer vid tillverkning av förspända betongelement minskar med tiden, på grund av betongens krympning och krypning samt stålets relaxation. Den totala spännkraftsförlusten efter lång tid kan beräknas enligt SS-EN 1992-1-1:2005 (Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner – Del 1–1: Allmänna regler och regler för byggnader):

$$\Delta P_{c+s+r} = A_p \cdot \Delta \sigma_{p,c+s+r} = A_p \frac{\varepsilon_{cs} E_p + 0,8 \Delta \sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \varphi(t, t_0) \cdot \sigma_{c,QP}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{A_c}{I_c} z_{cp}^2\right) [1 + 0,8 \varphi(t, t_0)]}$$

ΔP_{c+s+r}	= spännkraftsförlusten på grund av krympning, krypning och relaxation
A_p	= spännarmeringens tvärsnittsarea
A_c	= betongens tvärsnittsarea
$\Delta \sigma_{p,c+s+r}$	= spänningsförlusten på grund av krympning, krypning och relaxation
ε_{cs}	= total krympning
$\Delta \sigma_{pr}$	= relaxationsförlusten
E_p	= armeringens E-modul
E_{cm}	= betongens E-modul
$\varphi(t, t_0)$	= kryptalet vid aktuell tidpunkt
$\sigma_{c,QP}$	= spänningen i betongen på spännstålets nivå (långtidslast)
I_c	= betongens yttröghetsmoment
z_{cp}	= avstånd mellan spännarmering och betongtvärsnittets tyngdpunkt

3. Spännstålets relaxation

Relaxationsklass 2 (lågrelaxation)

(Enligt Eurokod 2)

$$\Delta \sigma_{pr} = \sigma_{pi} \cdot 0,66 \rho_{1000} \cdot e^{9,1\mu} \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$$

σ_{pi}	= 1000 MPa	
ρ_{1000}	= 2,5%	(Enligt Eurokod 2)
Tid efter uppspänning, t	= 359 160 h (41 år)	
$\mu (\sigma_{pi} / f_{pk})$	= 0,538	
$\Delta \sigma_{pr}$	= 16,9 MPa	

4. Betongens totala krympning

Beräkning av betongens totala krympning, ε_{cs}

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

Uttorkning, ε_{cd}

$$\varepsilon_{cd} = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0}$$

Tidsfunktion

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t-t_s)}{(t-t_s)+0,04\sqrt{h_0^3}}$$

Betongens ålder, t = 14965 dagar (41 år)

Härdningstid, t_s = 28 dagar (Antagen)

Koefficient beroende på tvärsnittets geometri, $k_h = 0,9$ (Indata Eurokod 2)

Fiktiv storlek, h_o = $2A_c/u = 133,3$ mm

Tvärsnittets omkrets som kan torka ut, $u = 2 \times 1200$ mm

$\beta_{ds}(t, t_s)$ = 0,996

$\varepsilon_{cd,0}$ = 0,40 ‰ (Indata Eurokod 2)

Uttorkning, ε_{cd} = 0,359 ‰

Autogen krympning, $\varepsilon_{ca}(t)$

Autogen krympning vid en viss tid $\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty)$

Slutlig autogen krympning $\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 0,088$ ‰

Tidsfunktion $\beta_{as}(t) = 1 - e^{(-0,2t^{0,5})} = 1$

Autogen krympning, $\varepsilon_{ca}(t) = 0,088$ ‰

Betongens totala krympning, $\varepsilon_{cs} = 0,446$ ‰

5. Betongens krypning

Krypning är beteckningen på den tidsberoende deformation, som uppstår under kvarstående last. Krypningen brukar uttryckas med hjälp av kryptalet φ . Kryptalet bestäms av betongens ålder vid pålastning t_o , elementets dimensioner, det omgivande klimatets relativa luftfuktighet, betongens sammansättning och lastvaraktighet.

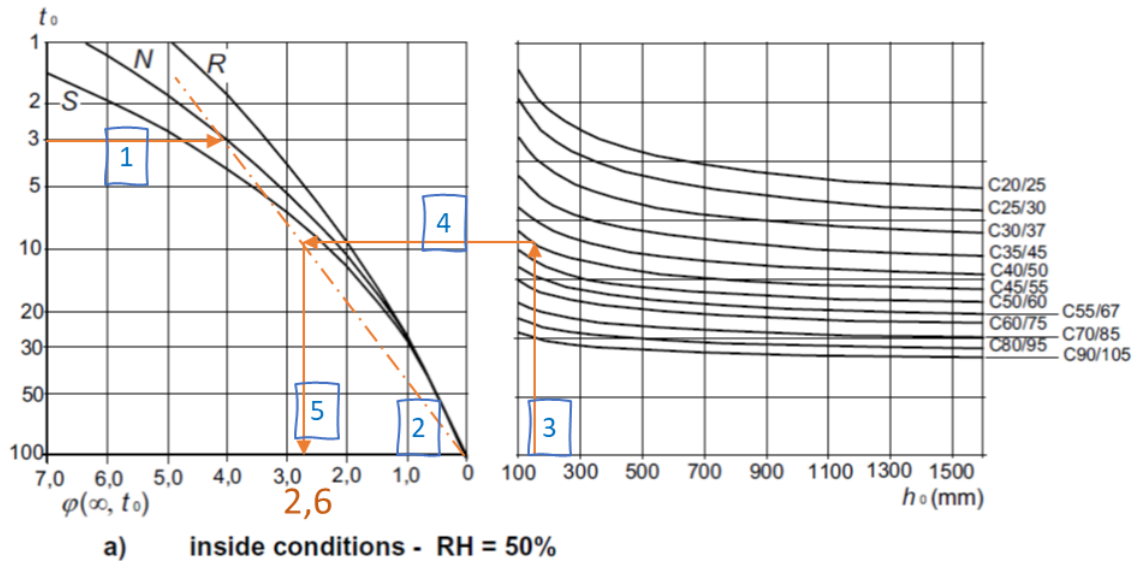
Med följande antaganden kan det slutgiltiga kryptalet ($\varphi(\infty, t_o)$) beräknas enligt den grafiska metoden nedan, tagen från Eurokod 2.

t_o = 3 dagar

h_o = 133,3 mm

Betongens hållfasthetsklass = C45/555

$\varphi(\infty, t_o)$ = 2,6



5. Spänningen i betongen på spännstålets nivå (långtidslast),

Spänningen i betongen på spännstålets nivå (långtidslast) – $\sigma_{c,QP}$ – kan beräknas med hjälp av Naviers formel:

$$\sigma_{c,QP} = -\frac{P_{i,tot}}{A_c} - \frac{P_{i,tot} \cdot e}{I_c} y + \frac{M}{I_c} y$$

Total förspänningskraft, $P_{i,tot}$ = 100 kN/st x 8 st = 800 kN

Avståndet från spännarmering till tvärsnittets tyngdpunkt, $e = (265/2) - 30 = 103$ mm

y-koordinaten för den punkt där spänningen ska beräknas, $y = 133$ mm

Dimensionerande moment vid kvasi-permanent lastkombination, M

$$M = \frac{q_d \cdot L^2}{8}$$

Dimensionerande kvasi-permanent lastkombination, q_d

$$q_d = 1,0G_k + 1,0\psi_2 Q_k$$

Permanent last (egenvikt HD/F), G_k = 4,44 kN/m

Variabel last (nyttig last), Q_k = 3 kN/m

Lastkombinationsfaktor, ψ_2 = 0,3

q_d = 5,34 kN/m

M = 60,24 kNm

$\sigma_{c,QP}$ = - 7,15 MPa

Den totala spännkraftsförlusten på grund av krympning, krypning och relaxation efter 41 år är:

$\Delta P_{c+s+r} = 135,5$ kN dvs en minskning med 17 % av den ursprungliga uppspänningskraften på 800 kN.