



2026-04-30

2026-207889-0003

Slutrapport

Synteser för att främja cirkularitet inom byggsektorn

Syntheses to promote circularity in the construction sector

Byggteknik och byggd miljö

Institutionen för samhällsbyggnad och industriell teknik

Farshid Shadram

Elaheh Jalilzadehazhari

Nyckelord: 5–7 stycken

Cirkularitet, byggsektor, digitalisering, ekonomi, miljö, policy, regelverk



2026-04-30

2026-207889-0003

Förord

Detta projekt har möjliggjorts genom värdefullt stöd och finansiering från Energimyndigheten. Vi vill rikta ett stort och varmt tack för deras engagemang och bidrag, som har varit avgörande för att kunna genomföra och utveckla arbetet.

Sammanfattning

Byggsektorn är en av de största energianvändarna och bidrar i hög grad till miljöpåverkan och avfallsproduktion. Enligt uppskattningar står byggsektorn för cirka 40 % av den globala råvaruförbrukningen samt cirka 40 % av den globala avfallsproduktionen. Dagens byggprocesser följer i huvudsak en linjär modell, där råvaror omvandlas till byggmaterial som efter användning antingen kasseras eller förbränns som avfall. En omställning från linjära till cirkulära principer är därför avgörande för att uppnå en mer hållbar byggsektor. Under de senaste åren har forskningsintresset för cirkularitet inom byggsektorn ökat, och i takt med att forskningsvolymen inom området fortsätter att växa finns ett behov av att syntetisera befintlig kunskap samt identifiera kvarstående kunskapsluckor i övergången till en cirkulär byggsektor. Därför har en systematisk litteraturstudie genomförts i detta projekt, baserad på nyckelordsökningar i nationella och internationella databaser, för att identifiera relevanta nationella forskningsprojekt samt internationella, expertgranskade publikationer från de senaste tio åren. I denna syntes har fokus framför allt legat på fyra huvudområden kopplade till cirkularitet inom byggsektorn: (1) digitalisering, (2) miljömässiga och ekonomiska incitament, (3) tillämpningsnivå samt (4) policy och regelverk. Resultaten visar att digitalisering kan underlätta övergången till en cirkulär byggsektor genom att tillhandahålla relevant information under olika skeden av byggnaders livscykel samt möjliggöra analyser av olika åtgärder. Medan tekniker såsom materialpass och byggnadsinformationsmodellering har fått stort fokus finns det ett behov av att i högre grad undersöka hur framväxande tekniker, såsom blockkedjor och artificiell intelligens (AI), kan bidra till att möjliggöra omställningen till en cirkulär byggsektor. Trots att både negativa och positiva effekter har identifierats saknas det fortfarande tydlig kunskap om vilka miljömässiga och ekonomiska konsekvenser olika cirkulära principer kan medföra ur ett livscykelperspektiv. Detta gör det svårt för byggaktörer att tillämpa cirkulära principer, eftersom de saknar tillräcklig information om de incitament som är kopplade till olika åtgärder, och risken för negativa konsekvenser vid implementering av cirkularitet upplevs fortfarande som hög. Detta belyser behovet av framtida studier som analyserar de miljömässiga och ekonomiska konsekvenserna av cirkularitet ur ett livscykelperspektiv. Vidare visar resultaten att cirkulära principer bör tillämpas på olika nivåer, dvs. från mikronivå (byggnadsmaterial), via mesonivå (byggnadsprojekt) till makronivå (byggnadsbestånd och stadsdelar), för att säkerställa en övergång till cirkulärt byggsektor. Trots omfattande analyser av policyinstrument saknas studier som belyser deras mognadsgrad och länders faktiska framsteg inom cirkulärt byggande. Forskningen har främst fokuserat på policyernas utformning, medan ekonomiska, institutionella och kulturella förutsättningar i stor utsträckning har förbisetts. Därtill är kunskapen begränsad om policyernas implementering, ambitionsnivå och faktiska efterlevnad bland branschaktörer. Långsiktiga och

jämförande studier behövs för att identifiera vilka policyer som ger verklig effekt, hur institutionella förutsättningar utvecklas över tid samt hur olika aktörer tolkar och agerar utifrån styrmedel i omställningen mot en mer cirkulär byggsektor.

Summary

The building sector is one of the largest energy users and contributes significantly to environmental impacts and waste generation. According to estimates, the building sector accounts for approximately 40% of global raw material consumption and around 40% of global waste generation. Current construction processes mainly follow a linear model, in which raw materials are transformed into building materials that are discarded or incinerated at the end of their service life. A transition from linear to circular principles is therefore crucial for achieving a more sustainable building sector. In recent years, research interest in circularity within the building sector has increased significantly. As the volume of research continues to grow, there is a need to synthesize existing knowledge and identify remaining knowledge gaps related to the transition towards a circular building sector. Therefore, a systematic literature review has been carried out in this project, based on keyword searches in national and international databases, aiming to identify relevant national research projects and international, peer-reviewed publications from the past decade. In this synthesis, the focus has been primarily on four main key areas associated with circularity in the building sector: (1) digitalisation, (2) environmental and economic incentives, (3) level of implementation, and (4) policy and regulation. The results indicate that digitalisation can facilitate the transition to a circular building sector by providing relevant information throughout different stages of the building life cycle and enabling the analysis of various measures. While technologies such as material passports and building information modelling have received considerable attention, there is a need for further research on how emerging technologies, such as blockchains and artificial intelligence, can contribute to enabling the transition to a circular building sector. Although both negative and positive effects have been identified, there is still a lack of clear knowledge about the environmental and economic consequences that various circular principles can yield from a life cycle perspective. This makes it difficult for building actors to adopt circular principles in practice, as they lack sufficient information on the incentives associated with different measures, while the perceived risk of negative consequences when implementing circular strategies remains high. This highlights the need for future studies that analyze the environmental and economic implications of circularity from a life cycle perspective. Furthermore, the results indicate that circular principles should be implemented across different system levels, i.e. from the micro level (building materials), through the

2026-04-30
2026-207889-0003

meso level (building projects) to the macro level (building stock and urban districts), in order to ensure a transition towards a circular building sector. Despite extensive analyses of policy instruments, there is still a lack of studies examining their maturity and the actual progress of the building sector across countries in terms of circularity. Existing research has mainly focused on policy design, while economic, institutional, and cultural conditions have been largely overlooked. In addition, knowledge remains limited regarding policy implementation, levels of ambition, and actual compliance among industry actors. Long-term and comparative studies are therefore needed to identify which policies are effective in practice, how institutional conditions evolve over time, and how different actors interpret and respond to policy instruments in the transition towards a more circular building sector.

1 Inledning/bakgrund

1.1. Bakgrund

Byggsektorn är en av de största energianvändarna och bidrar i hög grad till miljöpåverkan och avfallsproduktion [1]. Enligt uppskattningar står byggsektorn för cirka 40 % av den globala energianvändningen, 33 % av utsläppen av växthusgaser, 40 % av den totala råvaruförbrukningen samt 40 % av den globala avfallsproduktionen [2], [3]. Dessa siffror visar behovet av åtgärder för att minska byggsektorns ekologiska fotavtryck och främja en övergång till en mer resurseffektiv och hållbar byggd miljö. Dagens byggprocesser följer i huvudsak en linjär modell för design, produktion och konsumtion, där råvaror omvandlas till byggmaterial som, efter användning, kasseras eller förbränns som avfall [4]. En omställning från linjära till cirkulära principer är därför avgörande för att uppnå byggsektorns långsiktiga hållbarhetsmål. Cirkulära principer (se figur 1) är kopplade till hållbar design, produktion och konsumtion och betonar tio strategier inom byggsektorn. Dessa inkluderar: (1) vägra, (2) tänka om, (3) minska, (4) återanvända, (5) reparera, (6) renovera, (7) återtillverka, (8) återanvända i nytt syfte, (9) materialåtervinna och (10) energiåtervinna [4], [5]. Implementeringen av cirkulära principer förutsätter ett systemövergripande angreppssätt och ett gemensamt ansvarstagande bland samtliga aktörer i byggsektorns värdekedja [6]. Arkitekter och konstruktörer bör utveckla lösningar som både minimerar materialanvändningen och möjliggör en effektiv demontering i byggnaders slutfas. Byggentreprenörer förväntas införa arbetsmetoder som minimerar byggavfall och ökar användningen av sekundära material. Fastighetsägare har ett särskilt ansvar att främja reparation och återanvändning av material i samband med underhåll och ombyggnation. Vidare spelar beställare och beslutsfattare en central roll genom att ställa krav och införa styrmedel som stödjer och stimulerar övergången till cirkulära lösningar inom byggsektorn [6]. Utöver de direkta aktörerna inom byggsektorn spelar även externa intressenter, såsom akademien, civilsamhället och media, en nyckelroll som drivande krafter i omställningen. Genom att främja medvetenhet, förståelse och kunskapsspridning kan dessa aktörer stödja implementeringen av cirkulära principer inom den byggda miljön [6]. Till skillnad från byggsektorn har implementeringen av cirkulära principer redan fått genomslag i andra branscher, såsom textil- och jordbrukssektorerna [7], trots att byggbranschen står för en betydande andel av den globala avfallsproduktionen [8]. Under de senaste åren har detta lett till ett ökande forskningsintresse för cirkularitet inom bygg- och fastighetssektorn, med fokus på att identifiera hinder för implementering samt utveckla lösningar som möjliggör en övergång till en cirkulär byggsektor. Forskningsvolymen inom området fortsätter att växa, vilket understryker behovet av att syntetisera den framväxande kunskapen för att fördjupa förståelsen och främja innovation inom detta område.

2026-04-30

2026-207889-0003



Figur 1. 10R strategier för en cirkulär byggsektor

1.2. Syfte

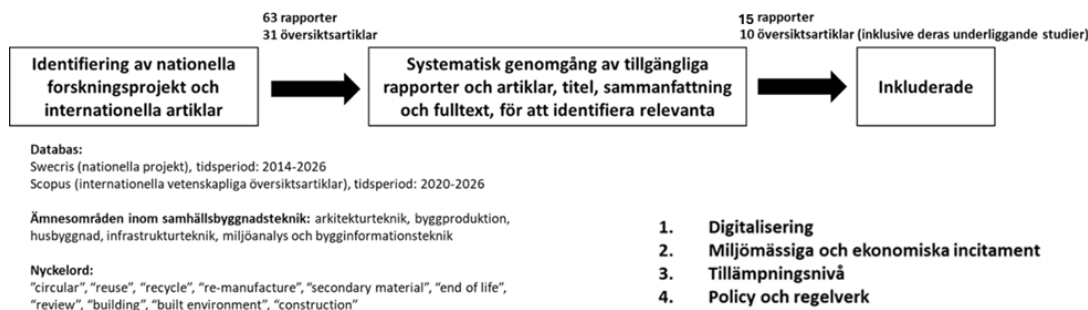
Det övergripande syftet med detta ettåriga forskningsprojekt var att tillhandahålla en fördjupad syntes som kan stödja och stimulera byggsektorns omställning mot ökad cirkularitet. För att uppnå detta genomfördes en systematisk litteraturstudie för att kartlägga det befintliga kunskapsläget, identifiera nya forskningsresultat samt belysa kunskapsluckor som behöver vidare forskning i framtiden.

Litteraturstudien omfattade såväl nationella forskningsprojekt som internationella, expertgranskade vetenskapliga publikationer publicerade under de senaste tio åren, för att säkerställa att syntesen speglar de senaste framstegen och aktuella trender inom området.

2 Genomförande

För att identifiera relevanta forskningsprojekt och vetenskapliga artiklar genomfördes en systematisk och strukturerad sökning i databaserna Swecris och Scopus torsdagen den 3 februari 2025, se figur 2. Swecris [9] är en nationell databas som samlar information om forskningsprojekt finansierade av svenska forskningsfinansiärer, medan Scopus är en internationell databas som samlar information om vetenskapliga artiklar. I Swecris sökningen avgränsades till

projekt som pågick eller hade genomförts under tidsperioden 2014–2026, för att inkludera både avslutade och pågående initiativ av relevans för det aktuella forskningsläget. I Scopus avgränsades sökningen till publikationer från perioden 2020–2026, i syfte att identifiera de senaste publikationerna inom området. I Swecris, för att säkerställa att urvalet av nationella forskningsprojekt speglade byggsektorns bredd, inkluderades följande ämnesområden inom samhällsbyggnadsteknik: arkitekturteknik, byggproduktion, husbyggnad, infrastrukturteknik, samt miljöanalys och bygginformationsteknik. Inga ytterligare begränsningar (såsom geografisk placering, projekttyp eller finansiering) tillämpades, i syfte att möjliggöra en så heltäckande identifiering som möjligt. Vidare, för att rikta in sökningen mot cirkularitet inom byggsektorn, användes en uppsättning nyckelord som applicerades individuellt, vilka återspeglar centrala områden inom fältet. Dessa inkluderade “circular” (68 träffar), “reuse” (47 träffar), “recycle” (25 träffar), “re-manufacture” (1 träff), “secondary material” (5 träffar) och “end of life” (1 träff). Å andra sidan genomfördes sökningen av internationella vetenskapliga artiklar i Scopus med hjälp av följande kombination av nyckelord: “review” AND “circular” AND (“building” OR “built environment” OR “construction”). Syftet med att använda dessa övergripande nyckelord var att erhålla ett större antal relevanta vetenskapliga översiktsartiklar inom området och därmed minimera risken att missa viktiga studier. Nyckelordssökningen resulterade i identifieringen av totalt 63 unika och relevanta nationella forskningsprojekt samt 31 vetenskapliga översiktsartiklar, efter att dubletter hade exkluderats. Därefter genomfördes en systematisk granskning av de identifierade rapporterna och översiktsartiklarna, där titel, sammanfattning och fulltext undersöktes för att avgöra deras relevans. Detta resulterade i totalt 15 nationella rapporter för vilka slutrapport fanns tillgänglig [10], [11], [12], [13], [14], [4], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23] samt 10 internationella översiktsartiklar [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33]. Utöver översiktsartiklarna har vi även inkluderat de underliggande artiklar som ingick i dessa översiktsartiklar och som bedömdes vara relevanta för vidare analys inom ramen för detta projekt. En lista över de inkluderade rapporterna och översiktsartiklarna redovisas i bilaga 1. Därefter genomfördes en fullständig genomläsning av samtliga rapporter och artiklar i syfte att extrahera detaljerad information om syften, forskningsfrågor, metodval, tillämpade tekniker, eventuella fallstudier samt centrala resultat. I denna syntes har fokus framför allt legat på fyra huvudområden kopplade till cirkularitet inom byggsektorn: (1) digitalisering, (2) miljömässiga och ekonomiska incitament, (3) tillämpningsnivå samt (4) policy och regelverk. Detta har möjliggjort en systematisk kartläggning av inriktningar inom dessa områden samt identifiering av kunskapsluckor, vilket i sin tur kan vägleda framtida forskningsinsatser för att främja en mer cirkulär byggsektor.



Figur 2: Översikt av den systematiska sökprocessen för nationella forskningsprojekt och internationella vetenskapliga artiklar

3 Resultat

3.1. Digitalisering

Digitalisering spelar en stor roll för att underlätta övergången till en cirkulär byggsektor genom att tillhandahålla relevant information under olika skeden av byggnadens livscykel samt möjliggöra analyser och prognoser av olika åtgärder och scenarier [34]. I de nationella forskningsprojekten har digitalisering och dess potential att bidra till en mer cirkulär byggsektor varit framträdande, med fem av de fjorton projekt som behandlade detta område. Inriktningen i dessa projekt omfattade huvudsakligen: (1) utveckling av digitala produktdata mallar och materialpass i syfte att göra miljö- och materialdata mer tillgängliga och strukturerade, (2) utveckling av digitala verktyg som möjliggör klimatberäkningar vid återbruk, samt (3) identifiering av utmaningar och möjligheter kopplade till den digitala omställningen i relation till cirkularitet. Resultaten från dessa projekt, liksom tester av de utvecklade digitala verktygen i olika pilotstudier, understryker digitaliseringens centrala roll för att främja en mer cirkulär byggsektor. Särskilt de digitala produktdata mallar som utvecklats utifrån standardiserade format enligt SS-EN ISO 23386 och SS-EN ISO 23387 möjliggjorde spårbarhet och tillgång till kritisk information om byggmaterials demonterbarhet samt deras potential för återbruk och återvinning. Tillgången till denna strukturerade digitala information kan därmed stärka förutsättningarna för cirkulära materialflöden, både vid renoveringsåtgärder och i byggnaders slutskede vid rivning. Resultaten visade även på behovet av att koppla dessa digitala produktdata mallar till befintliga funktionsklassificeringssystem, såsom CoClass, samt att integrera dem med andra programvaror som används inom byggbranschen. Detta är avgörande för att stärka samverkan och interoperabilitet, samt för att möjliggöra ett effektivt och smidigt informationsutbyte mellan olika aktörer i sektorn. En sådan integrering kan i sin tur stödja utvecklingen mot en mer effektiv, transparent och hållbar informationshantering i den byggda miljön.

Precis som i de nationella forskningsprojekten har digitalisering fått relativt stort fokus i internationella vetenskapliga studier som behandlade cirkularitet inom byggsektorn, särskilt vad gäller tekniker såsom materialpass, byggnadsinformationsmodellering (BIM), blockkedjeteknik, samt artificiell intelligens (AI) [35]. Till exempel visar forskning att materialpass kan underlätta spårning och delning av materialrelaterad information genom olika skeden av byggnadens livscykel, från produkttillverkning till slutskedet, mellan olika intressenter [36]. Tekniker som materialpass kan därför vara särskilt värdefulla för befintliga byggnader, eftersom dessa ofta har en låg detaljeringsnivå och information om material och komponenter antingen är ofullständig eller saknas [37]. Tillämpningen av BIM för att underlätta övergången till en cirkulär byggsektor har också fått stor uppmärksamhet i internationella vetenskapliga studier som har fokuserat på utveckling och användning av digital teknik. Detta beror på BIM:s starka förmåga att hantera och strukturera information genom hela byggprocessen. De flesta studier som behandlade utvecklingen av materialpass har även inriktat sig på att integrera dessa i BIM-miljön [38], [39], [40]. Utöver integrationen av BIM och materialpass har BIM även använts för att kvantifiera och prognostisera rivningsavfall från byggnader [41], [42], samt för att identifiera design- och konstruktionsfel [30] under projekteringsfasen och därigenom minska framtida resurs- och materialslöseri till följd av sådana fel [43]. Vidare kan digitala verktyg såsom BIM, virtual reality och liknande tekniker förbättra visualiseringen av material, komponenter och mängdförteckningar. Dessutom kan dessa tekniker stödja de identifieringen av demonteringsmöjligheter redan i designfasen, vilket minskar risken för onödiga totalrivningar när byggnader når slutet av sin livslängd [30].

Användningen av framväxande tekniker såsom blockkedjeteknik och artificiell intelligens för att förbättra cirkulariteten inom byggsektorn har undersökts i ett antal nya internationella vetenskapliga studier. Blockkedjeteknik, som lagrar dataposter i kedjor av kryptografiskt säkrade block, har exempelvis främst använts för att stödja registrering av materialflöden genom byggnadens livscykel och för att öka spårbarheten av material under byggprocessen [44]. AI och maskininlärning har å andra sidan använts för att utveckla modeller som kan: (1) analysera och förutsäga rivningsavfall från byggnader baserat på historiska data från avfallsleverantörer för 117 byggprojekt [45], (2) förutsäga återanvändningspotentialen hos bärande konstruktionsdelar i byggnaders slutskede [46], (3) uppskatta materiallager på makronivå, dvs. inom byggnadsbeståndet på stadsnivå [47], samt (4) genomföra bildigenkänning och klassificering av rivningsavfall från byggnader [48].

3.2. Miljömässiga och ekonomiska incitament av cirkularitet

En övergång till en cirkulär byggsektor förutsätter att de miljömässiga och ekonomiska effekterna av cirkularia åtgärder är tydligt belagda och kommunicerade till relevanta aktörer inom byggsektorn. Dessa ges incitament att tillämpa olika cirkulära principer. Mot denna bakgrund har både nationella och internationella studier analyserat de miljömässiga och ekonomiska konsekvenserna av att tillämpa cirkulära principer, i syfte att skapa ökad kunskap om vilka incitament som kan kopplas till cirkularitet. Generellt sett har analyser av miljövinster och ekonomiska incitament kopplade till cirkularitet fått ett mer begränsat fokus i nationella forskningsprojekt jämfört med internationella vetenskapliga studier. Endast två nationella projekt analyserade den potentiella minskningen av klimatpåverkan vid tillämpning av cirkulära principer inom byggsektorn. Det ena fokuserade på selektiv rivning och återbruk av tegelfasader, medan det andra behandlade demontering och återanvändning av trämoduler. Båda projekten visade på en betydande potential för att minska klimatpåverkan genom tillämpning av cirkulära principer. Däremot var det endast projektet om selektiv rivning och återbruk av tegel som även inkluderade en ekonomisk analys. Denna visade att metoden kan öka kostnaderna med cirka 30 % ur ett livscykelperspektiv.

I internationella studier har analyser av de miljömässiga och ekonomiska effekterna av att tillämpa olika cirkulära principer fått större fokus. Trots att inte alla principer i dessa studier har visat entydiga miljömässiga eller ekonomiska fördelar, har vissa cirkulära principer identifierats som konsekvent fördelaktiga i båda avseendena. Dessa innefattar (se figur 1): (1) R1-vägra, främst genom energieffektiv design [49]; (2) R2-tänka om, främst genom integrering av hållbara funktioner (såsom gröna tak) i byggnader [50], [51]; (3) R3-minska, genom minskad materialåtgång möjliggjord av effektiv projektering och produktionsplanering [52], [53]; (4) R4-återanvända, bland annat genom substitution av konventionella material med alternativa ballastmaterial eller kompletterande cementbaserade bindemedel i betong [54], [55], [56], [57], [58]; (5) R6-renovera, särskilt åtgärder som syftar till att förbättra energiprestanda; samt (6) R9-återvinna, exempelvis återvinning av betong eller gips [59], [60]. För de övriga cirkulära principerna saknas antingen analyser av deras miljömässiga och ekonomiska effekter, eller så rapporteras avvägda resultat, där förbättringar i en dimension motverkas av försämringar i en annan, alternativt negativa utfall i båda dimensionerna. Bland de ovan nämnda principerna som visat potential att medföra både miljömässiga och ekonomiska fördelar har R4-återanvända fått särskild uppmärksamhet i tidigare studier. Detta har framför allt skett genom användning av alternativa ballastmaterial eller kompletterande cementbaserade material i syfte att utveckla lösningar som gör betongkomponenter mer cirkulära. Exempel på dessa studier är: (1) Xu et al. [56], som har utvärderat den miljömässiga och ekonomiska påverkan av att använda återvunnet krossat ballastmaterial från schaktmassor i cementbehandlade basmaterial; (2) Bumanis

et al. [57], som undersökte miljöpåverkan vid tillverkning av murbruk med ett alternativt gips och jämförde detta med traditionella cementbaserade material; (3) Mim et al. [54], som har utvärderat de ekologiska och ekonomiska fördelarna med att använda bananbladsaska som ett kompletterande cementbaserat material i betong; samt (4) Aslani och Hachem-Vermette [58], som analyserade och jämförde miljöpåverkan av väggar i magnesiacement med konventionella betongväggar. Trots dessa forskningsinsatser utvärderar flera av de ovan nämnda studierna varken de miljömässiga eller de ekonomiska effekterna ur ett livscykelperspektiv, utan fokuserar i stället på enskilda skeden i en byggnads livscykel. Denna begränsning försvårar möjligheten att avgöra huruvida de cirkulära principerna faktiskt medför miljömässiga och ekonomiska fördelar när hela byggnadens livscykel beaktas.

3.3. Tillämpningsnivå

Tidigare studier har analyserat tillämpningen av cirkulära principer på olika nivåer: mikronivå, där fokus ligger på material och komponenter; mesonivå, med fokus på större byggnadsprojekt; samt makronivå, som omfattar storskaliga analyser av byggnadsbestånd och stadsdelar. På mikronivå fokuserar forskningen på enskilda material och byggnadskomponenter [32], ofta med målet att möjliggöra cirkulära materialflöden [32]. Ett exempel är ett nationellt forskningsprojekt som fokuserade på användningen av biobaserade trälim samt utvecklingen av fällbara träskydd [4]. Inom mikronivån har detaljerade klassificeringsramverk utvecklats för att beskriva material utifrån sex centrala egenskapskategorier: fysiska, ekonomiska, miljömässiga, mekaniska, kemiska och tidsrelaterade egenskaper [32]. Varje kategori omfattar ett antal specifika attribut som tillsammans skapar en helhetsbild av materialets cirkulära potential. Den fysiska kategorin inkluderar attribut såsom värmeledningsförmåga, densitet, geometriska dimensioner, korrosionsbenägenhet, kopplings- och förbandsdetaljer samt estetiska egenskaper (t.ex. missfärgning). Den ekonomiska kategorin omfattar marknadsefterfrågan, kostnader för demontering och behandling, bygg- och installationskostnader, lagrings- och underhållskostnader samt transportkostnader. Den miljömässiga kategorin utgörs av attribut som inbäddat kol, inbäddad energi och inbäddat vatten. Den mekaniska kategorin inkluderar hållfasthet, hårdhet, utmattning, krypning, elasticitet och beständighet. Den kemiska kategorin beskriver aspekter såsom legeringssammansättning, molekyllär nedbrytning till följd av solstrålning, röta, mängden korroderat material samt toxicitet. Slutligen omfattar den tidsrelaterade kategorin attribut som designad livslängd, faktisk brukstid, antal belastningscykler, gällande design- och byggnormer vid tillverkningstillfället samt tidpunkt för första användning.

På meso-nivå, det vill säga på byggnads-, projekt- och systemnivå, står byggnadens materialflöden, aktörssamverkan och praktiska återbruksstrategier i

fokus. Inom denna nivå har särskilt träbyggnader och trämoduler, samt deras potential att bidra till ett mer cirkulärt byggande, varit framträdande i nationella forskningsprojekt. Dessa projekt har huvudsakligen omfattat: (1) utformning av träbyggnader och integrering av anpassningsbarhet redan i designfasen (design for adaptation) för att möjliggöra framtida återbruk, dvs. demontering, återmontering och återanvändning, samt (2) identifiering av hinder som begränsar implementeringen av cirkulära principer i träbyggnader i Sverige. Återanvändning av trämoduler bidrar dessutom till att det biogena kol som lagrats i materialen bevaras under en längre tidsperiod, vilket fördröjer eller helt undviker utsläpp av växthusgaser som annars frigörs vid förbränning, vilken är en vanlig avfallshanteringspraxis i Sverige vid rivning av träbyggnader. Denna förlängda kolinlagring innebär därmed ytterligare klimatmässiga vinster vid implementeringen av cirkulära strategier i träbyggnader. Vad gäller identifierade hinder visar resultaten att en ökad återanvändning av trä inom den svenska byggsektorn försvåras av flera samverkande faktorer. Den höga tillgången på färskt virke, i kombination med ett välfungerande system för energiåtervinning från träavfall, minskar de ekonomiska incitamenten för återbruk. Därtill saknas tydliga regelverk och styrmedel som specifikt stödjer återanvändning av konstruktionsvirke. Ett ytterligare hinder är svårigheten att bedöma kvalitet och prestanda hos återvunnet trämaterial och moduler, vilket begränsar deras användning i nya konstruktioner. För att möjliggöra en mer omfattande tillämpning av cirkulära principer på meso-nivå inom träbyggande i Sverige krävs att dessa hinder i högre grad uppmärksammas och adresseras. Återbruk av betongkonstruktioner har hittills fått ett relativt begränsat fokus, och endast en nationell forskningsstudie har undersökt möjligheterna att återanvända tunga byggdelar av betong och stål i två pilotbyggnader.

De ovannämnda mikronivåegenskaperna är centrala eftersom de utgör grunden för ökad cirkularitet och återbruk av byggnadsmaterial på meso-nivå. Exempelvis visar internationella studier att återbruk av bärande element såsom stålkonstruktioner mellan olika projekt är genomförbart när tillräcklig geometrisk, fysisk och mekanisk data finns tillgänglig [32], [61]. På samma sätt kan direkt återbruk av betong realiseras när exakta uppgifter om tjocklek, tryckhållfasthet och blockgeometri samlas in och används för selektiv demontering, vilket i sin tur medför betydande miljövinster enligt en internationell studie [62]. Renoveringar av kulturhistoriska byggnader utgör ytterligare ett exempel på meso-nivå, där bland annat glaspartier uppgraderas och återbrukas för att bevara arkitektoniska värden. Dessa projekt visar hur stora delar av en ikonisk glasfasad kan tas till vara och återintegreras i nya arkitektoniska sammanhang [32]. På meso-nivå har materialmarknadsplatser fått uppmärksamhet eftersom de fungerar som förmedlingspunkter där sekundära byggmaterial kan säljas till ett lägre pris än nya och därigenom återbrukas. Dessa marknadsplatser skapar fungerande lokala cirkulära system, där geometrisk,

fysisk och ekonomisk information används för att återbruka material i nya tillämpningar [32]. Vidare visar projekterfarenheter att manuella mätningar, fotografier och enklare digitala modeller kan vara fullt tillräckliga för att möjliggöra säker återanvändning av material och komponenter mellan olika byggprojekt [63]. I mer informella sammanhang skapar lokala arbetare, småentreprenörer och mellanmän marknadssystem för återbruk där material återanvänds utan digital teknik eller formella rutiner, baserat på manuell kontroll, erfarenhetsbaserade bedömningar och lokala marknadsrelationer [64], [65].

På makronivå ligger fokus på storskaliga analyser, bland annat för att utvidga återbruks- och återvinningspraktiker över olika regioner, vilket skapar möjligheter att etablera en större marknadsbuffert för återanvändning och återvinning av material [24]. Återbruksinitiativ, såsom insamling av fungerande fönster som annars skulle ha kasserats, visar hur avfall kan minimeras samtidigt som akuta behov tillgodoses. Ett tydligt exempel är insamlingen och vidareförmedlingen av fönster från Nederländerna till Ukraina, där fullt fungerande byggkomponenter får ett nytt liv i återuppbyggnadsarbetet i stället för att bli avfall. Detta initiativ illustrerar att återbruk kan genomföras interregionalt och på makronivå, där grundläggande information om glastyp och fönstrets ålder är tillräcklig för att möjliggöra vidare användning. På makronivå är noggrann information om stadens materiallager också avgörande för att kunna förutse framtida bygg- och rivningsavfall, utveckla hållbara hanteringsstrategier och möjliggöra effektiv återvinning i större skala [24].

3.4. Policy och regelverk

Regelverk och krav spelar en central roll för att påskynda implementeringen av cirkularitet i byggsektorn. Avsaknaden av tydliga policyramverk, regleringar och definierade ansvarsområden begränsar i hög grad införandet av cirkulära arbetssätt, särskilt inom hanteringen av bygg- och rivningsavfall [66]. För att hantera dessa begränsningar inom bygg- och rivningsavfall lyfts ett antal övergripande policyåtgärder fram: utveckling av tydliga och kontinuerligt förbättrade styrdokument, fokus på långsiktigt värdeskapande, tydligare roll- och ansvarsfördelning mellan aktörer, säkerställande av effektiv samordning och implementering samt tillhandahållande av både regulatoriskt och finansiellt stöd för att möjliggöra industriell omställning [66].

Ett cirkularitet-index har också utvecklats för att bedöma i vilken utsträckning policyer för att främja cirkularitet har antagits i olika länder [29]. Syftet med indexet är att skapa en jämförbar bild av länders policyengagemang och att möjliggöra analyser av vilka faktorer som påverkar implementeringsgraden. För detta ändamål har korrelationsanalyser använts för att undersöka hur olika variabler, såsom mängden bygg-, renoverings- och rivningsavfall per capita,

andelen av detta avfall som inte återvinns, växthusgasutsläpp från byggsektorn, BNP per capita och mängden kommunalt avfall per capita, relaterar till ländernas användning av olika policyinstrument. Inom ramen för dessa analyser har fem huvudgrupper av policyåtgärder kartlagts: regulatoriska, ekonomiska, tekniska, operativa och kommunikativa. Dessa åtgärder har även kopplats till olika faser i byggprocessen för att tydliggöra var de har störst påverkan. Kommunikativa policyinstrument och breda regulatoriska åtgärder är de mest använda policyformerna i de flesta länder. Samtidigt framträder betydande variationer i hur de analyserade variablerna sammanhänger med respektive policygrupp, vilket indikerar att både effektivitet och implementering av cirkulära policyinstrument skiljer sig avsevärt mellan nationella kontexter [29].

I de nordiska länderna spelar nationella och kommunala policyer en central roll för att driva utvecklingen av cirkulär ekonomi inom byggsektorn. Danmark har ett starkt policyfokus på avfallsminimering och resurseffektivitet genom nationella avfalls- och resursplaner samt strategier för cirkulär ekonomi, där krav på källsortering, hög återvinningsgrad och digitala informationsflöden är centrala. Kommuner som Köpenhamn och Århus kompletterar detta genom lokala riktlinjer för selektiv rivning, materialinventeringar och cirkulär offentlig upphandling, vilket konkretiserar den nationella inriktningen och skapar operativa krav i byggprojekt. Finland har ett av de mest omfattande policyramverken i Norden, där cirkulär ekonomi integreras i både avfallsplaner, materialeffektivitetsprogram och nationella strategier. Landet har även tydliga rekommendationer för selektiv rivning, och kommuner som Helsingfors och Åbo använder upphandling och planeringsprocesser för att främja återbruk och spårbarhet av byggmaterial, samtidigt som cirkularitet kopplas till klimatneutralitetsmål. I Norge styrs byggsektorn av nationella planer för bygg- och anläggningsavfall samt riktlinjer som anpassar EU:s cirkulära ambitioner till norska förhållanden, trots att landet står utanför EU. Stora kommuner, särskilt Oslo, driver utvecklingen framåt genom krav på utsläppsfria och avfallsfria byggarbetsplatser, ökad återanvändning och förbättrad hantering av materialflöden i byggprojekt. I Sverige bygger den cirkulära styrningen på nationella avfallsplaner och strategier för cirkulär ekonomi som lyfter byggsektorn som en prioriterad bransch. Kommuner och regioner har en särskilt aktiv roll och utvecklar egna policyramverk, där exempelvis Göteborg, Malmö och Region Skåne ställer krav på materialinventering före rivning, återbruksmål och cirkulära kriterier i offentlig upphandling. Detta flernivåsystem i Norden skapar ett relativt starkt styrningslandskap, men det finns variationer mellan länderna i hur detaljerade och bindande styrmedlen är, liksom i hur tydligt kopplade de är till mätbara krav i byggprojekt [67].

CCCCC

4 Diskussion

I denna syntesstudie genomfördes en systematisk litteraturstudie för att kartlägga det befintliga kunskapsläget, identifiera nya forskningsresultat samt belysa kunskapsluckor i syfte att stödja och stimulera byggsektorns omställning mot ökad cirkularitet. Både nationella forskningsprojekt och internationella vetenskapliga artiklar har granskats, med särskilt fokus på fyra huvudområden kopplade till cirkularitet inom byggsektorn: (1) digitalisering, (2) miljömässiga och ekonomiska incitament, (3) tillämpningsnivå samt (4) policy och regelverk. Litteraturstudien visar att materialpass och BIM har fått relativt stort fokus jämfört med andra nyare digitala tekniker såsom blockkedjor och AI. Det finns därför ett behov av att i högre grad undersöka hur dessa framväxande tekniker kan bidra till att möjliggöra övergången till en cirkulär byggsektor. Dessutom har många av dessa studier främst fokuserat på projekteringsfasen och byggnadens slutskede, med syfte att minska materialanvändning, reducera rivningsavfall samt öka återbruk och återvinning av material. Driftsfasen, och vilka digitala tekniker som kan främja reparation och återbruk av material under förvaltningsskedet, har däremot studerats i betydligt mindre utsträckning. Därmed finns ett behov av mer forskning som riktar sig mot på detta område. Vidare visar litteraturstudien tydlig evidens för att 6 cirkulära principer kan medföra både miljömässiga och ekonomiska fördelar. Dessa inkluderar: (1) R1-vägra, främst genom energieffektiv design; (2) R2-tänka om, främst genom integrering av hållbara funktioner (såsom gröna tak) i byggnader; (3) R3-minska, genom minskad materialåtgång möjliggjord av effektiv projektering och produktionsplanering; (4) R4-återanvända, genom substitution av konventionella material med alternativa ballastmaterial eller kompletterande cementbaserade bindemedel i betong; (5) R6-renovera, särskilt åtgärder som syftar till att förbättra energiprestanda; samt (6) R9-återvinna, exempelvis återvinning av betong eller gips. Trots detta har en stor del av de tidigare studier som har analyserat de miljömässiga och ekonomiska effekterna av att tillämpa olika cirkulära principer inom byggsektorn inte inkluderat samtliga skeden i byggnadens livscykel. Dessutom har flera av de studier som faktiskt utvärderat sådana effekter rapporterat motstridiga resultat, där vissa principer minskar påverkan i en dimension men samtidigt ökar den i en annan. Detta innebär att det fortfarande saknas tydlig kunskap om vilka miljömässiga och ekonomiska konsekvenser varje enskild cirkulär princip medför ur ett livscykelperspektiv. Därmed blir det svårt för byggaktörer att tillämpa cirkulära principer, eftersom de saknar tillräcklig information om de incitament som är kopplade till olika cirkulära åtgärder. Detta leder i sin tur till att risken för negativa konsekvenser vid implementering av cirkularitet fortfarande upplevs som hög. För en mer

cirkulär byggsektor krävs dessutom att cirkulära principer tillämpas på olika nivåer, dvs. från mikronivå (byggnadsmaterial), till mesonivå (byggnadsprojekt) samt makronivå (byggnadsbestånd och stadsdelar). Ur ett mikroperspektiv finns det begränsad information om tillgången på olika typer av material och komponenter i befintliga byggnader. Även om de återbruksåtgärder som föreslås i litteraturen kan underlätta användningen av återanvända material, påverkas deras faktiska genomförande starkt av hur mogen byggsektorn är i olika länder. Detta innebär att även välutformade strategier kan vara svåra att tillämpa om den lokala sektorn saknar nödvändig teknisk infrastruktur, erfarenhet eller efterfrågan. Ur ett meso-perspektiv saknas kunskap om hur implementeringen av cirkulära R-strategier varierar mellan olika byggnadsprojekt, exempelvis beroende på projektstorlek, samarbetsformer, materialflöden eller organisatoriska förutsättningar. På makronivå finns begränsad insikt i hur länder och regioner skiljer sig åt i sin tillämpning av cirkulära strategier. Detta gäller regler och riktlinjer, marknadstillgång till sekundära material och institutionell kapacitet. Eftersom länders regelverk, kultur och tekniska infrastrukturer varierar kraftigt, kan samma strategier få helt olika utfall i praktiken. Vad gäller policy och regelverk saknas, trots omfattande analyser av olika policyinstrument, fortfarande studier som undersöker den faktiska mognadsnivån hos dessa instrument och hur långt länder egentligen har kommit i sin policyutveckling för cirkulärt byggande. Forskningen har hittills främst fokuserat på vilka policyer som finns och hur de är utformade, men det saknas analyser som tar hänsyn till ekonomiska och institutionella förutsättningar, såsom inkomstskillnader mellan länder, finansieringskapacitet, tillgång till relevant teknisk expertis och kompetens inom cirkulära processer. Dessa faktorer kan ha en avgörande betydelse för hur policyer möjliggör eller begränsar cirkularitet i praktiken, men är i dagsläget otillräckligt utforskade. En annan central brist rör kulturell acceptans och normer, som kan påverka både viljan att återanvända material och inställningen till regulatoriska krav. Policystudier tenderar att förbise dessa kulturella dimensioner, trots att de kan vara avgörande för att förstå varför vissa åtgärder fungerar i vissa länder men inte i andra. Därtill saknas kunskap om policyernas faktiska striktionsgrad, det vill säga hur bindande och operativa de verkligen är, samt i vilken utsträckning de efterlevs av branschaktörer. Många policyer kan framstå som ambitiösa på papperet men vara svaga i genomförandet, sakna tydliga uppföljningsmekanismer eller bara tillämpas selektivt. Mot bakgrund av dessa kunskapsluckor bör framtida forskning studera hur policyimplementering och relaterade variabler utvecklas över tid, både nationellt och internationellt. Långsiktiga och jämförande studier behövs för att identifiera vilka policyer som verkligen får effekt, hur institutionella förutsättningar förändras och hur olika aktörer tolkar och agerar på styrmedel. En fördjupad förståelse för hur policyer utformas, tolkas och tillämpas i olika politiska, ekonomiska och kulturella sammanhang skulle därmed ge viktiga kompletterande insikter. Detta är särskilt

relevant i ljuset av den snabba utvecklingen inom cirkulär ekonomi och den ökade politiska pressen att minska avfall och klimatpåverkan från byggsektorn.

5 Publikationslista

Jalilzadehazhari, E., Shadram, F. (2026). A Literature Synthesis on Circularity in the Construction Sector. Submitted to BuildSimNordic2026.

6 Referenser, källor

- [1] P. Nuñez-Cacho, J. Górecki, V. Molina-Moreno, and F. A. Corpas-Iglesias, 'What Gets Measured, Gets Done: Development of a Circular Economy Measurement Scale for Building Industry', *Sustainability*, vol. 10, no. 7, p. 2340, Jul. 2018, doi: 10.3390/su10072340.
- [2] R. Askar, L. Bragança, and H. Gervásio, 'Design for Adaptability (DfA)—Frameworks and Assessment Models for Enhanced Circularity in Buildings', *ASI*, vol. 5, no. 1, p. 24, Feb. 2022, doi: 10.3390/asi5010024.
- [3] A. Darko and A. P. C. Chan, 'Critical analysis of green building research trend in construction journals', *Habitat International*, vol. 57, pp. 53–63, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.habitatint.2016.07.001.
- [4] Marielle Henriksson et al., 'Trävärden', 2024. Accessed: Apr. 10, 2026. [Online]. Available: <https://www.ri.se/sites/default/files/2024-03/Tidskrift%20Tr%C3%A4teknik%202024.pdf>
- [5] A. Talla and S. McIlwaine, 'Industry 4.0 and the circular economy: using design-stage digital technology to reduce construction waste', *SASBE*, vol. 13, no. 1, pp. 179–198, Jan. 2024, doi: 10.1108/SASBE-03-2022-0050.
- [6] M. R. Munaro and S. F. Tavares, 'A review on barriers, drivers, and stakeholders towards the circular economy: The construction sector perspective', *Cleaner and Responsible Consumption*, vol. 8, p. 100107, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.clrc.2023.100107.
- [7] B. Esposito, M. R. Sessa, D. Sica, and O. Malandrino, 'Towards Circular Economy in the Agri-Food Sector. A Systematic Literature Review', *Sustainability*, vol. 12, no. 18, p. 7401, Sep. 2020, doi: 10.3390/su12187401.

- [8] S. Çetin, C. De Wolf, and N. Bocken, 'Circular Digital Built Environment: An Emerging Framework', *Sustainability*, vol. 13, no. 11, p. 6348, Jun. 2021, doi: 10.3390/su13116348.
- [9] 'Swecris – Forskningsfinansiärers projekt i Sverige', Swecris. Accessed: Nov. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.vr.se/swecris.html>
- [10] Agnes Nagy and Madumita Sadagopan, 'Objektorienterad selektiv rivning för cirkulär ekonomi och minskad klimatpåverkan', Borås, 2022. [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1820347/FULLTEXT01.pdf>
- [11] K. Sandberg and A. Pousette, 'Framtidens design - Återanvändning av träbyggnader i en cirkulär ekonomi', 2023. [Online]. Available: <https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1906711/FULLTEXT01.pdf>
- [12] I. Gabrielsson and L. Brander, 'Rivningsobjekt – från kostnad till resurs: Omvärldsanalys', Borås, 2021. [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1561565/FULLTEXT01.pdf>
- [13] S. Kaså, J. Sondal, K. M. Engstrand, A.-M. Blixt, and H. Borseman, 'CIRA: Cirkulär och inkluderande renovering av allmännyttan', 2024. [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1867355/FULLTEXT01.pdf>
- [14] J. Andersson, T. Sundén, Sandra Moberg, and Martin Erlandsson, 'Digitaliserade miljö- och klimatkrav genom hela upphandlingskedjan', 2019. [Online]. Available: <https://www.smartbuilt.se/media/lwmjyqk0/slutrapport-digitaliserade-klimat-och-miljo-krav-2019-01796.pdf>
- [15] Y. Sandin, G. Sandin, C. Cristescu, and J. Olsson, 'Kunskapsläge kring byggnader med stomme av trä: teknik, hållbarhet och cirkulär materialanvändning', 2020. [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1430476/FULLTEXT02.pdf>
- [16] 'Dags att bygga och riva cirkulärt', Göteborgs Stad, 2020. [Online]. Available: <https://goteborg.se/wps/wcm/connect/d0600675-8e9c-4522-9984-4783c65d9a07/Slutrapport+Upphandlingskrav+f%C3%B6r+cirkul%C3%A4ra+fil%C3%B6r+i+bygg-+och+rivningsprocessen.pdf?MOD=AJPERES>
- [17] R. Jockwer, Y. Goto, E. Scharn, and K. Crona, 'Design for adaption – making timber buildings ready for circular use and extended service life', *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 588, p. 052025, Nov. 2020, doi:

10.1088/1755-1315/588/5/052025.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/588/5/052025>

[18] L. Arva et al., 'Handlingsplan digitala leveranskedjor', 2021. [Online].

Available: <https://www.smartbuilt.se/media/2upgxrla/digital-supply-chains-slutrapport.pdf>

[19] K. Sandberg, Y. Sandin, A. Harte, M. Hughes, D. Ridley-Ellis, and G. Turk, 'Summary report InFuTUReWood –', 2022. [Online]. Available:

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1711749/FULLTEXT02.pdf>

[20] Martin Erlandsson et al., 'Digital produktinformation baserat på datamallar',

2022. [Online]. Available: https://www.smartbuilt.se/media/m5wgvc13/b2459-poc-datamallar_sbe_sbuf-13981_siv1-ivl-b-2459_-januari-2023.pdf

[21] Robert af Wetterstedt, 'Systematiskt informationsutbyte för cirkulära affärsmodeller', 2021. [Online]. Available:

<https://www.smartbuilt.se/media/kvibd0v4/projektbeskrivning.pdf>

[22] Emma Östlund et al., 'Cirkularitetsindex (CIX-projektet)', 2020. [Online].

Available: <https://www.ettelva.se/app/uploads/2020/06/Slutrapport-CIX-projektet-2020-webb-1.pdf>

[23] R. Lundgren, 'Adaptive reuse and shared spaces as circular business models', Doctoral thesis, Lund University, 2023. [Online]. Available:

https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/159811890/e_spik_ex_rebecka.pdf

[24] W. Long, S. T. Ng, W. Lu, L. Mora, and Z. Bao, 'Deciphering how digital functions enable circular economy practices in construction: A critical review of recent progress and future outlook', *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 113, p. 107889, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.eiar.2025.107889.

[25] M. Kochanski, M. T. Lotz, and K. Korczak, 'Benchmarking circular economy measures in buildings along the 11R framework: A systematic review of quantified impacts on material use, energy consumption, GHG emissions, and costs', *Journal of Cleaner Production*, vol. 485, p. 144337, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.144337.

[26] S. Muñoz, M. R. Hosseini, and R. H. Crawford, 'Exploring the environmental assessment of circular economy in the construction industry: A scoping review', *Sustainable Production and Consumption*, vol. 42, pp. 196–210, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.spc.2023.09.022.

2026-04-30

2026-207889-0003

- [27] V. G. Larsen, N. Tollin, P. A. Sattrup, M. Birkved, and T. Holmboe, 'What are the challenges in assessing circular economy for the built environment? A literature review on integrating LCA, LCC and S-LCA in life cycle sustainability assessment, LCSA', *Journal of Building Engineering*, vol. 50, p. 104203, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.jobe.2022.104203.
- [28] A. Bellini, A. Tadayon, B. Andersen, and N. J. Klungseth, 'The role of data when implementing circular strategies in the built environment: A literature review', *Cleaner Environmental Systems*, vol. 13, p. 100183, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.cesys.2024.100183.
- [29] R. Dziedzic, P. Pondicherry, and M. Dziedzic, 'Review of national policy instruments motivating circular construction', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 215, p. 108053, Apr. 2025, doi: 10.1016/j.resconrec.2024.108053.
- [30] C. Illankoon and S. C. Vithanage, 'Closing the loop in the construction industry: A systematic literature review on the development of circular economy', *Journal of Building Engineering*, vol. 76, p. 107362, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.jobe.2023.107362.
- [31] F. Ossio, C. Salinas, and H. Hernández, 'Circular economy in the built environment: A systematic literature review and definition of the circular construction concept', *Journal of Cleaner Production*, vol. 414, p. 137738, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137738.
- [32] B. S. Byers, D. Raghu, A. Olumo, C. De Wolf, and C. Haas, 'From research to practice: A review on technologies for addressing the information gap for building material reuse in circular construction', *Sustainable Production and Consumption*, vol. 45, pp. 177–191, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.spc.2023.12.017.
- [33] P. Jegen, L. Gast, and M. Faulstich, 'A review of the implementation of R-imperatives in circular construction', *Cleaner Production Letters*, vol. 8, p. 100097, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.clpl.2025.100097.
- [34] S. Banihashemi, S. Meskin, M. Sheikhhoshkar, S. R. Mohandes, A. Hajirasouli, and K. LeNguyen, 'Circular economy in construction: The digital transformation perspective', *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 18, p. 100715, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.clet.2023.100715.
- [35] S. Rashidian, S. T. Hossain, K. Volz, and M. Teo, 'Enabling circularity in construction: A technology-phase alignment of construction 4.0 and circular

economy principles', *Sustainable Production and Consumption*, vol. 60, pp. 245–259, Nov. 2025, doi: 10.1016/j.spc.2025.10.004.

[36] K. Rahla, R. Mateus, and L. Bragança, 'Implementing Circular Economy Strategies in Buildings—From Theory to Practice', *ASI*, vol. 4, no. 2, p. 26, Apr. 2021, doi: 10.3390/asi4020026.

[37] S. Çetin, D. Raghu, M. Honic, A. Straub, and V. Gruis, 'Data requirements and availabilities for material passports: A digitally enabled framework for improving the circularity of existing buildings', *Sustainable Production and Consumption*, vol. 40, pp. 422–437, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.spc.2023.07.011.

[38] K. Rahla, R. Mateus, and L. Bragança, 'Implementing Circular Economy Strategies in Buildings—From Theory to Practice', *ASI*, vol. 4, no. 2, p. 26, Apr. 2021, doi: 10.3390/asi4020026.

[39] M. Honic, I. Kovacic, G. Sibenik, and H. Rechberger, 'Data- and stakeholder management framework for the implementation of BIM-based Material Passports', *Journal of Building Engineering*, vol. 23, pp. 341–350, May 2019, doi: 10.1016/j.jobe.2019.01.017.

[40] M. Honic, I. Kovacic, and H. Rechberger, 'Improving the recycling potential of buildings through Material Passports (MP): An Austrian case study', *Journal of Cleaner Production*, vol. 217, pp. 787–797, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.212.

[41] K. Cornely, G. Ascensão, and V. M. Ferreira, 'A Case Study on Integrating an Eco-Design Tool into the Construction Decision-Making Process', *Applied Sciences*, vol. 14, no. 22, p. 10583, Nov. 2024, doi: 10.3390/app142210583.

[42] S. Sivashanmugam, S. Rodriguez Trejo, and F. Rahimian, 'BIM-integrated semantic framework for construction waste quantification and optimisation', *Automation in Construction*, vol. 168, p. 105842, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.autcon.2024.105842.

[43] J. Won, J. C. P. Cheng, and G. Lee, 'Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea', *Waste Management*, vol. 49, pp. 170–180, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.wasman.2015.12.026.

[44] A. Shojaei, R. Ketabi, M. Razkenari, H. Hakim, and J. Wang, 'Enabling a circular economy in the built environment sector through blockchain

technology', *Journal of Cleaner Production*, vol. 294, p. 126352, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126352.

[45] O. O. Akinade and L. O. Oyedele, 'Integrating construction supply chains within a circular economy: An ANFIS-based waste analytics system (A-WAS)', *Journal of Cleaner Production*, vol. 229, pp. 863–873, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.232.

[46] K. Rakhshan, J.-C. Morel, and A. Daneshkhah, 'Predicting the technical reusability of load-bearing building components: A probabilistic approach towards developing a Circular Economy framework', *Journal of Building Engineering*, vol. 42, p. 102791, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.jobbe.2021.102791.

[47] Y. Bao, Z. Huang, H. Wang, G. Yin, X. Zhou, and Y. Gao, 'High-resolution quantification of building stock using multi-source remote sensing imagery and deep learning', *J of Industrial Ecology*, vol. 27, no. 1, pp. 350–361, Feb. 2023, doi: 10.1111/jiec.13356.

[48] K. Lin et al., 'Deep convolutional neural networks for construction and demolition waste classification: VGGNet structures, cyclical learning rate, and knowledge transfer', *Journal of Environmental Management*, vol. 318, p. 115501, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115501.

[49] S. Shaik et al., 'Space-age energy saving, carbon emission mitigation and color rendering perspective of architectural antique stained glass windows', *Energy*, vol. 259, p. 124898, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.energy.2022.124898.

[50] E. Quaranta, C. Dorati, and A. Pistocchi, 'Water, energy and climate benefits of urban greening throughout Europe under different climatic scenarios', *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, p. 12163, Jun. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-88141-7.

[51] I. Ziogou, A. Michopoulos, V. Voulgari, and T. Zachariadis, 'Implementation of green roof technology in residential buildings and neighborhoods of Cyprus', *Sustainable Cities and Society*, vol. 40, pp. 233–243, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.scs.2018.04.007.

[52] T. Joensuu, R. Leino, J. Heinonen, and A. Saari, 'Developing Buildings' Life Cycle Assessment in Circular Economy-Comparing methods for assessing carbon footprint of reusable components', *Sustainable Cities and Society*, vol. 77, p. 103499, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.scs.2021.103499.

[53] C. Llatas, R. Quiñones, and N. Bizcocho, 'Environmental Impact Assessment of Construction Waste Recycling versus Disposal Scenarios Using

an LCA-BIM Tool during the Design Stage', *Recycling*, vol. 7, no. 6, p. 82, Nov. 2022, doi: 10.3390/recycling7060082.

[54] N. J. Mim et al., 'Eco-friendly and cost-effective self-compacting concrete using waste banana leaf ash', *Journal of Building Engineering*, vol. 64, p. 105581, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.jobe.2022.105581.

[55] R. Assaggaf, M. Maslehuddin, M. A. Al-Osta, S. U. Al-Dulaijan, and S. Ahmad, 'Properties and sustainability of treated crumb rubber concrete', *Journal of Building Engineering*, vol. 51, p. 104250, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.jobe.2022.104250.

[56] M. Xu et al., 'Utilization of RCAs arising from excavated soil in CTBM: Laboratory characterization and environmental impact assessment', *Journal of Cleaner Production*, vol. 375, p. 134221, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134221.

[57] G. Bumanis, A. Korjamins, and D. Bajare, 'Environmental Benefit of Alternative Binders in Construction Industry: Life Cycle Assessment', *Environments*, vol. 9, no. 1, p. 6, Jan. 2022, doi: 10.3390/environments9010006.

[58] A. Aslani and C. Hachem-Vermette, 'Contrasting the environmental impact of conventional walls and magnesium oxychloride walls', *Construction and Building Materials*, vol. 321, p. 126373, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126373.

[59] A. Dias et al., 'Environmental and Economic Comparison of Natural and Recycled Aggregates Using LCA', *Recycling*, vol. 7, no. 4, p. 43, Jun. 2022, doi: 10.3390/recycling7040043.

[60] M. Del Rio Merino, P. Villoria Sáez, I. Longobardi, J. Santa Cruz Astorqui, and C. Porras-Amores, 'Redesigning lightweight gypsum with mixes of polystyrene waste from construction and demolition waste', *Journal of Cleaner Production*, vol. 220, pp. 144–151, May 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.132.

[61] C. De Wolf, E. Hoxha, and C. Fivet, 'Comparison of environmental assessment methods when reusing building components: A case study', *Sustainable Cities and Society*, vol. 61, p. 102322, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.scs.2020.102322.

[62] J. Devènes, J. Brütting, C. Küpfer, M. Bastien-Masse, and C. Fivet, 'Re:Crete – Reuse of concrete blocks from cast-in-place building to arch



footbridge', Structures, vol. 43, pp. 1854–1867, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.istruc.2022.07.012.

[63] E. Knecht, 'Future Learning Spaces - Re-Used', p. 80 p., 2022, doi: 10.3929/ETHZ-B-000639448.

[64] N. Sharma, P. P. Kalbar, and M. Salman, 'Global review of circular economy and life cycle thinking in building Demolition Waste Management: A way ahead for India', Building and Environment, vol. 222, p. 109413, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109413.

[65] D. Raghu and C. De Wolf, 'India's Informal Reuse Ecosystem Towards Circular Construction', in Design for Rethinking Resources, M. R. Thomsen, C. Ratti, and M. Tamke, Eds, in Sustainable Development Goals Series. Cham: Springer International Publishing, 2024, pp. 127–137. doi: 10.1007/978-3-031-36554-6_10.

[66] H. HaitherAli and G. Anjali, 'Circular Economy in Construction Sector—a Guideline for Policy Makers from Global Perspective', Circ.Econ.Sust., vol. 4, no. 2, pp. 1285–1313, Jun. 2024, doi: 10.1007/s43615-023-00321-x.

[67] M. Zu Castell-Rüdenhausen et al., 'Policies as Drivers for Circular Economy in the Construction Sector in the Nordics', Sustainability, vol. 13, no. 16, p. 9350, Aug. 2021, doi: 10.3390/su13169350.

7 Bilagor

Lista över de inkluderade nationella rapporterna och vetenskapliga översiktsartiklarna i syntesen

Nummer	Typ	Titel	Referens
1	Nationell projektrapport	Trävärden 2024	[4]
2	Nationell projektrapport	Objektsorienterad selektiv rivning för cirkulär ekonomi och minska klimatpåverkan	[10]
3	Nationell projektrapport	Framtidens design - Återanvändning av träbyggnader i en cirkulär ekonomi	[11]
4	Nationell projektrapport	Rivningsobjekt – från kostnad till resurs	[12]
5	Nationell projektrapport	Cirkulär och inkluderande renovering av allmännyttan (CIRA)	[13]



2026-04-30 2026-207889-0003

6	Nationell projektrapport	Digitaliserade miljö- och klimatkrav genom hela upphandlingskedjan	[14]
7	Nationell projektrapport	Kunskaper och kunskapsbehov för byggbranschens omställning till en biobaserad samhällsekonomi: med fokus på biobaserade byggnadsstommar	[15]
8	Nationell projektrapport	Upphandlingskrav för cirkulära flöden i bygg- och rivningsprocessen	[16]
9	Nationell projektrapport	Anpassningsbar design - att göra byggnader redo för cirkulär användning och ökad livslängd	[17]
10	Nationell projektrapport	Färdplan Digitala leveranskedjor	[18]
11	Nationell projektrapport	InFutUReWood: Innovative Design For the Future – Use and Reuse of Wood (Building) Components	[19]
12	Nationell projektrapport	Nyttjande av datamallar - koncepttest	[20]
13	Nationell projektrapport	Systematiskt informationsutbyte för cirkulära affärsmodeller	[21]
14	Nationell projektrapport	Digitalisering av CIX-verktyget – för ökad byggnadscirkularitet	[22]
15	Nationell projektrapport	SHare Optimize REImagine (SHORE) - omformulering av cirkulär ekonomi för fastighets- och byggbranschen	[23]
16	Internationell vetenskaplig artikel	Deciphering how digital functions enable circular economy practices in construction: A critical review of recent progress and future outlook	[24]
17	Internationell vetenskaplig artikel	Benchmarking circular economy measures in buildings along the 11R framework: A systematic review of quantified impacts on material use, energy consumption, GHG emissions, and costs	[25]
18	Internationell vetenskaplig artikel	Exploring the environmental assessment of circular economy in the construction industry: A scoping review	[26]
19	Internationell vetenskaplig artikel	What are the challenges in assessing circular economy for the built environment? A literature review on integrating LCA, LCC and S-LCA in life cycle sustainability assessment, LCSA	[27]
20	Internationell vetenskaplig artikel	The role of data when implementing circular strategies in the built environment: A literature review	[28]
21	Internationell vetenskaplig artikel	Review of national policy instruments motivating circular construction	[29]
22	Internationell vetenskaplig artikel	Closing the loop in the construction industry: a systematic literature review on the development of circular economy	[30]



2026-207889-0003 2026-04-30

23	Internationell vetenskaplig artikel	Circular economy in the built environment: a systematic literature review and definition of the circular construction concept	[31]
24	Internationell vetenskaplig artikel	From research to practice: a review on technologies for addressing the information gap for building materials reuse in circular construction	[32]
25	Internationell vetenskaplig artikel	A review of the implementation of R-impertives in circular construction	[33]