



2026-03-12

2026-204754-0001

Slutrapport

Energimyndighetens titel på projektet – svenska

En resilient, digital och grön omställning av den byggda miljön –
vad innebär det?

Energimyndighetens titel på projektet – engelska

A resilient twin transition – digitalization accelerating green
transition – what does it mean in the built environment?

Organisation

RISE Research Institutes of Sweden AB

Systemomställning

Box 857 501 15 BORÅS

Nyckelord: 5–7 stycken

Twin transition, hållbarhet, energieffektivisering, digitalisering,
fastigheter, resiliens



2026-03-12
2026-204754-0001

Förord

Denna rapport har tagits fram inom projektet ”En resilient, digital och grön omställning av den byggda miljön - vad innebär det?” Projektet har i sin helhet finansierats inom Energimyndighetens forskningsprogram ”Synteser och systemanalyser för en resurseffektiv bebyggelse”. Hela projektet har genomförts på forskningsinstitutet RISE. Projektet har letts av Anna-Lena Lane, som är forskare. I projektgruppen har Elin Daun, Maria Håkansson, Sofia Stensson och Karolina Ekdal från RISE ingått.

Rapporten har främst sammanställts av Anna-Lena Lane, Karolina Ekdal och Sofia Stensson.



Innehåll

1	Inledning/bakgrund	6
1.1	Utmaningar/problem	6
1.2	Bebyggelsen i Sverige.....	7
1.3	Byggprocessen.....	10
1.4	Hållbarhetsutmaningar	10
1.5	Angreppssätt, syfte.....	11
2	Genomförande	11
2.1	Metodik för vetenskaplig litteratursökning och sammanställning	12
2.2	Metodik för sökning och sammanställning av grå litteratur	13
2.3	Digital workshop med branschen	14
2.4	Energiutblick - bebyggelsedagarna.....	15
2.5	Metodik för övergripande analys.....	16
2.6	Avgränsningar och begränsningar i studien	16
3	Resultat	17
3.1	Vad är digitalisering?	17
3.2	Beskrivning av svensk kontext för byggnader, digitalisering, hållbarhet och resiliens med utgångspunkt från workshopen... ..	17
3.3	Sammanställning av vetenskaplig litteratur.....	24
3.4	Sammanställning av grå litteratur	38
3.5	Datacenter.....	54
3.6	Skillnader och likheter mellan forskning och praktik	55
4	Diskussion	57
5	Publikationslista	59
6	Referenser, källor	59
6.1	Vetenskapliga referenser	59
7	Bilagor	66

Sammanfattning

En framgångsrik grön och digital omställning, en sk ”Twin transition”, har lyfts både inom EU och forskningen som ett avgörande sätt att minska klimatpåverkan. Kan den snabba digitala utvecklingen också bidra till hållbarhet för bebyggelsen och vad innebär begreppet Twin transition för den byggda miljön i Sverige? Detta är frågor som undersökts i denna studie. I projektet har en syntes av forskningsläget för digitalisering som bidrar till hållbarhet i svensk bebyggelse sammanställts. Studien är omfattande och baseras på 78 vetenskapliga artiklar, 267 rapporter från svenska forsknings- och innovationsprogram samt en workshop med branschaktörer. Forskningen visar på många möjligheter med digitalisering för att minska energianvändning, öka flexibilitet och bidra till hållbarhet på fler sätt i den svenska bebyggelsen. Sensorer, smart styrning och AI kan optimera värme, ventilation och belysning, minska effektuttag och hjälpa byggnader att samspela bättre med energisystemet. Digitala verktyg som BIM och klimatberäkningar göra det lättare att välja material och lösningar med låg klimatpåverkan. Digitaliseringen kan vara avgörande för möjligheterna att återbruka material och öka cirkulariteten i byggbranschen. Samtidigt finns hinder som bromsar utvecklingen. Många fastighetsägare, särskilt mindre aktörer, saknar både kompetens och resurser för att införa och underhålla digitala system. Äldre byggnader saknar ofta teknik för mätning och styrning. Dessutom skapar digitaliseringen nya risker kopplade till exempelvis cybersäkerhet, och den digitala teknikens egen energianvändning är fortfarande dåligt kartlagd. Det finns generellt få reflektioner kring resiliens och motståndskraft, vilket däremot var ett aktuellt ämne för branschen. Begreppet Twin transition används inte brett, men både hållbarhet och digitalisering förekommer ofta inom forskning och praktik, men formuleringarna varierar. Det finns nackdelar med begreppet Twin transition. Att fokusera på att digitalisering ska lösa hållbarhetsfrågorna begränsar, när det kan finnas många icke-digitala angreppssätt som kan vara mer framgångsrika. Sammanfattningsvis är forskningsläget starkt när det gäller att beskriva vad digital teknik kan göra, men betydligt svagare när det gäller hur den fungerar i praktiken, för vem den fungerar, och under vilka förutsättningar digitaliseringen faktiskt leder till hållbarhet och ökad resiliens. För att kunna prioritera framtida insatser behövs därför mer forskning som integrerar tekniska, organisatoriska och användarorienterade perspektiv samtidigt. Studier som systematiskt utvärderar digitala lösningars klimatnytta, robusthet, resiliens och långsiktiga effekter i verkliga byggnader är viktiga.

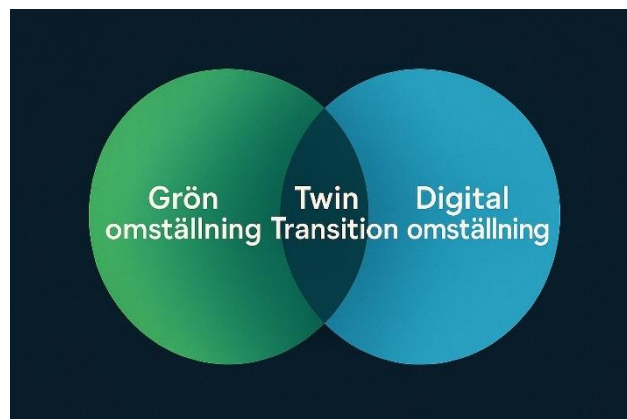
Summary

A successful green and digital transition, a so-called "Twin transition", has been highlighted both within the EU and in research as a crucial way to reduce climate impact. Can the rapid digital development also contribute to sustainability for the built environment and what does the concept of Twin transition mean for the built environment in Sweden? These are questions that have been investigated in this study. In the project, a synthesis of the research situation for digitalization that contributes to sustainability in Swedish buildings has been compiled. The study is comprehensive and is based on 78 scientific articles, 267 reports from Swedish research and innovation programs and a workshop with industry actors. The research shows many opportunities with digitalization to reduce energy use, increase flexibility and contribute to sustainability in more ways in Swedish buildings. Sensors, smart control and AI can optimize heating, ventilation and lighting, reduce power consumption and help buildings interact better with the energy system. Digital tools such as BIM and climate calculations make it easier to choose materials and solutions with a low climate impact. Digitalization can be crucial for the opportunities to reuse materials and increase circularity in the construction industry. At the same time, there are obstacles that slow down development. Many property owners, especially smaller players, lack both the skills and resources to introduce and maintain digital systems. Older buildings often lack technology for measurement and control. In addition, digitalization creates new risks linked to cyber security, for example, and the energy use of digital technology itself is still poorly mapped. There are generally few reflections on resilience and resilience, which was a topical topic for the industry. The term Twin Transition is not widely used, but both sustainability and digitalization are often used in research and practice, but the formulations vary. There are disadvantages to the concept of Twin transition. Focusing on digitalization solving sustainability issues is limiting, when there can be many non-digital approaches that can be more successful. In conclusion, the state of research is strong in describing what digital technology can do, but significantly weaker in terms of how it works in practice, for whom it works, and under what conditions digitalization actually leads to sustainability and increased resilience. In order to prioritize future efforts, more research is therefore needed that integrates technical, organizational and user-oriented perspectives at the same time. Studies that systematically evaluate the climate benefits, robustness, resilience and long-term effects of digital solutions in real buildings are important.

1 Inledning/bakgrund

1.1 Utmaningar/problem

I denna syntesstudie har forskningsläget för digitalisering i fastighetssektorn, som bidrar till resurseffektivitet, flexibilitet och energieffektivisering på ett resiliellt och hållbart sätt, undersökts. Det pågår en snabb digital utveckling i samhället som innefattar nya tekniker såsom AI och digitala tvillingar. För bebyggelsen innebär detta bland annat att byggnader kan bli mer flexibla och energieffektiva med digital teknik (EU 2022). Den digitala omställningen kan i hög grad accelerera den gröna omställningen genom att använda teknik för att optimera energiprestandan, störningar i energisystemet och rusta upp mot framtida klimatförändringar. En framgångsrik grön omställning som accelereras av digitalisering – en sk ”Twin transition” – är enligt forskning avgörande för att uppnå FN:s mål för hållbar utveckling (Adenle, De Steur et al. 2023, Burinskiene and Nalivaikė 2024). Begreppet Twin Transition tydliggör digitaliseringens roll genom att visa på de områden där digitalisering och grön omställning möts och förstärker varandra, se Figur 1.



Figur 1: Twin Transition uppstår när digital och grön omställning möts

Inom EU ses denna ”twin transition” som en central strategi för att uppnå klimatneutralitet senast 2050, där den gröna given (Com 2019) är en del i bredare globala hållbarhetsinsatser (Eurecative 2022, European, Joint Research et al. 2022). Den gröna omställningen ger Europa möjlighet att minska energianvändningen samtidigt som beroendet av importerade fossila bränslen minskar och ökar möjligheterna till hållbar tillväxt för alla (Com 2022). Digitalisering är en viktig del i EU:s senaste EPBD-direktiv (Com 2024).

Men enbart digitalisering leder dock inte i sig till förbättrad energi- och miljöprestanda (Bianchini, Damioli et al. 2023) digitalisering kan vara

energikrävande. Även andra målkonflikter som tex ökad komplexitet och risker för sårbarhet finns.

Digitalisering kan bidra på olika sätt till byggnaders energiprestanda och roll i energisystemet. Genom mätningar och nyckeltal ges kunskap om energianvändningen är rimlig och om eventuella åtgärder gett någon effekt (Mariano-Hernández, Hernández-Callejo et al. 2021, Lane, Cehlin et al. 2024). Genom olika digitala styrfunktioner kan byggnadens system optimeras. Digitalisering kan förbättra och förenkla byggnadens kommunikation med övergripande energisystem som elnät och fjärrvärmesystem. Inom forskning för digitalisering av byggnader lyfts bland annat digitala tvillingar (Hosamo, Nielsen et al. 2023, Ni, Zhang et al. 2024) AI (Bagheri, Genikomsakis et al. 2021, Halhoul Merabet, Essaaidi et al. 2021, Yan, Hao et al. 2021), felsökning (Pritoni, Lin et al. 2022, Heimar Andersen, Pommerencke Melgaard et al. 2024) prognoser mm upp som möjligheter. I denna syntes har vi sammanställt luckor och styrkor i forskningen kring digitalisering som bidrar till hållbarhet inom fastighetssektorn för att möjliggöra prioriteringar inom området.

Forskning visar på digitalisering som en viktig komponent för att förbättra och bibehålla energieffektivitet i byggnader inom segmentet lokaler. (Lane 2024). För att energianvändningen i byggnader inte ska öka behöver digitaliseringen sättas i ett sammanhang där den bidrar till mer effektiv fastighetsdrift genom att underlätta och öka förståelsen för byggnadernas system och energianvändning för driftpersonal och de som använder byggnaderna (Lane, Cehlin et al. 2024). Samtidigt pekar forskning på hinder för investeringar i byggnadsautomation (Lane, Selhammer et al. 2025). Systemen uppfattas som dyra i förhållande till potentialen för energieffektivisering och det finns ett behov av ökad kunskap bland de som fattar beslut om investeringar. Det finns därför ett behov av digitalisering för byggnader som är mer kostnadseffektiv och funktionell samtidigt som den kan integreras med befintlig teknik i byggnader och bidra med möjligheter till flexibilitet och energieffektivisering. I detta projekt har därför en bredare kartläggning av befintlig forskning och läget i branschen när det gäller digitalisering av byggnader genomförts. Utgångspunkten för studien har också varit att inkludera fler typer av byggnader än lokaler, där förutsättningarna kan se annorlunda ut för digitalisering.

1.2 Bebyggelsen i Sverige

Bebyggelsen i Sverige inkluderar samhällen i olika storlekar, byggnader av olika typer som är byggda under ett långt tidsspann med varierande byggnadsteknik och typer av installationer för att skapa ett bra inneklimat. Till detta kommer olika typer av ägande, förvaltning och användning av byggnaderna som påverkar möjligheter till implementering av olika digitala lösningar som stödjer hållbarhet.

Fastigheter brukar delas in i tre kategorier av byggnader. En – och tvåfamiljshus, flerbostadshus samt lokaler. Lokaler är byggnader som inte används som bostäder och representerar en rad olika typer av byggnader som skolor, affärslokaler, kontor, sjukhus, och så vidare. En byggnad kan innehålla ytor för både lokaler och bostäder. Antalet fastigheter som innehåller lokaler är enligt Fastighetsägarna över 87 500 stycken, varav 24 000 fastigheter enbart innehåller lokaler.

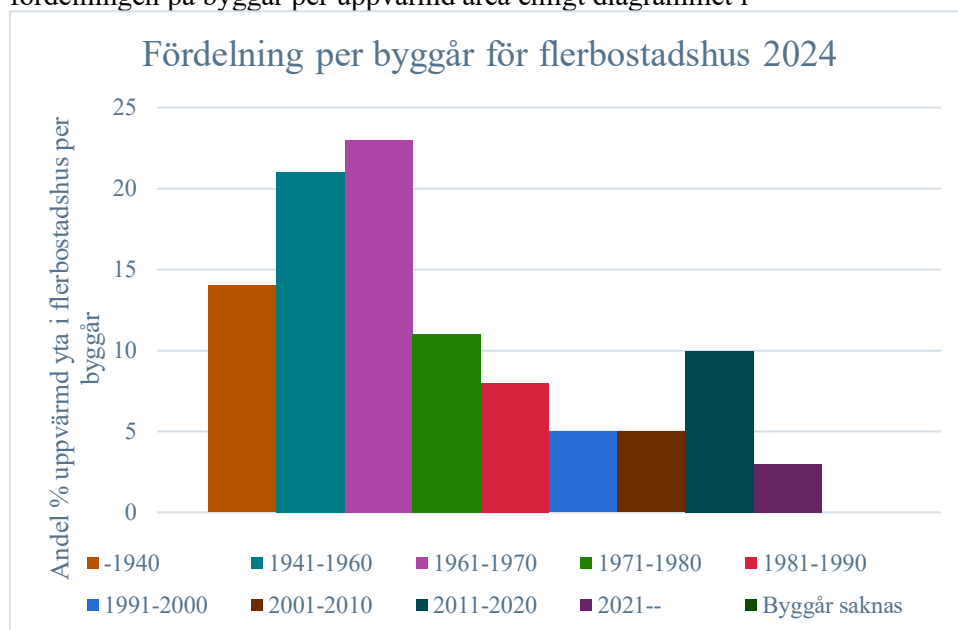
Enligt statistik hos Energimyndigheten (SEA 2023) fanns det år 2024 totalt 701 milj m² byggnader fördelade på 323 milj m² en- och tvåfamiljshus, 198 milj m² flerbostadshus samt 180 milj m² lokaler.

Tabell 1 Yta och energianvändning fördelat på olika byggnadstyper

	Yta, miljoner m ²	Andel, %
En- och tvåfamiljshus	323	46%
Flerbostadshus	198	28%
Lokaler	180	26%
Totalt	701	100%

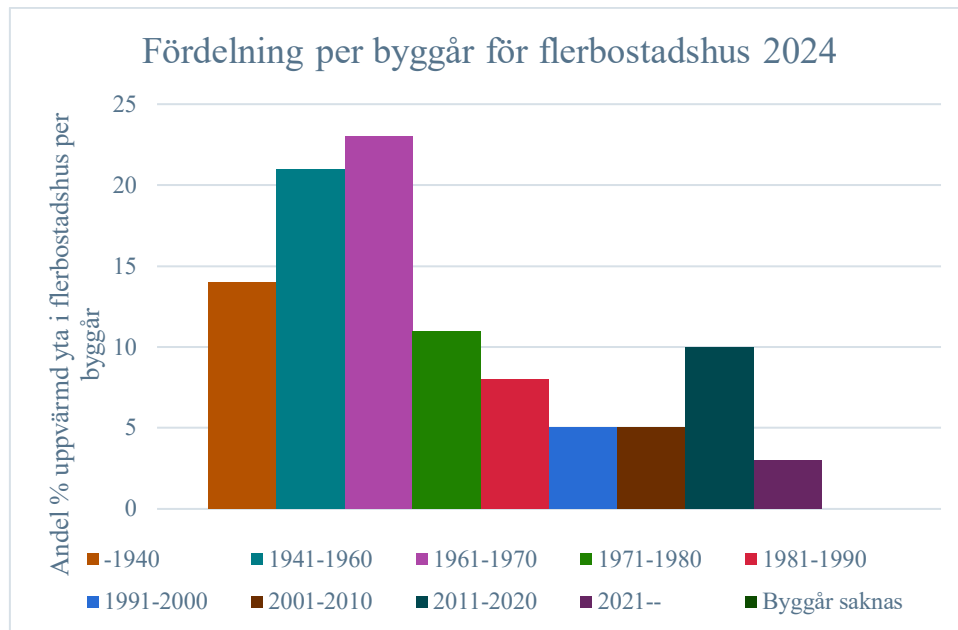
Ägandet av flerbostadshusen var år 2024 fördelat enligt följande: 31% ägs av privata fastighetsägare, 42 % ägs av bostadsrättsföreningar och 27% ägs av allmännyttan.

Byggnader har i regel lång livslängd. För flerbostadshus i Sverige var fördelningen på byggår per uppvärmd area enligt diagrammet i



år 2024. Ca 60% av bostadsytan i flerbostadshus var då byggda före 1970. En

stor del av byggnadsbeståndet är alltså uppfört före den digitala transformationen, vilket innebär att många byggnader från denna period har en låg digital mognadsgrad.



Figur 2: Fördelning per byggår av uppvärmd yta i flerbostadshus. Data för 2024. Källa Energimyndigheten

Enligt Fastighetsägarna är fastighetsbranschen i Sverige i hög grad en småföretagarbransch. År 2024 fanns det cirka 120 000 fastighetsföretag i landet, enligt statistik från SCB och de flesta är mycket små företag och över 105 000 företag har inga anställda alls. Ytterligare drygt 11 000 företag har endast mellan 1 och 4 anställda. Det innebär att över 97 procent av alla fastighetsföretag har färre än fem anställda. Endast 600 företag har fler än 20 anställda och bara 8 företag har över 500 anställda. Till detta kan läggas alla fastigheter som inte ägs av företag utan privatpersoner.

Sammantaget kan sägas att fastigheter ägs av varierande typer av företag, där en stor andel är mycket små. Samtidigt som fastighetsbeståndet är byggt under ett långt tidsspän när teknikutvecklingen varit snabb i samhället. Att digitalisera i fastighetssektorn innebär därför tekniska utmaningar i form av både brist på installationsteknik och utmaningar med att kommunicera med och styra äldre teknik. När äldre tekniska system kopplas upp i efterhand kan det utgöra en källa till cybersäkerhetsrisk, eftersom utrustning som ursprungligen inte varit avsedd för nätverksanslutning saknar grundläggande skydd mot digitala angrepp.

Sammantaget innebär denna kombination av ett fragmenterat ägande och ett ålderstiget fastighetsbestånd att digitalisering i sektorn möter både tekniska och

organisatoriska hinder. Äldre byggnader kräver omfattande anpassningar eftersom tekniken ofta är svår att integrera och saknar förutsättningar för modern styrning, datakommunikation och cybersäkerhet. För små fastighetsägare och privatpersoner, som utgör majoriteten av sektorn, innebär detta även stora kunskaps-, resurs- och kapacitetsutmaningar. Digitaliseringskrav kan också variera kraftigt beroende på ägarform och organisationens storlek.

1.3 Byggprocessen

Till fastighetssektorn räknas inte bara fastighetsägare, utan även de aktörer som ingår i byggprocessen vid nybyggnation och renovering. Byggprocessen kan delas in i olika skeden från planering, projektering, byggskede till drift och förvaltning. Mellan och inom dessa skeden behöver överlämningar av viktig information ske både mellan olika företag och personer som ansvarar för olika moment och funktioner. Digitala verktyg och processer används i olika utsträckning i branschen inom och mellan dessa skeden och kan ha en viktig betydelse för hållbarhetsfrågor kopplat till byggnader. Därför ingår dessa skeden och aktörer i syntesens avgränsning.



Figur 3: Byggprocessens skeden

Skedena har delats in utifrån det som görs. Beroende på vilken entreprenadform man använder kan det övergripande ansvaret för olika delar i framförallt projektering och byggproduktion se olika ut.

1.4 Hållbarhetsutmaningar

Sedan Brundtlandrapporten 1987 har hållbar utveckling definierats som att tillgodose dagens behov utan att äventyra framtida generationers möjligheter att tillgodose sina. Traditionellt beskrivs hållbar utveckling genom tre dimensioner: ekologisk, ekonomisk och social. Ekologisk hållbarhet innebär att bevara och återställa naturresurser och ekosystem. Ekonomisk hållbarhet avser att främja långsiktig ekonomisk utveckling och resurseffektivitet utan att förstöra miljön. Social hållbarhet omfattar frågor som rättvisa, jämlikhet, inkludering och fattigdomsbekämpning, med fokus på att stärka människors livsvillkor och samhällets sammanhållning.

Hållbarhetsutmaningar för bebyggelsen och energisystemet rör både resursanvändning, klimatpåverkan och sociala aspekter av boende och

energitillgång. Byggnadssektorn står globalt för en betydande del av energianvändningen och klimatutsläppen, vilket innebär att både nybyggnation och renovering behöver utformas för att minska energibehovet, öka resurseffektiviteten och möjliggöra en övergång till förnybara energikällor. Samtidigt är energisystemet i snabb förändring, där ökade mängder sol- och vindkraft skapar behov av mer flexibla och smarta lösningar för lagring, styrning och balans mellan produktion och efterfrågan. För bebyggelsen innebär detta en utmaning i att både minska den totala energianvändningen och samtidigt integrera tekniska system som kan interagera med ett allt mer variabel energiproduktion.

1.5 Angreppssätt, syfte

Det övergripande syftet med syntesstudien har varit att undersöka "twin transition" - när digitalisering accelererar grön omställning - för bebyggelse. Fokus har varit riktat på att undersöka vad denna omställning innebär i en svensk kontext för att byggnader ska vara resilienta, flexibla och energieffektiva.

Syftet har varit att få en samlad bild av forskningen för att identifiera kunskapsluckor och styrkor, så att forskning och utveckling kan stödjas på ett framgångsrikt sätt framöver och där målkonflikter hanteras. Syntesen ska också kunna fungera som ett underlag för den kunskap som behöver spridas inom fastighetssektorn för att möjliggöra en resilient, grön och digital omställning.

Projektet har finansierats av Energimyndigheten inom forskningsutlysningen "Synteser och systemanalyser för en resurseffektiv bebyggelse" och har genomförts under 2025 av RISE.

2 Genomförande

Projektet har i sin helhet genomförts av forskare på RISE och har innehållit följande övergripande delmoment:

- Vetenskaplig litteratursökning och sammanställning
- Grå litteratursammanställning
- Workshop med branschen

2.1 Metodik för vetenskaplig litteratursökning och sammanställning

Ämnesområdet för litteraturstudien är brett. Därför valde vi att börja med ett iterativt angreppssätt (Snyder 2019) för att avgränsa och utforma sökningen till en hanterbar datamängd. För att få en första överblick över området och inspiration till utformning av sökningen användes Scopus AI som genererade en kort sammanställning och en söksträng. Scopus AI innehöll motsägelser och uppfyllde inte alla kriterier, så en ny söksträng utformades som innefattade ord för hållbarhet, digitalisering, flexibilitet, bebyggelse och geografi, med relevans för svensk kontext. Sökningen fick begränsas till artiklar och review-artiklar. Konferensartiklar, bokkapitel mm uteslöts ur sökningen samt ämnesområden som inte var relevanta. Sökord för energiberäkningar och simuleringar fick också uteslutas eftersom det gav många träffar och gjorde datamängden ohanterlig. När begrepp för resiliens lades till som ett separat villkor blev däremot datamängden mycket liten, vilket gjorde att vi valde att analysera resiliensperspektiv separat på de artiklar som fångats i sökningen.

Sökningen resulterade i 116 träffar som gick igenom med hjälp av det digitala verktyget Rayyan och senare genom att läsa hela eller delar av artiklarna manuellt enligt följande kriterier:

- Hur bidrar artikeln till hållbarhet?
- Vilken roll har digitalisering?
- Är den relevant för svensk bebyggelse?

Av de 116 artiklarna var 4 st inte åtkomliga, 34 st uteslöts och övriga 78 st ingår i syntesstudien.

De inkluderade artiklarna har analyserats vidare genom att kategorisera dem utifrån en rad olika teman kopplade till olika typer av byggnader och system i byggnader, typer och funktion för digitalisering, bidrag till hållbarhet, resiliens perspektiv, forskningsmetoder, aktörer som berörs samt skeden i byggnaders livscykel. Utifrån tematiseringen har resultatet sorterats och sammanställts.

Förutom den inledande sökningen med Scopus AI har inte AI tjänster använts för genomläsning och analys av de vetenskapliga artiklarna.

Metodiken har vissa begränsningar. Det finns en begränsning kopplat till vilka begrepp som inkluderats i söksträngen och en svårighet att både inkludera och avgränsa omfattningen. Eftersom ämnet är brett och innehåller många aspekter samtidigt har det inneburit att bedömningar av litteratur kan bli svår och subjektiv. Att ha förståelse för ämnet och förutsättningar i den svenska bebyggelsen har också varit avgörande och inverkat på urvalet.

2.2 Metodik för sökning och sammanställning av grå litteratur

För att få en ökad förståelse och beskrivning av den svenska kontexten för digitalisering som accelererar hållbar utveckling för den svenska bebyggelsen har en sammanställning av grå litteratur också gjorts. Efter en inledande sökning på nätet valde vi att avgränsa området grå litteratur till svenska forskningsfinansiärer med relevanta program inom fastighetsområdet. Vi identifierade följande program som relevanta:

- **Smart Built Environment** - smarta verktyg för att skapa ett hållbarare samhällsbyggande. Finansiering från Vinnova, Energimyndigheten och Formas
- **SBUF** - Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond är en privat finansiär som ger projektbidrag till företagen som är medlemmar hos uppdragsgivarna Byggföretagen och Installatörsföretagen. Grundat 1983.
- **BeBo** - Beställargrupp Bostäder, är Energimyndighetens nätverk för energieffektiva flerbostadshus. Nätverket utgörs av ett 40-tal fastighetsägare från både allmännyttan och det privata. BeBo har funnits sedan 1989.
- **BeLok** – Energimyndighetens nätverk för energieffektiva lokaler som startade 2001.
- **BeSmå** – Energimyndighetens beställarnätverk för att minska energianvändningen i småhussektorn
- **E2B2** - Forskningsprogram inom området energieffektivt byggande och boende som pågick 2013–2025. Finansiär Energimyndigheten.
- **Lågan** - ett samarbete mellan Byggföretagen, Energimyndigheten, Boverket, SBUF, Installatörsföretagen, byggentreprenörer, byggherrar och konsulter. Fokus på att öka antalet lågenergibyggnader samt att nå mindre byggherrar och fastighetsägare.

Genom urvalet inkluderas byggnadstyperna lokaler, flerbostadshus och småhus. Inom Smart Built Environment finns ett särskilt fokus på digitalisering som är viktigt. Projektdatabaser för dessa program skannades igenom manuellt genom att läsa projekthemsidor för avslutade projekt. Tillhörande slutrapporter lästes igenom översiktligt (exempelvis sammanfattning), för att välja ut relevanta rapporter som hade inslag av både digitalisering- och hållbarhetsaspekter. Ett par nyckelbegrepp, kopplade till digitalisering (t ex simulering, styrning, verktyg, data, AI) respektive hållbarhet (t ex energieffektivisering, cirkularitet), användes också för att söka i hela dokumenten.

Efter att de rapporter som bedömts mest relevanta sparats ner, skapades en sammanfattande tabell med hjälp av AI, i det här fallet ChatGPT. Totalt identifierades 267 st rapporter. Med tanke på omfattningen på det insamlade materialet, sågs AI som ett sätt att hantera en större datamängd än vad som kunde läsas igenom och kodalas manuellt. Sammanställningen gjordes separat för varje

program, några rapporter i taget, och de resulterande tabellraderna sammanställdes i ett excel-dokument. I tabellen framgick bland annat vilket byggnadsslag och del av byggprocessen rapporten berörde, samt förslag på aspekter inom digital respektive hållbar omställning som förekom i rapporten. Processen var till viss del iterativ, då nya kolumner lades till efter behov. Utifrån den AI-genererade sammanställningen skapades tabeller och tillhörande diagram för att få uppskattning av fördelningen av rapporter per år, byggnadsslag och del av byggskedet. Dessa presenteras senare i denna rapport.

Som ett nästa steg lästes sammanfattningar som utgångspunkt för att identifiera särskilt relevanta rapporter och koda dessa utifrån vilken typ av process digitaliseringen underlättade och vilken hållbarhetsnytta som detta beskrevs bidra till, för att identifiera teman som presenteras i rapportens resultat. Denna process resulterade i ca 95 rapporter som bedömdes vara särskilt relevanta. De markerades i excel-sammanställningen. Nästa steg var att sammanfatta rapporterna utifrån olika byggnadstyper samt steg i byggprocessen, vilket gjordes med hjälp av Copilot för de olika urvalen med tyngdpunkt på de rapporter som markerats som särskilt relevanta. Texterna granskades och vissa referenser kontrollerades, men inte alla, vilket gör att fel kan förekomma. Dessa sammanställningar är redovisade i resultatdelen.

Metodiken för genomförandet av den grå litteratursökningen och sammanställningen har vissa begränsningar. Innehållet är avgränsat till vissa forskningsprogram. Mer marknadsnära dokumentation, som tex tidningsartiklar, fabrikantmaterial mm ingår inte i studien, vilket gör att de praktiska förutsättningarna inte kan beskrivas fullt ut. Ämnet är brett och urvalet beror på hur man avgränsar och förstår ämnet, vilket innebär att relevanta rapporter kan ha exkluderats. När AI-verktyg har använts finns det å andra sidan begränsningar relaterat till hur väl beskrivningar för vad som ska sammanställts har kunnat göras. Det innebär att dessa sammanställningar kan innehålla felaktigheter.

2.3 Digital workshop med branschen

För att förankra och få ytterligare förståelse för förutsättningarna i den svenska bebyggelsen för digitalisering, särskilt med koppling till hållbarhetsfrågor samt resiliens, planerades en digital workshop kring ämnet "twin transition" för relevanta branschaktörer. Bygg och fastighetsbranschen i Sverige som är en bred och stor målgrupp. Den innefattar aktörer från planeringsskeden, design, byggproduktion till drift, förvaltning och användning av byggnader. Till det tillkommer aktörer inom rivning och återbruk av byggmaterial. Byggsektorn kan

också delas in i tre huvudkategorier av byggnader med småhus, flerbostadshus och lokaler. Genom Energimyndigheten finns nätverk för dessa tre byggnadskategorier där RISE är koordinator för BeBo som samlar fastighetsägare för flerbostadshus. Vi valde att utgå från BeBos nätverk med en öppen inbjudan till andra aktörer. En inbjudan till den digitala workshopen skickades ut till BeBos medlemmar samt till en gemensam maillista med bland annat BeLok. Ett inlägg med länk till anmälan delades via BeBos LinkedIn konto. Inlägget delades vidare av projektgruppen med flera.

2.3.1 Genomförande

Workshopen inleddes med en presentation om projektet och preliminära resultat. Därefter delades deltagarna in i tre olika grupper. En del deltagare avbröt och medverkade inte i gruppdiskussionen. En grupp blev liten och slogs ihop med en annan. Totalt medverkade 7 personer i de två grupperna, förutom samtalsledare från RISE. De flesta hade olika roller kopplat till digitalisering eller hållbarhet på bland annat bostadsbolag, energikonsultföretag och leverantörer av digitala fastighetssystem.

Följande frågeställningar låg till grund för samtalen i grupperna:

- Vilken typ av aktör representerar du?
- Vad är högst upp på er agenda när det gäller digitalisering?
 - Har det ni har högst upp på listan:
 - × någon koppling till hållbarhet?
 - × frågetecken kring säkerhet och olika typer av resiliens som ni aktivt diskuterar
- Vad är etablerad digitalisering i er verksamhet?
 - Titta på bilden med byggprocessen och reflektera över er praktik
 - Finns det kopplingar till hållbarhetsfrågor?
- Var ser ni störst potential för utveckling när det gäller digitalisering som också bidrar till hållbarhet i er verksamhet?

Samtalen spelades in och transkriberades med hjälp av AI och ligger med som grund för den vidare analysen i projektet. Transkriberingarna bearbetades manuellt för att identifiera vilken talare som sa vad och korrigera språket. Materialet kodades sedan utifrån ett antal på förhand bestämda teman och relevanta citat lyftes ut och sorterades i mer specifika underteman som presenteras längre fram i rapporten.

2.4 Energiutblick - bebyggelsedagarna

Som komplement till workshopen höll vi i ett samtal med 10 personer på Energimyndighetens konferens Energiutblick – bebyggelsedagar i Stockholm 14-

15 oktober 2025. Samtalet utgick från samma frågor som workshopen och pågick ca 30 min.

2.5 Metodik för övergripande analys

En övergripande analys har också gjorts av projektets tre olika delar med data. Resultaten från de olika delarna har jämförts och analyserats tillsammans, både genom manuell läsning och reflektion samt med hjälp av Co Pilot.

2.6 Avgränsningar och begränsningar i studien

De källor som ingår i studien är främst vetenskaplig litteratur samt rapporter från olika forskningsfinansierade studier i Sverige. Samtal med några aktörer inom branschen har också varit underlag för resultatet i studien. Vad marknaden har att erbjuda i praktiken till fastighetssektorns olika segment har inte ingått att undersöka i studien. Digitalisering är en snabbt växande sektor och nya produkter och tjänster utvecklas snabbt även för fastighetssektorn.

En generell svårighet i arbetet med att skapa syntesen har varit att avgränsa och inkludera artiklar och rapporter på ett konsekvent sätt. Både hållbarhet och digitalisering är vidsträckta begrepp. Samtidigt avser undersökningen ett brett område som byggnaders hela livscykel. Att sedan hitta en relevant koppling mellan hållbarhetsfaktorer och digitalisering skapar ytterligare ett urvalskriterium med diffusa gränser. I arbetet har vi både gjort dessa urval och bedömningar manuellt genom läsning och reflektion samt med hjälp av AI-verktyg. Båda metoderna leder till över och underskattningar av relevans för rapporter och artiklar. AI-verktyget läser hela rapporten med samma uppmärksamhet, vilket är en svårighet när man läser manuellt. Förförståelsen och kännedomen om ämnet spelar en stor roll för tolkning och bedömning av relevans. Även AI får en förförståelse utifrån hur den tränas. Den är dock inte lika känd för användaren. I den vetenskapliga syntesen gjordes sökningen med digitala verktyg utifrån en söksträng som vi tagit fram och inget ytterligare har lagts till. Det materialet har sedan lästs och minskats ned i omfattning. Alla sammanfattningar och analyser har baserats på manuell läsning av materialet. I den grå litteratursammanställningen gjordes istället urvalet på ett mer manuellt sätt, baserat på titlar och sammanfattningar. Sedan har AI och digitala verktyg använts för att analysera och sammanfatta det materialet, i kombination med viss läsning.

Digitaliseringen är etablerad i samhället samtidigt som utvecklingen går snabbt. En svårighet i sammanhanget är då om man ska sätta någon ”nedre gräns” för vad som kan inkluderas i begreppet digitalisering. Vissa saker är vanligt förekommande och det sätt man vanligtvis utför något på.

3 Resultat

3.1 Vad är digitalisering?

Den digitala utvecklingen går snabbt och de flesta människorna i Sverige använder digitala lösningar både i arbete och privat utan att egentligen tänka på det. Detta gäller även för de digitala lösningarna som används både i forskning och praktik för fastigheter och som kan ha betydelse för hållbarhet. Begreppen ”digitisering” och ”digitalisering”, lyfts i rapporten ”Rumsbeskrivning 2.0” från Smart Built Environment:

”I byggsektorn står vi inför utmaningen att lära oss skilja mellan begreppen digitisering och digitalisering. Bara för att något är flyttat från den fysiska världen till den digitala betyder inte nödvändigtvis att det är digitaliserat. Det är först vid användningen av alla fördelar som kommer med det digitala formatet som digitaliseringen sker. Effektivisering, automatisering och utökade funktionaliteter är bevis på att vi har gått över från digitisering till digitalisering” (Rumsbeskrivning 2.0, SBE)

3.2 Beskrivning av svensk kontext för byggnader, digitalisering, hållbarhet och resiliens med utgångspunkt från workshopen

Under workshopen diskuterades frågor om digitalisering, hållbarhet och resiliens med några aktörer i den svenska bygg- och fastighetsbranschen. De samtalen är underlag för innehållet i detta kapitel där förutsättningar för digitalisering i svensk bebyggelse beskrivs tillsammans med hållbarhets och resiliensfrågor.

3.2.1 Förutsättningar för digitalisering i svensk bebyggelse

Som beskrevs i inledningen till denna rapport kan sammantaget sägas att fastigheter ägs av varierande typer av företag, där en stor andel är mycket små. Samtidigt som fastighetsbeståndet är byggt under ett långt tidsspann när teknikutvecklingen varit snabb i samhället. Att digitalisera i fastighetssektorn innebär därför både tekniska utmaningar i form av att kommunicera och styra äldre teknik samt organisatoriska och kunskapsmässiga utmaningar i att implementera teknik i allt från mycket små till stora företag. Bilden av varierade tekniska möjligheter att digitalisera fastigheter bekräftas av deltagare i workshopen.

”Men då behöver du egentligen ha lite smarta hus för att AI ska kunna hjälpa. Du behöver ju ha mätvärde, du kan inte gå in i en gammal kåk, då är AI helt

obehjälplig och det är ju den här investeringen man behöver göra, sätta dit mätare och försöka mäta” (2b)

För att digitala lösningar med t.ex. AI ska kunna göra någon nytta behöver det finnas mätningar och möjligheter att styra energisystemen i fastigheten. För att göra dessa investeringar krävs både kunskap och pengar, vilket återspeglas i workshopdiskussionerna. Deltagarna återkommer under workshopen till ekonomiska aspekter och olika sätt som det kan påverka förutsättningarna för digitalisering. Det handlar bland annat om att det finns ett behov av att noggrant motivera digitaliseringsåtgärder och investeringar i digital teknik, där ekonomiska vinster i företaget är en tydlig motivering, speciellt med tanke på begränsade marginaler. Det kan exempelvis handla om att paketera tjänster på ett sätt som gör att investeringar kan räknas hem. Det poängteras också att det finns dolda kostnader utöver investeringen i form av underhåll för att hålla ett digitalt system uppdaterat och säkert.

Ett perspektiv som framförs i workshopen är synen på digitalisering som ett verktyg, snarare än ett mål i sig självt. Detta i kontrast till hållbarhet, som beskrevs som ett mer övergripande samhällsmål. Det framkommer många exempel på hur digital teknik kan stödja hållbarhetsarbete i fastighetsbranschen i olika byggskedan, vilket kommer beskrivas i kommande avsnitt. Vissa digitala lösningar kan betraktas som en form av grundläggande ”infrastruktur” som öppnar upp för att överhuvudtaget jobba med hållbarhetsfrågor, vilket presenteras som ett motiv till att satsa på digitalisering trots att det kan innebära stora investeringar.

”det kanske känns lite sådär när man pratar om digitalisering och hållbarhet på samma nivå. Eftersom hållbarhet det är ett mål för hela samhället och för samhällsbyggnadsbranschen också, medan digitalisering är ett verktyg. Och då kändes det lite sådär när jag hörde att de hjälper varandra. Det är egentligen digitalisering som hjälper med hållbarhet och inte tvärtom.” (2a)

”På den andra sidan då har man många digitala lösningar som agerar som infrastruktur, de borde vara där som system för att kunna jobba med hållbarhet, klimatarbete, cybersäkerhet och så vidare. Och det blir som en smartphone. Ingen har suttit och räknat någon som avkastning för att köpa en smartphone, även om det kostar ganska mycket.” (2a)

Det befintliga kunskapsläget i branschen påverkar också förutsättningarna för att kunna göra dessa investeringar, och senare dra nytta av dem, och det är inte självklart att sådan kunskap finns hos alla fastighetsägare.

”Vi behöver lära oss mer om hur vi ska få AI till exempel in i allt det här, men vi håller ju på och tittar på fastighetsautomation, det finns ju i olika grad i byggnaderna, hur väl de är uppkopplade och ibland handlar det om att de är uppkopplade, men man använder inte det systemet på så bra sätt ibland” (2c)

”tekniken är nog inte det som hindrar i första hand, det tror jag inte, utan det är nog att ha kunskapen om det. Vad som finns tillgängligt och vad som passar i den fastigheten till en stor del, tror jag. Och att vad man vill betala för, som jag hörde innan här, att det behöver motiveras också. Är det värt då, varför ska vi satsa på det och så” (2c)

Deltagarna i workshopen har kommit olika långt i digitaliseringsfrågor, och den omkringliggande organisationen kan påverka förutsättningarna. Exempelvis lyftes av en deltagare att de *”har kommit en bit på digitaliseringsresan men vi har ingen IT-avdelning eller digitaliseringschef eller så, internt och det är väl lite av en utmaning” (3c)*. En annan organisatorisk utmaning beskrevs vara avvägningen mellan att ha kompetensen in-house, och därmed kunna få kontinuitet i sin digitala omställning, och samtidigt hålla nere kostnader bli mindre beroende av externa resurser. Samtidigt kan externa konsulter bidra med de senaste kunskaperna inom områden såsom digitalisering.

3.2.2 Vilka hållbarhetsfrågor lyfts i workshopen?

Energi framträder som en central hållbarhetsfråga i verksamheterna som deltagarna i workshopen representerar, både med och utan direkt koppling till digitaliseringsåtgärder, samt i olika byggskedet. Det kan noteras att det finns liknande resonemang som för satsningar på digitalisering, om att ekonomiska förutsättningar påverkar.

”vi har ju fler energieffektiviserande investeringar som vi ser framför oss att vi skulle kunna göra. Men det naggas ju lite i kanten då när kostnaden går upp så som den har gjort de senaste åren” (3c)

Dels handlar det om olika typer av insatser för att följa upp och minska energiförbrukning, exempelvis med hjälp av produkter såsom digitala energiuppföljningssystem eller möjligheten att utföra *”digitala ronderingar” (2c)* för att hitta effektiviseringsåtgärder. Detta knyter an till förbrukning av såväl el, som vatten och värme.

Ett annat exempel, hämtat från byggnadstypen lokaler, tar ett mer långsiktigt perspektiv på driftenergi och **klimatpåverkan** över tid, som lärdomar för designskedet: *”då har vi tittat på allt från produktion och förvaltning under 50 års tid inklusive driftenergi och dess klimatpåverkan. Och därifrån försöka ta lärdom inför ett designskede. Vilken design ska väljas med tanke på*

klimatpåverkan och driftenergi över en längre period?” (2b). Utöver detta är livscykelperspektivet inte så framträdande i just denna workshop.

Fastighetsautomation och sensorer förekommer som exempel på möjligheter för digitala lösningar att bidra till stor hållbarhetsnytta. Tillgång till mer data framställs som en förutsättning för att optimera styrning av fastigheterna med avseende på energianvändning.

”Om vi ska kunna klara av både att styra och agera på ett smart sätt så måste vi ha tillgång till datan och kan på så sätt monitorera och styra våra fastigheter mycket bättre än vad vi kan utan digitalisering” (3b)

I workshopen beskrivs flera motiv till digitalisering, däribland att det underlättar strukturerad hantering av information och kraftfull analys av data.

”Och då börjar det bli lite absurt att prata om digitalisering av olika anledningar - digitalisering, hållbarhet, digitalisering klimatarbete, digitalisering resiliens. Ska snarare prata om det som ligger under det som digitalisering underlättar och då är det egentligen som strukturerad hantering av information som digitalisering underlättar. Och dessutom analys av data” (2a)

Här beskrivs även en potential att göra ytterligare satsningar kopplat till bland annat styrsystem och maskininlärning, för att kunna dra nytta av de stora datamängderna. AI beskrivs kunna bidra med både tidsbesparingar och ökad noggrannhet i beslut kopplat till styrning av exempelvis värme, ventilation och inneklimat, och blir på så sätt ett ytterligare steg i digitaliseringen med identifierad hållbarhetsnytta.

”Ett annat exempel det är hela det konceptet med fastighetsautomation. Fastighetsautomation betyder att man använder digitala lösningar, som AI-agenter, för att det är de som ska fatta beslut istället för medarbetare. Det sparar mycket tid. Det ökar noggrannheten i våra beslut när det gäller styrning av fastigheter, värme, ventilation och inneklimat och så vidare men det betyder samtidigt en sårbarhet” (2a)

Vidare lyfts det att digitalisering av dokumentation, gärna automatiserat, sparar mycket tid, minskar administrativt arbete och blir mer **ekonomiskt hållbart** för fastighetsägaren. Ett annat motiv är att digitalisering bidrar till ökad följbart i vad som är gjort i en fastighet. Ett sådant exempel var en digital journal för att stötta dokumentation under fastighetens drifttid, då driftens påverkan på fastigheternas livslängd också identifierats som en hållbarhetsaspekt i sig själv.

”En digitalisering ser till att vi kan i alla fall ha koll på det vi har gjort, att det är följbart och inte bara finns i någon pärm hos någon fastighetsägare längst ner i källaren.” (2b)

”För det vi märker också är att det är ju så pass viktigt att ta hand om fastigheten under drifttiden. Och där behöver man se till att så som dokumentationen, så som fastigheten mår bra så kommer vi bocka av flera saker på vägen. Och en av dem är ju hållbarhet. Har vi driftade fastigheter, så ser vi till att de mår väl och håller längre, och då, bara det i sig självt, blir hållbart (2b)”

Standardisering av digitala lösningar, på olika nivåer, lyfts fram som en utmaning som behöver lösas för att kunna dra nytta av de tillgängliga datamängderna från fastigheterna och den digitala teknikens kapacitet. Det uttrycks även en önskan om standardisering med öppna API:er, som stöd för att möjliggöra hållbarhetsåtgärder, i det fallet kopplat till styrning av fastigheter.

”Bara med standardlösningar lyckas vi att aggregera de informationsmängderna på ett sätt som ger oss muskler och kunna dra nytta av de nya digitala teknikerna som AI, och skapa nytta utifrån de nya analyskapaciteterna. Så standardisering det är det ordet som är på läpparna” (2a)

Ett annat område med hållbarhetsaspekter som beskrivs i workshopen är **vattenförbrukning**. Även här finns en koppling till digitalisering, då digital teknik i form av sensorer kan hjälpa till att mäta och upptäcka avvikelser, så som ett vattenläckage. Även här handlar det om stora datamängder att analysera.

En annan hållbarhetsaspekt som också diskuteras är **social hållbarhet**, exempelvis i termer av trygghet och trivsel för de boende i fastigheterna. Ett perspektiv som lyfts är att dessa aspekter är en större utmaning att digitalisera, till exempel i den mån att det saknas standarder för mätningar. Utöver kostnadsmissiga aspekter, beskrivs långsiktiga mål och värderingar kopplat till kvalitetsaspekter i den byggda miljön och för de boende också spela en viktig roll för att motivera digitaliseringsåtgärder. Slutligen nämns även potentialen att jobba med de boendes beteende i hållbarhetsarbete, både i frågor som vattenanvändning och sopsortering, men också i att möjliggöra omställningen till att köra fossilfritt.

”Så miljömässiga är ju naturligt men det är även andra aspekter som är de mjuka värdena som har blivit kanske nog så viktiga det sociala hållbarhetsarbetet, i den mån man kan digitalisera det eller inte men det är mjuka värden” (3b)

”på den miljömässiga fronten finns det hur mycket standarder som helst hur vi ska mäta energi per kvadrat och byta allt standardiserat [...] Och det sociala området finns ju inte det och det är lite svårare. Dels finns det inga standarder och dels finns det inte digitalt avmätt på något sätt” (3b)

”Det finns andra typer av värden, hållbarhet det är ett begrepp som definierar mycket av de där värdena. Kvalitet på sikt, och sen kvalitet på den byggda miljön. Så det bidrar verkligen till ett bra liv för de som bor i våra fastigheter. De kvalitativa delarna har också lika viktiga för att motivera kostnaderna för digitaliseringen” (2a)

”Man kan jobba systematiskt med det och det finns ett intresse också hos våra kunder att det kommer alltid upp vad hyresgästerna gör. Och det har hittills inte nämnts här. Det är därför jag vill nämna det. För det känns som att det är en del av ekvationen” (3d)

Hållbarhetsredovisning är en annan fråga som flera deltagare tog upp i diskussionerna. Det handlar då delvis om kopplingen till olika regelverk och direktiv som EPBD och EED, samt de begränsade tidsramarna och medlen för att uppfylla dessa. Det finns också kopplingar till digitalisering. I det här fallet lyftes att digitaliserade, uppkopplade fastigheter kan vara en nödvändighet för att kunna uppfylla kraven. En annan aspekt är att digitaliserade processer kan underlätta att ta fram hållbarhetsredovisningar, vilket exemplifierades av deltagare i workshopen.

Sammanfattningsvis kan sägas att hållbarhetsfrågor handlar om:

- Energi och vattenanvändning
- Digitalisering som nödvändig möjliggörare för att lyckas med hållbarhet, framförallt när det gäller minskad energianvändning
- Social hållbarhet
- Ekonomisk hållbarhet
- Se till att byggnader får lång livslängd, både ekonomisk och resursmässig hållbarhet
- Policy och krav på hållbarhetsredovisningar, direktiv som EPBD och EED driver hållbarhetsfrågorna

Energi- och annan miljöpåverkan från digitaliseringen nämndes inte.

3.2.3 Resiliens

Deltagare i workshopen bekräftade att beredskap är ett högaktuellt område även i fastighetsbranschen, med pågående insatser och utvecklingsprojekt för att höja kompetensen. Sammanfattningsvis lyfte workshopen ett antal tänkbara störningar

på olika nivåer och inom olika områden, som också hade kopplingar till både digitalisering och hållbarhet.

”vi har väldigt mycket fokus på hållbarhet och robusthet, och speciellt nu när beredskap är ju någonting på tapeten. Där försöker vi höja kompetensen i branschen, göra utvecklingsprojekt kring de sakerna. (2b)

I exemplet fastighetsautomation poängteras att de digitala lösningarna kan hjälpa till att fånga upp avvikelser som kan åtgärdas, och därmed skapa en form av resiliens mot en viss typ av störningar, då genom en förändring av arbetssättet. Samtidigt finns en tydlig medvetenhet om att digitaliseringen också medför nya risker och sårbarheter när man inför komplexa system. Exempelvis skulle en fastighet kunna utsättas för risker i händelse av andra typer av störningar, såsom strömavbrott och cybersäkerhetsrisker, jämfört med en fastighet som inte är uppkopplad. Ett exempel som tas upp kopplar till digitala tvillingar, där ett intrång kan ha *”stora konsekvenser för hälsan, på inneklimat för de boende och för de som brukar fastigheten” (2a)*. Ett annat exempel handlar om solcellsanläggningar med uppkopplade komponenter: *”Vi behöver ha en genomtänkt strategi, så vi ser att vi har kontroll på all den teknik som man nu i hållbarhetens, vad ska jag säga, tema har valt att installera” (3b)*

Cybersäkerhet lyftes därför fram som en självklar förutsättning för digitaliseringsinsatser:

”då är det definitivt en självklar del av digitalisering. Och det tar vi in i alla digitaliseringsinsatser som vi håller på, för om man inte säkrar digitala lösningar då rasar hela poängen. Man ska inte göra bolaget och bolagets affärer sårbara genom att införa osäkra digitala lösningar” (2a).

Dock beskrev samma deltagare att det finns sårbarheter även i icke-digitala system, på grund av den mänskliga faktorn.

”Kanske det blir mycket mer sårbart om man lämnar funktioner i huset till digitala verktyg snarare än människor. ’Kanske’ säger jag eftersom folk är sårbara och så att det mänskliga faktorn det verkar vara bakom många intrång i och för sig” (2a)

Ett annat exempel kommer från fjärrvärmebranschen och handlar om att ta höjd för störningar i tillgången på el, i det fallet genom att ha dubbla uppvärmningssätt för att klara sig under en viss begränsad tid.

Det uppmärksammas också att ekonomiska aspekter, såsom kostnader för el och annan förbrukning, också knyter an till resiliens i fastighetsbranschen. En

utmaning som diskuterades särskilt var de kommande effekttaxorna, och tänkbara effekter av dessa på olika aktörers ekonomiska situation. Även övergången från timpriser till kvartspriser exemplifierade att det ständigt sker förändringar att anpassa sig efter.

Det finns också en koppling till hållbarhet eftersom ekonomin kan ha konsekvenser för möjligheterna att prioritera energieffektiviserande åtgärder, vilken en deltagare beskriver: ”*det slår ju på kassaflödet direkt på fastigheterna och det äter vårt utrymme att göra energieffektiviserande investeringar också*” (3c).

Väderrelaterade störningar, såsom översvämningar, skyfall och torra, tas också upp som något som hade observerats i branschen, även detta inte beskrivs med någon direkt koppling till digitalisering.

3.3 Sammanställning av vetenskaplig litteratur

I denna sektion presenteras resultatet från den vetenskapliga syntesen Totalt har 78 artiklar inkluderats i studien som publicerats från 2011 fram till och med mars 2025. I Figur 4 visas fördelningen över vilka år artiklarna har publicerats. Man se att antalet artiklar per år har ökat dramatiskt från 2023 och framåt.



Figur 4 Antal publikationer per år för syntesstudien.

Dessa har en stor bredd i sitt innehåll och visar på många olika möjligheter för att använda digitalisering för att accelerera hållbarhet för byggnader i Sverige. I analysen och presentationen av resultatet utgår vi från ett fastighetsperspektiv både för hållbarhet och digitalisering. Det innebär att vi ser på resultatet utifrån vad digitaliseringen innebär för en byggnad och de som kan dra nytta av

digitaliseringen för att bidra till hållbarhet. Aktörsperspektivet är både utifrån de som använder, sköter drift- och förvaltning av byggnader och de som designar och utför själva byggnationen.

Efter en introduktion har vi delat in resultatet utifrån olika byggnadstyper samt skeden i byggprocessen. Utöver den indelningen har vi ett separat kapitel om resiliens. Det finns också ett innovationsperspektiv i många studier som vi har samlat separat. Litteraturen kan återkomma på flera platser i analysen.

För att implementering av digitalisering som accelererar grön omställning ska ske krävs enligt Paiho, Wessberg et al. (2023) en kombination av policystöd, tillgänglig teknik, en fungerande marknad samt medborgare som är intresserade och villiga att investera. I denna finska studie förklaras grundläggande begrepp och förutsättningar för Twin transition.

De övergripande åtgärderna och trender som är nödvändiga för omställning till mer hållbara och smarta byggnader beskrivs även av (Clements-Croome 2011). Sedan denna artikel skrevs 2011 har mycket utveckling skett.

Det finns några digitala verktyg och begrepp som utvecklats för byggnader som återkommer. Ett sådant är digitala tvillingar. De består av en digital modell av en riktig byggnad där det finns uppkopplade sensorer så att verklig realtids och historiska data kan användas för olika simuleringar i modellen. För att förfina och förbättra modellen utvecklas algoritmer med till exempel maskin Learning och AI. Här har tex Ni, Zhang et al. (2024) utvecklat en deep learning modell som ska kunna användas tillsammans med digital tvilling längre fram för ett museum och en teater i Norrköping. Utveckling av modeller är en del av forskning och utveckling för digitala tvillingar.

Uppbyggnad av en fullständig digital tvilling startar idealt under design-skedet och följer sedan byggnaden genom alla faser från byggnation, överlämning, drift, renoveringar och stödjer till slut återvinning av material vid rivning. Det förekommer också att man skapar en digital tvilling av en befintlig byggnad, till exempel för att identifiera åtgärder (Ni, Hupkes et al. 2025) som förbättrar inneklimatet i ett kulturhistoriskt slott så att det håller bättre.

Ett annat centralt begrepp för digitalisering i byggnader är BIM – Building Information Modelling - som är ett digitalt verktyg för att samla in och dela data om en byggnad mellan olika aktörer. BIM används ofta under design skedet för byggnaden, men tanken är att modellen ska användas under hela byggnadens livslängd.

3.3.1 Byggnadskategorier

Ett sätt att dela in forskningen är utifrån olika byggnadstyper. I detta avsnitt har vi summerat resultaten i syntesstudien kopplat till olika typer av bostäder och lokaler. I Tabell 2 finns en fördelning över vilka byggnadstyper som berörs i litteraturen. Vissa studier riktas specifikt till en byggnadstyp, medans andra använder en byggnad som exempel i studien. Flera artiklar är mer generella eller är smalare och handlar till exempel om ett specifikt byggnadsmaterial och kan inte delas in efter byggnadskategorisering.

Tabell 2 Fördelning över berörda byggnadstyper i den vetenskapliga syntesen

	Småhus	Flerbostadshus	Lokaler
Antal	13	21	26

Småhus

Totalt berör 13 artiklar småhus på olika sätt. Dessa handlar om utvärdering av smarta termostater (Lomas, Oliveira et al. 2018), renoveringsåtgärder i bostäder med bland annat byggnadsautomation (Felius, Dessen et al. 2020, Felius, Hamdy et al. 2020). Simuleringar för att jämföra olika energilösningar (Demirezen and Fung 2021, Meister and Beausoleil-Morrison 2021, Meriläinen, Montonen et al. 2023). Experimentell utvärdering av behovsstyrd ventilation i sovrum (Garman, Mattsson et al. 2023). Möjligheter till flexibilitet på frekvensregleringsmarknaden med termostatiska laster (Herre, Nourozi et al. 2023). Energigemenskaper, flexibilitetslösningar med batterier, elbilar och värmepumpar (Srithapon and Månsson 2023). Styrning av elbilsladdning (Kianpoor, Hoff et al. 2024). 3D printad betong för småhus (Kamel and Kazemian 2023). Prioritering mellan olika energirenoveringar i småhus (Liu, Penaka et al. 2023) och möjligheterna med AI för det smarta hemmet (Li, Chen et al. 2025).

Flerbostadshus

Dessa 21 artiklar (Støre-Valen and Buser 2019, Felius, Dessen et al. 2020) (Beucker, Bergesen et al. 2016, Rotger-Griful, Jacobsen et al. 2016, Lomas, Oliveira et al. 2018, Shadram and Mukkavaara 2018, Southall 2018, Arabzadeh, Jokisalo et al. 2019, Parks 2019, Sandberg, Mukkavaara et al. 2019, Felius, Hamdy et al. 2020, Opach, Glaas et al. 2020, Quintana, Huang et al. 2021, Behzadi, Gram et al. 2023, Coelho and Kraniotis 2023, Hagejård, Dokter et al. 2023, Milić and Rohdin 2023, Kedir, Hall et al. 2024, Lane, Cehlin et al. 2024, Shirazi, Behzadi et al. 2024, Li, Chen et al. 2025) kopplar till bostäder och flerbostadshus på olika sätt. Olika verktyg i designprocessen har undersökts. LCA och BIM tillsammans med energisimuleringar innefattas, men även frågor om fukt vid träkonstruktioner. Två artiklar handlar om kopplingen mellan digitalisering och fastighetsdrift. Inom området renovering finns det artiklar om beslutsstöd (Quintana, Huang et al. 2021) för prioritering av renovering (Milić

and Rohdin 2023). När det gäller renoveringar är den stora frågan om och hur fastighetsautomation och smarta termostater kan användas och vad de bidrar med när det gäller energieffektivisering, särskilt jämfört med andra energieffektiviseringsåtgärder. Ett bättre inneklimat ses oftast som den stora vinsten, beroende på vem som bestämmer över styrningen. Appar för att stödja hushåll till effektivare energi- och vattenanvändning har utvecklats och utvärderats av (Hagejård, Dokter et al. 2023). Tekniska lösningar undersöks med IDA ICE simuleringar för att utvärdera solvärmelösningar med ackumulatortank för flerbostadshus i Helsingfors (Arabzadeh, Jokisalo et al. 2019). Digitaliseringen används som beslutsstöd för att undersöka om man kan ersätta fjärrvärmeanvändning med solvärme. En artikel handlar om digitalisering som stöd för att hantera klimatanpassning.

Lokaler

Lokaler innefattar byggnader som används för en lång rad olika verksamheter och syften. I studien har följande byggnadstyper ingått i olika artiklar:

- Kontor (Clements-Croome 2011, Gruber, Trüschel et al. 2015, Favoino, Fiorito et al. 2016, Harmathy, Magyar et al. 2016, Tian, Yang et al. 2017, Janhunen, Pulkka et al. 2019, Shahzad, Calautit et al. 2019, Azaza, Eriksson et al. 2020, Sha, Moujahed et al. 2021, Coelho and Kraniotis 2023, Norouzasias, Tabadkani et al. 2023, Shum and Zhong 2023, Akbarzadeh, Hamzehei et al. 2024, Behzadi and Sadrizadeh 2024, Bäcklund, Vigren et al. 2024, Lane, Cehlin et al. 2024)
- Förskolor (Opach, Glaas et al. 2020, Lane, Cehlin et al. 2024)
- Restaurang (Behzadi and Sadrizadeh 2024)
- Hotell (Støre-Valen and Buser 2019)
- Universitet (Zhu, Wang et al. 2015, Janhunen, Pulkka et al. 2019, Spitler and Gehlin 2019, Støre-Valen and Buser 2019)
- Äldreboende (Lane, Cehlin et al. 2024) (Opach, Glaas et al. 2020)
- Museum (Ni, Zhang et al. 2024, Pödra, Allas et al. 2024)
- Teater (Ni, Zhang et al. 2024)
- Kulturhistoriska byggnader (Hosamo and Mazzetto 2025, Ni, Hupkes et al. 2025)
- Höga byggnader (Tian, Yang et al. 2017, Sha, Moujahed et al. 2021)
- Parkeringshus (André, Bru et al. 2024)

3.3.2 Byggnadens livscykel

Artiklarna kan också sorteras utifrån vilket skede i byggnadens livscykel som berörs. Här finns också överlapp och artiklar som berör flera skeden på olika sätt.

Design skedet

Design skedet föregås oftast av ett tidigt planeringsskede. Det gick inte att urskilja artiklar som handlade om det, men delar av det som presenteras här kan

vara tillämpbart på tidiga skeden. I design skedet när man projekterar hur en byggnad ska utformas är det hållbarhetskrav som energianvändning och materialval som ska hanteras, samtidigt som ekonomiska krav för både byggproduktion och förvaltning behöver hanteras. Här kan digitala verktyg för LCA och BIM användas.

Digitala verktyg och processer

Byggnaders form påverkar förutsättningarna för energianvändning i byggnader. I en kinesisk studie (Tian, Yang et al. 2017) analyseras inverkan av byggnaders formfaktor på energianvändning med utgångspunkt från en hög byggnad i kallt klimat i Kina. Att kunna analysera formfaktorn i tidiga skeden är viktigt för att kunna välja en hållbar och energieffektiv design.

Byggmaterial till flerbostadshus har optimerats med hjälp av BIM-modell, energiberäkningar och LCA för hela tillverkningen (Shadram and Mukkavaara 2018). Beräkningarna har gjorts för flera platser i Sverige som Kiruna, Karlstad, Stockholm och Göteborg.

För ett flerbostadshus i Uppsala har Sandberg, Mukkavaara et al. (2019) undersökt hur multidisciplinära BIM modeller kan användas för kostnadskalkylering och optimering av både LCE och LCC. Man visar även på hur kommunikationen kan underlättas med hjälp av verktygen.

I denna tillämpade studie har en LCA-plattform utvecklats hos ett företag i Sverige (Campo Gay, Hvam et al. 2024). Verktyget som stödjer hållbara val i design skedet och utvecklades för betongkonstruktioner i flervåningshus. I studien ingår underökning för kravspezifikationen och utvärdering av verktyget. Studien visar på ett stort bidrag till minskade CO₂ utsläpp med hjälp av verktyget.

Att bygga mer med trä förespråkas ofta som ett hållbart val. Men trä är ett känsligt material när det gäller fukt och i fuktiga miljöer kan mögelproblem uppstå. Coelho and Kraniotis (2023) har utvecklat ett sätt att kombinera energiberäkning med att simulera fukt i fasader av trä och aluminium. Olika utomhusklimat i Norge har testats i studien.

Beräkningar och simuleringar kan användas för att jämföra olika tekniska lösningar både energimässigt och ekonomiskt och på så sätt användas som beslutsstöd. Azaza, Eriksson et al. (2020) jämför scenarior för bergvärme med och utan PV och batterilager med fjärrvärme. Studien visar en ekonomisk investeringskalkyl baserad på energiberäkning i TRNSYS med data från BAS för en kontorsbyggnad i Västerås. För ett flerbostadshus i Canada har (Shirazi, Behzadi et al. 2024) med hjälp av TRNSYS simulering jämfört energilagring för

värme med sol och värmepump med biomassaförbränning. Digitalisering används som beslutsstöd i denna studie (Arabzadeh, Jokisalo et al. 2019). Med IDA ICE simuleringar har man utvärderat solvärmelösningar med ackumulatortank för flerbostadshus i Helsingfors och jämfört med fjärrvärme.

Ljusinsläpp är en viktig aspekt som behöver beaktas vid design av byggnader. Samtidigt har fönster en stor påverkan på energianvändningen i en byggnad. Favoino, Fiorito et al. (2016) studerar simuleringsverktyg som kombinerar energibalans och ljusmiljö inomhus samt styrstrategier för aktivt styrda och reglerbara glasfasader. Detta kan vara ett viktigt verktyg för beslut och design.

Användarperspektiv i design skedet

Att digitalisera designprocessen kräver investeringar i olika programvaror och involverar olika professioner av användare som behöver kunna använda dessa verktyg.

Andersson and Eidenskog (2023) har gjort en intervjustudie med konsultföretag i Sverige om användning av BIM-verktyg. Studien visar bla på att BIM kan vara onödigt komplicerat och dyrt att använda och att alla professioner inte har tillräcklig kunskap om det och därmed inte heller bjuds in att medverka i viktiga skeden i projektering. Även Bahrami, Atkin et al. (2019) har undersökt hur digitala BIM plattformar fungerar i praktiken, specifikt när det gäller att stödja implementering av hållbara ventilationsprodukter. I denna kvalitativa studie ingår produkttillverkare, VVS-konsulter och BIM plattformslieferantörer. Studien belyser hur BIM fungerar i praktiken när det gäller att kunna göra hållbara val vid projektering. I studien har 2 plattformar undersökts med avseende på ventilationsprodukter. Att inte presentera och enkelt kunna söka på olika hållbarhetsaspekter som energianvändning mm hindrar hållbar utveckling, där den digitala plattformen istället skulle kunna stödja utvecklingen.

Är det ekonomiskt lönsamt att använda BIM för energieffektivisering, med förutsättning att det finns kunskap om hur man använder det? Här visar Gharaibeh, Matarneh et al. (2024) på vinster för helheten. Projekteringskostnaderna blev högre för det svenska äldreboendet i studien, men hade lägre produktionskostnader och bättre måluppfyllelse.

Vem ska driva utvecklingen av BIM? I denna studie (Lindblad and Guerrero 2020) studie undersöks BIM ur ett innovationsperspektiv genom en fallstudie inom infrastruktur. Är det klienten eller leverantören som bör driva utvecklingen? Trots att studien handlar om infrastruktur och baserats på fallstudie av en myndighet som bygger väg och järnväg i Sverige är den relevant eftersom det centrala är rollerna mer än vad som byggs.

I en kinesisk Review artikel (Li, Chen et al. 2025) har användning och möjligheter med AI i designprocessen för byggnader sammanställts. Saker som intelligenta byggnadsskal, det smarta och hållbara hemmet, där många olika funktioner stöds av AI för allt från inneklimat, ljudmiljö till val av heminredning lyfts fram. Även arkitektens roll förutspås bli ersatt av AI.

Byggskedet

För byggskedet var det mycket få träffar i sökningen. Till viss del beror detta på att ord som till exempel robotik och 3D Printing inte ingick i sökningen. I en artikel från USA (Kamel and Kazemian 2023) utvärderas hur energiprestanda för ett småhus kan påverkas av möjligheten att utforma huset med rundade former genom att använda 3D-printad betong som konstruktionsmaterial. Man har använt Building energy modellering (BEM) baserad på data från BIM i studien.

Cirkulära material

Att återanvända material istället för att alltid nyproducera från råvaror är av stor betydelse för hållbarhet. För att ställa om och öka användningen av cirkulära material krävs både mer samarbete inom byggbranschen och policystöd (Hjaltadóttir and Hild 2021). Även sektorkopplingar kan vara av betydelse. I en studie (André, Bru et al. 2024) visas ett verktyg för kommunikation för återbruk av vindkraftsrotorblad. I studien visas ett exempel där rotorbladen har använts vid byggnation av ett parkeringshus.

Digitala lösningar behövs för att generera och registrera materialpass vid återbruk och sedan koppla dem till bygget (Kedir, Hall et al. 2024).

Överlämning

Överlämning är viktiga skeden för att kvalitetssäkra byggnader. Här var det enbart en artikel som nämnde det. Besiktning, överlämning och utvärdering lyfts som viktigt i en övergripande studie (Clements-Croome 2011), där digitalisering har en viktig roll.

Fastighetsdrift

Fastighetsdriften är i regel det längsta skedet för en byggnad. Detta stycke har delats in i några olika delar. Först beskrivs policyaspekter, därefter olika användarperspektiv och slutligen flexibilitet. Tekniska och digitala lösningar återfinns både under avsnitten reovering och innovation.

Policy

I EPBD-direktivet ingår digitalisering och fastighetsautomation som en del i att förbättra byggnaders energiprestanda. Ett nyckeltal som ska beskriva hur smarta byggnader är har tagits fram tillsammans med direktivet. Hur väl denna Smart Readiness Indicator, SRI- Smart Readiness Indicator fungerar för byggnader i

kalla klimat har undersökts i en artikel (Janhunen, Pulkka et al. 2019) från Finland. Studien visar att SRI är mer anpassad till energisystem i andra delar av Europa och till varma klimat.

I en studie om smarta nät för el och fjärrvärme i Hyllie i Malmö (Parks 2019) hade energibolaget stort inflytande över utformningen av tekniska system i byggnaderna. Studien visar att smarta stadsexperiment kan omforma den urbana styrningen av energianvändning i byggnader. Det uppstår också en konflikt mellan policy för energieffektivitet i byggnaderna och policy för det smarta nätet och om energieffektiviseringen inte prioriteras kan den samlade effekten bli ökade utsläpp av växthusgaser.

Perspektiv från professionella användare - fastighetsdrift

Det finns några studier som tar ett sociologiskt perspektiv och lyfter användar- och organisatoriska aspekter på användning och implementering av digitala verktyg och system för professionell fastighetsdrift. Teknik och digitalisering skapar möjligheter till energieffektivisering (Støre-Valen and Buser 2019), men det finns också hinder, eftersom det kunskap, förståelse och anslag som behöver uppdateras kontinuerligt för att tekniken ska kunna implementeras. De digitala systemen för fastighetsdrift är viktiga för att bibehålla byggnader energieffektiva över tid, (Lane, Cehlin et al. 2024) men om det finns många olika system att hantera, som också är svåra att förstå kan dessa i stället bli ett hinder för energieffektiv drift av byggnader. Det är därför viktigt hur innovation, utveckling och implementering av fastighetsdigitalisering går till (Bäcklund, Vigren et al. 2024).

Digitala lösningar för hushållens energianvändning behöver fungera tekniskt också för fastighetsägare när de implementeras i flerbostadshus. Det kan handla om batterier i många givare som behöver bytas ofta (Parks 2019) vilket gjorde att fastighetsägare i Hyllie inte ville erbjuda Eons smarta hemlösning till sina hyresgäster.

Användarperspektiv från hushåll

Hushållens möjligheter att påverka och styra sin energi- och vattenanvändning kan stödjas av digitala system som appar där personer i hushållen kan följa sin användning (Hagejård, Dokter et al. 2023). En app som visar energi- och vattenanvändning testas. I studien utvärderas appens påverkan, samt andra aspekter för en grupp användare i hushåll.

Användares attityder till affärsmodeller för decentraliserad energilagring, har studerats av Bögel, Upham et al. (2021). Resultaten väcker frågor om hur man kan förbättra självförsörjning och självständighet för prosumers, samtidigt som behovet av interaktion hålls flexibelt och tidsinvestering låg.

Hur väl digitala system som smarta termostater fungerar i praktiken påverkas av tekniska aspekter som hur krångliga eller lätta systemen är att använda för olika grupper som tex äldre personer, de som har dålig syn eller ovana vid digitala lösningar (Lomas, Oliveira et al. 2018). Vilken skillnad som kan åstadkommas i energianvändning beror också på hur man gjorde innan de smarta termostaterna installerades. Här märks kulturella skillnader i hur människor förväntar sig att värmesystem ska fungera och hur medveten man är om vad energin kostar. I England där denna studie är gjord, är det tex vanligt att stänga av värmen när man inte är hemma och då ökar energianvändningen om man sätter in ett automatiskt system som inte reglerar på samma sätt, eller där användaren inte enkelt kan ställa in när de är hemma eller inte.

Hur människor upplever inneklimat är en central fråga när det gäller om strategier för styrning kan ses som lyckade. I denna studie (Shahzad, Calautit et al. 2019) har upplevt och önskat inneklimat undersökts i flera olika kontor. Det fanns olika möjligheter till personlig eller central styrning av inneklimatet. Undersökningen visade att möjlighet till personliga preferenser var viktigare än att klimatet var exakt likadant i hela kontoret. Genom att visualisera inneklimatet på olika platser, fanns möjlighet att anpassa för olika personer. Energianvändningen blev inte nödvändigtvis lägst för de mer automatiserade styrningarna av klimatet.

Flexibilitet

Begreppet flexibilitet används ofta, men kan betyda flera olika saker. Ur en aspekt kan man säga att man förhåller sig till behov i något övergripande energisystem och inte enbart utgår från behoven i den egna byggnaden. Det kan handla om att kapa effekttoppar, flytta energianvändning i tid eller att bidra till att stabilisera elnätets frekvens på frekvensregleringsmarknaden. De digitala lösningarna har en central roll för att möjliggöra många flexibilitetslösningar.

I en dansk studie (Rotger-Griful, Jacobsen et al. 2016) undersöker man potentialen för att använda ventilationssystem för frekvensregleringsmarknaden i Danmark genom beräkningar och praktiska försök i ett 12-våningshus med 159 studentlägenheter. Vid de praktiska försöken undersöktes hur snabbt ventilationsaggregaten kunde reagera, samt vilka effekter i ökning respektive minskning som kunde åstadkommas. Påverkan på inomhusklimatet kontrollerades genom mätning av CO₂-halten i inomhusluften. Studien visar att det krävs många byggnader för att kunna bidra med tillräckligt stor effekt och att styrning behöver utvecklas för att möjliggöra tillämpningen. Studien visade också på nackdelar genom påverkan på inomhusklimat och högre energianvändning.

Potentialen för att använda termostatiskt reglerade laster för frekvensreglering undersöks genom simuleringar i en studie av Luo, Ranzi et al. (2017). Påverkan på termisk komfort ingår och frekvensregleringen bygger på en smart byggnad med tvåvägskommunikation. Även (Herre, Nourozi et al. 2023) har undersökt hur termostatiskt kontrollerade laster kan användas för flexibilitet på den svenska frekvensregleringsmarknaden när många små laster aggregeras. Studien baseras på enkätstudie med hushåll i en och tvåfamiljs bostäder med elvärme. En modell har tagits fram för att aggregera de små lasterna som är svåra att beräkna och simulera.

Det finns exempel när flexibilitetslösningar involverar både el- och fjärrvärmenät som i stadsdelen Hyllie i Malmö (Parks 2019). Byggnadsautomation är viktig för att kommunikation ska fungera i ett smart nät. Därför tog energibolaget en aktiv del i och var med och påverkade den tekniska utformningen vid utbyggnaden av stadsdelen.

Utvecklingen mot fler elbilar påverkar byggnaders energisystem i allt större utsträckning. I en svensk studie av (Srithapon and Månsson 2023) har man simulerat potentialen för optimering av flexibilitet i en energigemenskap för småhus där man har elbilsaddning, värmepumpar, solex och batterier. Även i denna norska studie (Kianpoor, Hoff et al. 2024) undersöker man småhus som har elbilsaddning. Studien har ett tekniskt fokus på mätdata för el, simulering och programmering för att kunna urskilja elbilsaddningen och styra den. Studien baseras på mätdata från ett hus i Nordnorge där en elbil av fabrikatet Tesla laddas.

I en finsk studie för radhus (Meriläinen, Montonen et al. 2023) utvärderas olika värmepumplösningar tillsammans med solex och batterilager med timprisstyrning som ersättning för oljeuppvärmning.

Flexibilitet kan också ses ur ett ekonomiskt perspektiv för användaren om man har möjlighet att växla mellan olika uppvärmningssätt beroende på bränslepriser (Demirezen and Fung 2021) har utvecklat och simulerat (TRNSYS) ett styrsystem för flexibilitet och variation av värmekällor relaterat till pris och utsläpp i Canada för bostad med luftvärmepump och gas. Luftvärmepumpar är vanliga men naturgas är ovanligt för uppvärmning i Sverige. Att kunna optimera och välja värmekälla baserat på utsläpp och pris är relevant.

Det finns också passiva metoder för att kapa effekttoppar. Digitalisering kan användas för simulering och utvärdering vid utveckling av dessa lösningar. I denna syntes ingår artiklar som handlar om olika fasförändringsmaterial vars syfte är att kapa effekttoppar. Digitala mätprogram och verktyg för materialtest och statistisk analys används vid utveckling av träfiberskivor med PCM material

i en polsk/svenska studie hos IKEA (Dasiewicz, Wronka et al. 2024). Syftet är att utveckla fasförändringsmaterial för inredning som är med och kapar effekttoppar i byggnaden där möblerna används. En annan polsk studie (Żelazna, Lichołai et al. 2023) handlar om fasförändringsmaterial i fasader. Materialet kan bidra till att kapa effekttoppar för uppvärmning och kyla. Man använder digitalisering för att göra beräkningar.

Fjärrvärme är ett mycket vanligt sätt att värma byggnader och varmvatten i svenska städer. Fjärrvärmenätet är ett eget energisystem precis som elnätet som interagerar med slutanvändare. I studien har vi valt att avgränsa till byggnader, men några studier ligger i gränslandet mellan energisystemet byggnader och fjärrvärmenät. Att prediktera hur stor fjärrvärmeanvändning som kan förväntas det närmaste dygnet och veckan är viktigt för att produktionen av fjärrvärme ska vara effektivt anpassad till behoven. I denna studie (Idowu, Saguna et al. 2016) utvecklas machine learning modeller för att beräkna fjärrvärmebehovet i byggnader. I en annan artikel (Zhang, Bales et al. 2021) används digitala modeller för att identifiera nattsänkning i byggnader med fjärrvärme. Nattsänkning är en vanlig åtgärd i byggnader för att minska energianvändning. Nattsänkningen påverkar även fjärrvärmenätet och får olika resultat både i byggnaden och nätet beroende på byggnadens tidskonstant.

3.3.3 Renovering

För renovering och förbättringar av byggnaders prestanda kan digitala lösningar både användas som beslutsstöd för att utvärdera olika tekniska lösningar och investeringar. Dessa verktyg och stöd kan ibland vara lika användbara vid nyprojektering och design vid nybyggnation.

Den första studien av Pödra, Allas et al. (2024) handlar om digitala renoveringspass för timmerhus i ett friluftsmuseum i Estland. Metodiken för renoveringspassen kan tillämpas för andra typer av byggnader och i andra länder.

För större områden av fastigheter kan digitalisering stödja prioriteringar av energieffektivisering inom området. Verktyg för att prioritera renoveringar inom ett fastighetsbestånd har tagits fram inom en studie av Milić and Rohdin (2023). Flerbostadshus i 1970-talsområdet Vasastaden i Linköping används som fallstudie. Verktyget använder data för fjärrvärmeanvändning och utomhusklimat och en Change point model för att ta fram och prioritera energirenoveringsåtgärder i området. Liu, Penaka et al. (2023) har tagit fram en metod för benchmarking för att prioritera behov av energirenoveringar i småhus.

Digitala simuleringar och verktyg kan bidra till att olika specifika tekniska lösningar med energiåtgärder kan utvärderas innan en energirenovering kan initieras. Ett digitalt verktyg för simulering och teknoekonomisk kalkylering av

byggnadsintegrerad PV har tagits fram i en studie (Quintana, Huang et al. 2021). BIM och PVSITES används i modelleringen. Simulering och kalkyl för tre flerbostadshus i Ludvika ingår som fallstudie. Ett verktyg för designstöd vid renovering av fönster och fasader i kontorsbyggnader har tagits fram in en ungersk studie (Harmathy, Magyar et al. 2016) BIM används för att både beräkna energianvändning och ljusmiljö från fönster och belysning. Även (Favoino, Fiorito et al. 2016) kombinerar energibalans och ljusmiljö inomhus samt styrstrategier i simuleringsverktyg för aktivt styrda och reglerbara glasfasader. För ett kontor i Bryssel jämförs i denna studie (Norouziasas, Tabadkani et al. 2023) olika solavskärmningar med och utan styrning. I denna studie (Azaza, Eriksson et al. 2020) görs en ekonomisk investeringskalkyl baserad på energiberäkning i TRNSYS med data från BAS för kontorsbyggnad i Västerås där scenarior för bergvärme med och utan PV och batterilager med fjärrvärme jämförs. I denna studie från Riga (Freimanis, Blumberga et al. 2023) har man undersökt hur olika tegelmaterial i historiska byggnader fungerar med invändig isolering och äldre masonit och fukt. Simuleringar har gjorts med och utan ett speciellt lager med klister som barriär. Med hjälp av simuleringen kan man undvika skador på byggnaden.

Att installera byggnadsautomation eller olika typer av smarta termostater är renoveringsåtgärder som lyfts i flera olika studier, särskilt för bostäder. Enligt en review (Felius, Dessen et al. 2020) från Norge om renoveringsåtgärder i bostäder (både flerbostadshus och småhus) i kalla klimat (Norge, Finland, Sverige, Estland och Lettland), är det få studier som lyfter energieffektiviseringspotentialen kopplad till byggnadsautomation för befintliga byggnader. Klimatskalsrenoveringar står enligt studien för den största potentialen och därefter HVAC-system. Studien lyfter också att åtgärder för klimatskal, HVAC-system och styrsystem är specifika och referensbyggnader behövs för olika hustyper i olika länder. Enligt denna studie från 2016 (Beucker, Bergesen et al. 2016) är BEMS i flerbostadshus energieffektivt och enligt en LCA kalkyl hållbart. I LCA kalkylen utvärderas påverkan av material mm som ingår i BEMS systemet. Det sker dock utifrån länder med naturgas eller eluppvärmning som vanlig uppvärmning. I denna studie jämförs inte digitaliseringen med andra energieffektiviseringsåtgärder, vilket nämns som en begränsning. I en engelsk artikel (Lomas, Oliveira et al. 2018) görs en granskning av olika typer av smarta termostater för att reglera främst vattenburna värmesystem i bostäder och deras utlovade potential att spara energi, pengar och vara enkla att använda. Enligt Lomas, Oliveira et al. (2018) har många studier brister i evidens när det gäller energibesparingar. Framförallt beskrivs sällan vad man jämför med när det gäller hur värmesystemet reglerades innan åtgärden. Känslighet för energiprisvariationer beaktas sällan samt problem relaterade till installatören. I en norsk studie (Felius, Hamdy et al. 2020) har IDA ice simuleringar gjorts av energiåtgärder som installation av luftvärmepump och byggnadsautomation.

Enligt denna studie ger byggnadsautomationen, i kombination med andra åtgärder, ökad komfort och stora besparingar. Simuleringarna gjordes för villor och flerbostadshus byggda mellan 1969 och 1985 med direktverkande el som uppvärmning före åtgärderna. Simuleringar baseras på klimatdata för Trondheim samt referensvärden för u-värden, lufttäthet och brukarprofiler.

3.3.4 Resiliens

Resiliens ingår som ett perspektiv i denna syntes (Hamborg, Meya et al. 2020). Begreppet relaterar till en störning av något slag och att den ursprungliga funktionen ska upprätthållas på något sätt. Exempel för elnätet är att kunna leverera ström trots en storm eller cyberattacker och utifrån ett hushållsperspektiv kunna upprätthålla sin vardag trots strömavbrott.

Det finns få exempel på resiliens i litteraturen om digitalisering som accelererar hållbarhet, men i den här artikeln från Ukraina (Redko, Ujma et al. 2021) lyfter och undersöker man hur digitalisering i form av fastighetsautomation kan ha betydelse för byggnader vid störningar som orsakar lägre temperaturer i fjärrvärmenätet.

Ett förändrat klimat kan också innebära störningar. Vi har hittat exempel på hur klimatanpassning kan stödjas av digital teknik. I en studie av Opach, Glaas et al. (2020) har ett digitalt verktyg i form av en karta utvecklats för att hantera översvämningar och värmeböljor i Norrköping. Verktöget är riktat både till stadsplanerare, kommuner och fastighetsägare. Ett annat verktyg lyfts i en studie från London där man vill visa på svalare platser i stadsmiljön vid värmeböljor (Cole, Ferguson et al. 2024). Här ingår verktöget som ett stöd i sociala och icke-digitala lösningar.

Ett resiliens perspektiv är att använda beräkningar för att utforma byggnader och energisystem för klimatförändringar. Flera artiklar som handlar om beräkningar reflekterar över vad ett förändrat klimat innebär och gör simuleringar. I denna artikel (Nishimwe and Reiter 2022) görs beräkningar för hur energianvändningen för uppvärmning påverkas av ett varmare klimat.

Maskininlärningsmodeller används av Sha, Moujahed et al. (2021) för att prediktera kylbehov i höga byggnader och optimerad styrning av mekanisk kyla via ventilation. Beräkningarna görs för ett framtida förändrat klimat.

3.3.5 Innovation, utvärdering och verifiering

Inom forskningen finns möjligheter att utforska nya lösningar och tekniker samt att utvärdera och analysera befintliga lösningar på ett mer djupgående sätt än man gör i fastighetsbranschen. Under detta avsnitt har vi samlat den typen av litteratur och sorterat den utifrån specifika funktioner i byggnaden.

Byggnaders klimatskal och byggmaterial

Klimatskalet i en byggnad, dvs fasader, fönster och tak, har sällan digital uppkoppling. Men digitalisering kan ändå spela en viktig roll genom tex simuleringar av egenskaper för att dessa byggnadselement ska bidra till hållbarhet. Men det finns också litteratur som beskriver fasader som aktiva element för att reglera ljusinsläpp, termisk komfort och energianvändning (Gonçalves, Figueiredo et al. 2024). Enligt denna litteratursammanställning finns det en ökande trend med olika typer av mer avancerade lösningar för att påverka klimatskalets olika delar, men de mer självreglerande ser ut att vara väl så bra när det gäller energieffektivitet.

I en kanadensisk studie (Shum and Zhong 2023) har aktivt styrd invändig solavskärmning undersökts. För en kontorsbyggnad har man simulerat och testat automatiserad invändig solavskärmning både för sommar och vinterfall. Studien visar att även vinterfallet ger energibesparing. Det finns ingen reflektion kring upplevelsen av fördragna gardiner när det gäller ljus och utsikt.

I en studie av smarta fönster (Sun, Liu et al. 2021) görs mätningar för på en prototyp av ett fönstermaterial med isolering. Baserat på mätdata för fönstermaterialet har simuleringar av energianvändning och ljustransmission gjorts för olika klimat, bla Stockholm.

Med hjälp av digitala simuleringar kan man börja att utforska nya obeprövade byggnadskonstruktioner. Till exempel genom att använda naturen som förebild för byggnadskonstruktion. Webb (2022) gör simuleringar av byggnadsfasadkonstruktioner som efterliknar djurpäls. För olika klimat över världen undersöks energibehov för både kylning och uppvärmning. Det finns en potential att utjämna effekttoppar om man lyckas med konstruktionen i praktiken.

Installationsteknik och fastighetsautomation

Utveckling av avancerade modeller krävs för att kunna skapa tillämpningar i tex digitala tvillingar eller styrsystem. Akbarzadeh, Hamzehei et al. (2024) har utvecklat olika algoritmer för prognoser för energianvändning i byggnader. Data från en kontorsbyggnad i kallt klimat i Canada har använts i studien för att utveckla prognosverktyget som inte är klart för praktisk användning.

Experimentellt test av solvärme med säsongslager har gjorts i en forsknings villa i Ottawa, Canada (Meister and Beausoleil-Morrison 2021). Digitalisering bidrar med förenklad och bättre mätning samt beräkning och utvärdering.

Möjligheter till nya lösningar för uppvärmning, komfortkyla och lokal elproduktion utvärderas med TRNSYS simuleringar i för flerbostadshus i Stockholm (Behzadi, Thorin et al. 2023). I systemet ingår solvärme,

absorptionskylmaskin som drivs av en panna för biobränsle. Biobränsle pannan används i kombination med en värmepump för uppvärmning. Möjligheter till effektkapning med stöd av tvåvägskommunikation med elnätet undersöks också.

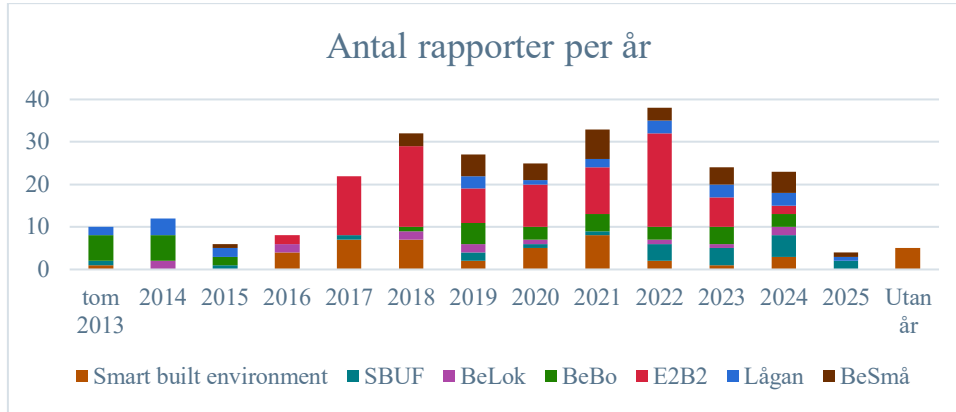
Borrhålslager har undersökts i flera studier. I en italiensk studie (Giordano, Comina et al. 2016) har prestanda för borrhål undersökts både experimentellt och med simulering. Styrning och kontroll av hur lagret används ingår också i studien. Borrhålslager hos studentkåren Stockholm har utvärderats av (Spitler and Gehlin 2019). En frågeställning i studien är vad som behöver mätas. Zhu, Wang et al. (2015) har gjort en experimentell utvärdering av borrhålslager med säsongslagring av solvärme i Kina. Borrhålslagret ska användas för uppvärmning av flera byggnader i ett nytt område på ett universitet.

Ventilation är i fokus i flera studier i materialet. På Chalmers har man undersökt förenklade styrstrategier för ventilation, värme och kyla i en experimentell studie för kontor och konferensrum (Gruber, Trüschel et al. 2015). Effekterna för inomhusmiljön och energianvändningen beaktades i studien. I en forskningsvilla i Dalarna har Garman, Mattsson et al. (2023) jämfört behovsstyrd ventilation med konstantflödes ventilation i sovrum. Studien fokuserar på hur inomhusmiljön påverkas. Självdrag är vanligt i många äldre byggnader. I en studie har Southall (2018) gjort simuleringar där självdrag jämförs med aktivt styrd självdragsventilation. Man har ventiler i fasaden som kan styras. I byggnadsmodellen har täthet samt klimatfaktorer som vind och temperatur varierats med utgångspunkt från milda blåsiga klimat. Enligt studien ska lösningen inte fungera i kalla klimat, men det är ändå en lösning som förekommer i Sverige. Optimerad styrning av mekanisk ventilation för att hantera kylbehov har studerats av Sha, Moujahed et al. (2021). Maskininlärningsmodeller har utvecklats för att prediktera kylbehov i höga byggnader och därefter optimera styrning av mekanisk kyla via ventilation.

3.4 Sammanställning av grå litteratur

I de följande avsnitten presenteras resultaten från den grå litteratursammanställningen. I diagrammet i Figur 5 visas antal rapporter per år och forskningsprogram som inkluderats i studien totalt.

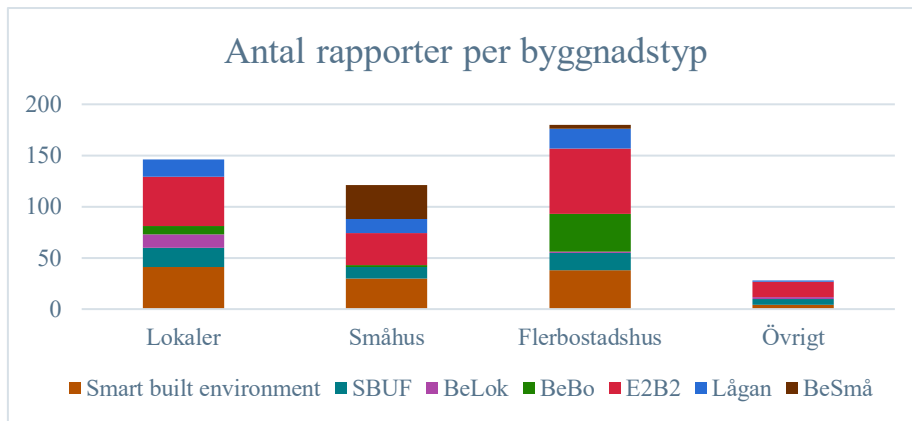
2026-204754-0001 2026-03-12



Figur 5: Antal rapporter per publikations år som inkluderats i sammanställningen för olika forskningsprogram. (AI sammanställning)

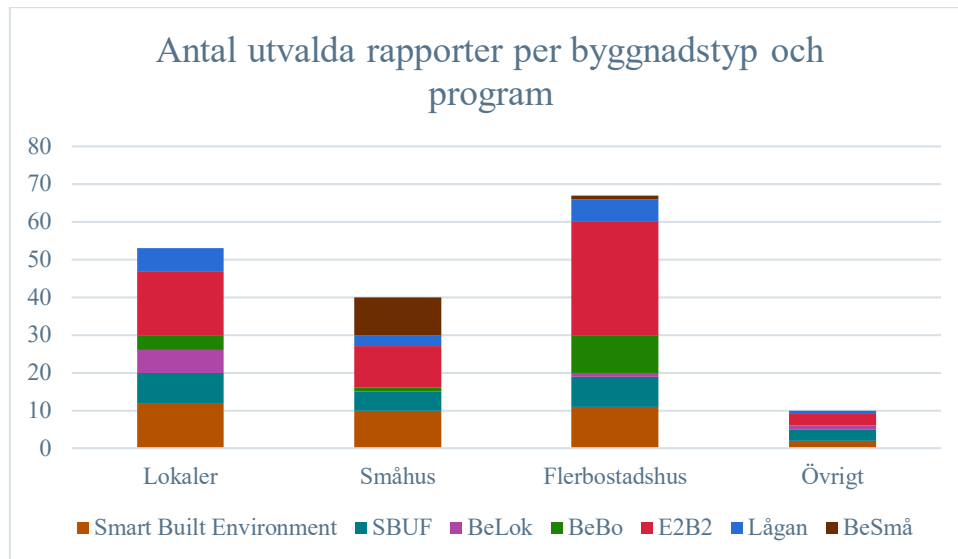
3.4.1 Olika byggnadstyper

I diagrammet i Figur 6 visas fördelningen över hur många rapporter i den grå litteraturen som handlar om olika byggnadstyper.



Figur 6: Fördelning över vilka byggnadstyper rapporterna berör. En rapport kan ingå i flera staplar.

En prioritering gjordes där 95 rapporter valdes ut som extra relevanta och viktiga. Fördelningen per byggnadstyp för dessa visas i Figur 7.



Figur 7 Särskilt utvalda rapporter fördelade per byggnadstyp och program.

I de följande avsnitten har rapporter som anknyter till småhus, flerbostadshus och lokaler sammanställts separat med hjälp av CoPilot.

Som beskrevs i inledningen av rapporten varierar ägandet av fastigheter från privatpersoner, mycket små fastighetsbolag till stora fastighetsbolag. Hur nybyggnation går till varierar också stort och även här finns det skillnader mellan olika byggnadstyper. Här har vi dock inte gjort någon djupare kartläggning inom projektet över hur det ser ut i praktiken.

3.4.2 Småhus

För småhus har ett antal områden identifierats där digitalisering kan bidra till hållbarhet.

Smart styrning och flexibilitet

Det första och stora området handlar om smart styrning och AI-baserad energioptimering. Digitala system används för att minska energianvändning, jämna ut effekttoppar och skapa flexibilitet. Rapporten *Innovationsupphandling – Smart styrning i småhus* (BeSmå, 2025) visar hur integrerade IoT- och AI-styrda system kan reducera både förbrukning och effekttuttag, samtidigt som de förbättrar komfort och systemeffektivitet. I *Småhusens roll i ett förändrat energisystem* (BeSmå, 2021) lyfts småhusen fram som flexibla resurser, där digital styrning av värmepumpar, laddning och batterier möjliggör bidrag till hela elsystemets stabilitet. Även *Styrning av FTX för fuktsäkra småhus* (E2B2, 2022)

betonar att digital styrning förbättrar både energieffektivitet och fuktsäkerhet i ventilation – ett exempel på hur gröna och digitala nyttor sammanfaller.

Livscykelanalyser och klimatpåverkan

Ett andra huvudområde gäller digitala klimat- och livscykelanalyser. I rapporten *Holistisk livscykeloptimering i tidiga designfaser av byggnader* (E2B2, 2024) används digitala optimeringsverktyg för att väga energi och klimat i projekterings första steg. I småhuskontexten kompletteras detta av rapporter som *Beräkningsprogram för energiprestanda och miljöpåverkan (PM)* (BeSmå, 2024) och *KlivPå småhus – klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv* (E2B2, 2022), där digital LCA används för klimatdeklarationer och för att styra materialval och byggsystem mot lägre utsläpp.

Verifiering, standardisering och kvalitetssäkring

Det tredje området rör digital standardisering och verifiering av klimatnytta. *Energihjälpen som branschstandard – möjligheter och hinder* (Lågan, 2023) och *Utveckling och test av Energihjälpen* (Lågan, 2022) visar att digitala datamodeller, strukturerad mätning och gemensamma standarder är avgörande för att säkerställa att klimatmål och energikrav faktiskt uppnås i praktiken. Även *Kvalitetssäkring av energitjänster* (Lågan, 2025) betonar att digital verifiering och uppföljning är nödvändigt för att säkerställa att energieffektivisering ger faktisk klimatnytta.

Klimatanpassning

Klimatanpassning ingår också i området, där digital simulering och sensordata kan användas för att hantera värmeböljor och övertemperaturer. *Effekter av ett förändrat klimat* (BeSmå, 2021) visar hur digitala verktyg kan användas för att analysera och optimera åtgärder som minskar kylbehov och värmestress i småhus. Liknande frågor behandlas i *Övertemperaturer i småhus (PM)* (BeSmå, 2024), där kombinationen av passiva lösningar och digital styrning diskuteras.

Byggproduktion

Slutligen noteras en framväxande trend kring digitalisering av byggandet. *3D-printade hus – möjligheter och utmaningar* (Smart Built Environment, 2021) beskriver hur digitalt styrd additiv tillverkning kan minska materialåtgång och spill, samtidigt som processen blir mer exakt och resurseffektiv. I *Hybrid Composites – Full Scale Modular Construction Using Additive Manufacturing in Cellulose-Based Materials* (Smart Built Environment, 2021) visas hur digital design och additiv produktion av biobaserade småhuskonstruktioner kan öka cirkularitet, återbruk samt möjliggöra helt nya resurssnåla byggsystem.

Sammanfattning

Sammanfattningsvis handlar Twin transition för småhus om att kombinera digital intelligens (AI, data, styrning, modellering) med grön transformation (energieffektivitet, minskad klimatpåverkan, resurseffektivitet, klimatanpassning). I småhussektorn är detta särskilt tydligt genom att byggnaden blir både en energieffektiv digitalt styrd produkt och en aktiv komponent i energisystemet, samtidigt som digitala verktyg styr besluten från tidig planering till långsiktig förvaltning.

3.4.3 Flerbostadshus

Twin transition i flerbostadshus handlar om hur digitalisering och grön omställning integreras i både nyproduktion och förvaltning, och hur stora bostadsbestånd kan dra nytta av datadrivna arbetssätt för att minska klimatpåverkan, optimera drift och möjliggöra cirkulära materialflöden. Jämfört med småhus är flerbostadshusens tvillingomställning mer systemisk och storskalig i den grå litteraturen – här berör rapporterna inte bara enskilda byggnader utan hela fastighetsportföljer och stadsdelar.

Följande områden har identifierats som centrala i den grå litteraturen för flerbostadshus

Smart styrning och flexibilitet

Ett centralt område är digital energistyrning och smart drift, där datainsamling, sensorer och AI används för att optimera energi- och effektanvändning. I *Erfarenheter av digital fastighetsautomation och AI – Örebrobostäder och Örebro kommun* (BeBo, 2023) visas hur storskalig AI-baserad fastighetsautomation i flerbostadshus kan minska energi- och effektbehov, förbättra inomhuskomfort och sänka utsläpp genom kontinuerlig optimering och maskininlärning. Liknande slutsatser dras i *Integrerad smart styrning* (BeBo, 2021), där avancerade prognosstyrda system minskar effekttoppar utan att kompromissa med boendekomfort. I *Goda exempel eleffekt – Fas 1 och 2* (BeBo, 2021) visas hur digital laststyrning och datadriven uppföljning kan minska effekttoppar i elnätet och därmed bidra till energisystemets stabilitet. Vidare lyfter *Energy flexibility using the thermal inertia of Swedish multi-family buildings* (E2B2, 2021) hur flerbostadshus kan användas för flexibel elanvändning genom utnyttjande av byggnaders värmetröghet, styrt via digitala modeller. Slutligen finns också exempel på hur flerbostadshus integreras i digitala energigemenskaper och lokala energisystem. Rapporten *Virtuella energigemenskaper – solelsförsörjning i Sätra* (BeBo, 2021) visar hur digitala plattformar möjliggör samordning och delning av lokal solex mellan byggnader i ett bostadsområde.

Livscykelanalyser och klimatpåverkan

Ett andra område handlar om digitala LCA-verktyg och klimatberäkningar i projektering. Flera rapporter visar hur digital information, BIM-modeller och automatiserade beräkningar möjliggör klimatoptimering av flerbostadshus redan i tidiga skeden. *SBUF 14022 – Regelbaserad klimatberäkning i BIM-modell* (SBUF, 2024) beskriver hur klimatdata integreras i designprocessen i realtid, medan *Byggnadsdesign med livscykelperspektiv* (E2B2, 2022) visar hur digitala verktyg används för att minimera klimatpåverkan i både nyproduktion och renovering. För det befintliga bostadsbeståndet kompletteras dessa med *Implementering av klimatberäkningar för renovering och ombyggnad* (BeBo, 2020), som demonstrerar hur digitala klimatkalkyler styr renoveringsbeslut mot större klimatnytta.

Cirkulära material

Tvillingomställningen innebär även en tydlig koppling till cirkularitet och resurseffektiv renovering. Rapporten *Återbruk och LCA vid renovering* (BeBo, 2021) visar hur digitala materialpass, databaser och LCA-verktyg skapar förutsättningar för att återbruka byggnadsdelar i flerbostadshus på ett kontrollerat och klimatoptimerat sätt. Även *Objektorienterad selektiv rivning för cirkulär ekonomi och minskad klimatpåverkan* (Smart Built Environment, 2022) beskriver hur digital modellering och logistikdata används för att planera selektiv rivning och materialåtervinning i större byggnadsbestånd.

Fastighetsdrift

I driftskedet handlar Twin transition också om systematisk datainsamling och kvalitetssäkring. *Energistrategier för flerbostadshusägare* (BeBo, 2019) och *Framgångsfaktorer för energieffektiva lokalbyggnader över tid* (E2B2, 2020) framhåller att digital uppföljning av energi, inomhusklimat och felindikatorer är centralt och tillämpligt även för flerbostadshus för att faktiskt realisera de gröna mål som satts i projektering och upphandling. Twin transition är här lika mycket en organisatorisk som en teknisk omställning, där digitala processer gör det möjligt att hålla fast vid klimatambitioner över tid.

Sammanfattningsvis innebär Twin transition i flerbostadshus att digital teknik används för att:

- optimera energianvändning och effektbehov,
- möjliggöra klimatoptimering i projektering,
- säkerställa kvalitet och uppföljning i drift,
- stödja cirkularitet genom digital spårbarhet,
- integrera byggnader i framtida flexibla energisystem.

I flerbostadshus är tvillingomställningen enligt den grå litteraturen därför framför allt en fråga om skalbarhet, systemintegration och digitalt underbyggda

klimatbeslut – där digitaliseringens infrastruktur gör den gröna omställningen både mätbar, styrbar och genomförbar i stor skala.

3.4.4 Lokaler

Twin transition för lokaler – som kontor, skolor, vårdfastigheter, badhus och andra byggnader som inte är bostäder – handlar om hur digitaliseringens verktyg, dataflöden och automatiserade styrsystem kan användas för att driva energi-, klimat- och resurseffektivitet i drift, utveckling och ombyggnad av dessa byggnader. I materialet framträder lokaler som en kategori där tvillingomställningen är särskilt stark, eftersom dessa byggnader ofta har mer komplexa tekniska system, högre energianvändning och större potential för digital optimering.

Driftoptimering och smart styrning

Ett centralt tema är digital driftoptimering och smart styrning, särskilt i energiintensiva lokaliteter. *Nordic Know-How #7 – Cooling Systems* (BeLok, 2022) lyfter hur avancerade digitala styr- och övervakningslösningar förbättrar kylningens klimatprestanda i sjukhus och vårdfastigheter. Även *Energieffektiva Badhus – Slutrapport* (BeLok, 2016) visar att digital övervakning och energiuppföljning i energiextensiva byggnader som badhus är centralt för att nå klimatmålen.

Visualisering och simulering

Ett andra område där Twin transition är tydlig handlar om visualisering, simulering och dataanalys. Rapporten *Hållbara kartan* (Smart Built Environment, 2021) visar hur digitala kartplattformar och datavisualisering kan användas för att planera och följa upp lokaler ur energi-, miljö- och hållbarhetsperspektiv. I *Övertemperaturer i byggnadsbeståndet – Hantering av problematiken i lokaler utan kyla* (BeLok, 2024) används klimatfiler, simuleringar (t.ex. IDA ICE) och digital data för att analysera värmestress och identifiera åtgärder som balanserar komfort, driftkostnad och klimatpåverkan i skolor, äldreboenden och andra lokaliteter.

Livscykelanalyser och klimatpåverkan

Tvillingomställningen är också tydlig i digitaliserade LCA- och klimatberäkningar samt standardisering av miljödata. I *SBUF 14022 – Regelbaserad klimatberäkning i BIM-modell* (SBUF, 2024) demonstreras hur BIM-modeller kan kombineras med automatiska klimatberäkningar för att optimera materialval och konstruktion i exempelvis kontorsbyggnader och offentliga lokaler. *Produkt- och miljödata – Produktion* (Smart Built Environment, 2017) etablerar digitala informationsflöden som ger spårbar miljödata från produktion till förvaltning i alla lokaliteter. Tillsammans visar dessa rapporter att digitalisering är en nödvändighet för att kunna styra lokaler

mot lägre klimatavtryck och uppfylla ökande krav från taxonomi, certifieringssystem och offentlig upphandling.

Cirkulära material

Ett ytterligare tema gäller cirkularitet och återbruk, där digitala verktyg används för att synliggöra, klassificera och återföra resurser i byggprojekt. *Byggsektorns resurshubb* (Smart Built Environment, 2018) visar hur digitala materialbanker och spårbarhetssystem möjliggör återbruk av komponenter från lokaler.

Objektsorienterad selektiv rivning för cirkulär ekonomi och minskad klimatpåverkan (Smart Built Environment, 2022) visar hur selektiv rivning med digital logistik- och materialdata minskar klimatpåverkan vid ombyggnader och rivningar i t.ex. kontor eller skolor.

I många lokaltyper är Twin transition också starkt kopplad till social hållbarhet och inomhusmiljö. I *Behovsstyrd ventilation – Förstudie* (BeLok, 2014) och *Energieffektiv ventilation för ultraren luft* (E2B2, 2017) används digitala sensorer och automatiserad styrning för att säkerställa både låg energianvändning och god luftkvalitet i kontor, skolor och vårdmiljöer. *Smarta byggnader och etik* (Smart Built Environment, 2018) breddar perspektivet och visar hur digitaliseringens möjliggörande roll för energioptimering måste kombineras med etiska ställningstaganden kring integritet i lokaler där människor vistas.

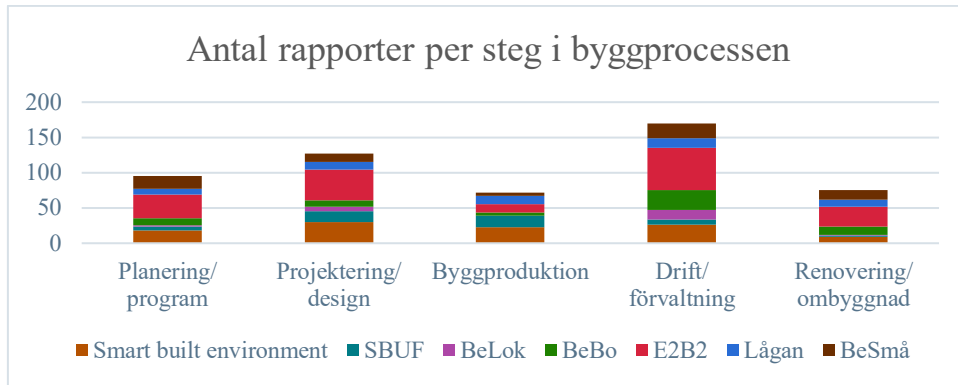
Sammanfattningsvis visar rapportunderlaget att Twin transition för lokaler kännetecknas av:

- digitalt drivna energilösningar och smart styrning,
- avancerad simulering och dataanalys för klimat och komfort,
- digitaliserade klimat- och miljöberäkningar med spårbara dataflöden,
- cirkularitet genom digital resurskartläggning och selektiv rivning,
- fokus på både miljömässiga och sociala nyttor i byggnader där människor arbetar, vårdas eller utbildas.

Lokaler framträder därmed som en av de byggnadskategorier där tvillingomställningen är som mest tekniskt avancerad och strategiskt betydelsefull, eftersom digitaliseringen inte bara reducerar energiprestanda utan även möjliggör bättre inomhusmiljö, klimatanpassning och resurseffektiv omställning i stor skala.

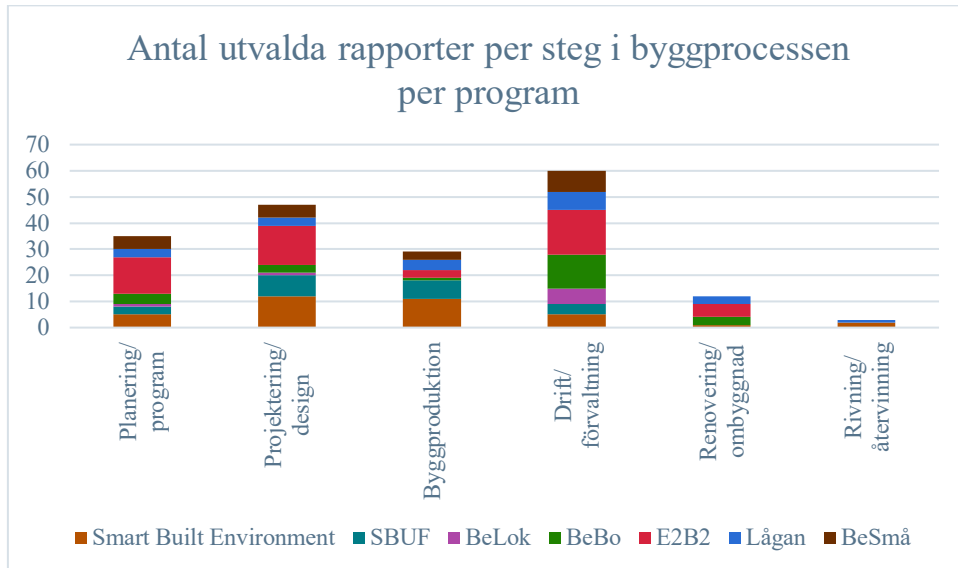
3.4.5 *Byggprocessen och byggnadens livscykel*

I Figur 8 visas fördelningen av rapporter i den grå litteraturen per steg i byggprocessen.



Figur 8: Fördelning över vilka steg i byggprocessen som rapporterna berör. En rapport kan ingå i flera staplar.

En prioritering gjordes bland rapporterna där ca 95 st markerades som extra relevanta och viktiga. Hur dessa fördelas per byggnadstyp och program, visas i Figur 9.



Figur 9 Antal särskilt utvalda rapporter per byggnadstyp och program.

I de följande avsnitten redovisas de viktigaste insikterna från den grå litteraturen för dessa steg.

3.4.6 Planering/program

Twin transition i planerings- och programskedet handlar i rapporterna om hur digitalisering och hållbarhetsmål måste integreras redan från början för att styra projekt mot lägre klimatpåverkan, högre resurseffektivitet och långsiktig hållbarhet. En central aspekt är att digitala klimatberäkningar och livscykelanalyser används tidigt som underlag för strategiska beslut. Rapporter som *Analys av livscykelegenskaper i tidiga skeden* (Smart Built Environment, 2017) och *Byggnadsdesign med livscykelperspektiv* (E2B2, 2022) visar hur kopplingen mellan BIM-modeller och LCA-data gör det möjligt att utvärdera klimatpåverkan innan arkitektur, materialval och tekniska lösningar är fastställda, vilket är en grundläggande princip i twin transition där digitala verktyg kan göra den gröna omställningen styrbar redan i de första skedena.

En annan viktig del är digitaliserad kravställning. I rapporter som *Digitaliserade miljö- och klimatkrav genom hela upphandlingskedjan* (Smart Built Environment, 2019) och *Systematisk hantering av hållbarhetskrav genom hela byggprocessen* (Smart Built Environment, 2021) framgår att digitala och maskinläsbara miljödata – exempelvis EPD:er och standardiserade klassificeringssystem – möjliggör en mer träffsäker styrning av klimatmål, återbruk och resurseffektivitet. Det innebär att hållbarhetskraven inte bara formuleras utan också kan följas upp och revideras strukturerat genom digitala system, vilket gör planeringsskedet till startpunkten för en datadriven grön omställning.

Rapporterna betonar också hur digitala beslutsstöd, simuleringar och visualiseringsverktyg används för att jämföra olika scenarier och skapa faktabaserade avvägningar mellan klimatpåverkan, energianvändning, ekonomi och sociala värden. I exempelvis *Multikriterieanalys för hållbar byggprocess* (Smart Built Environment, 2017), *Digital tvilling och analysverktyg för hållbar samhällsutveckling* (Smart Built Environment, 2021) och *Hållbarhetssimulatorn* (Smart Built Environment) framgår att tvillingmodeller, GIS och simuleringsplattformar gör det möjligt att förstå konsekvenserna av olika val på stadsdels-, byggnads- och komponentnivå redan innan projektering startar. Detta tydliggör en central poäng i twin transition: digital teknik används inte bara för att effektivisera arbetsprocesser, utan som ett sätt att synliggöra och styra hållbarhetsaspekter på ett sätt som annars vore omöjligt.

Även cirkulär ekonomi lyfts i tidiga skeden, där digital spårbarhet, materialpass, återbruksdatabaser och marknadsplatser behöver integreras redan i programfasen. Rapporter som *Minskat materialsvinn i byggsektorn* (BeBo, 2020) och *Återbruk ur ett entreprenörsperspektiv* (Lågan, 2023) visar att digitala verktyg är

avgörande för att identifiera återbrukspotential och möjliggöra cirkulära flöden – och att dessa måste planeras in tidigt för att få genomslag i projektering och produktion.

Slutligen visar rapporterna att strategiskt klimatarbete i planeringsskedet alltmer baseras på digitala underlag, såsom i *Energistrategier för flerbostadshusägare* (BeBo, 2019), *Science Based Targets* (BeBo, 2021) och *Grön logik – visualisering av byggnaders potential för energieffektivisering* (E2B2, 2023). Här framgår att digital uppföljning, dataanalys och scenariomodellering gör klimatmål mer konkreta och genomförbara, samtidigt som de skapar transparens och möjliggör jämförelser mellan olika åtgärdsstrategier. Sammantaget visar rapporterna att twin transition i planerings och programskedet innebär att digital infrastruktur, data och modeller blir själva verktyget för att definiera, styra och kvalitetssäkra den gröna omställningen – och att dessa verktyg behöver användas just här, i de skeden där de långsiktiga miljö- och resurseffekterna avgörs.

3.4.7 Projektering och design

I projekterings- och designskedet tas planeringsidéerna vidare och mer detaljerade tekniska lösningar, materialval och konstruktioner utformas. Rapporterna i den grå litteraturen visar att Twin transition i detta skede framför allt handlar om digitaliseringens roll i att möjliggöra klimatoptimerad design, välgrundade val, samt obrutna informationsflöden som kopplar samman projektering med produktion och förvaltning.

Implementering av Twin transition i projektering och design beskrivs i rapporterna som en förändring där digitalisering och hållbarhetsarbete vävs samman så att klimatpåverkan, resurseffektivitet och miljödata integreras direkt i de digitala modeller som styr utformningen av byggnader. I rapporter som *Analys av livscykelegenskaper i tidiga skeden* (Smart Built Environment, 2017) och *Digital LCA – Testpiloter* (Smart Built Environment, 2016) framgår att digitala verktyg gör det möjligt att koppla BIM-modeller till klimatdata, vilket synliggör effekter av olika materialval och designbeslut redan i tidiga skeden och därmed gör klimatstyrning till en aktiv del av själva formgivningsprocessen. *Arkitektens roll: design, form och LCA* (Smart Built Environment, 2017) betonar att digitala designverktyg gör klimataspekter kvantifierbara, vilket innebär att arkitekter och konstruktörer kan arbeta mer systematiskt med att minska byggnaders utsläpp genom form, struktur och materialval. Samtidigt visar rapporter som *Hållbarhetssimulatorn* (Smart Built Environment, X) och *Multikriterieanalys för hållbar byggprocess* (Smart Built Environment, 2017) att simulering och visualisering av olika miljöscenarier gör det enklare att väga klimatpåverkan mot funktion och ekonomi, vilket stärker den datadrivna beslutsprocessen i projektering.

Rapporterna beskriver flera möjligheter med twin transition. En central möjlighet är att klimatberäkningar kan integreras direkt i projekteringsverktygen, vilket ger realtidsunderlag för att optimera materialåtgång och minska utsläpp, som framgår i *Digitala miljöberäkningar – effektivare resursanvändning* (Smart Built Environment, 2018). Vidare kan AI, parametrisk design och automatiserade arbetsflöden – exempelvis i *Digitala arbetsflöden för byggkonstruktörens klimatarbete* (Smart Built Environment, 2024) – generera mer klimatoptimerade konstruktioner, och rapporter om cirkulära och digitalt styrda system, som *Rumsbeskrivning 2.0 – Proof of Concept* (Smart Built Environment, X), visar hur digital spårbarhet av produkter möjliggör återbruk redan i designfasen. Detta innebär att den gröna omställningen förstärks när digitala verktyg både visualiserar och automatiserar klimatstyrningen.

Samtidigt lyfts betydande svårigheter. En återkommande utmaning är att klimatdata och LCA-verktyg fortfarande ofta används sent i projekteringen, vilket gör att klimatoptimering får svagare effekt än vad som vore möjligt – något som beskrivs i *Arkitektens roll: design, form och LCA* (2017). Rapporter som *Digital LCA – Testpiloter* (2016) och *Standardiserade digitala informationsleveranser* (2016) visar att bristande datastandarder, oförenliga informationsformat och manuella överföringar hindrar ett obrutet digitalt flöde mellan BIM, LCA-verktyg och andra projekteringssystem. Dessutom beskriver flera rapporter, exempelvis *Produkt- och miljödata – Produktion* (Smart Built Environment, 2017) och *Total BIM* (SBUF, 2024), att dagens BIM-plattformar ännu inte innehåller all den miljöinformation som behövs för att fullt ut stödja klimatoptimering. Till detta kommer strukturella hinder som låg digital mognad, fragmenterade arbetssätt och brist på kombinerad digital och hållbarhetsrelaterad kompetens – något Smart Built Environment återkommande lyfter som hinder för sektorns omställning. Sammantaget visar rapporterna att twin transition i projektering/design erbjuder stora möjligheter men att dessa endast kan realiseras om digitala processer, standarder och kompetenser utvecklas parallellt med hållbarhetsarbetet

3.4.8 Byggproduktion

Twin transition i byggproduktion handlar enligt rapporterna om hur digitalisering och grön omställning vävs samman i själva utförandeskedet för att minska klimatpåverkan, effektivisera resurser och skapa mer spårbara, datadrivna byggprocesser. I rapporter som *Digitaliserat stombyggande* (Smart Built Environment, 2016) beskrivs hur digital styrning av prefabricerade byggdelar minskar spill och optimerar materialanvändning, medan *Från spill till specialisering* (Smart Built Environment, 2016) visar hur digitalt styrd produktion av träkomponenter möjliggör cirkulära flöden och minskad klimatbelastning. Även *3D-printade hus – möjligheter och utmaningar* (Smart Built Environment, 2021) visar att robotiserad och additiv tillverkning minskar

behovet av formar och skapar mer resurseffektiva processer – ett tydligt exempel på hur digital teknik och hållbarhet samverkar.

Möjligheterna med twin transition i byggproduktion framgår bland annat i *Verkliga byggprojekt – testbäddar för digitalisering* (Smart Built Environment, 2018), där digital mätning och uppföljning i realtid gör det möjligt att minska klimatpåverkan genom faktabaserade beslut under produktionen. *Digitaliserat platsgjutet anläggningsbyggande* (SBUF, 2022) visar hur IoT-sensorer och AI-baserad övervakning leder till effektivare materialanvändning och färre fel, och *3D-printad betong* (SBUF, 2025) beskriver betydande möjligheter att minska både materialsvinn och arbetsmiljörisker genom digitalt styrd robotproduktion. Standardiserad logistik enligt *Peppol Logistics – Ett viktigt steg till digital leveranskedja* (SBUF, 2024) kan dessutom bidra till minskade transporter och bättre klimatprestanda i leveranskedjan.

Samtidigt beskriver flera rapporter tydliga svårigheter. *Produkt- och miljödata – Produktion* (Smart Built Environment, 2017) lyfter att bristande interoperabilitet och fragmenterade datasystem hindrar obrutna informationsflöden mellan projektering och produktion. *Digitaliserat stombyggande* (2016) och *Klimatpåverkan från byggrobotik* (SBUF, 2025) visar dessutom att digitala tekniker ofta kräver nya kompetenser och investeringar, och att robotisering innebär en klimatkostnad som bara vägs upp om effektiviseringsvinsterna är tillräckligt stora. Flera rapporter betonar också låg digital mognad i produktionen, osäkerhet kring ansvar för data och att digitala verktyg inte används konsekvent på byggplatsen.

Under projektering och design har digitala verktyg för LCA och BIM lyfts som viktiga för att skapa hållbara byggnader. Flera av rapporterna pekar rapporterna på flera återkommande hinder att tillämpa dessa verktyg och processer under byggskedet. *Digital LCA – Testpiloter* (Smart Built Environment, 2016) och *Standardiserade digitala informationsleveranser* (2016) visar att BIM-modeller och LCA-verktyg ofta använder oförenliga dataformat, vilket leder till manuella överföringar och risk för fel. *Produkt- och miljödata – Produktion* (2017) beskriver att BIM-modeller ofta saknar tillräcklig material- och miljöinformation för att möjliggöra automatiserade klimatberäkningar. Dessutom pekar *3D-printade hus – möjligheter och utmaningar* (2021) på att frekventa ändringar i byggskedet gör det svårt att hålla LCA-data uppdaterad i realtid. Sammantaget visar rapporterna att BIM och LCA har stor potential i byggproduktion, men att tekniska, organisatoriska och kompetensmässiga hinder fortfarande begränsar genomslaget.

3.4.9 Drift och förvaltning

I drift- och förvaltningsskedet blir Twin transition som mest konkret och verksamhetsnära. Här möts digitala verktyg, automatiserad datahantering och energieffektiva strategier för att minska energianvändning, hantera effekttoppar, förbättra inomhusklimat och optimera byggnaders prestanda över tid. De särskilt utvalda rapporterna i den grå litteraturen visar att drift och förvaltning är ett skede där digitalisering inte bara möjliggör utan ofta är en förutsättning för att den gröna omställningen ska bli verklighet.

Twin transition inom drift och förvaltning handlar enligt rapporterna om hur digitalisering och grön omställning förenas för att optimera energianvändning, minska klimatpåverkan och skapa mer hållbar, datadriven fastighetsförvaltning. I rapporter som *Erfarenheter av digital fastighetsautomation och AI – Örebrostäder och Örebro kommun* (BeBo, 2023) beskrivs hur sensorer, AI-baserad styrning och digital övervakning möjliggör realtidsoptimering av värme, ventilation och inneklimat, vilket leder till både lägre energianvändning och minskade utsläpp. Även *Snabbare digitalisering av bebyggelsen – Strategi och rekommendationer* (BeLok, 2020) framhåller att digitalisering gör det möjligt att omvandla mängder av byggnadsdata till beslutsunderlag som driver energieffektiv drift och minskar klimatpåverkan. Twin transition innebär därmed att driftorganisationer använder digital teknik – såsom IoT, digitala tvillingar, öppna API:er och automatiserad analys – för att uppnå hållbarhetsmål på ett systematiskt och kontinuerligt sätt.

Rapporterna lyfter tydliga möjligheter med twin transition. Digitala uppföljningssystem gör energianvändning synlig och styrbar, vilket framgår i *Energiuppföljningsmetoder och verktyg i lokalfastigheter* (BeLok, 2019), där avancerad analys och visualisering skapar förutsättningar för kontinuerlig energieffektivisering. I *Goda exempel eleffekt – Fas 1 och 2* (BeBo, 2021) visas att AI-baserad laststyrning kan minska effekttoppar och därigenom klimatpåverkan från elnätet. Vidare beskriver *Energigemenskaper – vägledning för fastighetsägare* (BeBo, 2023) hur digital styrning och mätning gör lokal energidelning och flexibilitet möjlig, vilket stärker både systemnytta och klimatnytta. Digitala tvillingar framhålls i flera rapporter, exempelvis *Facility Information Modeling (FIM)* (Smart Built Environment, 2018), som verktyg för att koppla byggnadsdata till driftoptimering och klimatstyrning i realtid.

Samtidigt framkommer betydande svårigheter. Många rapporter pekar på bristande systemintegration och fragmenterade plattformar, vilket gör digital drift mer komplex än nödvändigt. I *Snabbare digitalisering av bebyggelsen* (BeLok, 2020) beskrivs hur äldre och nyare system ofta inte kommunicerar med varandra, vilket hindrar effektiv styrning och datautbyte. *Energiuppföljningsmetoder och verktyg i flerbostadshus* (BeBo, 2019) visar att även när data samlas in riskerar

den att bli oanvändbar om metoder och system inte är anpassade – något som skapar både merarbete och förlorad klimatnytta. Vidare lyfter *Smarta byggnader och etik* (Smart Built Environment, 2018) att integritets- och dataskyddsfrågor kan försvåra datadriven drift. Slutligen pekar *Erfarenheter av digital fastighetsautomation och AI* (BeBo, 2023) på att låg AI-mognad, varierande kompetensnivåer och osäkerhet kring ansvarsfördelning bromsar implementeringen av avancerade digitala lösningar. Sammantaget visar rapporterna att twin transition i drift/förvaltning har stor potential, men kräver både teknisk integration, kompetensutveckling och tydligare standarder för att få fullt genomslag.

3.4.10 Renovering och ombyggnation

Twin transition inom renovering och ombyggnation handlar enligt rapporterna om hur digitalisering och grön omställning tillsammans förändrar sättet byggnader uppgraderas, anpassas och återbrukas. I rapporter som *Återbruk och LCA vid renovering* (BeBo, 2021) och *Objektsorienterad selektiv rivning för cirkulär ekonomi och minskad klimatpåverkan* (Smart Built Environment, 2022) framhålls att digitala verktyg – exempelvis BIM-modeller, materialpass, digitala databaser och LCA-beräkningar – gör det möjligt att planera renoveringar utifrån faktisk miljö- och materialdata. Twin transition innebär här att klimatpåverkan och resurseffektivitet blir styrande parametrar genom digital spårbarhet av byggmaterial, simulering av åtgärdsalternativ och livscykelbaserade beslut. Även *Systematisk hantering av hållbarhetskrav genom hela byggprocessen* (Smart Built Environment, 2021) visar hur digital kravhantering kan integrera miljödata i renoveringsprocessens alla steg.

Rapporterna beskriver flera möjligheter med twin transition i renovering. Digital mätning och uppföljning – exempelvis i *Rekorderlig renovering – Lagersberg etapp 2* (BeBo, 2015) – gör det möjligt att verifiera energibesparingar och säkerställa att renoveringsåtgärder ger faktisk klimatnytta. Digitala kartläggningsverktyg, som i *Hållbar konvertering av lokaler till bostäder* (E2B2, 2022), underlättar analys av vilka delar av en byggnad som kan återbrukas och hur resurser kan optimeras. Plattformer för cirkulär design såsom *Knit Link – Digital plattform för cirkulär design och produktion* (Smart Built Environment,) visar att digitalisering möjliggör ökad spårbarhet, samtidigt som återbruk blir enklare att planera och genomföra. Vidare visar *Energirenoveringspaket – för bostadsrättsföreningar och mindre fastighetsägare* (BeBo, 2024) hur digitala beräkningsverktyg ger beslutsunderlag för klimatsmarta renoveringspaket med hög träffsäkerhet i både energi och kostnad.

Samtidigt finns betydande svårigheter. Rapporter som *Återbruk och LCA vid renovering* (BeBo, 2021) och *Digitala verktyg för att mäta och följa upp klimatpåverkan (PM)* (BeSmå, 2022) lyfter att tillgången till kvalitetssäkrad

material- och klimatdata är begränsad, vilket gör återbruk och LCA-baserade renoveringsbeslut svårt att genomföra i praktiken. I *Förstudie om klimatkrav i byggprocessen* (BeBo, 2018) framkommer att fastighetsägare upplever klimatkrav som svårtolkade och att digitala verktyg kräver nya kompetenser och investeringar som inte alla organisationer besitter. Dessutom pekar rapporter som *Glapp i byggprocessen – läckor i energisystemet* (BeBo, 2014) på att bristande informationsöverföring mellan projektörer och driftorganisation gör att digitala modeller sällan hålls uppdaterade genom renoveringsskedet, vilket försvårar livscykeluppföljning. Fragmenterade system och avsaknad av gemensamma digitala standarder, som lyfts i flera Smart Built Environment-projekt, skapar ytterligare hinder för helhetsintegrerade digitala och gröna renoveringsprocesser. Sammantaget visar rapporterna att twin transition inom renovering erbjuder stark klimatpotential, men kräver bättre datakvalitet, standardisering och kompetens för att kunna realiseras fullt ut.

3.4.11 Rivning och återvinning

Det är få rapporter som handlar om rivning. Totalt handlar 25 rapporter om återvinning och rivning.

Twin transition inom rivning och återvinning handlar enligt rapporterna om hur digitalisering och grön omställning samverkar för att möjliggöra cirkulära materialflöden, minska klimatpåverkan och skapa spårbara resurskedjor i slutet av byggnaders livscykel. I *Objektorienterad selektiv rivning för cirkulär ekonomi och minskad klimatpåverkan* (Smart Built Environment, 2022) beskrivs hur digital modellering, LCA-data och visualisering av materialflöden gör det möjligt att identifiera vilka material som kan återbrukas, samt beräkna klimatnyttan av olika rivningsstrategier. Även *Byggsektorns resurshubb* (Smart Built Environment, 2018) visar hur digitala materialbanker och spårbarhetssystem skapar förutsättningar för att material från rivningar kan återgå till värdekedjan på ett kontrollerat och resurseffektivt sätt. Twin transition innebär här att digitala verktyg, som BIM, databaser, materialpass och öppna API:er, används för att systematisera återbruk och minska avfall.

Rapporterna lyfter flera möjligheter kopplat till Twin transition. Digitala verktyg möjliggör exakt kartläggning av byggnadsdelar inför rivning, vilket framgår i *Utvärdering av prefabricerad vägg* (BeBo, 2014), där laserskanning och digital mätning används för att verifiera befintliga konstruktioner och stödja beslut om återbruk. I *Återbruk och LCA vid renovering* (BeBo, 2021) betonas att digital dokumentation (t.ex. materialpass och databaser) gör det enklare att identifiera återbrukbara komponenter och utvärdera deras klimatnytta. *Knit Link – Digital plattform för cirkulär design och produktion* (Smart Built Environment) visar att digitala plattformar kan matcha tillgång och efterfrågan på återbrukade material,

vilket skapar nya affärsmodeller och minskar behovet av nyproducerade resurser. Dessa möjligheter stärker både resurseffektivitet och klimatprestanda.

Samtidigt visar rapporterna på tydliga svårigheter. Ett återkommande hinder är att materialinformation ofta saknas eller är ofullständig, vilket gör digital spårbarhet svår att uppnå. Detta framhålls i både *Objektsorienterad selektiv rivning* (2022) och *Återbruk och LCA vid renovering* (2021), där brist på kvalitets- och innehållsdata begränsar vilka material som kan återbrukas på ett säkert och klimatoptimerat sätt. Fragmenterade system och avsaknad av standarder för materialdata och klassificering försvårar skapandet av obrutna digitala informationsflöden, vilket är något som lyfts i flera rapporter från Smart Built Environment. *Glapp i byggprocessen – läckor i energisystemet* (BeBo, 2014) visar även att informationsöverföring mellan tidigare skeden och rivningsfasen ofta brister, vilket gör digitala modeller inaktuella. Dessutom kräver selektiv rivning mer tid, kompetens och digitalt stöd än traditionell rivning, vilket enligt rapporterna kan innebära högre kostnader och större organisatorisk komplexitet. Sammantaget pekar rapporterna på att twin transition vid rivning och återvinning har stor potential, men att denna är beroende av förbättrad datakvalitet, standardisering och digital mognad i branschen.

3.5 Datacenter

Den framväxande digitaliseringen i samhället har ökat behovet av datacenter (Sovacool, Upham et al. 2022). Särskilt när alltmer data hanteras i ”molnet” behöver stora mängder data lagras och hanteras på andra platser än hos den som ursprungligen skapat den. Detta kan ge en skenbild av minskad energianvändning för datahantering när man inte längre behöver ha serverrum i varje kontor (Clements-Croome 2011) och ett sätt att uppmuntra lagring i molnet. Både i den vetenskapliga och den grå litteratursökningen fanns artiklar som specifikt handlar om datacenter ur olika aspekter. Dessa har inkluderats för att belysa den större systemaspekten när det gäller energianvändning och även andra aspekter för digitalisering.

Datorerna är energikrävande del i datacenter, men dagens elektronik är också känslig för höga temperaturer och kylning är en viktig och energikrävande process för datacenter. Att optimera dessa processer är viktigt för att hålla nere energianvändningen till exempel genom att utveckla ett AI-drivet beslutsramverk för energihantering i datacenter (Milić 2024). Återvinning av överskottsvärme är också ett viktigt sätt att kunna ta tillvara på energi på ett mer effektivt sätt. Detta lyftes fram i två rapporter inom den grå litteraturen. Rapporten *Green Power – användning av spillvärme från datacenter*, (E2B2, 2017) pekade på att forskningsprojekt då främst fokuserat på energieffektivitet, och att det saknas studier om användning av spillvärmerna. Rapporten *Modulära och energieffektiva*

datacenter i trä, (E2B2, 2017) beskrev ett exempel på hur man kan ta hänsyn till energieffektivitet både i byggskedet och genom datacentrets livslängd.

Kylbehovet ger fördelar för platser med kallare klimat för placering av datacenter, (Jerléus, Ibrahim et al. 2024) medan andra platser med varmt klimat som till exempel Thailand (Sermsuk, Sukjai et al. 2021) har svårare att bygga datacenter med låg och klimatvänlig energi- och vattenanvändning. Jerléus, Ibrahim et al. (2024) har kartlagt förutsättningar för datacenter i Sverige med hänsyn till energi- och vattenanvändning på olika platser i Sverige.

Det kan bidra till maktobalans på olika sätt när vissa länder har svårare att lagra och hantera data, medan andra har eftertraktade platser. Men även för platser med fördelaktiga klimat är inte etablering av datacenter enbart positiv (Sovacool, Upham et al. 2022). Platsen kan bli sårbar genom ökade risker för angrepp. På glest befolkade platser som Grönland kan datacenter lägga till belastning på en redan överbelastad strömförsörjning. Datacenter kan bidra till arbetstillfällen, men i praktiken är de ofta lite bemannade.

Synen på säkerhet och resiliens har förändrats över tid när det gäller datacenter. I en studie om Älvsjö datacenter (Fors and Lennerfors 2018) som var ett av Sveriges första datacenter tas ett historiskt perspektiv på datacenter och hållbarhet. Centret byggdes 1979 med för den tiden modern IT, hög säkerhet och resiliens i form av UPS-kraft. Redan från början användes överskottsvärme till värmeåtervinning, men det lyftes fram senare när hållbarhet blev efterfrågat.

3.6 Skillnader och likheter mellan forskning och praktik

Den grå litteraturen kommer från Sverige och innefattas i den svenska kontexten, även om man inte kan förutsätta att den är heltäckande. De flesta typer av byggnader är inkluderade inom småhus och flerbostadshus. Inom området lokaler finns många olika typer av byggnader vilket gör det svårt att täcka allt. Organisatoriska och användarrelaterade perspektiv som handlar om vem och vilka som både bygger, förvaltar och använder byggnader kan inte sägas vara lika heltäckande. Små fastighetsägare och företag är inte lika representerade som de stora fastighetsägarna, trots att de utgör en stor andel av fastighetsägarna i Sverige. Det samma kan gälla olika typer av användare i form av organisationer och företag som både använder och ibland också äger och förvaltar byggnader. Här finns många olika perspektiv som behöver utforskas mer generellt.

I den internationella forskningslitteraturen kommer nya perspektiv in, som kan relateras till andra typer av energisystem, policy, organisation och kulturer, även när vi gjort avgränsningen till klimat som liknar Sverige. Dessa perspektiv ger möjlighet till reflektion och nytänkande. Generellt är den vetenskapliga litteraturen mer utforskande och längre ifrån de praktiska tillämpningarna än den

grå litteraturen. Digitala verktyg är i regel på utvecklingsstadiet och utvärderingar och analyser kan göras på ett fördjupat sätt jämfört med i den grå litteraturen.

Här följer några reflektioner utifrån indelningen av litteratur utifrån några av byggprocessens skeden.

För planeringsskedet fanns det mycket lite i forskningslitteraturen, men i den grå litteraturen fanns en del material. Gränsdragningen mellan planering och projektering är inte alltid helt klar och tydlig. Verktyg och processer är delvis samma och därför svåra att skilja på vid en utvärdering. Viktiga val som påverkar en byggnads energianvändning och klimatpåverkan görs ofta i tidiga skeden. I den grå litteraturen lyfts vikten av tidiga LCA- och energiberäkningar fram.

Generellt fanns det lite som handlade om byggproduktion i båda typerna av litteratur. För den vetenskapliga litteraturen beror det delvis på att sökord som robotik, 3D printning och likande inte inkluderades. I den grå litteraturen fanns en del rapporter kring automatisering, robotar mm i byggskedet.

Cirkulära material och återbruk är teman som återfinns i både den vetenskapliga och grå litteraturen. Här finns en samstämmighet kring att digitalisering är en viktig möjliggörare för att öka återbruk av material i byggbranschen, men att det finns stora utmaningar med att realisera återbruk i hög utsträckning.

3.6.1 Resiliensperspektiv i forskning och praktik

Resiliens handlar om att kunna upprätthålla funktioner vid olika typer av störningar, exempelvis stormar, cyberattacker eller strömavbrott. I syntesen kan man visa på både möjligheter där digitaliseringen kan skapa ökad resiliens genom att hantera vissa typer av störningar. Här kan man lyfta exempel som fastighetsautomation som kan upptäcka avvikelser i energisystem, digitala kartverktyg som hjälper vid översvämningar och värmeböljor samt beräkningsmodeller som simulerar byggnaders energibehov i ett förändrat klimat. Men störningar kan också innebära att digitala system slås ut. Under workshopen framhölls att beredskap är en aktuell fråga i branschen och att digitalisering både kan stärka och försvaga resiliensen. Uppkopplade system kan skapa nya risker, exempelvis vid cybersäkerhetsintrång, vilket gör att säkerhet ses som en grundläggande förutsättning för digitalisering. Samtidigt noterades att även analoga system är sårbara, bland annat genom mänskliga misstag. Även väderrelaterade störningar som översvämningar och torka uppmärksammas, men inte alltid i direkt relation till digital teknik. Inom klimatanpassning spelar

digitala verktyg en viktig roll, där simuleringar, sensordata och digital styrning kan användas för att hantera värmeböljor, minska kylbehov och optimera kombinationen av passiva åtgärder och smart teknik i småhus.

4 Diskussion

Begreppet Twin transition har introducerats inom EU och i viss forskningslitteratur men visade sig inte vara etablerat som ord och begrepp i bredare kretsar inom vare sig forskning eller grå litteratur. Detta betyder dock inte att fenomenet inte existerar eller har funnits tidigare. För att beskriva både forskningsläge och praktik har vi därför försökt att undersöka fenomenen hållbarhet och digitalisering och se hur de samverkar eller inte. Ett resultat som framkom är att språk och ord som beskriver både hållbarhet och digitalisering varierar inom olika segment i fastighetsbranschen. Hållbarhet lyfts upp som ett argument oftare inom vissa sektorer, men nämns sällan inom andra. Att urskilja vad som på riktigt bidrar till hållbarhet är en svår uppgift.

Det finns nackdelar med begreppet Twin transition. Att fokusera på digitala lösningar för hållbarhet begränsar, när det kan finnas många icke-digitala angreppssätt som kan vara mer framgångsrika och missas. En allt för överdriven teknikoptimism kan driva på den utvecklingen, medan motsatsen också gör att viktiga lösningar kan missas.

Digitaliseringens roll för att bidra till hållbarhet i svensk bebyggelse har visat sig vara bredare än det som beskrevs i vår ansökan. System för styrning, optimering och flexibilitet av byggnader där det finns styrkor i forskningen, är bara en del i hur digitalisering kan bidra till energieffektivare och därmed hållbarare byggnader. En stor potential finns också i digitaliseringen som verktyg för kommunikation inom och mellan skeden i byggprocessen, men att det ska fungera fullt ut i praktiken innebär utmaningar både från användarperspektiv och att tekniken ska fungera i praktiken.

Ett område där digital kommunikation identifierats som särskilt viktigt är när det gäller att öka resurseffektivitet genom att möjliggöra en ökad användning av återvunna byggmaterial. Att kunna kommunicera mellan de som har resurser vid rivning och de som projekterar och bygger nytt är central och kritisk, likväl som för att dokumentera kvalitet.

Inom syntesen beskrivs ett brett spektrum av digitala tekniker, från digitala tvillingar, AI-driven styrning och prediktiva energimodeller till mer etablerade verktyg som BIM, LCA-metodik och avancerade simuleringar. Den vetenskapliga forskningen är särskilt stark när det gäller olika typer av

simuleringar för byggnader. Där fanns det så mycket litteratur att det inte gick att inkludera i studien. En relativt hög mognad när det gäller tekniska lösningar för styrning, övervakning och analys av byggnaders energisystem, har utvecklats för de lösningar som ligger i digitaliseringens framkant. Studierna visar på möjligheter för att digitalisering ska kunna bidra till både energieffektivisering, bättre drifoptimering och minskad klimatpåverkan.

Men ett område där forskningen är begränsad gäller digitaliseringens egen energi- och klimatpåverkan. När datorkraft flyttas från byggnader till molnlösningar uppfattas det lätt som att energianvändningen för datahantering försvinner. Istället blir den osynlig och okänd. Det saknas analyser av både energi- och vattenanvändning för datainsamling, datalagring, AI-beräkningar och digital infrastruktur i stort, liksom studier som jämför digitala lösningar med icke-digitala alternativ. Därmed är det ofta oklart om digitaliseringens nettobidrag till hållbarhet alltid är positivt, särskilt i relation till ökande datavolymer och datacenter.

Det framkommer även att forskningen i stor utsträckning fokuserar på större byggnadsägare, medan små företag som äger varierande typer av fastigheter och privata småhusägare, som tillsammans utgör en mycket stor andel av det svenska byggnadsbeståndet, är kraftigt underrepresenterade. Detta skapar en kunskapslucka som riskerar att förstärka redan existerande digitala klyftor i fastighetssektorn.

Social hållbarhet diskuterades i workshopen men är relativt svagt behandlad i litteraturen. Frågor om trygghet, integritet, användarvänlighet och digital inkludering berörs endast sporadiskt, trots att de kan ha avgörande betydelse för den faktiska nyttan av digitala system i byggnader där människor bor och arbetar.

Det finns generellt få reflektioner kring resiliens och motståndskraft i både vetenskaplig och grå litteratur om digitalisering som bidrar till hållbarhet. Det var däremot ett aktuellt ämne för deltagarna i workshopen som reflekterade över risker med ökad digitalisering. Detta är ett område som behöver stärkas inom forskningen.

Sammanfattningsvis är forskningsläget starkt när det gäller att beskriva vad digital teknik kan göra, men betydligt svagare när det gäller hur den fungerar i praktiken, för vem den fungerar, och under vilka förutsättningar digitaliseringen faktiskt leder till hållbarhet och ökad resiliens. För att kunna prioritera framtida insatser behövs därför mer forskning som integrerar tekniska, organisatoriska och användarorienterade perspektiv samt studier som systematiskt utvärderar digitala lösningars klimatnytta, robusthet och långsiktiga effekter i verkliga byggnader.

5 Publikationslista

Inom projektet har ett digitalt webinarium genomförts i samband med den digitala workshopen. Webinaret har spelats in och finns tillgängligt på YouTube och kan nås via BeBos hemsida. Där finns även presentationen tillgänglig.

6 Referenser, källor

Referenser för grå litteratur finns i Bilaga 1

6.1 Vetenskapliga referenser

Adenle, A. A., H. De Steur, C. Mwongera, F. Rola-Rubzen, M. D. de Barcellos, D. F. Vivanco, G. R. Timilsina, C. Possas, R. Alders, M. Chertow, S. Poons and B. Scholes (2023). "Global UN 2030 agenda: How can Science, Technology and Innovation accelerate the achievement of Sustainable Development Goals for All?" PLOS Sustainability and Transformation **2**(10): e0000085.

Akbarzadeh, O., S. Hamzehei, H. Attar, A. Amer, N. Fasihour, M. R. Khosravi and A. A. Solyman (2024). "Heating-Cooling Monitoring and Power Consumption Forecasting Using LSTM for Energy-Efficient Smart Management of Buildings: A Computational Intelligence Solution for Smart Homes." Tsinghua Science and Technology **29**(1): 143-157.

Andersson, R. and M. Eidenskog (2023). "Beyond barriers—exploring resistance towards BIM through a knowledge infrastructure framework." Construction Management and Economics **41**(11-12): 926-941.

André, A., T. Bru, A. G. Abbasi, S. Sinha, S. Nunes, M. Juntikka, K. Kazmierczak, N. Ó. Egilsson, G. Frid, M. Sobczyk and R. Haghani (2024). "A Holistic and Circular Approach for Managing End-of-Service Wind Turbine Blades." Sustainability (Switzerland) **16**(17).

Arabzadeh, V., J. Jokisalo and R. Kosonen (2019). "A cost-optimal solar thermal system for apartment buildings with district heating in a cold climate." International Journal of Sustainable Energy **38**(2): 141-162.

Azaza, M., D. Eriksson and F. Wallin (2020). "A study on the viability of an on-site combined heat- and power supply system with and without electricity storage for office building." Energy Conversion and Management **213**.

Bagheri, A., K. N. Genikomsakis, S. Koutra, V. Sakellariou and C. S. Ioakimidis (2021) "Use of AI Algorithms in Different Building Typologies for Energy Efficiency towards Smart Buildings." Buildings **11** DOI: 10.3390/buildings11120613.

Bahrami, S., B. Atkin and A. Landin (2019). "Enabling the diffusion of sustainable product innovations in BIM library platforms." Journal of Innovation Management **7**(4): 106-130.

Behzadi, A., A. Gram, E. Thorin and S. Sadrizadeh (2023). "A hybrid machine learning-assisted optimization and rule-based energy monitoring of a green

- concept based on low-temperature heating and high-temperature cooling system." Journal of Cleaner Production **384**.
- Behzadi, A. and S. Sadrizadeh (2024). "Advanced smart HVAC system utilizing borehole thermal energy storage: Detailed analysis of a Uppsala case study focused on the deep green cooling innovation." Journal of Energy Storage **99**.
- Behzadi, A., E. Thorin, C. Duwig and S. Sadrizadeh (2023). "Supply-demand side management of a building energy system driven by solar and biomass in Stockholm: A smart integration with minimal cost and emission." Energy Conversion and Management **292**.
- Beucker, S., J. D. Bergesen and T. Gibon (2016). "Building Energy Management Systems: Global Potentials and Environmental Implications of Deployment." Journal of Industrial Ecology **20**(2): 223-233.
- Bianchini, S., G. Damioli and C. Ghisetti (2023). "The environmental effects of the "twin" green and digital transition in European regions." Environmental and Resource Economics **84**(4): 877-918.
- Burinskienė, A. and J. Nalivaikė (2024) "Digital and Sustainable (Twin) Transformations: A Case of SMEs in the European Union." Sustainability **16**
DOI: 10.3390/su16041533.
- Bäcklund, K., O. Vigren and J. Carlsson (2024). "Implementing digital innovations: Overcoming organizational challenges." Developments in the Built Environment **18**.
- Bögel, P. M., P. Upham, H. Shahrokni and O. Kordas (2021). "What is needed for citizen-centered urban energy transitions: Insights on attitudes towards decentralized energy storage." Energy Policy **149**.
- Campo Gay, I., L. Hvam, A. Haug, G. Q. Huang and R. Larsson (2024). "A digital tool for life cycle assessment in construction projects." Developments in the Built Environment **20**.
- Clements-Croome, D. (2011). "Sustainable intelligent buildings for people: A review." Intelligent Buildings International **3**(2): 67-86.
- Coelho, G. B. A. and D. Kraniotis (2023). "A multistep approach for the hygrothermal assessment of a hybrid timber and aluminium based facade system exposed to different sub-climates in Norway." Energy and Buildings **296**.
- Cole, R., L. Ferguson, C. Heaviside, P. Murage, H. L. Macintyre, J. Taylor, C. H. Simpson, O. Brousse, P. Symonds, M. Davies and S. Hajat (2024). "Systemic inequalities in heat risk for greater London." Environment International **190**.
- Com (2019). European Commission Communication (2019) 640 - The European Green Deal.
- Com (2022). Towards a green, digital and resilient economy: Our European Growth Model. Press Release.
- Com (2024). Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast).
- Dasiewicz, J., A. Wronka, A. Jeżo and G. Kowaluk (2024). "Thermally Active Medium-Density Fiberboard (MDF) with the Addition of Phase Change Materials for Furniture and Interior Design." Materials **17**(16).
- Demirezen, G. and A. S. Fung (2021). "Feasibility of Cloud Based Smart Dual Fuel Switching System (SDFSS) of Hybrid Residential Space Heating Systems for Simultaneous Reduction of Energy Cost and Greenhouse Gas Emission." Energy and Buildings **250**.

- EU, J. R. C. (2022). from <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129319>.
- Eurecative (2022). Green and digital Europe's twin transitions.
- European, C., C. Joint Research, S. Muench, E. Stoermer, K. Jensen, T. Asikainen, M. Salvi and F. Scapolo (2022). Towards a green & digital future – Key requirements for successful twin transitions in the European Union, Publications Office of the European Union.
- Favoino, F., F. Fiorito, A. Cannavale, G. Ranzi and M. Overend (2016). "Optimal control and performance of photovoltachromic switchable glazing for building integration in temperate climates." Applied Energy **178**: 943-961.
- Felius, L. C., F. Dessen and B. D. Hrynyszyn (2020). "Retrofitting towards energy-efficient homes in European cold climates: a review." Energy Efficiency **13**(1): 101-125.
- Felius, L. C., M. Hamdy, F. Dessen and B. D. Hrynyszyn (2020). "Upgrading the smartness of retrofitting packages towards energy-efficient residential buildings in cold climate countries: Two case studies." Buildings **10**(11): 1-26.
- Fors, P. and T. T. Lennerfors (2018). "'We started building green IT back in the 1970s': Making sense of sustainable ICT through organizational history." Sustainability (Switzerland) **10**(8).
- Freimanis, R., A. Blumberga, R. Vanaga and Z. Zundāns (2023). "Evaluation of the Impact of Bricks of Various Characteristics on Internally Insulated Masonry Walls in Cold Climate." Buildings **13**(10).
- Garman, I., M. Mattsson, J. A. Myhren and T. Persson (2023). "Demand control and constant flow ventilation compared in an exhaust ventilated bedroom in a cold-climate single-family house." Intelligent Buildings International **15**(4): 175-188.
- Gharaibeh, L., S. Matarneh, B. Lantz and K. Eriksson (2024). "Quantifying the influence of BIM adoption: An in-depth methodology and practical case studies in construction." Results in Engineering **23**.
- Giordano, N., C. Comina, G. Mandrone and A. Cagni (2016). "Borehole thermal energy storage (BTES). First results from the injection phase of a living lab in Torino (NW Italy)." Renewable Energy **86**: 993-1008.
- Gonçalves, M., A. Figueiredo, R. M. S. F. Almeida and R. Vicente (2024). "Dynamic façades in buildings: A systematic review across thermal comfort, energy efficiency and daylight performance." Renewable and Sustainable Energy Reviews **199**.
- Gruber, M., A. Trüschel and J. O. Dalenbäck (2015). "Energy efficient climate control in office buildings without giving up implementability." Applied Energy **154**: 934-943.
- Hagejård, S., G. Dokter, U. Rahe and P. Femenías (2023). "'It's never telling me that I'm good!'" Household experiences of testing a smart home energy management system with a personal threshold on energy use in Sweden." Energy Research and Social Science **98**.
- Halhoul Merabet, G., M. Essaïdi, M. Ben Haddou, B. Qolomany, J. Qadir, M. Anan, A. Al-Fuqaha, M. R. Abid and D. Benhaddou (2021). "Intelligent building control systems for thermal comfort and energy-efficiency: A systematic review of artificial intelligence-assisted techniques." Renewable and Sustainable Energy Reviews **144**: 110969.

- Hamborg, S., J. N. Meya, K. Eisenack and T. Raabe (2020). "Rethinking resilience: A cross-epistemic resilience framework for interdisciplinary energy research." Energy Research & Social Science **59**: 101285.
- Harmathy, N., Z. Magyar and R. Folić (2016). "Multi-criterion optimization of building envelope in the function of indoor illumination quality towards overall energy performance improvement." Energy **114**: 302-317.
- Heimar Andersen, K., S. Pommerencke Melgaard, H. Johra, A. Marszal-Pomianowska, R. Lund Jensen and P. Kvols Heiselberg (2024). "Barriers and drivers for implementation of automatic fault detection and diagnosis in buildings and HVAC systems: An outlook from industry experts." Energy and Buildings **303**: 113801.
- Herre, L., B. Nourozi, M. R. Hesamzadeh, Q. Wang and L. Šoder (2023). "Provision of multiple services with controllable loads as multi-area thermal energy storage." Journal of Energy Storage **63**.
- Hjaltadóttir, R. E. and P. Hild (2021). "Circular Economy in the building industry European policy and local practices." European Planning Studies **29**(12): 2226-2251.
- Hosamo, H. and S. Mazzetto (2025). "Integrating Knowledge Graphs and Digital Twins for Heritage Building Conservation." Buildings **15**(1).
- Hosamo, H. H., H. K. Nielsen, D. Kraniotis, P. R. Svennevig and K. Svidt (2023). "Digital Twin framework for automated fault source detection and prediction for comfort performance evaluation of existing non-residential Norwegian buildings." Energy and Buildings **281**: 112732.
- Idowu, S., S. Saguna, C. Åhlund and O. Schelén (2016). "Applied machine learning: Forecasting heat load in district heating system." Energy and Buildings **133**: 478-488.
- Janhunen, E., L. Pulkka, A. Säynäjoki and S. Junnila (2019). "Applicability of the smart readiness indicator for cold climate countries." Buildings **9**(4).
- Jerléus, K., M. A. Ibrahim and A. Augustsson (2024). "Environmental footprints of the data center service sector in Sweden." Heliyon **10**(11).
- Kamel, E. and A. Kazemian (2023). "BIM-integrated thermal analysis and building energy modeling in 3D-printed residential buildings." Energy and Buildings **279**.
- Kedir, F., D. M. Hall, S. Brantvall, J. Lessing, A. Hollberg and R. K. Soman (2024). "Circular information flows in industrialized housing construction: the case of a multi-family housing product platform in Sweden." Construction Innovation **24**(5): 1354-1379.
- Kianpoor, N., B. Hoff, T. Ostrem and M. Yousefi (2024). "Home Energy Management System for a Residential Building in Arctic Climate of Norway Using Non-Intrusive Load Monitoring and Deep Learning." IEEE Transactions on Industry Applications **60**(4): 5589-5598.
- Lane, A.-L. (2024). Mind the gaps for energy-efficient buildings Doctoral thesis, comprehensive summary, Gävle University Press.
- Lane, A.-L., M. Cehlin and P. Thollander (2024) "Success Factors and Barriers for Facility Management in Keeping Nearly-Zero-Energy Non-Residential Buildings Energy-Efficient over Time." Buildings **14** DOI: 10.3390/buildings14010242.

- Lane, A.-L., A. Selhammer, P. Thollander and M. Cehlin (2025). "Decision making about increased building automation – barriers, drivers and motivation factors." Frontiers in Energy Research **12**.
- Lane, A. L., M. Cehlin and P. Thollander (2024). "Success Factors and Barriers for Facility Management in Keeping Nearly-Zero-Energy Non-Residential Buildings Energy-Efficient over Time." Buildings **14**(1).
- Li, Y., H. Chen, P. Yu and L. Yang (2025). "A Review of Artificial Intelligence Applications in Architectural Design: Energy-Saving Renovations and Adaptive Building Envelopes." Energies **18**(4).
- Lindblad, H. and J. R. Guerrero (2020). "Client's role in promoting BIM implementation and innovation in construction." Construction Management and Economics **38**(5): 468-482.
- Liu, B., S. R. Penaka, W. Lu, K. Feng, A. Rebbling and T. Olofsson (2023). "Data-driven quantitative analysis of an integrated open digital ecosystems platform for user-centric energy retrofits: A case study in northern Sweden." Technology in Society **75**.
- Lomas, K. J., S. Oliveira, P. Warren, V. J. Haines, T. Chatterton, A. Beizae, E. Prestwood and B. Gething (2018). "Do domestic heating controls save energy? A review of the evidence." Renewable and Sustainable Energy Reviews **93**: 52-75.
- Luo, F., G. Ranzi and Z. Dong (2017). "Rolling horizon optimization for real-time operation of thermostatically controlled load aggregator." Journal of Modern Power Systems and Clean Energy **5**(6): 947-958.
- Mariano-Hernández, D., L. Hernández-Callejo, A. Zorita-Lamadrid, O. Duque-Pérez and F. Santos García (2021). "A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis." Journal of Building Engineering **33**: 101692.
- Meister, C. and I. Beausoleil-Morrison (2021). "Experimental and modelled performance of a building-scale solar thermal system with seasonal storage water tank." Solar Energy **222**: 145-159.
- Meriläinen, A., J. H. Montonen, A. Kosonen, T. Lindh and J. Ahola (2023). "Cost-optimal dimensioning and operation of a solar PV–BESS–heat pump-based on-grid energy system for a Nordic climate greenhouse." Energy and Buildings **295**.
- Milić, V. (2024). "Next-generation data center energy management: a data-driven decision-making framework." Frontiers in Energy Research **12**.
- Milić, V. and P. Rohdin (2023). "Screening of thermal characteristics and assessment of comparative energy efficiency potential in a residential district." Advances in Building Energy Research **17**(3): 255-276.
- Ni, Z., J. Hupkes, P. Eriksson, G. Leijonhufvud, M. Karlsson and S. Gong (2025). "Parametric Digital Twins for Preserving Historic Buildings: A Case Study at Löfstad Castle in Östergötland, Sweden." IEEE Access **13**: 3371-3389.
- Ni, Z., C. Zhang, M. Karlsson and S. Gong (2024). "A study of deep learning-based multi-horizon building energy forecasting." Energy and Buildings **303**.
- Nishimwe, A. M. R. and S. Reiter (2022). "Using artificial intelligence models and degree-days method to estimate the heat consumption evolution of a building stock until 2050: A case study in a temperate climate of the Northern part of Europe." Cleaner and Responsible Consumption **5**.

- Norouziasas, A., A. Tabadkani, R. Rahif, M. Amer, D. van Dijk, H. Lamy and S. Attia (2023). "Implementation of ISO/DIS 52016-3 for adaptive façades: A case study of an office building." Building and Environment **235**.
- Opach, T., E. Glaas, M. Hjerpe and C. Navarra (2020). "Vulnerability visualization to support adaptation to heat and floods: Towards the EXTRA interactive tool in norrköping, Sweden." Sustainability (Switzerland) **12**(3).
- Paiho, S., N. Wessberg, M. Dubovik, R. Lavikka and S. Naumer (2023). "Twin transition in the built environment – Policy mechanisms, technologies and market views from a cold climate perspective." Sustainable Cities and Society **98**.
- Parks, D. (2019). "Energy efficiency left behind? Policy assemblages in Sweden's most climate-smart city." European Planning Studies **27**(2): 318-335.
- Pödra, A. A., G. A. Allas, A. Ruus, E. Lutsepp and T. Kalamees (2024). "Technical State, Renovation Need and Performance of Renovation Solutions of Estonian Wooden Log Houses." Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering **34**(1): 35-52.
- Pritoni, M., G. J. Lin, Y. M. Chen, R. Vitti, C. Weyandt and J. Granderson (2022). "From fault-detection to automated fault correction: A field study." Building and Environment **214**.
- Quintana, S., P. Huang, P. Saini and X. Zhang (2021). "A preliminary techno-economic study of a building integrated photovoltaic (BIPV) system for a residential building cluster in Sweden by the integrated toolkit of BIM and PVSITES." Intelligent Buildings International **13**(1): 51-69.
- Redko, I., A. Ujma, A. Redko, S. Pavlovskiy, O. Redko and Y. Burda (2021). "Energy efficiency of buildings in the cities of Ukraine under the conditions of sustainable development of centralized heat supply systems." Energy and Buildings **247**.
- Rotger-Griful, S., R. H. Jacobsen, D. Nguyen and G. Sørensen (2016). "Demand response potential of ventilation systems in residential buildings." Energy and Buildings **121**: 1-10.
- Sandberg, M., J. Mukkavaara, F. Shadram and T. Olofsson (2019). "Multidisciplinary optimization of life-cycle energy and cost using a BIM-based master model." Sustainability (Switzerland) **11**(2).
- SEA (2023). Energy in Sweden facts and figures 2023.
- Sermasuk, M., Y. Sukjai, M. Wiboonrat and K. Kiatkittipong (2021). "Utilising cold energy from liquefied natural gas (LNG) to reduce the electricity cost of data centres." Energies **14**(19).
- Sha, H., M. Moujahed and D. Qi (2021). "Machine learning-based cooling load prediction and optimal control for mechanical ventilative cooling in high-rise buildings." Energy and Buildings **242**.
- Shadram, F. and J. Mukkavaara (2018). "An integrated BIM-based framework for the optimization of the trade-off between embodied and operational energy." Energy and Buildings **158**: 1189-1205.
- Shahzad, S., J. K. Calautit, B. R. Hughes, B. K. Satish and H. B. Rijal (2019). "Patterns of thermal preference and Visual Thermal Landscaping model in the workplace." Applied Energy **255**.
- Shirazi, P., A. Behzadi, P. Ahmadi, M. A. Rosen and S. Sadrizadeh (2024). "Comparison of control strategies for efficient thermal energy storage to decarbonize residential buildings in cold climates: A focus on solar and biomass sources." Renewable Energy **220**.

- Shum, C. and L. Zhong (2023). "Optimizing automated shading systems for enhanced energy performance in cold climate zones: Strategies, savings, and comfort." Energy and Buildings **300**.
- Snyder, H. (2019). "Literature review as a research methodology: An overview and guidelines." Journal of Business Research **104**: 333-339.
- Southall, R. G. (2018). "An assessment of the potential of supply-side ventilation demand control to regulate natural ventilation flow patterns and reduce domestic space heating consumption." Energy and Buildings **168**: 201-214.
- Sovacool, B. K., P. Upham and C. G. Monyei (2022). "The "whole systems" energy sustainability of digitalization: Humanizing the community risks and benefits of Nordic datacenter development." Energy Research and Social Science **88**.
- Spitler, J. D. and S. Gehlin (2019). "Measured performance of a mixed-use commercial-building ground source heat pump system in Sweden." Energies **12**(10).
- Srithapon, C. and D. Månsson (2023). "Predictive control and coordination for energy community flexibility with electric vehicles, heat pumps and thermal energy storage." Applied Energy **347**.
- Støre-Valen, M. and M. Buser (2019). "Implementing sustainable facility management: Challenges and barriers encountered by Scandinavian FM practitioners." Facilities **37**(9-10): 550-570.
- Sun, Y., X. Liu, Y. Ming, X. Liu, D. Mahon, R. Wilson, H. Liu, P. Eames and Y. Wu (2021). "Energy and daylight performance of a smart window: Window integrated with thermotropic parallel slat-transparent insulation material." Applied Energy **293**.
- Tian, W., S. Yang, J. Zuo, Z. Y. Li and Y. L. Liu (2017). "Relationship between built form and energy performance of office buildings in a severe cold Chinese region." Building Simulation **10**(1): 11-24.
- Webb, M. (2022). "Biomimetic building facades demonstrate potential to reduce energy consumption for different building typologies in different climate zones." Clean Technologies and Environmental Policy **24**(2): 493-518.
- Yan, B., F. Hao and X. Meng (2021). "When artificial intelligence meets building energy efficiency, a review focusing on zero energy building." Artificial Intelligence Review **54**(3): 2193-2220.
- Želazna, A., L. Lichołai, J. Krasoń, P. Miąsik and D. Mikušová (2023). "The Effects of Using a Trombe Wall Modified with a Phase Change Material, from the Perspective of a Building's Life Cycle." Energies **16**(23).
- Zhang, F., C. Bales and H. Fleyeh (2021). "Night setback identification of district heat substations using bidirectional long short term memory with attention mechanism." Energy **224**.
- Zhu, N., J. Wang and L. Liu (2015). "Performance evaluation before and after solar seasonal storage coupled with ground source heat pump." Energy Conversion and Management **103**: 924-933.



2026-03-12

2026-204754-0001

7 Bilagor

Bilaga 1 Grå litteratur som inkluderats i studien