

Innehåll

Förord 5

- 1 Introduktion 7
 - 2 Smarta och hållbara byggnader 13
 - 2.1 Hållbarhet och byggnader 15
 - 2.2 Byggnader och energisystemet 18
 - 2.3 Byggnader och smarta städer 21
 - 2.4 Tjänster i byggnader 22
 - 3 Digitalisering, digitala tvillingar och AI 27
 - 3.1 Obruten informationskedja – digitala tvillingar 30
 - 3.2 Digitalisering, byggnadsautomation och nya tjänster 32
 - 3.3 Framtidspaning digitalisering 37
 - 4 Samverkan och avtal 39
 - 4.1 Kontraktsteori 43
 - 4.1.1 Risk 44
 - 4.1.2 Tid 44
 - 4.1.3 Incitament 45
 - 4.2 Kontraktstyper i bygg- och fastighetssektorerna 46
 - 4.2.1 Totalentreprenad (TE) 47
 - 4.2.2 Generalentreprenad (GE) 48
 - 4.2.3 Vertikal integration 50
 - 4.2.4 Partnering 51
 - 4.3 Standardkontrakt och sammankopplade system 51
 - 4.4 Möjliga vägar framåt – funktionskontrakt för ökad samverkan 53
 - 4.4.1 Analys av incitament och risker 58
 - 5 Kompetens – organisation och utbildning 61
 - 5.1 Samstämmighet mellan teknik och organisation 69
 - 5.2 Smarta byggnader och GDPR 70
 - 6 Affärsmodell och fastighetsvärdering 73
 - 6.1 Värdering av smarta och hållbara byggnader 78
 - 7 Möjligheternas byggregler ritar om kartan för byggsektorn 61
 - 8 Samverkan är vägen framåt 87
- Referenser 92

Förord

Denna bok är baserad på mina senaste års samarbeten och erfarenheter som projektledare och forskare. Mycket av det som presenteras är resultat av projekt genomförda inom forskningscentrumet KTH Live-In Lab som jag initierat, byggt upp och lett sedan 2013. Självklart inte ensam, utan med ett helt gäng otroligt duktiga och intressanta människor från akademien såväl som industrin. Tack alla ni som möjliggjort och var dag möjliggör denna mycket viktiga forskningsinfrastruktur, utan er hade det aldrig blivit vare sig projekt eller resultat! Speciellt tack till Per Lundqvist, Agnieszka Zalejska Jonsson, Linda Teng, Marco Molinari och Davide Rolando.

Ett varmt tack till Einar Mattsson och speciellt Stefan Ränk som genom ett stipendium gjorde det möjligt för mig att skriva denna bok. Vill även passa på att tacka för allt stöd jag erhållit från Einar Mattsson ända sedan 2011 då jag började som doktorand på KTH. Tack för att jag fått göra allt från att intervjua personal och springa runt på byggen till den donation som möjliggjorde uppbyggnaden av KTH Live-In Lab.

Tack Hans Lind för att du först och främst lett mig in på den bana jag nu befinner mig på, någonstans mellan teknik, ekonomi och juridik. Många av resonemangen i boken har tillkommit under samtal och vid skrivande av artiklar tillsammans med dig. Tack för dina kommentarer om denna bok, och hjälpen att strukturera både innehåll och resonemang.

Stort tack till gruppen i forskningsprojektet Optimal Drift av Smarta Byggnader, det vill säga Tina Karrbom Gustavsson, Maria Grunditz, Cyril Holm och Shima Dehvari. Inför och under detta forskningsprojekt har många av områdena i boken dryftats. Genom diskussioner med er har många av mina resonemang tagit form. Tack för att ni delat med er av er kunskap och ert glada humör!

Tack till dig Emilia Bergman, att du tipsade Svensk Byggtjänst om att min avhandling skulle passa som material till en bok på svenska. Annars hade det helt enkelt inte blivit någon bok.

Ett sista tack till min familj som genom sin blotta närvaro lyser upp min vardag och får mig att inte enbart fastna i funderingar kring samhällsbyggnad. Tack min fina fru My för att du alltid finns där och lyssnar på mina funderingar och bidrar med ett annat perspektiv på ibland väldigt nischade ämnen.

Jonas Anund Vogel

Introduktion

Uppförande och användande av byggnader står för ca 40 % av energianvändningen och 36 % av klimatgasutsläppen inom EU.¹ Troligen har ni som läser detta hört det så ofta att ni slutat fundera kring vad det betyder. Enligt denna bok betyder det att bygg- och fastighetssektorerna måste arbeta för att minska byggnadsrelaterad energianvändning och klimatpåverkan för att säkerställa en beboelig planet för oss och kommande generationer.

Det går också att se den extrema energianvändningen för uppförande och användande av byggnader som en affärsmöjlighet. Det finns ett samhällsintresse för minskad energianvändning, det finns teknikutveckling som möjliggör denna minskning, det finns kapital för att genomföra förändringen, och det finns stora grupper som är villiga att betala för produkter som är klimatsmarta. Grunden för nya goda affärer finns därmed på plats, men frågan är då varför transformationen från energislukande förvaringslådor till smarta energigenererande och tjänsteproducerande byggnader går så sakta?

Smarta och hållbara byggnader kan bidra till att minska den alarmerande höga andelen av de totala CO₂-utsläppen som byggnader och byggnadsrelaterad verksamhet leder till. För att möjliggöra smarta och hållbara byggnader i tillräcklig skala måste incitament skapas för samverkan mellan aktörer med målet att optimera byggnadsprestanda, minska klimatpåverkan och öka tjänsteproduktion. Digitalisering kan möjliggöra samverkan mellan såväl människor som system och byggnader, i realtid och över byggnaders hela livslängd. Digitala modeller, eller tvillingar, möjliggör innovation inom en rad olika områden, från optimering och feldetektering till hälsosamma inomhusmiljöer och tjänsteproduktion. Trots det är digitaliseringens potential fortfarande i stort outnyttjad, vilket resulterar i att de flesta byggnader är en börda i stället för en lösning för att nå klimat- och hållbarhetsmål. Det sker dock en hel del utveckling kring digitalisering inom samhällsbyggnadssektorn, men tyvärr är de flesta initiativ antingen delar av enskilda bolags digitaliseringsprocess och därmed inte allmänt tillgänglig, eller förlagd vid olika universitet och forskningsinstitut

och därmed ofta inte tillräckligt förankrad i näringslivets behov. Kunskapen att uppföra dessa byggnader finns, men det krävs samverkan mellan människor under alla delar av en byggnads livscykel för att fullt ut nyttja potentialen av ny teknik.

Samhället förändras i en rasande fart. Pandemin och Rysslands krig mot Ukraina har förändrat synen på globalisering, och trenden vi ser just nu är en återgång till det lokala. Samma fenomen har länge kunnat skönjas gällande livsmedelsproduktion där det lokala fått alltmer uppmärksamhet med initiativ så som Bondens egen Marknad, lokalproducerat som säljargument för restauranger och den stora trenden kring att odla eget i allt från fönster och balkonger till växthus.

Även inom samhällsbyggnadssektorn kan det skönjas en liknande transformation, från det globala till det lokala. Byggnader sågs tidigare som enheter på stora marknader, exempelvis som kylflänsar för kraftvärmeverk, medan de nu mer och mer blir lokala energiprosumenter och tar klivet in i lokala energigemenskap. Det lokala tar plats, och med det följer nya affärsmöjligheter. Fastighetsägare som tidigare hyrde ut yta kommer i framtiden snarare att sälja tjänster till de som använder byggnaden. Kommunikation mellan fastighetsägare och användare samt tekniska system möjliggör en lokal marknad där allt från el och vatten till städning och underhåll kan bli delar av en övergripande affär. Det som krävs för att vara en del av den framtida ekonomin är att utrusta byggnaderna med den tekniska plattform som möjliggör samverkan inom och mellan byggnader samt mellan byggnader och människor. Digitaliseringen är den nya faktorn, den tekniska plattformen blir grunden, men sedan följer uppbyggnad av nya samverkansmodeller, affärsmodeller och organisationsstrukturer.

Denna bok argumenterar för att det både är tekniskt möjligt och ekonomiskt försvarbart att bygga smarta och hållbara byggnader. Vi har tekniken, vi kan koppla samman enskilda system till en optimerad helhet, vi kan använda information från system och sensorer som gör drift och förvaltning enkel och effektiv. Vi kan skapa system som underlättar relationen mellan fastighetsägare, förvaltare och användare och därmed leverera de tjänster som efterfrågas. Dessa ihopkopplade system ökar motståndskraften eller resiliensen mot yttre påverkningar så som fluktuerande energipriser, föränderliga vädersystem och ökade räntor. Ihopkopplade system ökar resiliensen genom att de minimerar exponering mot yttre påverkande faktorer och arbetar i samklang med omkringliggande tekniska system (vatten, avlopp, el, fjärrvärme etc). Resiliensen ökar i och med att det krävs mindre energi för uppvärmning; mindre vatten för dusch, disk, tvätt; mindre el för drift av tekniska system och även

möjligheten att flytta laster genom energilagring. Detta i sin tur leder till ökat fastighetsvärde genom ökat driftnetto, lägre riskpremium och en snabbare byggprocess. Minskad resursanvändning och möjligheter att lagra energi betyder även minskad klimatpåverkan, vilket i sin tur låser upp nya och billigare former av kapital.

Byggnader med egenskaper likt de beskrivna ovan kommer benämnas som ”smarta och hållbara” framöver. De allra flesta delar av denna bok är även applicerbara för de som hellre bygger utan digital teknik. Att uppföra hus med effektiva självdragssystem, energilagring och uppvärmning genom masugnar och solvärme kräver också nya former av samverkan, kompetens och affärsmodeller.

De allra flesta byggnader som produceras i Sverige har system som inte är sammankopplade, saknar lokal energigenerering och lagring samt möjlighet för kommunikation mellan användare, fastighetsägare och drift. Dessa byggnader kallas konventionella byggnader och kan i nuvarande form inte bli en del av framtidens smarta städer eller vara en del av dagens flexibla energisystem. De kan inte heller leverera de tjänster som redan nu börjar bli en stor del av intäkterna från byggnader. Vad är det då som får olika aktörer att välja konventionellt byggande i stället för att satsa på smarta och hållbara byggnader? Vad är det som hindrar aktörer från att kravställa, projektera och uppföra smarta och hållbara byggnader?

För att möjliggöra smarta och hållbara byggnader räcker det inte längre att vara bra på en sak, utan det krävs kompetens och strategi för allt som rör byggnaden, från affär och organisation till system och digitalisering. Att lämna en enskild del åt slumpen kan vara ödesdigert. En byggnad kan vara hur smart som helst, men saknas det kompetens att drifva byggnaden så spelar tekniken mindre roll. Tekniska system, så som värme, ventilation och automation, kan vara hur bra som helst, men saknas det incitament att koppla samman och dela data från och mellan system så kommer de inte att kunna möjliggöra den optimering och de nya affärer som önskas. Det som krävs är kunskap och incitament att använda denna kunskap i samverkan med andra.

Inom ramen för forskningscentrumet KTH Live-In Lab har det genomförts över 50 forskningsprojekt relaterat till många av de områden som beskrivits ovan. Projekten har genomförts för att på olika sätt undersöka effekten av ny teknik i bebyggelsen, och i stort sett samtliga projekt påvisar en koppling mellan användandet av den nya tekniken och resursoptimering. Studierna påvisar också komplexiteten och utmaningarna som byggsektorn står inför. Vissa utmaningar är relaterade till data, integritet och etik, vilket exempelvis undersöktes i två studier finansierade inom ramen för Smart Built Environment:

*GDPR och Smarta Byggnader – En undersökning av teknik, individ och samhälle i framtidens smarta byggnader,*² samt projektet *Konsekvenser av GDPR för etikprövning av forskning om smarta hus.*³ Resultatet av dessa studier kan summeras som att det är lagligt att bygga smarta byggnader, men att man måste ha koll på de data som genereras samt skapa en organisation som kan hantera dessa nya frågor. Utmaningar finns också kopplat till beteende och användandet av ny teknik. Dessa frågor undersöktes exempelvis i projektet *Service-design för pro-miljöbeteende och resurseffektivitet.*⁴ Denna studie påvisar att det är möjligt att minska resursanvändning (mellan 5–10 % el- och vattenbesparing) genom ny teknik sammankopplat med kunskap/data kring användarnas beteendemönster. Studien använde teknik som mätte boendes puls och därmed aktivitetsnivå, vilket i sin tur krävde etikprövning. Resultaten är positiva, men själva implementeringen är i dagsläget relativt svår. Troligen kommer inte så många fastighetsägare er hålla data relaterat till användarnas fysik så som puls och/eller sovmönster. Men oberoende om det kommer ske eller inte så finns en potential att minska resursanvändning i byggnader om man möjliggör ihopkoppling mellan tekniska system och användarbeteende.

I liknande anda har projektet *Kostnads- och energieffektiva styrsystem i byggnader*⁵ undersökt ny teknik och effektivitet. Projektet påvisar en stor potential att effektivisera drift av byggnader genom smarta system, men visar även hur de enskildas mönster starkt påverkar byggnaders energianvändning. En studie i projektet visar att elanvändningen i studentbostäder varierar ± 22 % och att varmvattenanvändningen varierar mellan -33 % och +48 % från genomsnitt.⁶ Det har även genomförts studier kring standardavtal och incitament att förespråka och installera ny teknik,⁷ kring upplåtelseformer,⁸ kring utbildning och organisation.⁹ Avslutningsvis har även studier genomförts kring själva fenomenet Living Labs med fokus på KTH Live-In Lab och värdet av samverkan mellan akademi och industri.¹⁰ Tanken med dessa levande labb är att adressera det övergripande problemområdet kring den snabba innovationstakten och den långsamma verifieringsprocessen. Detta adresseras genom snabb implementering, testning och utvärdering inom en fysisk testmiljö, så kallade Living Labs eller Levande Labb.

Vad som är slående i ovan nämnda studier är att de visar att potentialen inte uppnås om inte alla delar samverkar. Samma sak gäller för fastighetssektorn som helhet. Vi kan inte nå optimering med hjälp av ny teknik om det inte finns en affärsmodell och organisation som backar upp systemen; vi kan inte nå nya tjänster om inte system och processer för datahantering är på plats; vi kan inte nå en kunnig driftorganisation om inte utbildningssystemet erbjuder de kurser som branschen behöver.

Boken kommer att beskriva delar av denna komplexitet och trycka på behovet av samverkan mellan såväl teknik som människor. I kapitel två ges en bakgrunden till smarta och hållbara byggnader och viktiga faktorer i relation till dessa, exempelvis sammankoppling mellan byggnader och energisystem i så kallade smarta städer, tekniker för lastförflyttning samt regler och strukturer så som klimatdeklaration och gröna lån. Följande fyra kapitel behandlar områdena digitalisering, samverkan, kompetens och affärsmodeller. Boken avslutas med en diskussion kring de nya byggreglerna i relation till digitalisering och innovation, och en sammanfattande fundering över vad som kan tänkas hända framöver i bygg- och fastighetssektorerna inom detta område.

Smarta och hållbara byggnader

Energianvändningen i byggsektorn fortsätter tyvärr att öka vilket beror på minst tre trender: 1) ökad välfärd i utvecklingsländer, 2) ökad användning av energiintensiva tjänster och 3) ökat behov av byggnader som en effekt av ökad befolkningens mängd. FN bedömer att befolkningens mängd kommer öka från dagens 7,7 miljarder till 9,8 miljarder år 2050, vilket i sin tur bedöms leda till en fyrfaldig ökning av den globala bruttonationalprodukten och därmed en stor ökning av resursanvändning.¹¹ Om man zoomar in på Sverige så finns ett klimatmål om 50 % ökad energieffektivisering år 2030 i förhållande till 2005 års nivåer, och noll utsläpp av växthusgaser år 2045.* För att åstadkomma det krävs en genomgripande samhällsförändring i hur energi genereras, distribueras och används.¹² År 2016 stod den svenska byggsektorn för 21 % av koldioxidutsläppen i Sverige vilket är en ökning från 20 % år 2015 (att jämföra med internationella nivåer runt 40 %).¹³ Ökningen med 1 % kan vara en effekt av energieffektivisering i andra sektorer. Det som dock är av yttersta vikt är att bryta denna trend av ökade utsläpp, och börja uppföra byggnader som både möjliggör koldioxidneutralitet och minskar resursanvändningen under såväl uppförande som driftskede. Vi måste med andra ord börja bygga smarta och hållbara byggnader.

Traditionellt sett har det varit en relativt bra investering att bygga precis som förr och då med så kallade konventionella metoder och system; nästa byggnad i stort sett likadant som den förra, men med en liten tvist eller uppdaterat system. Dessa konventionella upprepningsbyggnader fungerar oftast bra, de levererar intäkter åt ägare, de är möjliga att förvalta med befintlig organisation, och användarna är nöjda med de tjänster som levereras (värme, ventilation, internet etc). Dessa byggnader är lite som en Volvo V70 från 2010: trygg, säker, går att serva med verktyg enbart av metall, men inom kort helt utdaterad och

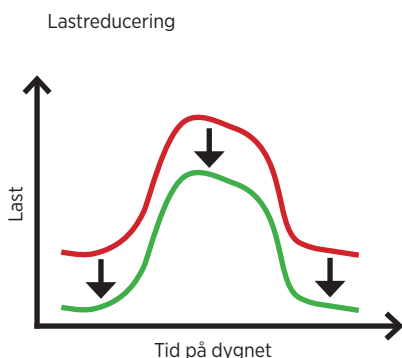
* Just nu är det lite oklart kring hur Sverige ska arbeta med klimatmål, men rimligen borde även Sverige satsa på minskade klimatutsläpp.

möjligan snart förbjuden. Den drar onödigt mycket bränsle per mil och den är totalt bortkopplad från alla uppkopplade tjänster. Som ett exempel, den inbyggda kartfunktionen och displayen går till en dvd-spelare med en skiva från inköpsdatum utan möjlighet till snabba uppdateringar eller direktinformation om trafikläge. Serviceintervall följer miltal i stället för slitage avkänt via sensorer, och optimeringar med hjälp av mjukvara är i stort sett bara att glömma. Bilen är byggd på en plattform som inte passar in i framtidens elektrifierade uppkopplade transportsystem. Modellen byggdes fram till 2016. Volvo har dock accelererat sedan dess: år 2025 ska 50 % av alla bilar som företaget säljer vara elektriska, och 2030 ska 100 % vara elektriska. På 14 år går alltså Volvo från att bygga konventionellt till smart och hållbart, och de gör det på affärsmässiga grunder.

Byggsektorn är inte lika förändringsbenägen som transportsektorn, men förändring är på gång. Konventionellt byggande är på väg att bli en riskfylld investering då byggnaderna inte kommer kunna leverera de tjänster som önskas eller vara anpassade efter de krav som samhället ställer. Alternativet till konventionella byggnader kallas i denna bok för smarta och hållbara byggnader, och dessa resulterar i ökat fastighetsvärde och minskat klimatavtryck. Fastighetsvärde och klimatpåverkan är kvantifierbara värden, men det finns även andra mer svårsmätbara mjukare värden som kan relateras till dessa mer komplexa och hållbara produkter. Ett exempel som visat sig extremt viktig i andra branscher är frågan kring kompetens. Kompetens söker sig till teknikfronten vilket betyder att företag som satsar på smarta och hållbara byggnader får ökade möjligheter att anställa och behålla rätt personer. Fokus på hållbarhet leder till ökat engagemang och attraktion av kompetens med drivkrafter så som rättvisa, integritet och socialt ansvar. Dessa faktorer, tillsammans med den viktigaste faktorn tillit, har i studier visat sig leda till ökad produktivitet.¹⁴

Den teknik som smarta och hållbara byggnader bör innehålla beror på en rad olika faktorer, men främst läge och syfte. Till att börja med ska energibehovet minimeras, så kallad lastminskning (Figur 1). Traditionellt sett hade det betytt ett bra klimatskal, men nu måste även tekniska system och användarkommunikation inkluderas.

Teknikval baseras på byggnadens placering, vilka kringliggande system som finns, potential för solel, bergvärme, fjärrvärme etc. Forskning påvisar stor potential av en mängd tekniska system, så som bergvärme, energilager, ventilation, vattenspartekniker, byggnadsautomation och solel. Resultat från olika vetenskapliga studier påvisar hög energibesparingspotential för de flesta enskilda tekniker, men sammankopplingspotentialen är oftast svår att utläsa då forskning oftast fokuserar på enskilda tekniker. Det viktiga medskicket från



Figur 1. Lastreducering innebär att lasten minskas generellt. Exempelvis genom effektivisering eller bortkoppling av laster.

dessa studier är dock att teknikutvecklingen faktisk går framåt och system blir effektivare. Men effektiviteten kan enbart nyttjas om systemen fungerar som en helhet, först då kan installerade system faktisk fungera i enlighet med den teoretiska prestandan.

2.1 Hållbarhet och byggnader

Som tidigare nämnts står byggnader och byggnadsrelaterade verksamheter för runt 21 % av koldioxidutsläppen i Sverige, och 36 % räknat över hela EU. Skillnaden består till stor del på energimixen i olika länders energisystem. Sveriges energimix baseras huvudsakligen på koldioxidneutrala energislag som vatten- och kärnkraft, men även kraftvärme och därmed eldning av sopor och biobränslen, medan det är vanligare med eldning av kol, olja och gas i övriga Europa. Ibland blir beräknings- eller certifieringsmetoden en starkt påverkande faktor när det gäller energianvändning och klimatpåverkan. Biobränslen har till exempel hittills räknats som koldioxidneutrala, men debatten pågår kring hur eldning av biomassa ska beräknas framöver. Biomassa är förnybar men det behövs en minskning av koldioxidutsläppen nu direkt varför även eldning av biomassa måste minska. Diskussionen kring biologisk mångfald är såklart fundamental i en argumentation om att bränna biomassa, men får inte plats i denna bok. En rapport från EU-kommissionen påvisar dock att förbränning av biomassa ofta resulterar i större utsläpp än eldning av fossila bränslen.*

* Läs rapporten här: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC122719/jrc-forest-bioenergy-study-2021-final_online.pdf