UPPSALA UNIVERSITET

UPTEC STS 20017
Examensarbete 30 hp
Juni 2020

Autoregressiv analys på tidsseriedata från en kontorsbyggnad

Smarta byggnader i teori och praktik

Clara Grönlund
Astrid Gustafsson

UPPSALA
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten

Besöksadress:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
http://www.teknat.uu.se/student

Abstract

Autoregressive analysis of time series data from an office building

Clara Grönlund & Astrid Gustafsson

The building sector is responsible for around 39% of the energy consumption in Sweden, and one way to work towards sustainable societies could be to make the buildings more energy efficient. One approach to make a building more energy efficient is to use knowledge gained from digitalization of the building and to make the building smart. This thesis aims to study the area of smart buildings, and the ongoing work with smart solutions within the real estate sector.

Two parallel investigations are used to study the area. One is an interview study in order to map the ongoing work with smart buildings. The situation on the market, the matureness of technical solutions as well as ongoing trends and challenges are amongst other things studied. The second investigation consists of a pilot project which aims to exemplify how time series data analysis could be used in order to make a building smarter. Time-series prediction provides a way to discover and quantify regularities in such data, and methods of time series prediction point to how to make building management more efficient.

The result of the study shows that the smart building market is not yet stabilized, but that the interest in working with smart buildings is big. There are many smaller solutions which are being tested and implemented, but there is no consensus of what the definition of a smart building really is. The results of the data analysis indicate two results, firstly, it provides insight in the data, and reports how one should prepare the data for subsequent analysis, and secondly we report results for different autoregressive (AR)-based time series models. For the second result, we indicate how methods of K-means improve over linear AR-based modelling, pointing to the possible use of nonlinear modelling. We however question whether performance improvements are sufficiently large for this application to justify the additional computational demands.

Handledare: Maria Alexandersson
Ämnesgranskare: Kristiaan Pelckmans
Examinator: Elísabet Andrésdóttir
ISSN: 1650-8319, UPTEC STS 20017

Populärvetenskaplig sammanfattning

Sveriges bebyggelse står idag för ca 39% av den totala energianvändningen. Detta beror delvis på att en stor del av byggnadsbeståndet utgörs av äldre byggnader som inte är energieffektiva (Boverket, 2019). Det finns alltså ett stort behov av att hitta lösningar som gör att det befintliga beståndet kan använda energi på ett mer effektivt sätt. En lösning på detta problem skulle kunna vara så kallade smarta byggnader. Ett sätt att förstå smarta byggnader är byggnader vars system har digitaliserats. Bland annat genom att de samlar in data som kan analyseras för att få information och större kunskap om byggnaden. Informationen skulle i sin tur kunna användas till att styra byggnaden på ett mer energieffektivt sätt.

Vid en närmare undersökning framkommer att det fortfarande finns en del oklarheter när det gäller denna nya teknik. Exempelvis verkar det inte finnas någon enighet i vad olika aktörer menar när de pratar om smarta byggnader. Syftet med denna studie är därför att undersöka området smarta byggnader och arbetet med tekniska lösningar inom fastighetsbranschen. Syftet uppnåddes genom utförandet av två olika undersökningar. I den första undersökningen utfördes en kartläggning av begreppet smarta byggnader. I den andra genomfördes ett pilotprojekt som utvärderar hur existerande dataanalysmodeller kan appliceras på redan insamlad fastighetsdata för att göra byggnaden smartare. Arbetet är skrivet ur fastighetsförvaltares perspektiv och avgränsas till att enbart undersöka kontorsbyggnader.

Den första undersökningen, kartläggningen, besvarar tre olika frågeställningar. *Vad driver olika aktörer till att investera i smarta byggnader?* ämnar att få klarhet i vilka olika anledningar det finns till att göra byggnader smarta. *Hur ser marknaden ut?* innefattar både hur arbetet på marknaden ser ut idag, vad olika aktörer anser viktigt inom området samt vilka olika trender och utmaningar som finns på marknaden. Slutligen undersöks även frågeställningen *Vad är en smart byggnad?*, vilken syftar till att hitta samband i de olika definitionerna av smart byggnad och presentera en mer enhetlig bild av begreppet. Kartläggningen utgörs av en kvalitativ intervjustudie där olika aktörer från marknaden medverkar; fyra fastighetsägare, två företag som levererar lösningar till fastighetssektorn vilka de själva kallar smarta, samt en forskare inom området smarta städer.

Resultatet från kartläggningen är att det finns många aktörer som är intresserade av att arbeta inom området smarta byggnader. Det finns många olika anledningar till detta, bland annat resursbesparing i form av plats i lokalerna, energi, naturresurser samt ekonomiska resurser. En annan anledning är att öka kundnöjdheten hos de företag som hyr lokalerna genom att bättre kunna styra inomhusklimatet genom mer behaglig temperatur och lägre koldioxidnivåer. Resultatet visar även på att det finns mycket som pågår på marknaden inom området och många som pratar om att göra byggnader smarta. Om det över huvud taget finns några smarta byggnader beror dock på hur dessa definieras, definitionerna som framkommit i kartläggningen har varierat mellan allt ifrån en energisnål byggnad till en byggnad med många sensorer som används för avancerade tekniska lösningar. Den definition för smarta byggnader som föreslås i denna undersökning innehåller fyra olika delar: dels att byggnaden

måste innehålla teknik, dels att tekniken måste användas med ett specifikt och medvetet syfte, dels att tekniken är säker från yttre intrång samt att det finns en hållbarhetsaspekt i utformningen av lösningen.

Utifrån kartläggningen utformades sedan pilotprojektet som avgränsas till att prediktera framtida värden på koldioxidhalter i ett konferensrum. För att få insikt i datan användes en metod som kallas principalkomponentanalys (PCA) med syfte att hitta mönster i datan genom visualisering. Utifrån denna analys upptäcktes att datan inte uppvisade klusterbeteende. Utifrån detta resultat beslutades predikteringen göras med en autoregressiv (AR) analys. Denna validerades genom att jämföra med en trivial metod där koldioxidhalten antas ligga kvar på samma värde som tidssteget före. Jämförelsen visar att prediktionerna med AR-modellen blir marginellt bättre än de triviala predikteringarna. Metoden utökas då genom att kombinera AR-modellerna med klustermetoden *K*-means. *K*-means grupperar datapunkter med liknande egenskaper och resultatet av detta blev en ännu lite bättre prediktering. Resultaten från detta pilotprojekt tyder framförallt på två saker. För det första visar analysen på hur data kan visualiseras för att erhålla större kunskap om passande dataanalysmetoder. För det andra visar den på hur den linjär AR-modeller skulle kunna användas för icke-linjär modellering. Bättre prediktering erhålls vid användning av de mer avancerade metoderna. Trots detta kan ifrågasättas om resultaten är tillräckligt bra för att kunna motivera användningen av dessa modeller. Det bör dock noteras att pilotprojektet visar på att existerande analysmetoder går att applicera på data som inte är insamlad med detta syfte. Dessutom visar kartläggningen på att prediktering av koldioxidhalter kan vara ett givande område eftersom många aktörer redan samlar in denna data. En effektiv metod för prediktering av denna data skulle därför möjliggöra både energieffektivisering och förbättring av inomhusklimatet, vilket är något som efterfrågas på marknaden.

Tack

Vi vill rikta ett stort tack till alla de som hjälpt oss och varit engagerade under detta arbete. Tack till Sweco, framförallt till Sweco Position som vi skrivit denna uppsats hos. Tack till alla kollegor på Sweco som bidragit med värdefull kunskap, tankar och idéer och som varit ett stöd de gånger som vi kört fast. Speciellt vill vi tacka vår gruppchef Christoph Kircher och vår handledare Maria Alexandersson.

Tack till alla de aktörer som medverkat i intervjuerna i marknadsundersökningen. Tack till RISE, Vasakronan och Castellum för ni låtit oss ta del av och analysera er data över koldioxidhalter.

Tack till Ylva Bellander, som lånat ut sitt kök till hemmakontor.

Slutligen vill vi tacka vår ämnesgranskare Kristiaan Pelckmans som stöttat oss under arbetets gång.

Clara Grönlund & Astrid Gustafsson
Uppsala, maj 2020

Innehållsförteckning

1. Inledning 1
1.1 Syfte och frågeställningar 2
1.2 Avgränsningar 2
1.3 Disposition 3

2. Bakgrund 4
2.1 Historisk kontext till smarta byggnader 4
2.2 Smarta byggnader i relation till smarta hem och städer 5
2.3 Kontorsbyggnader 6
2.3.1 Certifieringar 7
2.3.2 Luftkvalitet på arbetsplatser 7

3. Teori 9
3.1 Dominant design 9
3.2 Tidsserier 10
3.3 Principalkomponentanalys 10
3.4 Autoregression 11
3.5 Klustring och K-means 12

4. Data 14
4.1 Beskrivning av data 14
4.2 Motivering till predikteringen 15

5. Metod 16
5.1 Tillvägagångssätt 16
5.2 Intervjuer 16
5.2.1 Genomförande 17
5.2.2 Val av aktörer 17
5.2.3 Analys av intervjumaterialet 18
5.3 Dataanalys 18
5.3.1 Insamling av data 18
5.3.2 Städning av data 20
5.3.3 PCA för explorativ dataanalys samt visualisering 20
5.3.4 Prediktion 20

6. Kartläggning av smarta byggnader 23
6.1 Drivkrafter 23
6.2 Marknaden idag 24
6.3 Pågående trender och utmaningar 26
6.4 En smart definition 28

7. Resultat av dataanalys 31
7.1 PCA 31
7.2 AR 33
7.3 Flera AR modeller med hjälp av K-means 34
7.4 Prediktering med K-means 37

8. Diskussion 39
8.1 Utvärdering av prediktionen 39
8.2 Utmaningar 40
8.3 Tillförlitlighet 41
8.4 Vidare forskning 41

9. Slutsatser 43

Referenser 44

1. Inledning

Världen står inför en rad klimatutmaningar. Hösten 2015 satte Förenta Nationerna därför upp 17 utvecklingsmål för en mer hållbar framtid. Ett av dessa mål handlar om att sträva mot hållbara städer och samhällen, något som är viktigt då upp mot 70% av alla människor förväntas bo i urbana områden år 2050 (Globala målen, 2020). En grundläggande del av staden utgörs av alla de byggnader som finns där. Att göra nybyggnadsprocessen hållbar är en viktig del i att nå hållbarhetsmålet, men det gäller att inte glömma bort de byggnader som redan står klara. Sveriges bebyggelse står idag för ca 39% av den totala energianvändningen, och stor del av beståndet utgörs av äldre byggnader som inte är energieffektiva (Boverket, 2019). Det finns alltså ett stort behov av att hitta lösningar som kan göra det befintliga byggnadsbeståndet mer energieffektivt.

Samtidigt är vi på väg in i en digital tid där tilltron och förväntningarna på digitala lösningar är större än någonsin (Digitaliseringsrådet, 2020). Som följd av detta appliceras digitalisering på allt fler verksamhetsområden i samhället, däribland även fastigheter. Digitalisering av fastigheter är ofta ett steg i ledet till en så kallad smart byggnad. Tekniken i en smart byggnad möjliggör en digital version av existerande förvaltningsmetoder och dessutom öppnar den upp för nya lösningar. Smarta byggnader skulle därför kunna vara ett svar på frågan om hur byggnader kan göras mer energieffektiva för att spara på jordens naturresurser.

Möjlighet till mer effektiv energianvändning är dock inte det enda området där smarta byggnader skulle kunna göra skillnad. Andra användningsområden är exempelvis att göra anställda på kontor mer bekväma och produktiva genom bättre styrning av byggnadens värmesystem. En smart byggnad skulle kunna lära känna varenda medarbetare och därigenom anpassa användarupplevelsen. Byggnaden kanske vet att just du kommer in genom dörren, kallar på en hiss som åker till den våning där du har ditt första möte.

Vid en närmare undersökning framkommer det dock att det fortfarande finns en del oklarheter när det gäller denna nya teknik. För det första verkar det inte finnas någon enighet i vad olika aktörer menar när de pratar om smarta byggnader. Det finns även skillnader i vilka lösningar de arbetar med och vad denna teknik faktiskt innebär. Dessutom är det osäkert var de flesta ligger i utvecklingen och vad som är viktigt att tänka på i arbetet. Detta arbete ämnar därför att undersöka området smarta byggnader och vilka utvecklingsmöjligheter som tekniken skulle kunna bidra till.

1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet med denna studie är att undersöka begreppet smarta byggnader, arbetet inom området och tekniska lösningar som kan användas inom fastighetsbranschen. Syftet uppnås genom utförandet av två olika undersökningar. I den första undersökningen genomförs en kartläggning av smarta byggnader. I den andra utförs ett pilotprojekt som utvärderar hur existerande analysmodeller kan appliceras på redan insamlad fastighetsdata för att göra byggnaden smartare.

Följande frågeställningar besvaras i arbetet:

a. Kartläggning av smarta byggnader:
    i. Vad driver olika aktörer till att göra byggnader smarta?
    ii. Hur ser marknaden ut idag?
    iii. Vad är en smart byggnad?
b. Pilotprojekt:
    i. Hur kan information från fastigheter utvinnas genom att applicera existerande dataanalysmodeller på insamlad data?

1.2 Avgränsningar

I arbetet görs flera avgränsningar för att ytterligare konkretisera syftet samt för att möjliggöra genomförande av studien inom den angivna tidsramen. Konceptet byggnader innefattar en rad olika strukturer som syftar till att uppfylla olika ändamål, allt från bostadshus till tillverkningsanläggningar (SFS 2010:900). I denna uppsats undersöks endast byggnader som används som kontor. Det finns flera olika aspekter som motiverar detta val, bland annat används kontorsbyggnader ibland mindre än beräknat vilket öppnar upp för olika effektiviseringsmöjligheter. Fokus i denna studie ligger på att undersöka det befintliga beståndet och inte nybyggnationer. Detta beror på att dagens byggnader även utgör en stor del av framtidens bestånd, vilket i sin tur utgör en anledning till att undersöka hur dessa skulle kunna förvaltas mer effektivt. En byggnad har ofta flera olika aktörer kopplad till sig, vilka ofta har olika perspektiv, drivkrafter och mål kopplade till byggnaden. Uppsatsen fokuseras även på fastighetsförvaltare, den aktör som ansvarar för driften av byggnaden. Detta val motiveras med att många av de lösningar som är kopplade till smarta byggnader är kopplade till denne.

Under studiens gång framkom att många aktörer är intresserade av att undersöka koldioxidhalter i kontorsbyggnader. Koldioxidhalten i kontorsmiljöer mäts för att se till att halten inte överstiger vissa oproduktiva eller ohälsosamma nivåer. På grund av detta avgränsas pilotprojektet till att undersöka koldioxidhalter i konferensrum, mer specifikt predikteras framtida värden på koldioxidhalter för att möjliggöra bättre framförhållning vid styrning av byggnadens system. Pilotprojektet begränsas därför till att endast utföra dataanalys och att bortse från områden som olika hårdvarualternativ och olika säkerhetsprotokoll inom IoT.

1.3 Disposition

Uppsatsen består av olika avsnitt som alla innehåller information som tillsammans lett fram till studiens slutsatser. Kapitel 2 består av en bakgrund för att ge grundläggande förståelse för ämnet och för att presentera studiens utgångspunkter. I kapitel 3 beskrivs den teori som använts och i kapitel 4 presenteras datan som har analyserats samt en motivering till utformningen av pilotprojektet. I kapitel 5 presenteras metoden för arbetet och efter detta presenteras i kapitel 6 resultatet av kartläggningen av begreppet smarta byggnader. Här görs bland annat en beskrivning av vad som händer på marknaden idag och vilka trender och utmaningar som finns. Resultatet av denna undersökning ligger sedan till grund för dataanalysen vars resultat presenteras i kapitel 7. I kapitel 8 förs en diskussion om resultaten i studien och sedan presenteras studiens slutsatser i kapitel 9.

2. Bakgrund

I följande kapitel presenteras en bakgrund till studien. Avsnitt 2.1 innehåller en historik om hur begreppet tidigare använts i relation till dagens definition. Dessutom presenteras tidigare forskning om vilket av begreppen *smart* eller *intelligent* byggnad som bör användas. I avsnitt 2.2 sätts smarta byggnader i relation till smarta hem och smarta städer. Slutligen hanterar avsnitt 2.3 relevant information om byggnader, dess olika system, byggnadscertifieringar samt en beskrivning om innehållet i de lagar som behandlar arbetsmiljö och luftkvalitet i byggnader.

2.1 Historisk kontext till smarta byggnader

Konceptet smarta byggnader började diskuteras i USA redan i början av 1980-talet.
I en artikel publicerad år 1984 i New York Times presenteras detta nya sätt att tänka kring byggnadskonstruktioner:

> "[...] a new generation of office buildings that seem almost to think for themselves. These new structures, only a handful of which now exist, are called intelligent buildings, which is a bit of overstatement. Buildings are not intelligent; people who design them are. The intelligent building is a marriage of two technologies - old-fashioned building management and telecommunication." (Piral, 1984).

Sedan dess har termer som exempelvis intelligenta-, digitala-, och uppkopplade byggnader spritt sig och utgör bara några av alla de begrepp som faller under samma paraply av definitioner som smarta byggnader (Kroner, 1997). Det historiskt mest välanvända benämningen är intelligenta byggnader, vilket återfinns i tidiga artiklar och källor. En av de tidigaste definitionerna kom 1983, då Cardin beskriver den intelligenta byggnaden som: "one which has fully automated building service control systems" (citat hämtat från Dincer et al., 2018, s93 ; Wong et al., 2005, s144). Med tiden har detta teknikorienterade perspektiv skiftat till en bredare definition som även inkluderar exempelvis användarvänlighet, anpassning, miljövänlighet och säkerhet (Clements-Croome, 2013). Detta mer moderna synsätt stämmer bättre överens med de definitioner som kan hittas av smarta byggnader. En naturlig fråga blir då vilken av termerna som bör användas.

Vissa forskare menar att termen *smart* är att föredra framför *intelligent*, som anses mer elitistisk och snarare syftar på snabbtänkthet. Andra anser att smart innehåller intelligent för att smarthet uppkommer då intelligenta system anpassas till användarna (Albino et al., 2015). Engie (2019) menar däremot i *The Smart Building eBook* att en intelligent byggnad kan göra mer för användarna än en smart. Att många anser att gränsen mellan de båda benämningarna är maskininlärning och artificiell intelligens, som ingår i den intelligenta definitionen men inte i den smarta. Oavsett åsikt i frågan står det klart att det inte finns en enad bild av vilket begrepp som bör användas och exakt betydelse för dessa.

I denna rapport används termen smart framför intelligent eftersom smart kan anses mer modern och är vidare använd. Dessutom rimmar denna benämning bättre med de trendiga och i högsta grad anknutna termerna *smart hem* och *smart stad*.

2.2 Smarta byggnader i relation till smarta hem och städer

Termen smart hem har nyligen blivit ett relativt välkänt koncept genom aktörer som exempelvis Google homes Nest och Amazons Alexa. Idag finns, förutom dessa, flertalet lösningar på marknaden för smarta hem. Genom dessa lösningar har konceptet "smart hem" på senaste tiden blivit allmänt accepterat som ett boende där objekt är ihopkopplade via en central hub och som lätt kan styras av användaren (Engie, 2019). Detta gör att smart hem kan ses som ett mer moget begrepp än exempelvis smart byggnad. Ett nästa steg i utvecklingen skulle därför kunna vara att dessa implementationer skalas upp till att innefatta hela byggnader, inte bara de enskilda hemmen som finns inom dem. Dock är detta inte säkert, utvecklingen av smarta byggnader har delvis skett parallellt med smarta hem och svårigheten att nå konsensus om en definition på byggnadsnivå kan utgöras av att begreppet blir mycket mer komplext på grund av fysisk storlek och antal system (Engie, 2019). Byggnader innefattar förutom hem även exempelvis kontor, fabriker, lokaler, lagringsutrymmen och parkeringsplatser. Idag finns flertalet aktörer inom området och företag som exempelvis Nordomatic, Yanzi och Power2U utvecklar lösningar som ska göra hela byggnader smarta. Arbetet sker på olika sätt, vissa erbjuder exempelvis intelligenta hubbar för byggnader och andra arbetar med molnbaserade lösningar (Nordomatic, 2020; Power2U, 2020; Yanzi, 2020).

Mats Wilhelmsson (2019), professor i Tillämpad finansiell ekonomi på KTH, ger i krönikan *Värdering av "smarta byggnader"* en bild av att det idag byggs många byggnader som kan definieras som smarta, men att definitionerna varierar mellan allt ifrån byggnader med låg energiförbrukning till byggnader med många sensorer som mäter olika byggnadssystem (Wilhelmsson, 2019). Denna bild diversifieras ytterligare av Sinipoli (2010) som menar att det inte enbart krävs installation och användning av teknologi (exempelvis sensorer) för att göra byggnader smarta. Teknologin är endast medel för att uppnå ett mål och kan möjliggöra styrning av byggnaden på ett mer effektivt sätt. Byggnaden ska genom tekniken tillhandahålla en produktiv och bra miljö för anställda och besökande och dessutom ska byggnaden vara säker, energieffektiv och hållbar. De installerade byggnadssystemen i en smart byggnad är både avancerade och integrerade vilket möjliggör kostnads- och energieffektiv styrning (Sinipoli, 2010). International Data Corporation å sin sida menar att en smart byggnad är definierad som en facilitet som använder avancerad automation och integration för att mäta, övervaka, kontrollera och optimera byggnadens verksamhet och underhåll (Talon et al. 2011).

Förutom alla dessa olika definitioner kan tankar om smarta byggnader bero på vem som tillfrågas och vilket perspektiv den personen har. För en fastighetsägare kan en smart byggnad innebära ökat fastighetsvärde, för en förvaltare kan smartheten betyda mer energieffektiva

fastighetssystem och mer optimerad styrning och för en arkitekt kan en snygg design som minskar energianvändningen vara smart (Sinipoli, 2010; Soplop, 2015). För användaren kan det snarare vara upplevelsen som gör huset smart, exempelvis om kaffemaskinen vet att det är du som närmar dig och brygger ditt favoritkaffe innan du hunnit fram.

Flera smarta byggnader på samma geografiska område möjliggör utveckling av det som brukar kallas för smart stad. Då perspektivet vidgas till staden tillkommer mer komplexitet och fler system som exempelvis infrastruktur och elförsörjning. Ett exempel på vad som skulle kunna ingå i en smart stad är ett smart elnät. I ett smart elnät har konsumenten exempelvis möjlighet att välja att bara ladda sin elbil när elpriset är lågt, eller när det finns hög andel förnybar energi i nätet. I det smarta elnätet kan fastighetsägare också bli producenter och dela energi med varandra, exempelvis genom att ha solpaneler på taket och dela energin med resten av grannskapet (Vattenfall, 2020). Malin Granath (2018) menar att det finns två ytterligheter av hur forskare resonerar kring smarta städer. Den ena är teknikorienterad och innebär att staden är smart när teknik finns inbyggt i stort sett överallt. Tekniken används sedan till att styra, reglera och samla data från mobila enheter. Den andra ytterligheten är mer övergripande och fokuserar på vad som bör åstadkommas med hjälp av tekniken. Här ska den smarta staden leda till ekonomisk tillväxt och livskvalitet för invånarna och tekniken betraktas endast som möjliggörare. Dessutom ska det finnas krav på sund naturresursanvändning och satsningar ska göras inom både modern- och traditionell infrastruktur.

2.3 Kontorsbyggnader

En fastighet definieras som ett indelat markområde med tillhörande fastighets- och byggnadstillbehör exempelvis stängsel, byggnader, ledningar och träd (SFS 1970:994). Det är fastighetsförvaltarens ansvar att förvalta byggnaden och tillhörande mark. Detta innebär bland annat ansvar för fastighetens ekonomi samt underhåll av byggnaden med tillhörande system (Arbetsförmedlingen, 2020).

I byggnader finns många olika typer av system som exempelvis vattenledningar, elsystem, värmesystem, data/internetuppkoppling, brandlarm och eventuell övervakning. Traditionellt är de olika systemen i en byggnad installerade separat vilket gör de isolerade från resterande delar av byggnaden. Skulle ett system vara optimerat eller ha någon styrning tar dessa alltså oftast enbart hänsyn till det egna systemet snarare än hela byggnaden (Sinipoli, 2010). Konsekvensen av detta är att olika system i byggnaden kan arbeta kontraproduktivt, exempelvis kan elementen stå på full värme samtidigt som AC:n är igång för att kyla ner rummet. En del av att göra byggnader smarta handlar om att få byggnadssystem att arbeta tillsammans och att få de ihopkopplade till en enhet som kan styras via en central plattform. Detta gör att systemen kan kommunicera med varandra och optimeras tillsammans vilket skulle möjliggöra en mer kostnads- och energieffektiv styrning (Sinipoli, 2010).

2.3.1 Certifieringar

Som nämnts tidigare går arbetet och definitionen av smarthet alltmer mot bland annat anpassning till användarnas behov och miljövänlighet. För att veta hur olika byggnader står sig mot varandra finns det olika certifieringar som byggnaderna kan erhålla. LEED, BREEAM, Miljöbyggnad och Svanenmärkning är namnen på några av de olika certifieringar en byggnad kan få inom miljöområdet. För en sådan certifiering krävs att olika kriterium uppfylls, exempelvis kan krav finnas på ventilation, byggmaterial, energianvändning och ljudnivåer (Svanen, 2020 ; Sweden Green Building Council, 2020a). Idag finns över 2000 byggnader i Sverige med någon typ av miljöcertifiering och certifieringstakten har sedan 2014 ökat för varje år (Sweden Green Building Council, 2020b). Något som på senare tid har kommit in på marknaden och nu växer är liknande certifieringar fast anpassade till användarnas välmående, en av dessa är en så kallad WELL-certifiering. Denna certifiering bedömer hur väl en byggnad främjar människors hälsa, välbefinnande och produktivitet (Sweden Green Building Council, 2020c).

Dessa olika certifieringar har vissa saker gemensamt, varav en är krav på luftmiljön. För att kunna kontrollera att dessa krav upprätthålls ställer vissa certifieringar, exempelvis LEED, krav på att det ska finnas ett visst antal sensorer som mäter koldioxid per kvadratmeter. Ventilering i en byggnad påverkar alltså inte bara temperaturen och fuktigheten i byggnaden, utan även människors hälsa och komfort.

2.3.2 Luftkvalitet på arbetsplatser

Genom ventilering avlägsnas luftföroreningar i byggnaden och genom detta ökar luftkvaliteten. Luftföroreningar på arbetsplatser utgörs till stor del av kroppslukter, parfymer, byggmaterial och inredning, vilka oftast inte innebär någon hälsorisk men kan påverka komforten på kontoret (Arbetsmiljöverket, 2018). Den luftförorening som främst tas i beaktande vid luftrening är koldioxid. Utomhus ligger koldioxidhalten mellan 350-400 ppm, vilket även är de lägsta nivåerna i en byggnad. Koldioxidhalten på en arbetsplats bör ej överstiga 1000 ppm (16 § AFS 2009:2). Om koldioxidhalten går över detta värde minskar produktiviteten hos de anställda och vid för stora mängder (>5000 ppm) är den till och med hälsofarlig (Arbetsmiljöverket, 2018).

För att luftföroreningarna inte ska bli för stora måste uteluft tillföras. Ett essentiellt system i kontorsbyggnader är därför det så kallade HVAC- systemet (Heating, Ventilation and Air Conditioning) som sköter uppvärmning, ventilation och AC. Detta system är det som säkerställer att inomhusmiljön håller standard och är dräglig att vistas i. Standard sätts av arbetsmiljöverket som menar att det kan behövas minst åtta liter luft per sekund och person vid stillasittande arbete för att luftkvaliteten ska vara godtagbar (ASF 2009:2).

Ökad ventilering leder till ökad energianvändning. Energi används både för att driva HVAC systemet och för att värma upp den kalla utomhusluften som flödar in i byggnaden. Hur mycket energi systemet kräver beror på en rad olika faktorer, exempelvis vilken typ av verksamhet som

bedrivs och hur många människor som vistas på samma yta. Generellt står dock uppvärmning och ventilation för en stor andel av byggnadens totala energianvändning (Persson, 2002).

3. Teori

Detta kapitel behandlar relevant information om teori och fakta som används som utgångspunkter i uppsatsen. Avsnitt 3.1 behandlar en innovationsteori om teknisk utveckling på marknaden vilken används i analysen av kartläggningen. Därefter presenteras teorier som används för pilotprojektet. I avsnitt 3.2 görs en övergripande genomgång om tidsseriedata och dess beteende. Avsnitt 3.3 introducerar principalkomponentanalys och avsnitt 3.4 autoregression. I avsnitt 3.5 behandlas klustring med *K*-means.

3.1 Dominant design

Enligt Schilling (2015) sker teknisk innovation i en cykel med de olika faserna; teknologisk diskontinuitet, konkurrens om dominant design, val av dominant design och slutligen inkrementell utveckling. När samtliga faser har skett börjar cykeln om igen. En dominant design är "defacto standard", vilket betyder att även om designen inte är officiell eller påtvingad är det denna standard som används och som skapar en stabil arkitektur där marknaden kan fokusera på fortsatt utveckling (Schilling, 2015).

Det är inte alla marknader som har behov av dominant design. Hur marknaden beter sig beror till stor del på teknikens egenskaper. En del tekniker gynnas av kunskap och blir mer effektiva desto mer kunskap som finns om dem. En del karakteriseras av så kallade nätverkseffekter vilket betyder att de skapar mer nytta för användarna desto mer tekniken används, exempelvis genom att produkten blir bättre eller att fler komplementerande varor utvecklas. Marknader som bygger på sådana tekniker är de som har stor press på sig att införa en dominant design. Denna press leder till kapplöpning att nå en standard eftersom marknaden ofta karaktäriseras av "winner-take-it-all" (Schilling, 2015).

Under den första fasen, teknologisk diskontinuitet, finns det stor osäkerhet kring både teknologin och dess marknad, produkterna som erbjuds är ofta opålitliga och dyra. Men allt eftersom producenter och kunder når konsensus kring produktens olika attribut och egenskaper framträder en dominant design. Den dominanta designen möjliggör standardisering och tillåter producenter att fokusera på att innovera sin produktionsprocess och på den inkrementella utvecklingen av produkten (Schilling, 2015).

Den dominanta designen är sällan den initiala, banbrytande lösningen, och sällan den mest tekniskt avancerade. Istället för att vara bäst på ett område blir den dominanta designen ofta en mellanväg mellan olika attribut (Anderson & Tushman, 1990). Den teknologiska utvecklingen är ofta spårberoende, vilket innebär att slutresultatet till stor del beror på händelserna som lett fram dit. Det är svårt att återskapa och svårt att byta, vilket gör att timing blir ett en viktig faktor och att företag hela tiden måste vara alerta och hänga med i utvecklingen för att undvika att bli utelåsta (Schilling, 2015).

3.2 Tidsserier

En tidsserie är ett dataset med flera kvantitativa observationer av samma variabel över tid, ofta med regelbundna intervall. Ett sådant dataset karakteriseras ofta av dess interna strukturer i form av trend, säsongsberoende, cykliska variationer och oväntade variationer (Pal & Prakash, 2017).

När en tidsserie har en generellt uppåtgående eller nedåtgående tendens över lång tid kallas det för en trend. Dessa trender kan vara svåra att upptäcka inom ett kort tidsspann eftersom andra variationer kan få värdet att gå upp eller ner. En trend kan modelleras genom en regression som används för att prediktera generellt beteende långt in i framtiden. Ett annat beteende som kan finnas i tidsseriedata är så kallat säsongsberoende, vilket innebär repetitiva och periodvisa variationer. Data som är säsongsberoende har samma övergripande medelvärde och variation men har mönster som upprepar sig över specifika perioder på ett förutsägbart vis. Storleken på perioden som mönstret upprepar sig över är olika men kan exempelvis vara dagar, veckor, månader eller säsonger. Cykliska variationer är också återkommande mönster men framträder mer sällan än säsongsberoende och har inte nödvändigtvis fast periodicitet. Det kan förklaras som ett mönster som följer något annat mönster, exempelvis följer försäljning av bilar ekonomins mönster. När en tidsserie betraktas som summan av trender, säsongsberoende och cykliska variationer kommer det alltid att finnas ett oreducerbart slumpmässigt fel som saknar systematiskt beroende till tiden. Det felet kommer från brist på information, brist på förklarande variabler eller vitt brus (Pal & Prakash, 2017).

Generellt sett finns det två huvudsakliga syften med tidsserieanalys. Antingen att förstå och tolka de underliggande krafterna som producerar det observerade tillståndet hos ett system eller en process. Eller, det andra syftet som är att arbeta med tidsserieanalys är att prediktera ett framtida tillstånd hos ett system eller process i termer av observerbara attribut (Pal & Prakash, 2017).

3.3 Principalkomponentanalys

Principalkomponentanalys (PCA) är ett verktyg som bland annat används för dimensionsreducering och explorativ dataanalys. Målet med PCA är dels att hitta underliggande strukturer och mönster i data och dels att kunna visualisera flerdimensionell data på ett representativt sätt. I PCA extraheras viktig information från ett större, flerdimensionellt dataset som sedan uttrycks i en kombination av nya ortogonala baser. De nya baserna kallas principalkomponenter och är linjära kombinationer av den ursprungliga datan. Den första principalkomponenten är den med största möjliga varians. Den andra har näst störst varians samtidigt som den är ortogonal till den första komponenten och så vidare. Att de principalkomponenterna är ortogonala innebär att de är okorrelerade och därför kan mer information uttryckas med färre variabler. Detta gör att viktig information kan extraheras, storleken på informationen kan komprimeras genom att välja ut de viktigaste komponenterna,

beskrivningen av datan kan förenklas och/eller strukturen hos observationer och dimensioner kan analyseras (Abdi & Williams, 2010).

Principalkomponenterna tas fram genom så kallad singulärvärdesuppdelning. Den ursprungliga, standardiserade, datan delas då in i en matris A med dimension $(n \times d)$, där n är antalet observationer och d är antalet variabler. A:s kovariansmatris X med subtraherat medelvärde kan bestämmas enligt ekvation 1 nedan:

$$X = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n} (x_t - \mu_A)\,(x_t - \mu_A)^T \tag{1}$$

Därefter kan kovariansmatrisen X sedan delas upp i tre matriser enligt ekvation 2 nedan:

$$X = UDV^* \tag{2}$$

där U och V är kvadratiska $(n \times n)$ respektive $(d \times d)$ matriser så att $U^*U = I_n$ och $V^*V = I_d$ och D är en $(n \times d)$ matris med strukturen:

$$D = \begin{pmatrix} E & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \tag{3}$$

där E är en diagonalmatris. Matriserna U och V innehåller egenvektorerna till X. Dessa egenvektorer representerar i sin tur principalkomponenternas riktning. Matrisen Dinnehåller korresponderande egenvärden i sin diagonal. I D är dessa egenvärden ordnade i fallande storleksordning och representerar datans varians i riktningen för varje specifik principalkomponent. Den principalkomponent som bäst beskriver spridningen av datan (med högst andel av den totala variansen) finns i översta vänstra hörnet av matrisen och sedan följer de andra diagonalt i fallande ordning. Reducering av antalet dimensioner sker sedan helt enkelt genom att ignorera de principalkomponenterna som har liten varians (Schwartz et al., 2018).

3.4 Autoregression

Autoregressiva (AR) modeller används för att beskriva tidsvarierande processer. Dessa modeller kan användas för att prediktera framtida värden genom att skatta utsignalen $y(t)$ med prediktorn $\hat{y}(t)$. I AR-modeller beror det predikterade värdet $\hat{y}(t)$ linjärt på tidigare värden av $y(t)$. Notationen AR(p) indikerar en autoregressiv modell av p:te ordningen. AR-modellen kan definieras enligt ekvation 4 nedan:

$$y(t) = c + \sum_{i=1}^{p} \varphi_i \, y(t-i) + e(t) \tag{4}$$

där c är en konstant, $\varphi_i$är modellens parametrar och e(t) är vitt brus (Glad & Ljung, 2004).

Modellens prediktor som används för att prediktera framtida värden fås då av ekvation 5 nedan:

$$\hat{y}(t) = c + \sum_{i=1}^{p} \varphi_i \, y(t-i) \tag{5}$$

Eftersom prediktorn kan skrivas som en linjär regression kan parametrarna φ_i skattas genom att använda minsta kvadratmetoden (Glad & Ljung, 2004).

3.5 Klustring och *K*-means

Klustring är en metod inom *data mining* med målet att identifiera underliggande strukturer i *unlabeled data*. Detta görs genom att organisera data i homogena grupper där likheten inom grupperna är maximerad och likheten mellan grupperna är minimerad (Hastie et al., 2009).

Valet av klustermetod beror både på vilken data som är tillgänglig och vilken applikationen är. De flesta traditionella klustermetoderna är utvecklade för statisk data, data som inte förändras över tid, och där passar inte tidsserier in. De metoder som idag finns för att klustra tidsserier är främst anpassningar av traditionella klustermetoder. Ett sätt att göra den anpassningen är att omvandla tidsseriedatan till statisk data så att de traditionella metoderna kan appliceras direkt på en omvandlade datan (Hastie et al., 2009).

En av de vanligaste klustermetoderna inom data mining kallas *K-means*. Vid klusteranalys med *K*-means genomförs analysen med olika antal kluster för att hitta den mest naturliga och passande indelningen (*best fit*). Efter detta minimerar *K*-means en funktion som vanligtvis är det totala avståndet mellan alla punkter och dess respektive klusters mitt, kallade centroider. Metoden är iterativ och inledningsvis placeras centrodierna godtyckligt, sedan varierar algoritmen mellan två olika steg tills slutkriteriet är uppnått. I det första steget tilldelas samtliga datapunkter ett kluster beroende på vilken centroid som ligger närmast, i det andra steget beräknas nya platser för centoiderna utifrån punkterna som nu tillhör det klustret. Slutkriteriet är uppnått då centroidernas placering har stabiliserats (Hastie et al., 2009).

Givet en mängd datapunkter $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ delar *K*-means in datapunkterna i K $(\leq n)$kluster $\bar{S} = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$ så att variansen inom varje kluster minimeras. För att göra detta beräknas även $\bar{\mu}_i$ som är medelvärdet av datapunkterna i klustret S_i och problemet går att uttryckas enligt ekvation 6.

$$\underset{S}{argmin} \sum_{i=1}^{k} \sum_{x \in S_i} \|x - \bar{\mu}_i\|_2 \tag{6}$$

För att bestämma antalet kluster K i K-means kan den så kallade *elbow method* användas. I denna metod visas *mean squared error* (MSE) som en funktion av antalet kluster. Ur detta kan sedan utläsas var felet slutar att minska drastiskt, vilket sker i "armbågen", och detta anses då vara ett bra val av antal kluster. (Hastie et al., 2009) MSE beräknas enligt ekvation 7 nedan:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n} (y(t) - \hat{y}(t))^2 \tag{7}$$

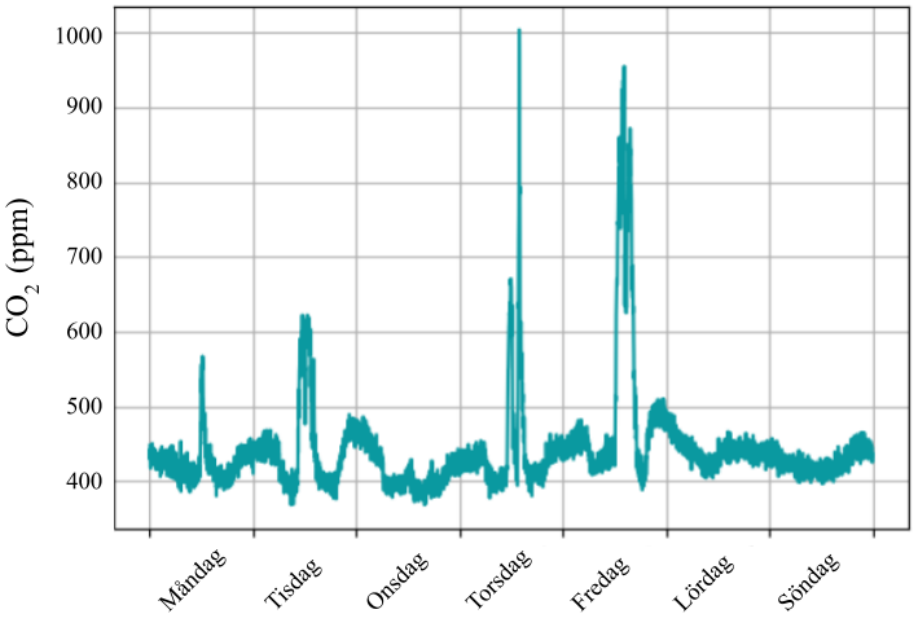
4. Data

Detta kapitel inkluderar en beskrivning av den data som används i projektet samt hur pilotprojektet är utformat.

4.1 Beskrivning av data

Den data som valdes för pilotprojektet var tidsseriedata över koldioxidhalter i ett konferensrum i en kontorsfastighet. Att valet föll på koldioxidmätningar grundades dels i intresset på marknaden men också att ett flertal aktörer redan mäter koldioxid i sina lokaler.

När koldioxid mäts i konferensrum görs det ofta genom att det sitter en sensor på väggen som med jämna mellanrum läser av koldioxidhalten i rummet. När koldioxid mäts i öppna kontorslandskap sitter ofta sensorerna så glest att det är svårt att bilda sig en korrekt uppfattning om koldioxidhalterna i hela rummet. Många konferensrum är dock tillräckligt små för att en sensor ska räcka. Utifrån detta gjordes valet att använda data över koldioxidhalten från ett mindre konferensrum. Koldioxidhalten mättes varannan minut dygnet runt, sparades i en databas och presenterades i realtid med verktyget Grafana. Grafana syftar till att visualisera stora dataset och genom deras plattform laddades datan ner för vidare analys. Datasetet som används sträcker sig från början av september 2019 till slutet av februari 2020, och innehåller totalt 108 548 mätningar. I figur 1 nedan illustreras koldioxidhalterna från en vecka i oktober för att visa på hur aktiviteten i rummet vanligtvis såg ut. Perioden sträcker sig från måndag kl. 00.00 till söndag 23.59.



Figur 1. Data över koldioxidhalter i ett konferensrum en vecka i oktober 2019

Mätpunkterna har enheten ppm (parts per million), vilket är ett mått på hur stor andel av luften i rummet som består av koldioxid. När konferensrummet är tomt ligger koldioxiden på en relativ konstant nivå kring 400-500 ppm. När aktivitet finns i rummet uppstår olika höga toppar. Topparnas höjd beror på hur länge rummet används och hur många som befinner sig i rummet. Figuren visar även på att det inte finns någon aktivitet på nätter eller helger. Vid granskning av hela datasetet kan det också utläsas att aktiviteten går ner kring storhelger. I grafen kan urskiljas att koldioxidhalterna vid ett tillfälle närmar sig 1000 ppm. Om koldioxidhalten överstiger 1000 ppm kan personerna i rummet enligt arbetsmiljöverket påverkas negativt genom exempelvis trötthet och lägre produktivitet. I hela datasetet rör sig koldioxidhalterna mellan 1000-1400 ppm flertalet gånger.

Eftersom koldioxidhalten i konferensrummet beror på tidpunkt på dygnet och dag i veckan indikerar detta att datan har säsongsberoende. Vid granskning av hela datasetet framkommer även att datan saknar trend, vilket betyder att medelvärdet är konstant med tiden. Eftersom data saknas för vissa delar av året är det svårt att avgöra om det finns cykliska variationer. Koldioxidhalter utomhus varierar under året vilket skulle kunna påverka inomhusnivåerna eftersom ventilationen pumpar in utomhusluft.

4.2 Motivering till predikteringen

Utifrån denna data och lärdomar från kartläggningen formuleras pilotprojektets avgränsning till att prediktera framtida värden på koldioxidhalter. En prediktion skulle kunna möjliggöra bättre framförhållning vid styrning av byggnadens ventilationssystem. Detta skulle kunna säkerställa att koldioxidhalterna inte når höga nivåer som påverkar produktiviteten, dessutom skulle prediktionen kunna användas till att optimera ventilationen ur ett energieffektiviseringsperspektiv. Ytterligare ett användningsområde som inte skulle kräva styrning av systemet kan vara att notifiera personerna som befinner sig i rummet om att koldioxidhalten närmar sig tillräckligt höga nivåer för att påverka produktivitet och mående. Detta skulle ge personerna påminnelse om att ta en rast och lämna rummet för att låta det vädras ut.

Att flera aktörer redan har installerade koldioxidsensorer installerade beror på att det ofta är den första typen av sensor som installeras då fastighetsförvaltare börjar arbeta med digitalisering. Att flera redan har den typen av sensorer installerade innebär att en lösning som bygger på dessa värden skulle kunna göra stor skillnad i det befintliga beståndet utan större krav på installation.

5. Metod

I följande kapitel presenteras de metoder som använts i denna studie. I avsnitt 5.1 görs en övergripande förklaring över tillvägagångssättet. Avsnitt 5.2 tar upp information om de intervjuer som utförts under arbetet. Intervjuernas genomförande, valet av personer att intervjua och analys av intervjumaterialet förklaras utförligt i detta stycke. I avsnittet därefter, 5.3, hanteras information om det pilotprojekt som utförs i studien. Stycket behandlar metoden för insamlingen av data, hur dataanalysen utförts och hur resultaten har validerats.

5.1 Tillvägagångssätt

Syftet med denna studie är att studera området smarta byggnader och arbetet med tekniska lösningar inom fastighetsbranschen. Detta gjordes först genom en kartläggning av begreppet smarta byggnader och därefter ett pilotprojekt. Pilotprojektet innehåller en dataanalys för att undersöka hur information från fastigheter kan utvinnas genom att applicera existerande dataanalysmetoder på redan insamlad data från fastigheter. För att utföra de två undersökningarna användes flera olika metoder. Arbetet började med inläsning av litteratur för att erhålla en överblick av vad som tidigare gjorts och sagts inom ämnet. Det genomfördes även ett antal intervjuer med aktörer aktiva inom området. Intervjuerna bidrog med kvalitativ förståelse bland annat för hur berörda aktörer arbetar inom området, hur de ser på tekniken och vilka eventuella problem som kan lösas genom att göra byggnader smarta.

Information från litteratur samt intervjuer resulterade i upptäckten av ett problemområde för dataanalysen och formuleringen av detsamma. Dataanalysen utfördes sedan genom principalkomonentanalys, autoregression och klustring.

5.2 Intervjuer

I studien utfördes ett antal intervjuer med olika aktörer kopplade till fastighetsmarknaden eller smart teknologi. För att få en bred bild intervjuades aktörer med olika positioner på marknaden, från fastighetsägare till produktleverantörer. Genom detta kunde en mer komplex bild erhållas av hur olika aktörer arbetar med digitalisering av byggnadsbeståndet samt hur de resonerar kring smart teknologi. Intervjustudien bestod bland annat av delarna *samla in*, *analyser*a och *tolka* materialet, vilka alla är essentiella när det kommer till att extrahera viktig information från intervjuer. Dessa är tätt sammanvävda och skedde parallellt under arbetets gång (Trost, 2010). Nedan beskrivs genomförandet av intervjuerna, hur de intervjuade aktörerna valdes samt hur intervjumaterialet analyserades.

5.2.1 Genomförande

Intervjuerna som utfördes var av semistrukturerad karaktär. Detta innebär att frågor förbereds i förväg men att intervjuaren inte strikt måste hålla sig till dessa, dessutom ges även möjlighet till följdfrågor och utsvävningar som inte planerats för (Magnusson & Marecek, 2015). De förutbestämda frågorna gav möjlighet till en strukturerad jämförelse mellan svar från olika intervjuer. De spontana följdfrågorna i sin tur gjorde att de intervjuade fick möjlighet att berätta om oförutsedda fenomen, tankar, arbete och trender.

Intervjuerna utgick ifrån den så kallade områdesprincipen, vilket innebär att intervjuaren inte direkt angriper huvudområdet utan börjar med frågor i periferin. Efter att alla frågor är ställda har sedan även avslutningen av intervjun en mer generell karaktär (Dalen, 2015). Syftet med detta är att både intervjuaren och personen som blir intervjuad ska bli bekväma innan de centrala frågorna ställs och dessutom att avsluta intervjun på ett lättsamt sätt. Frågorna som ställdes följde vissa kriterier i enlighet med forskning inom intervjuteknik. Exempelvis undveks frågor med ja- och nej-svar, värderingar i frågorna, alltför komplicerade frågor och ledande frågor (Eriksson & Wiedersheim-Paul, 2014).

I studien utfördes både besöksintervjuer och telefonintervjuer. Typen av intervju anpassades efter vad som föll sig mest naturligt och efter rådande omständigheter[1]. En fördel med besöksintervju är att det lättare går att tolka den som intervjuas eftersom även kroppsspråk kan läsas av. Telefonintervju ansågs som ett bra alternativ eftersom de frågor som ställdes till stor del var av objektiv och operativ karaktär, dessutom ställdes inga känsloladdade frågor vilket i större utsträckning hade krävt besöksintervjuer. Telefonintervjuer är även mer tidseffektiva och medför möjligheten att intervjua fler aktörer (Eriksson & Wiedersheim-Paul, 2014).

5.2.2 Val av aktörer

Valet av aktörer att intervjua gjordes efter att studien pågått i ett par veckor. Vid den tidpunkten hade olika aktörer inom branschen som själva påstod sig arbeta inom området identifierats. Detta var av vikt för kartläggningen av begreppet och för att få kunskap om aktuellt arbete på marknaden. Dessutom kontaktades både fastighetsförvaltare och leverantörer till fastighetsförvaltarna för att få ett brett perspektiv på frågan. Bland de som intervjuades fanns fyra fastighetsförvaltare: tre privata och en aktör från allmännyttan. Från leverantörssidan intervjuades två aktörer: en större, mer etablerad aktör och ett start-up företag. För att inkludera ett perspektiv från akademin intervjuades även forskare inom smarta städer. Från varje aktör intervjuades en till två personer och intervjuerna pågick i genomsnitt ca 40 minuter. Av sekretesskäl namnges inte de intervjuade aktörerna men en redogörelse för genomförda intervjuer återfinns i appendix 1.

[1] Under studien bröt den globala pandemin COVID-19 ut och Folkhälsomydigheten uppmanade till social distansiering vilket omöjliggjorde besöksintervjuer.

5.2.3 Analys av intervjumaterialet

En viktig del av analysen utgörs av att koda informationen framtagen i intervjuerna (Dalen, 2015). Kodning innebär att materialet bryts ner, konceptualiseras och sätts ihop på nya sätt (Strauss & Corbin, 1990). Detta möjliggör systematisk materialgenomgång samt detektering av intressanta slutsatser och mönster.

Analysen av intervjumaterialet skedde genom tre typer av kodning. För att erhålla en överblick av information användes så kallad *öppen kodning*. I denna process bröts materialet ner och delades in i olika klasser och koncept. Klasserna namngavs, grupperades och märktes upp vilket sedan användes i följande delar av kodningsprocessen. I den *axiala kodningen* kombinerades de olika grupperna på nya sätt efter den öppna kodningen genom att relatera och koppla ihop de olika kategorierna med varandra. Detta möjliggjorde noggrann utvärdering och detektion av skillnader och likheter i svar från de olika aktörerna. Att tydligt se sambanden öppnade även upp möjligheten för en mer komplex analys. I denna del togs exempelvis olika fenomen, kontext och intervjusammanhang med i beräkning för att systematiskt kunna relatera materialet med varandra. Den *selektiva kodningen* innebar att relevanta samband och information som relaterade till syfte och frågeställningar valdes ut och presenteras i rapportens resultatdel (Strauss & Corbin, 1990)

5.3 Dataanalys

Datan som använts för analysen beskrivs i kapitel 3. I följande kapitel beskrivs hur insamlingen och förbehandlingen av datan skedde i detta arbete. Därefter beskrivs analysmetoden som används i studien samt valideringsprocessen för att undersöka hur väl modellen fungerade.

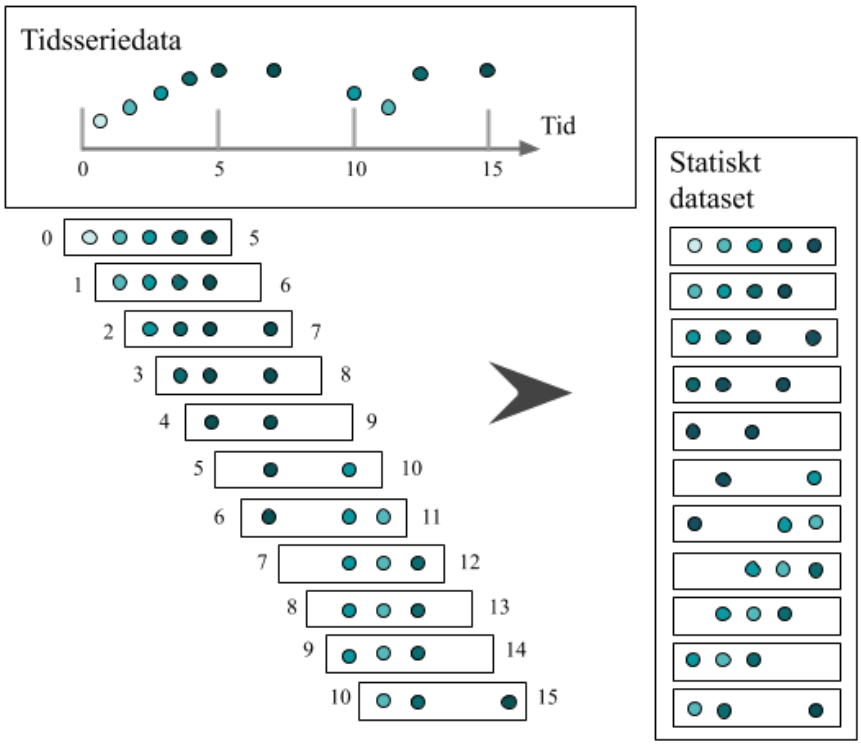
5.3.1 Insamling av data

Vid projektets start gjordes bedömningen att använda redan insamlad data. En annan möjlighet hade varit att sätta upp egna sensorer för insamling av data. Anledningen till valet att kontakta fastighetsägare för att få tillgång till insamlad data var framförallt arbetets tidsram. För att göra en så allmängiltig lösning som möjligt ansågs det av vikt att ha tillgång till ett större dataset vilket inte var möjligt att samla under den tillgängliga tiden. Datainsamlingen skedde parallellt med intervjustudien under tio veckors tid. Under denna period kontaktades olika fastighetsägare och en dialog fördes om vilken typ av data som samlades in samt vilken typ av data som var möjlig att dela med sig av. Eftersom fokus i studien låg på kontorsbyggnader var det av vikt att just data från kontor fanns att tillgå.

5.3.2 Städning av data

Förberedelser inför en dataanalys består bland annat av städning av data. Detta utfördes genom att granska erhållen data samt plocka ut de delar som är intressanta för analysen. Eftersom

beteende under kontorstider var av intresse i detta projekt och datans säsongsberoende kunde anses skilja beteendet under dessa från resterande tider gjordes valet att ta bort viss data. Mätpunkter från nätter, helger samt kring jul och nyår valdes därför bort. Detta innebar att det nya datasetet bestod av flera tidsserier insamlade måndagar till fredagar mellan sex på morgonen och 18 på kvällen. För att få en kontinuerlig tidsserie sattes tidsserierna från de olika dagarna sedan ihop. Eftersom både PCA och *K*-means kräver statisk data delades tidsserierna även upp i enskilda punkter, där dimensionen av datapunkten bestämdes med hjälp av ett fönster. Fönstret valdes till storlek tio, eftersom mätningar skedde varannan minut motsvarar detta 20 minuter. Denna fönsterstorlek valdes eftersom det ansågs fånga beteendet över tid utan onödigt många dimensioner. Figur 2 visualiserar hur tidsseriedata görs om till ett statiskt dataset med ett glidande fönster med storlek fem.



Figur 2: Visualisering av hur tidsseriedata kan omvandlas till statisk data. I detta exempel är fönsterstorleken satt till 5.

Ett vanligt sätt att validera hur bra en metod fungerar är att dela upp sitt dataset i estimeringsdata och valideringsdata. I denna undersökning fanns så pass mycket data att uppdelningen 80/20 kunde användas. Det betyder att 80% av punkterna gjordes till ett estimeringsdata och 20% gjordes till ett valideringsdata.

5.3.3 PCA för explorativ dataanalys samt visualisering

PCA användes för explorativ dataanalys samt för visualisering. PCA analysen gjordes med hjälp av Pythons bibliotek *sklearn*. För att kunna använda PCA är det viktigt att datan som används är standardiserad. Detta gjordes genom ekvation 8 nedan.

$$D = \frac{X-\mu}{\sigma} \tag{8}$$

Där D är det nya standardiserade datasetet, $X \in \mathbb{R}^{10}$ är det ursprungliga datasetet, $\mu \in \mathbb{R}^{10}$ är medelvärdet och $\sigma > 0$ är standardavvikelsen. Standardisering enligt denna ekvation var möjlig eftersom datan saknar trend och medelvärdet är konstant för hela datasetet.
Principalkomponenterna togs fram i form av nya baser och variansen för dessa plottades för att studera vikten av de olika komponenterna. Genom att undersöka variansen kunde sedan antalet visualiseringsdimensioner reduceras. Detta gjordes genom att endast plotta de dimensioner som innehöll en betydande mängd information. Detta möjliggjorde visuell undersökning av den flerdimensionella datan. För lättare kunna urskilja olika beteenden i datan skedde viss uttunning innan den visualiserades. Detta innebar att endast en viss andel av de mätvärden som frekvent förekom i datapunkter inkluderades.

5.3.4 Prediktion

I slutändan användes flera olika metoder och modeller för att prediktera framtida värden av koldioxid. I samtliga fall användes estimeringsdatan för att hitta modellerna vilka sedan användes för att prediktera framtida värden av koldioxidhalter. Genom att jämföra de predikterade koldioxidhalterna $\hat{y}(t)$ med valideringsdatan $y(t)$ utvärderades sedan prediktionerna. Denna utvärdering gjordes med *mean squared error* (MSE). MSE-värdena användes sedan för att jämföra de olika modellerna med varandra.

För att kunna validera modellerna ytterligare jämfördes även erhållna resultat med resultaten från en trivial prediktor. I denna triviala metod predikterades det framtida värdet genom att anta att koldioxidhalten låg kvar på samma nivåer som i tidssteget innan enligt ekvation 9.

$$\hat{y}(t) = y(t-1) \tag{9}$$

Den första prediktionsmodellen som togs fram för att jämföras med den triviala prediktorn var en AR-modell. Det finns mer komplicerade prediktionsmodeller men AR-modellen, som enbart tar hänsyn till tidigare historiska värden på utsignalen $y(t)$, valdes enligt principen *try simple things first.* Även denna metod kräver att datans medelvärde är noll, vilket innebar att det första steget var att medelvärdet subtraherades från mätpunkterna innan modellen togs fram. Modellen bestämdes med hjälp av Pythons bibliotek *statsmodels,* men för att kunna anpassa predikteringen till omständigheterna för denna uppsats gjordes vissa egna modifieringar. Flera olika globala

AR-modeller av olika ordningar togs fram för att hitta en modell med hög prestanda. Att modellerna är globala innebär att de är estimerade på och giltig för samtlig data. Utifrån dessa modeller predikterades sedan koldioxidhalten ett steg framåt i tiden. Skillnaden mellan värdet som uppmätts av sensorerna och värdet från predikteringen användes för att beräkna MSE för de olika modellerna vilket sedan jämfördes med MSE från den triviala predikteringen.

Prediktion gjordes även med hjälp av en metod som kombinerade AR-modeller och *K*-means. *K*-means utfördes med hjälp av Pythons bibliotek *sklearn.* Först delades datan in i olika kluster med *K*-means och därefter togs en specifik, lokal, AR-modell fram för varje enskilt kluster. Att modellerna är lokala innebär att de är estimerade på och giltiga för endast en viss del av datan. Klusternas AR-modeller hittades med hjälp av linjär regression. I denna metod användes den statiska datan och AR-modellens ordning valdes till en lägre än datapunkternas dimensioner. Detta eftersom den sista dimensionen användes för att validera det predikterade värdet. Innebörden av detta är att prediktion även i detta fall sker ett tidssteg framåt i tiden vilket möjliggör jämförelse med de resultat som tidigare erhållits. De datapunkter i valideringsdatan som skulle predikteras parades ihop med närmsta kluster. Detta gjordes genom att beräkna avstånden till varje klusters centroid och välja det kluster vars centroid låg närmast. Därefter predikterades det framtida koldioxidvärdet med det närmsta klustrets lokala AR-modell. Motiveringen bakom detta var att eftersom datapunkter med liknande egenskaper hamnar i samma kluster kan dessa predikteras med en modell som anpassats efter dessa specifika egenskaper. Metoden upprepades med olika antal kluster för att hitta den indelning som gav bäst MSE. Resultaten från denna metod jämfördes sedan med de MSE-värden som erhållits med den triviala metoden samt med de tidigare, globala, AR-modellerna.

Förutom att användas i den kombinerade metoden ovan användes *K*-means även som prediktor. För denna metod användes den statiska datan, med modifieringen att valideringsdatan var indelad med en fönsterstorlek dubbelt så stor som fönsterstorleken för estimeringsdatan. I metoden delades först estimeringsdatan in i olika kluster med hjälp av *K*-means och därefter predikterades framtida värden med hjälp av klusternas centroider. Datapunkterna i valideringsdatan delades upp i två olika delar. Den första halvan användes för att hitta vilket kluster datapunkten tillhörde gjorde detta genom att hitta vilken centroid den låg närmast. Denna centroid användes sedan för att prediktera de framtida värdena, enligt ekvation 10 på följande sida.

$$[\hat{y}(t+1), \hat{y}(t+2), \ldots, \hat{y}(t+f)] = [c_1, c_2, \ldots, c_f] \tag{10}$$

där f är fönstrets storlek och c_i är ett dimensionsvärde i centroiden framtagen med *K*-means. Denna metod är alltså den enda i studien som predikterar mer än ett värde in i framtiden, närmare bestämt lika många värden som datapunkten, och centroiden, har dimensioner. Andra halvan av datapunkten användes sedan för att beräkna MSE för att utvärdera prediktionen. Metoden upprepades med olika antal kluster för att genom en *elblow plot* kunna hitta den bästa klusterindelningen.

6. Kartläggning av smarta byggnader

Följande kapitel är en redovisning samt analys och diskussion av det resultat som framkommit under arbetet med kartläggningen. Avsnitt 6.1 beskriver olika drivkrafter till att vilja göra en byggnad smart. I avsnittet därefter, 6.2, presenteras dagens marknadsläge och några exempel av hur olika aktörer arbetar inom området. I avsnitt 6.3 redovisas olika trender och utmaningar som framkommit under intervjustudien och i sista delen, avsnitt 6.4, görs ett försök till att definiera vad en smart byggnad faktiskt är. Kapitlet är skrivet ur samma perspektiv som undersökningen är gjord på, alltså ur en fastighetsförvaltares perspektiv. Av sekretesskäl nämns inga specifika aktörer vid namn, i de fall *aktör* nämns syftar detta på de intervjuade aktörerna, vilket innefattar fastighetsförvaltare, fastighetsägare samt de leverantörer som levererar lösningar till fastighetsägarna. *Kunder* syftar på fastighetsförvaltarens kunder, alltså de som hyr lokalerna.

6.1 Drivkrafter

Vid analys av det insamlade materialet visar det sig finnas många olika anledningar till att vilja göra en byggnad smart. Energieffektivisering är en drivkraft som återkommit under flera intervjuer och som tycks spela stor roll till varför en fastighetsägare vill införa mer avancerad teknik i sina byggnader. Genom att erhålla större kunskap om energianvändningen kan mer informerade beslut tas. Denna kunskap kan dessutom användas för att optimera styrsystemen för att spara energi. Genom att effektivisera användningen av energi i kontorslokalerna kan även stora ekonomiska besparingar göras vilket ytterligare är en anledning till varför vissa väljer att investera i den typen av lösningar. En annan motivering som framkom i intervjuerna var att vissa företag styrs av miljö- och energipolitiska mål, och ser teknik som ett sätt att nå dessa mål. Att installera smart teknik i byggnader för att energieffektivisera sparar alltså både ekonomiska tillgångar och naturresurser.

En annan drivkraft som syftar till att effektivisera resursanvändningen och som framkommit i studien är viljan att optimera platsanvändningen i kontorslokalerna. Det handlar om att använda platser på ett effektivt sätt och att minska lokalkostnader. För ett företag där alla anställda inte sitter hela arbetsdagen vid sina skrivbord skulle detta skulle exempelvis kunna handla om att sluta med tilldelade platser, minska på totala antalet platser och hjälpa de anställda att hitta en ledig plats genom att kartlägga vilka platser som används.

Ytterligare en drivkraft handlar om en vilja att arbeta med så kallat prediktivt underhåll (*predictive maintenance)*. Detta innebär att dagens metoder byts ut. Idag utförs underhåll genom rutinkontroller för att undersöka byggnadens underhållsbehov. Arbetet med rutinkontroller skulle kunna bytas ut mot sensorer som mäter status på olika system och ett program som notifierar fastighetsskötaren när underhåll snart behövs. Detta skulle spara både tid och resurser eftersom underhåll kan utföras vid behov istället för på ett rullande schema. Exempelvis skulle

vattenflödet i ett avloppsrör kunna mätas och då flödet är tillräckligt långsamt ger systemet en notis om att underhåll och rensning behövs.

Viljan hos fastighetsförvaltarna att öka trivseln hos de företag som hyr kontorslokalerna har också uppgetts som drivkraft. Ett sätt att göra detta är att mäta temperatur och koldioxidnivåer på kontoren för att hålla dem på optimala nivåer. Detta för att göra anställda nöjdare i form av högre komfort och genom detta uppnå högre produktivitet på kontoret. En del aktörer pratar även om att vilja införa personlig anpassning där personalen som vistas i lokalen själva i en app kan mata in vilken temperatur de föredrar. Genom att spåra rörelse eller utläsa var personen kommer befinna sig från deras kalender kan sedan temperaturen i konferensrum sättas till personens önskade temperatur redan innan denne hunnit fram.

Det finns bevisligen många olika anledningar till varför en fastighetsförvaltare ser anledningar till att investera i smarta byggnader. Det bör även nämnas att många ser det som viktigt att hänga med i utvecklingen och inte halka efter andra aktörer i denna fråga, och att detta i sig är en drivkraft till att vilja utvecklas inom området.

6.2 Marknaden idag

Beroende på vilken aktör som tillfrågas presenteras olika typer av smarta lösningar och olika beskrivningar av arbete med smarta byggnader. Detta bekräftar Wilhelmssons (2019) påstående att det finns många byggnader som kan påstås vara smarta, och att spektrumet av begreppet smarta byggnader är mycket bred. Hur arbete med smarta byggnader ser ut beror alltså på vilken aktör som tillfrågas och vilka förutsättningar denne arbetar under. Exempelvis har tidsperspektivet vilket aktören arbetar under visat sig viktigt. En aktör som arbetar utefter ett långsiktigt tidsperspektiv på flera år uppger att de arbetar med att skala upp de smarta lösningarna till hela stadsdelar. Detta långsiktiga perspektiv underlättar för dem att ingå i partnerskap och deras arbete sker därför mycket i kontakt med andra företag och kommunen för att driva arbetet vidare. Företag med krav på snabbare avkastning uppger att de snarare arbetar med kortsiktiga projekt, exempelvis att öka kundnöjdhet hos nuvarande hyresgäster. Förutom tidsperspektivet har också beståndets sammansättning stor inverkan på hur aktörer arbetar med smarta byggnader. Aktörer med ett homogent bestånd som inte ändras så mycket över tid är mer benägna att investera i lösningar som innebär installering av ny teknik eftersom de kommer att gynnas av den långsiktiga avkastningen och kan implementera liknande lösningar i flera av byggnaderna. Medan aktörer med ett heterogent bestånd å andra sidan kräver mer unika lösningar, om beståndet även byts ut med jämna mellanrum bli svårt att hitta en lösning som kan skalas upp.

Gemensamt för samtliga aktörer är att de alla ser människan som en kritisk del av arbetet med att göra byggnader smarta. Detta då hon påverkar systemet fysiskt genom att bland annat andas ut koldioxid, avge värme och sätter normer för vad hon förväntar sig av arbetsmiljön. Exempelvis

anser många medarbetare att resursbesparing och effektiv användning av energi är viktigt, men alla är inte villiga att sätta på sig två tjocktröjor om de ska sitta på kontoret en kall vinterdag. Arbetet mot en smartare byggnad ser olika ut beroende på om byggnaden ska optimeras utifrån användarnas bekvämlighet eller ur miljösynpunkt. Om målet är en bekväm och produktiv miljö för de anställda tillåts ett litet spann på exempelvis acceptabla inomhustemperaturer. En liten acceptans för svängande temperatur medför högre energianvändning för att kunna hålla systemet inom acceptabla gränser och det är svårt att uppnå båda målen samtidigt. Det uppstår en situation som kräver prioritering mellan faktorerna miljö och bekvämlighet, och diskussionen om vilken av dessa som bör prioriteras framkommer som viktig för vissa aktörer. En annan aspekt relaterad till människan som framkommit under intervjuerna är att personers åsikt om vad som utgör en bra kontorsmiljö ändras med tiden. En byggnad som idag anpassas för användaren kanske blir omodern när normen för kontorslokaler ändras. Detta belyser vikten av att en smart kontorsbyggnad måste vara flexibel och kunna modifieras.

Som tidigare nämnt är arbetet på marknaden diversifierat och aktörer prioriterar olika saker området. Detta skulle kunna vara en bidragande faktor till att smarta byggnader fortfarande kan ses som ett framtidsmål snarare än en verklighet. Cardins beskrivning av den intelligenta byggnaden som “one which has fully automated building service control systems” är idag ännu inte uppnått. Vid jämförelse med mer moderna definitioner som exempelvis “en facilitet som använder avancerad automation och integration för att mäta, övervaka, kontrollera och optimera byggnadens verksamhet” finns det däremot exempel som kommer nära. Byggnader med många och avancerade smarta lösningar är dock en raritet, och det finns enbart ett fåtal sådana i Sverige. Vid närmare undersökning visar det sig dessutom att de smarta implementationerna i vissa fall inte kommit lika långt i realiteten som kan uppfattas vid första anblick. I kartläggningen framkom exempelvis att något kan säljas in som artificiell intelligens (AI) trots att lösningen kanske egentligen bygger på en ganska simpel analys. Trots bristen på kompletta smarta byggnader finns idag många mindre lösningar på marknaden. I intervjustudien framkom exempelvis att en aktör har implementerat smarta hissar som optimerar användningen och därigenom sparar energi. En annan undersöker beläggningen av kontorsplatser genom rörelsedetektorer under skrivborden. Som ett tredje exempel finns aktörer som arbetar med att samordna all sin data på en gemensam digital plattform. I och med detta kan de tidigare isolerade systemen kopplas ihop och optimeras tillsammans. En aktör uppger att de arbetar med en lösning för att individanpassa upplevelsen för användarna genom att införa ett system som spårar personerna i byggnaden. Genom detta kan kollegor i ett öppet landskap hitta varandra i en app och genom att undersöka rörelsen på kontoret kan företaget få kunskap om hur de olika konferensrummen används. Ytterligare exempel som framkommit under studien är att ersätta behovet av passerkort och lampknappar med en app i mobilen samt att anpassa temperaturen i konferensrummet till individens preferens. Listan på smarta lösningar kan således göras lång.

Trots att arbetet med att implementera smarta lösningar i kontorsbyggnader är i full gång finns det idag en hel del frågetecken hos aktörerna om hur processen att göra en byggnad smartare bör se ut. Dessutom är det inte klart vilken nyttograd arbetet faktiskt har. Det finns bland annat osäkerhet om vilka områden som bör arbetas med först, vad som behöver göras och på vilket sätt detta bör göras. Något som aktörerna som intervjuats är eniga om är en stor vilja att installera sensorer och dra nytta av insamlad data. Det finns dock bristande kunskap om hur många sensorer som bör sättas upp och hur dessa ska sitta för att erhålla en tillräckligt heltäckande bild för dataanalys. I vissa fall är det yttre faktorer som styr hur många sensorer som sätts upp, exempelvis miljöcertifieringar. Som tidigare nämnt placeras sensorerna i dessa fall ibland för glest för att kunna göra en kunskapsrik kartläggning av öppna kontorslandskap. Detta, i kombination med att fastighetsförvaltare tenderar att överventilera för att inte riskera att hamna över gränsen för godtagbara koldioxidnivåer gör det svårt att utveckla lösningar som optimerar ventilation. En annan utmaning utgörs av svårigheten med att skala upp existerande lösningar, alltså att gå från att implementera en lösning i ett konferensrum till ett helt våningsplan eller från en byggnad till hela beståndet. Speciellt vid ägande av olika byggnadstyper då dessa heterogena byggnadsbestånd kräver flera olika unika lösningar. Det innebär stora investeringsskillnader på att göra *en* byggnad "mycket" smart och att införa smarta lösningar på *hela* beståndet.

6.3 Pågående trender och utmaningar

Utöver dagens lösningar och arbete har intervjuerna belyst trender och utmaningar som formar de diskussioner som pågår inom branschen och dess framtid. Dessa diskussioner pågår mellan aktörer; både innanför och utanför affärer samt på gemensamma plattformar. En av dessa plattformar är det Vinnovafinansierade projektet *Fastighetsdatalabbet*. Fastighetsdatalabbet syftar till att etablera en nationell plattform för delning av fastighetsdata mellan olika aktörer i branschen (Vinnova, 2019). Projektet startades i december 2019 och kommer att pågå till slutet av 2021. Detta projekt speglar många av de pågående diskussionerna om data. Inom projektet diskuteras bland annat hur data bör struktureras, vem som ska äga data och vem som ska få ha tillgång till den.

En standardisering av hur data bör struktureras skulle kunna förenkla arbetet för många aktörer. I dagsläget finns stor variation i vilken data som samlas in och hur den lagras. Detta påverkar aktörer som levererar lösningar eftersom varje lösning måste specialanpassas enligt rådande omständigheter. Om det fanns en standard över hur data ska struktureras skulle exempelvis samtliga sensorer som samlar in data om koldioxidhalter i kontorslokaler lagra denna på samma sätt. I sådant fall skulle en mjukvaruaktör kunna analysera denna data och leverera en plug-and-play lösning som alltid fungerar. Ska lösningen dessutom ta hänsyn till flera av byggnadens system ökar komplexiteten ytterligare. Bristen på standardisering får även konsekvenser för fastighetsförvaltare och fastighetsägare som då i större utsträckning drar sig för att investera i lösningar eftersom varje anpassning driver upp storleken på projektet och därmed tidsåtgången och priset. För att data ska lagras och gå att nå på ett enhetligt sätt krävs följaktligen någon form

av standardisering. Standardisering kan vara svårt att uppnå, speciellt i en bransch där det finns mycket spårberoende och gamla system. Ett av de mest framträdande förslagen på lösning på standardiseringsproblematiken är domänontologin RealEstateCore (REC) som syftar till att skapa en brygga mellan de strukturer som redan används. För att möjliggöra detta läggs ytterligare ett lager av abstraktion in mellan datan och databehandlingen. Arbetet med att driva fram en standardisering är än så länge i ett tidigt stadium och drivs hittills av de enskilda aktörerna inom branschen. Det finns inget statligt regelverk för hur strukturen bör se ut eftersom tekniken fortfarande är relativt ung.

Ytterligare en pågående trend som framkommit i intervjuer är diskussionen kring ägande och delande av data. Fastighetsdatalabbet hoppas på att kunna bidra till en ökning av delad data inom branschen då detta anses gynna innovation. För att en leverantör ska kunna utveckla en lösning som bygger på exempelvis maskininlärningsalgoritmer behöver de data att träna dessa på. Att ha en öppen eller delad databank med data fri att använda till detta ändamålet skulle kunna leda till fler lösningar på marknaden. Detta öppnar upp diskussioner kring om data borde vara öppen, alltså tillgänglig för allmänheten, eller delad med specifika grupper. Dessutom uppkommer frågan om ett företag som bygger sin affärsmodell kring andras data borde ersätta dessa dataproducenter för användningen av deras data. Samtidigt skulle delande av data kunna leda till en ökad nivå av samverkan och samarbete i branschen.

Under intervjustudien framkom att då tekniken utvecklas snabbare än samhällets lagar och regler skapas utmaningar inom många områden, och så även smarta byggnader. Aktörer menade på att lagar och regler har en bromsande effekt då de i vissa fall måste ändras för att möjliggöra förändringar och nya lösningar. Det är en svår uppgift att hitta en balans mellan att möjliggöra teknikens utveckling och att låta den mogna till ett stabilt tillstånd innan lagar och regelverk ändras. Sverige har exempelvis lagar kring hur olika byggnader och fastigheter får dela energi mellan sig. Detta lyftes som en utmaning för de aktörer som vill röra sig mot en smart stad med flera mindre lokala producenter i elnätet. I dagsläget får en byggnad som producerar exempelvis solel inte dela den med valda närliggande byggnader vid överskott ifall de inte är sammankopplade med en fysisk byggnadskonstruktion. Alternativen är istället att sälja elen till det allmänna nätet eller låta den gå till spillo. Det framkom under intervjuerna att det finns exempel då underjordstunnlar har byggts för att uppfylla kraven om att vara fysiskt sammankopplade och därigenom kunna dela energi mellan byggnader.

Flera av aktörerna tog upp delande av energi mellan byggnader som en av de primära funktionerna i en smart stad, och vissa menade på att de såg sitt arbete som ett sätt att driva på förändringen av lagar och regler. Av de intervjuade aktörerna är det främst de som arbetar med energilösningar, eller har ett väldigt tätt beläget bestånd som funderar mest på uppskalning av smarta byggnader till smarta städer och vilka lösningar som kan komma att implementeras. De

aktörer som är mindre aktiva i dessa diskussioner funderar ändå på vilken roll deras byggnader kan komma att spela i den smarta staden och hur de kan möjliggöra inkoppling.

En utmaning som följer med vid lagring av data är frågan om hur lagringen sker i relation till dataskyddsförordningen (GDPR). I dagsläget är det få aktörer som samlar in och lagar personlig data. Dock pågår diskussioner om att kunna anpassa lokaler efter specifika individers önskemål genom att samla in, lagra och analysera data kring deras beteendemönster. Ju närmare olika lösningar kommer individanpassning desto mer relevant blir dataskyddsförordningen att ta hänsyn till.

Under studiens gång har det även uppdagats en vilja att följa digitaliseringstrenden. Det är fortfarande oklart hur en smart byggnad bör se ut, vilka lösningar som kan vara gynnsamma och vilken teknik som kommer att krävas i framtiden. Trots detta finns många aktörer som tycker att smarta byggnader är ett intressant område som de gärna vill kunna säga att de arbetar med. Denna vilja kan i vissa fall leda till att aktörer implementerar tekniska lösningar för att kunna hänga med i utvecklingen snarare än att lösa ett visst problem eller förbättra en process, alltså digitalisering för digitaliseringens skull. I vissa fall kan detta vara positivt, det ger exempelvis aktören en möjlighet att utforska nya möjligheter och lära sig någonting. Det kan dock också leda till ett resursslöseri om lösningen som implementeras inte är den som behövs.

En av de utmaningar som under intervjustudien framträdde tydligt är att byggnadssystem traditionellt sett kan liknas med proprietära stuprör. För att verkligen kunna optimera en byggnad behöver en lösning ta hänsyn till alla dess system, eftersom de i flera fall antingen samverkar eller motverkar varandra. Detta visar sig vara svårt att göra när varje system är fristående samtidigt som det saknas en kommunikationsstandard. Varje system blir ett enskilt stuprör som det verkar inom och utmaningen blir att bygga en så kallad hängränna mellan dem. På så sätt kan systemen kommunicera med varandra och styras från en central kontrollstation. Att få system att samverka försvåras ytterligare av de inlåsningar som finns i branschen. De system som krävs för att förvalta en byggnad är ofta stora, komplexa och dyra. När en investering och installering väl har gjorts är det osannolikt att det byts ut innan det är nödvändigt. Detta innebär ett behov av att hitta ett sätt att få systemen att samverka utan att vidare installation behöver göras, vilket har visat sig vara en stor utmaning. På grund av detta har det uppkommit ett behov av större kunskap inom gränslandet fastigheter och dataanalys, vilket de intervjuade aktörerna uttrycker som viktig kompetens för framtiden.

6.4 En smart definition

Den bild som framkommit vid inläsningen av litteratur är att det inte finns någon enhetlig bild av vad en smart byggnad är. Denna bild stämmer bra överens med de svar som erhållits under intervjustudien och kan ses som det mest framträdande resultatet av marknadsundersökningen. Olika aktörer har olika bilder av vad som klassas som en smart byggnad. Vissa anser att analys

och optimering av ett mindre system i byggnaden är tillräckligt för att byggnaden ska innefattas i definitionen. Andra menar på att byggnaden inte är smart förrän alla system är inkorporerade i en helhetslösning och byggnaden är redo att ingå i den smarta staden. Begreppet smarta byggnader kan därför anses sakna en enhetlig definition. Dessa resultat tyder därför också på att det ännu inte finns någon dominant design på marknaden. Vi anser att marknaden skulle gynnas av en dominant design, då detta skulle kunna möjliggöra fler plug-and-play lösningar vilket marknaden efterfrågar. Sådana lösningar skulle kunna öka effektiviteten i implementeringen och det skulle kunna innebära en större ekonomisk avkastning. Eftersom tekniken ännu ej har mognat till en dominant design befinner den sig alltså på ett tidigare stadium i innovationscykeln där lösningarna fortfarande har stor variation och är mer ekonomiskt krävande. En svårighet i utvecklingen av dominant design är att olika aktörer vill lösa olika problem med tekniken och därför dras utvecklingen åt olika håll.

Samtliga aktörer uttrycker i intervjuerna att det inte är tekniken som är smart, utan snarare användningen av tekniken. Detta går i linje med Pirals tidiga resonemang om intelligenta byggnader från 1984 då han påstod att "the buildings are not intelligent, the people who design them are" (Piral, 1984). En byggnad uppfattas inte som smart bara för att det finns en stor mängd installerad teknik i form av sensorer eller optimeringssystem. Denna teknik måste också användas på ett smart sätt. Det står inte heller klart hur avancerad, komplex, automatiserad eller smart användningen behöver vara för att byggnaden ska klassas som smart. Den installerade tekniken kan användas för att få insikter om byggnaden och dess användning. Dessa insikter kan sedan användas för att optimera förvaltningen, antingen manuellt av en person eller automatiskt av algoritmer som analyserar sensordata och återkopplar till styrsystemen. I vissa fall kan lärdomar dras bara genom att titta på data i en kurva med blotta ögat. I andra fall krävs en algoritm för att hitta större samband i datan som inte är synlig för en människa. De flesta är oavsett överens om att viss mängd installerade sensorer, optimeringssystem och/eller strömmande analys krävs för att en byggnad ska få klassas som smart, och dessutom tillkommer kravet på smart användning för att överhuvudtaget kunna prata om en smart byggnad. Följaktligen är installering av avancerad teknik inte tillräckligt för att göra en byggnad smart, utan människor bör föra resonemang kring vad de vill uppnå och varför tekniken behövs för att uppnå de målen.

Utöver detta anser vi att krav även bör ställas på byggnadens och teknikens säkerhet och hållbarhet för att den ska anses vara smart. Att digitalisera en hel förvaltningsprocess utan ett säkert IT-system kan få ödesdigra konsekvenser. Exempelvis om simpla funktioner som ljus och värme inte skulle gå att styra på grund av ett intrång i systemen. Hållbarhetstänket behöver genomsyra inte bara vilka lösningar som utvecklas och implementeras utan också hur de fungerar och vilka resurser de använder. Sensorer innehåller exempelvis ädelmetaller och kräver underhåll. Därför är det inte nödvändigtvis en hållbar lösning att installera hur många som helst

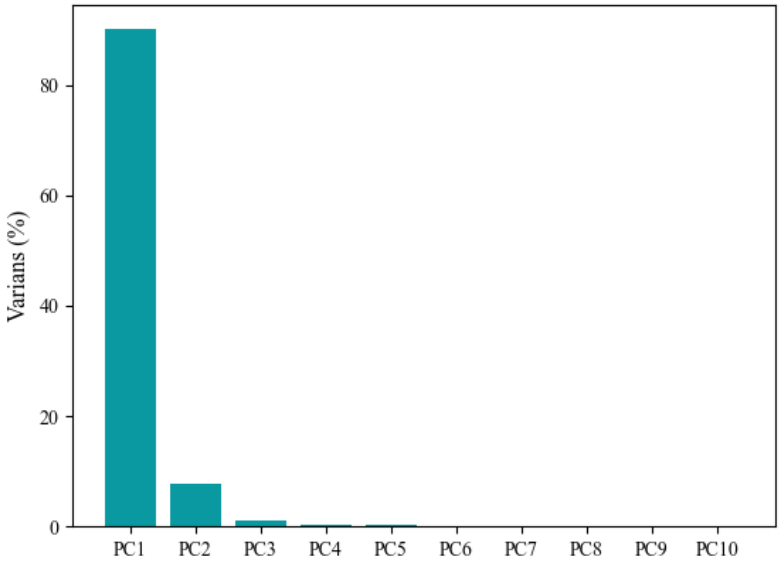
för att på ett mer precist sätt kunna reglera ventilationen. De investerade råvarorna och ökade resursförbrukningen behöver vägas mot lösningens nyttograd och effekt.

7. Resultat av dataanalys

I detta kapitel presenteras resultatet från projektets dataanalys och prediktering. I avsnitt 6.1 ges vidare inblick i datan genom PCA analysen. Avsnitt 6.2 innehåller resultaten från prediktering med globala AR-modeller och avsnitt 6.3 innehåller resultaten från prediktionen med flera lokala AR-modeller framtagna med hjälp av *K*-means. Slutligen presenteras i 6.4 resultaten från prediktionen med endast *K*-means.

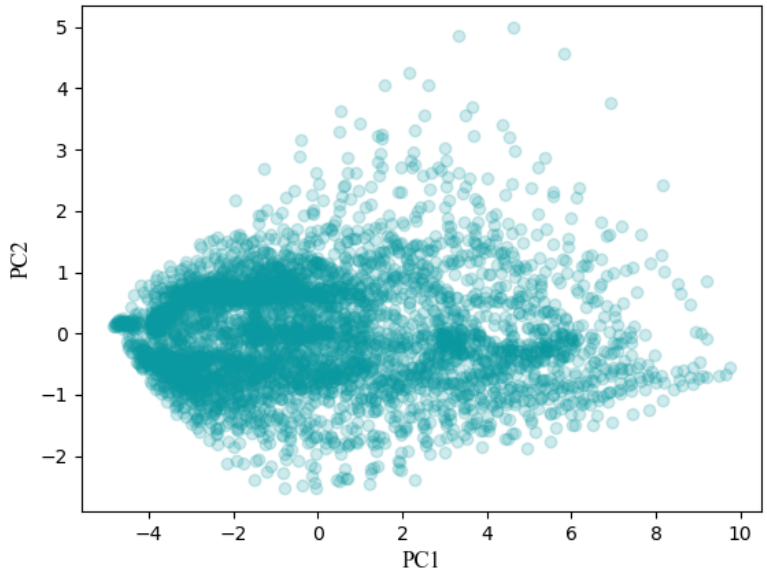
7.1 PCA

Det första steget i dataanalysen var att göra en explorativ undersökning av datasetet med hjälp av PCA. Efter att den kontinuerliga tidsseriedatan hade omvandlats till ett statiskt dataset genomfördes denna analys. Genom PCA hittades nya dimensioner att visualisera datan i, så kallade principalkomponenter (PC). Genom att göra detta basbyte kunde sedan de dimensioner som visar minst andel av den totala variansen i datan uteslutas från visualiseringen. I figur 3 nedan visas hur stor del av den totala variansen som beskrivs av varje principalkomponent .



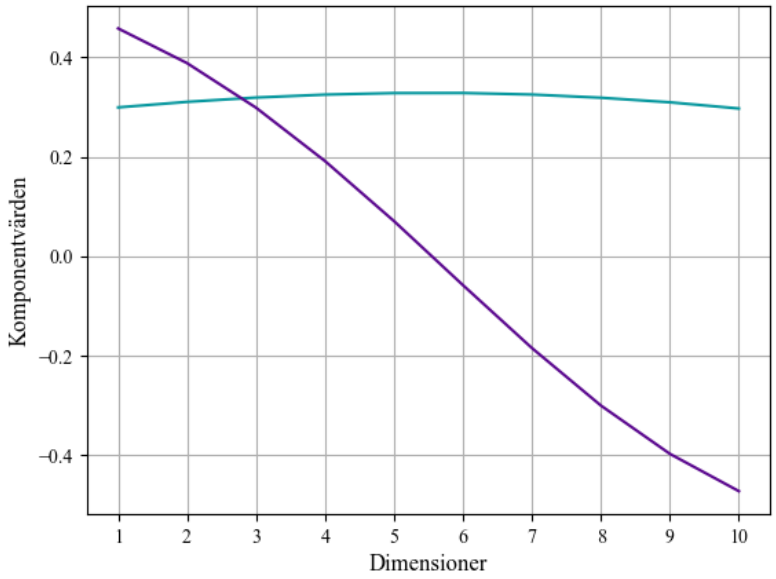
Figur 3. Visar delen av den totala variansen som representeras av varje principalkomponent.

Från figur 3 kan tydas att i två dimensioner (PC1 och PC2) behålls hela 98% av spridningen i datan. För att visa näst intill all spridning i datan räcker det därför att göra PCA-visualisering i dessa två dimensioner. Noteras bör att antalet dimensioner i detta fall inte reducerades, utan att visualiseringen bygger på de två dimensioner som bäst beskriver datan. Figur 4 på följande sida är en visualisering i dessa två dimensioner.



Figur 4. Det statiska datasetet visualiserat i de nya baserna PC1 och PC2

För att få insikt i vad de nya baserna representerar visas dess komponentvärden i samtliga tio dimensioner i figur 5 nedan.



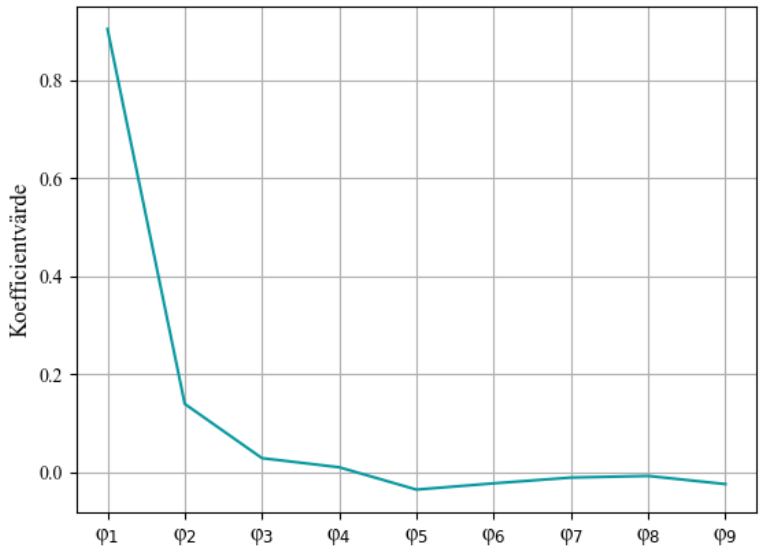
Figur 5. Komponentvärden för de båda principalkomponenterna. Den blåa linjen representerar PC1 och den lila linjen PC2

Ur figur 5 kan det utläsas att PC1 skulle kunna tolkas som en representation av datapunktens medelvärde och PC2 som datapunktens lutning. Figur 4 illustrerar att datan inte är grupperad och

därför inte visar på något naturligt klusterbeteende. Denna information pekar på att enbart en klusteranalys förmodligen inte skulle var den bästa analysmetoden att använda för att analysera just detta dataset. Arbetet med prediktionen inleddes därför istället med att använda AR-modeller.

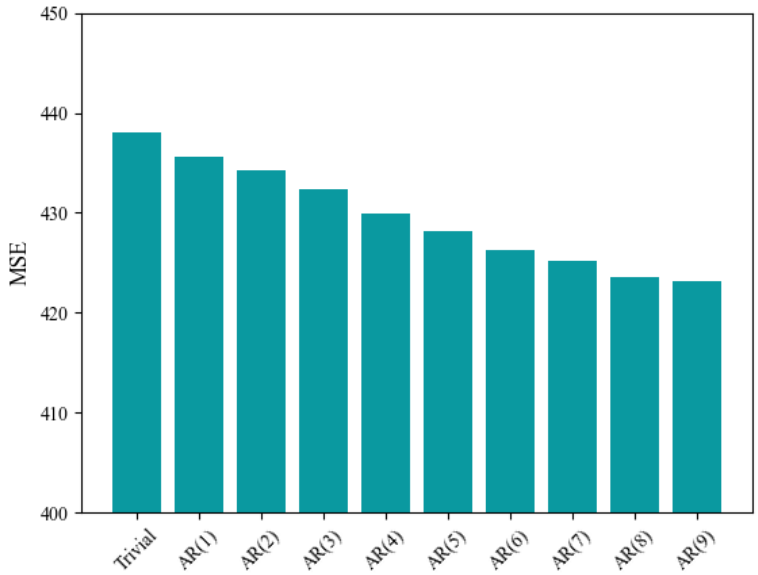
7.2 AR

I denna del beskrivs resultaten då den kontinuerliga tidsseriedatan användes för att hitta AR-modeller av olika ordning. Dessa används sedan för att prediktera framtida värden av koldioxidhalter. Analysen gjordes genom att hitta globala AR-modeller upp till ordning nio. Det visade sig att samtliga AR-modeller erhöll mycket liknande, fast olika många, modellparametrar. Följande figur 6 illustrerar de olika parametrarna, eller koefficienterna, för AR(9)-modellen.



Figur 6. Impulssvar innehållande koefficientvärden φ_i för AR(9)-modellen

I figur 6 kan tydligt ses hur värdet på den första koefficienten är strax under ett, andra ligger en bit över noll och att resterande runt noll. Detta betyder att modellen tar stor hänsyn till värdet på koldioxidhalten som ligger tidssteget närmast tillbaka i tiden. Ju längre tillbaka i tiden det historiska värdet ligger, desto mindre hänsyn tas till värdet. Predikteringarna från samtliga AR-modeller evalueras med jämförelse av deras MSE-värden. För bättre evaluering jämförs dessa även med MSE-värdet för den triviala modellen. I figur 7 på följande sida visualiseras MSE-värdet för den triviala predikteringen samt de olika AR-modellerna med ökande ordning.

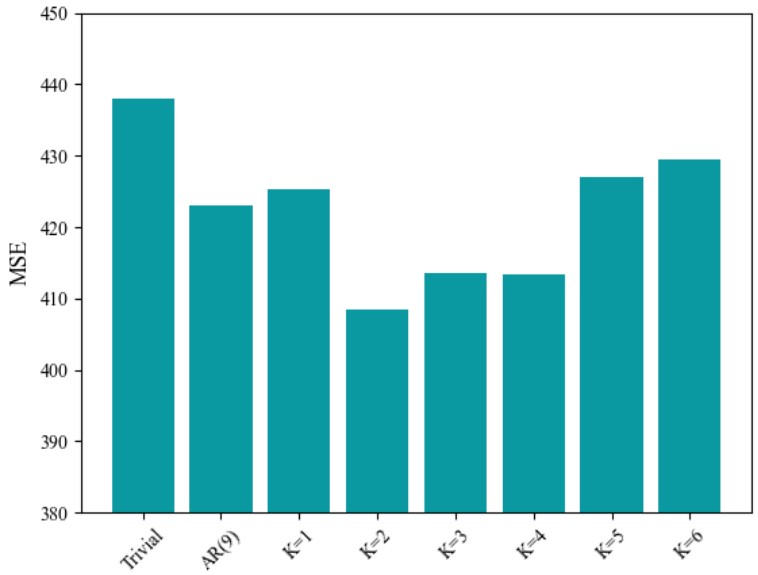


Figur 7. Visar MSE-värden för de olika modellerna. Dels för den triviala och dels för globala AR(p)-modeller med order p från ett till nio.

I jämförelsen med den triviala prediktionen ser vi att AR-modellerna presterar bättre, men med ganska liten marginal. Storleksordningen på MSE är i detta fall mindre relevant då det här endast används som ett mått för jämförelse. För att ytterligare förbättra resultaten gjordes även en utökning av metoden till att kombinera AR-modeller och *K*-means.

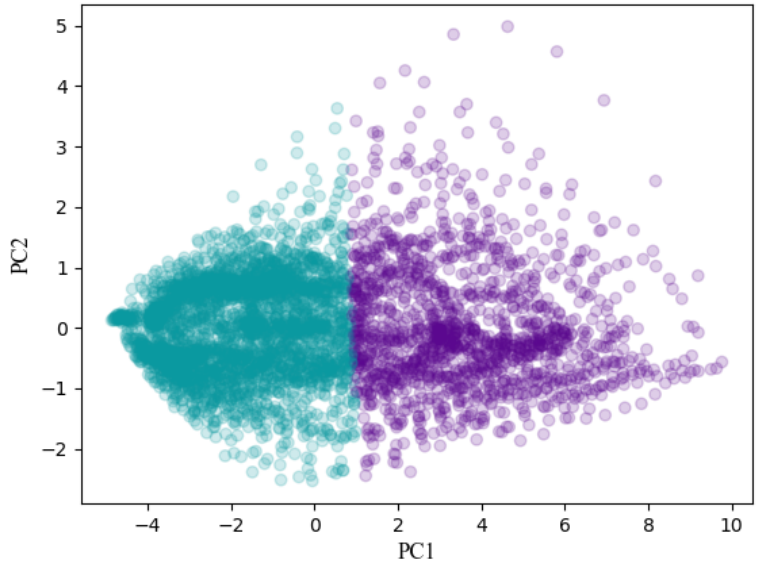
7.3 Flera AR modeller med hjälp av *K*-means

I denna del presenteras resultaten då datan hade delats in i olika kluster med tillhörande lokala AR(9)-modeller som användes för att prediktera framtida värden på koldioxidhalter. I figur 8 på följande sida visas MSE-värden för den triviala predikteringen, den ursprungliga, globala, AR(9)-modellen samt metoden som kombinerar flera olika lokala AR(9)-modeller med hjälp av *K*-means.



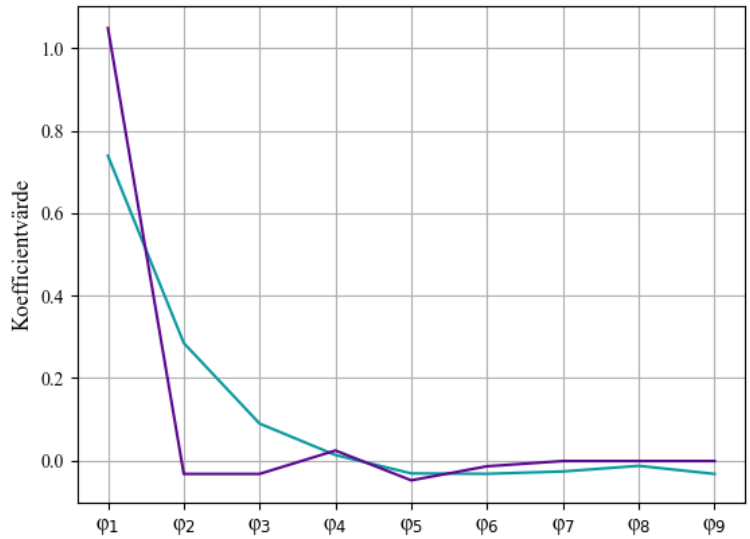
Figur 8. Visar MSE-värden för de olika modellerna. Dels för den triviala modellen, dels för en global AR(9)-modell och dels då den statiska datan delas in i olika många kluster k, och vart och ett av dessa kluster tilldelas en lokal AR(9)modell.

I figur 8 illustreras att MSE-värdet för den globala AR(9)-modellen samt MSE-värdet för AR(9)-modell då K=1 är mycket lika. Detta resultat är väntat eftersom prediktering sker med enbart en AR(9)-modell i båda fallen. Att resultatet av dessa MSE-värden inte är exakt samma kan förklaras med att i ena fallet används den kontinuerliga tidsseriedatan, och i det andra används det omgjorda statiska datasetet. Detta innebär att olika metoder har använts för att estimera koefficienterna vilket har resulterat i en liten skillnad. I figuren går det tydligt att se att lägst MSE-värde erhålls då K=2, alltså att datan indelas i två kluster. För att förstå vilken data som predikteras med de olika lokala AR(9)-modellerna kan PCA-visualiseringen färgkodas i enlighet med de olika klustrerna. Eftersom lägst MSE erhållits då datan delats in i två olika kluster visualiseras detta fall som ett exempel i figur 9 på följande sida.



Figur 9. Visar det statiska datasetet då det blivit indelat i 2 kluster (K=2) med hjälp av K-means.

Som tidigare nämnt kan PC1-axeln anses representera datapunkternas medelvärde och PC2-axeln datapunktens lutning. Denna figur kan därför förklaras genom att punkter med låga koldioxidhalter finns i vänstra halvan och punkter med höga halter finns i högra. Det blåa klustret representerar och predikterar alltså låg aktivitet i konferensrummet och det lila representerar hög aktivitet. I figur 10 nedan kan impulssvaren som innehåller koefficienterna för de två AR-modellerna utläsas, de blåa impulssvaret motsvarar det blåa klustret och det lila impulssvaret motsvarar det lila klustret.



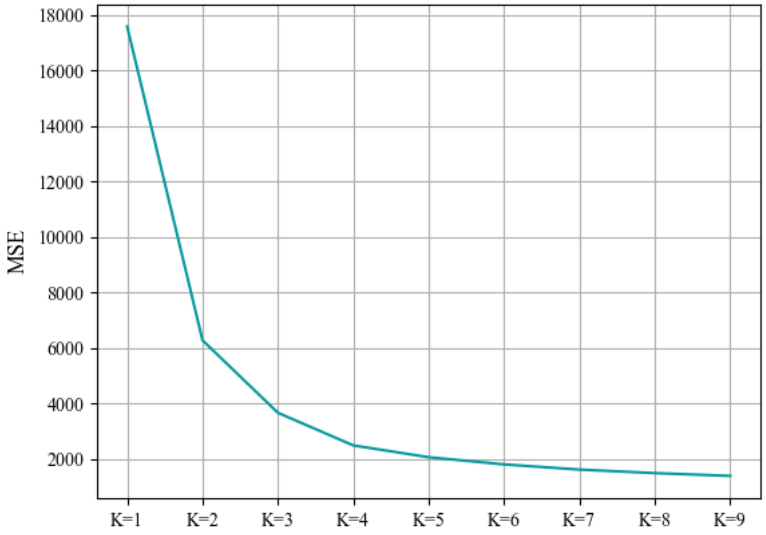
Figur 10. Impulssvar innehållande koefficientvärdena φ_i för de två lokala AR(9)-modellerna

I denna figur kan utläsas att implussvaren för de båda AR-modellerna har liknande utseende. Impulssvaret för AR-modellen som predikterar värden med hög aktivitet i konferensrummet (det lila) har ett högre första värde och sedan samtliga följande värden nära noll. Detta betyder att tidsteget närmast tillbaka i tiden har stor betydelse och de tidssteg innan dess har liten betydelse i prediktionen. Koefficienterna kopplade till den andra modellen har ett mer dalande beteende vilket betyder att denna modell tar större hänsyn till värden från tidssteg längre tillbaka i tiden.

Trots att PCA resultatet tydde på att *K*-means kanske inte är den mest passande metoden för att analysera datan i detta projekt utfördes detta ändå denna analys som ett komplement till analysen ovan samt för ge större förståelse för tidigare resultat.

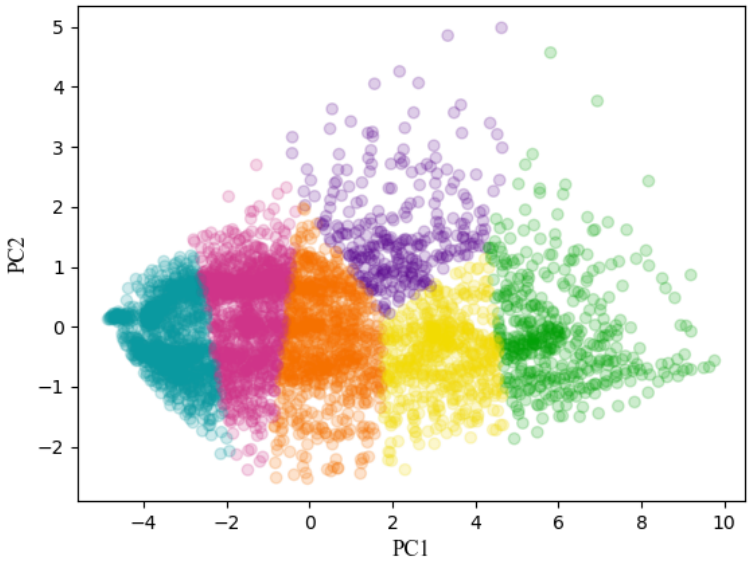
7.4 Prediktering med *K*-means

I denna del presenteras resultaten från prediktering, utan AR-modeller, med endast *K*-means. Denna metod är den enda som predikterar flera värden in i framtiden, lika många som fönsterstorleken, vilket skulle kunna göra den mycket användbar. Följande figur 11 visar resultatet från *elbow method* med MSE-värden för predikteringar för olika antal kluster.



Figur 11. Elbow plot över K-means prediktering

I figuren ovan syns att MSE-värdet slutar sjunka drastiskt då fyra kluster används. Vilket antal kluster som bör användas är dock inte helt tydligt i denna kurva eftersom MSE-värdet avtar successivt och att det inte finns en tydlig armbåge. För att få större insikt i hur klustrena är fördelade då antalet kluster ökar visualiseras datan då *K*=6. Detta återfinns i figur 12 på följande sida.



Figur 12. Visar datan med färgkodning för klusterindelning då K=6

8. Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultaten från pilotprojektet och studiens utmaningar och tillförlitlighet. I avsnitt 8.1 utvärderas resultaten av prediktionen och i avsnitt 8.2 presenteras de utmaningar som funnits under studien. Därefter diskuteras studiens tillförlitlighet i avsnitt 8.3 och slutligen i avsnitt 8.4 ges förslag på framtida forskningsområden som upptäckts under studiens gång.

8.1 Utvärdering av prediktionen

Resultatet pekar på att högre ordning hos AR-modellerna genererar lägre MSE-värden. Dock kan det konstateras att samtliga koefficienter förutom den första är så pass små att deras inverkan på prediktionen kan ifrågasättas. Då två olika AR-modeller används genom att dela in datan i två nya set med hjälp av *K*-means kan ännu lägre MSE-värden uppnås. Detta tyder på att en icke-linjär metod skulle kunna vara att föredra framför en linjär.

I jämförelsen av MSE anser vi att prediktorn med de två AR-modellerna inte presterar tillräckligt mycket bättre än den triviala prediktionen för att motivera implementation av en sådan lösning. En lösning av sådan komplexitet kräver resurser i form av sensorer, datalagring och beräkningsresurser vilket kräver energi samt naturresurser vilket måste vägas mot energin den skulle kunna spara jämfört med en simplare modell.

Trots att PCA analysen pekade på att *K*-means inte var den mest passande prediktorn på egen hand testades metoden vilket ökade förståelsen för metoden som kombinerar AR-modellering och *K*-means. I figur 10 ser vi inte den drastiska minskningen som förväntas vid användande av *elbow method*. Istället avtar kurvan gradvis efter K=2 vilket är en indikator på att datan inte uppvisar klusterbeteende och att *K*-means som metod för analys eventuellt inte är den mest passande. Misstanken visade sig vara sann vid visualiseringen av klusterna i figur 11. I denna figur blir det tydligt hur svårt *K*-means har att hitta meningsfulla indelningar i datan. Det bör också noteras att detta är den enda metoden som predikterar värden för flera olika tidssteg. Detta påverkar MSE-värdet vilket gör att ingen direkt jämförelse kan göras mellan dessa MSE-värden och MSE-värdena från de andra metoderna. Dock bör påpekas att om datasetet hade haft klusterbeteende, och *K*-means hade gett givande prediktioner finns det en poäng i att använda metoder som kan prediktera flera värden framåt i tiden för ännu bättre framförhållning.

Denna studie har också pekat på vikten att vara medveten om hur MSE kan användas för utvärdering. Ett lågt MSE-värde erhålls lätt genom att många punkter i valideringsdatan är “enkla” att prediktera, i vårt fall korresponderar detta med platt data, alltså att konferensrummet står tomt. Att först träna modellerna på platt data och sedan utvärdera prediktorerna på liknande data leder till lägre MSE än det mer intressanta fallet då data med stor variation studeras. Det viktigaste är därför att inte stirra sig blind på enskilda MSE-värden utan jämförelsen mellan dem.

Den misstänkta anledningen till att MSE inte sjunker ytterligare när fler än två modeller läggs till är för att *K*-means får svårt att hitta fler icke-triviala indelningar av datan, något som vi förutsåg skulle hända.

Resultatet visar på att det finns ett värde i att analysera data, även om datan inte är insamlad för detta ändamål. PCA gav exempelvis insikter i datan som annars hade varit svåra att dra. Ur visualiseringen av datan i de nya dimensionerna kan exempelvis karaktären i aktiviteten som pågår i konferensrummet utläsas. Utifrån detta kan sedan slutsatser dras, exempelvis om företaget behöver fler eller färre konferensrum. Resultatet visar också att existerande analysmodeller, vid vidare utveckling, har god chans att vara applicerbara inom området smarta byggnader. Trots att prestationen hos de modeller som använts i denna studie inte till fullo motiverar deras implementation har de gett bättre resultat än den triviala predikteringen. Om dessa modeller skulle vidareutvecklas och förfinas skulle ännu mer precisa predikteringar kunna göras. Dessutom visar studiens kartläggning på att koldioxidprediktering i kontorsfastigheter är ett område som många är intresserade av, vilket ytterligare motiverar vidareutveckling. I kartläggningen framkom det bland annat att energieffektivisering och ökad trivsel är två av de främsta drivkrafterna inom marknaden samt att flera aktörer är så pass intresserade av koldioxid att de redan mäter det. Detta visar på att konceptet skulle vara relevant att utveckla vidare.

8.2 Utmaningar

Det har blivit tydligt i både kartläggningen samt under insamlingen av data att datahantering fortfarande är en stor utmaning för området smarta byggnader. Speciellt när det kommer till det existerande beståndet. Aktörer har i intervjuer uttryckt att det ibland är utmanande att avgöra vilken data som borde samlas in, hur tätt sensorerna bör placeras och hur ofta mätningarna bör göras. Dessutom finns viss osäkerhet i hur datan bör lagras, hur den ska struktureras och hur den ska tillgängliggöras. Om datainsamlingen inte är gjord på ett strukturerat sätt kan det uppstå problem vid användandet av datan, speciellt om den inte är insamlad med detta syfte. Om det dessutom inte finns en tydlig plan för hur datan ska användas när den samlas in är det lätt att den tappas bort och inte lagras på ett överskådligt, lättåtkomligt sätt.

Denna studie har i viss utsträckning formats av pågående COVID-19 pandemi. För det första blev samtlig data insamlad efter den 16 mars ej intressanta att analysera, eftersom att Folkhälsomyndigheten vid denna tidpunkt rekommenderade personer att arbeta hemifrån. Även data insamlad strax innan detta blev mindre intressant då personer redan tidigare började vistas mindre på kontoret. Till slut upphörde insamlingen av data helt då ingen var på plats för att byta batterier i sensorerna. Detta ledde till att datasetet blev något mindre än planerat men framförallt ledde det till att ingen realtidsanalys var möjlig att genomföra, vilket var den ursprungliga tanken.

För det andra fick flera av de planerade intervjuerna genomföras som telefonintervjuer istället för som besöksintervjuer. Att intervjua över telefon kan i vissa fall leda till att den intervjuade inte utvecklar sina svar lika mycket som de kanske annars skulle gjort eller att det var svårare att förstå vad den menade. Eftersom telefonintervjuer är en mer tidseffektiv metod kunde dock fler aktörer intervjuas än vad som först var planerat och en bredare uppfattning av området kunde bildas.

8.3 Tillförlitlighet

Det bör nämnas att eftersom detta är en kvalitativ undersökning har fokus legat på att djupintervjua ett fåtal aktörer. Det finns det så klart andra aktörer på marknaden med andra åsikter och arbetssätt. Detta gör att en heltäckande generell bild av läget är svår att erhålla. Ytterligare bör tilläggas att det perspektiv som valts kan ha påverkat resultatet av studien. Andra perspektiv hade kunnat ge andra svar, exempelvis hade definitionen av en smart byggnad kunnat bli annorlunda om användarvänlighet och den upplevda smartheten hade undersökts istället.

Angående datan i pilotprojektet bör noteras att det finns en möjlighet att mätfel kan förekomma. Datan undersöktes därför noggrant innan den användes för analys, dock finns en risk att inkorrekta mätvärden kan förekomma i datasetet. Detta tros inte påverka resultaten nämnvärt eftersom syftet var att undersöka hur väl de olika modellerna presterade och på grund av detta har enskilda mätvärden inte större inverkan på resultatet.

Angående valet av dataanalysmodeller användes metoden *try simple things first* och vilket ledde till användning av AR. Det är oklart huruvida mer avancerade analysmetoder av liknande typ hade gett bättre resultat. Dessutom skulle även valideringen av modellerna kunnat gjorts på annat sätt, exempelvis genom att studera autokorrelationen mellan residualerna för att se om modellen beskriver verkligheten tillräckligt väl. Denna metod fungerar bra för att validera en enskild modell och hade kunnat ge vidare insikt i de specifika AR-modellerna, men eftersom detta projekt snarare syftade till att jämföra olika modeller ansågs istället validering genom MSE-värden mer passande.

8.4 Vidare forskning

På många sätt känns det som att vi i denna studie bara skrapat på ytan av hur prediktion på tidsseriedata över koldioxidhalter i konferensrum skulle kunna se ut. Därför presenteras här olika förslag på hur metoden för att analysera datan skulle kunna utvecklas.

Flera av de aktörer som mäter koldioxidhalter i sina konferensrum gör också någon form av binär mätning av rörelse i rummet. Dessa mätvärden skulle kunna modelleras som en insignal till en utökad variant av AR-modellen, en så kallad ARX-modell. Detta skulle kunna bidra till att avgöra om mer information leder till bättre predikteringar.

En annan intressant undersökning skulle vara att använda flera lokala AR-modeller på data indelad av någon annan metod än *K*-means. Eftersom *K*-means tenderar att producera kluster som är ungefär lika stora blir det svårt att identifiera de beteenden i datan som är intressanta och väldefinierade men underrepresenterade. Exempel på sådana beteenden är höga och branta toppar, vilka förmodligen är de delar som skulle skilja sig mest modelleringsmässigt. Att göra denna data mer framträdande i modelleringen genom att sålla i datan är svårt att utvärdera eftersom MSE inte är jämförbart när modellerna tränas och/eller utvärderas på olika dataset. Som nämnt ovan är föränderlig data mer svårpredikterad och leder därför ofta naturligt till högre MSE.

9. Slutsatser

Byggnader är en essentiell del av vårt moderna liv. För att en hållbar framtid ska vara möjlig måste byggnader, både nya och befintliga, bli hållbara. En byggnad är ett väldigt komplext system. De innehåller dels flera olika typer av reglersystem som sällan är sammankopplade för samverkan, dels interagerar de med, och påverkas av, människorna som befinner sig i dem och dessutom karaktäriseras de av hög grad av spårberoende. Smarta byggnader har potential till att lösa många problem, men det är långt kvar. I denna rapport har området smarta byggnader undersökts tillsammans med arbetet med tekniska lösningar inom fastighetsbranschen. Detta uppnås genom utförandet av två olika undersökningar. En kartläggning av begreppet smarta byggnader och ett pilotprojekt som utvärderar hur existerande analysmodeller kan appliceras på redan insamlad fastighetsdata för att göra byggnaden smartare.

De frågor som besvaras för kartläggningen lyder *Vad driver olika aktörer till att göra byggnader smarta?, Hur ser marknaden ut idag* samt *Vad är en smart byggnad?* Det som framkommit är att det finns många drivkrafter för detta arbete. De kanske mest framträdande utgörs av resursbesparing av olika slag samt att öka kundnöjdheten bland de företag som hyr lokalerna i byggnaden. Marknaden är idag oenig om en definition på smarta byggnader och många olika typer av lösningar har uppenbarats. Det som vi anser borde finnas med i en definition av en smart byggnad kan sammanfattas med fyra olika områden. Byggnaden måste innehålla någon form av *teknik,* dessutom krävs det *smart användning* av tekniken. För att en byggnad ska vara smart krävs *säkerhet* från yttre dataintrång och dessutom är det viktigt att reflektera om byggnadens och teknikens *hållbarhet.*

Slutsatser som kan dras från pilotprojektet tyder framförallt på två saker. För det första visar analysen på hur data kan visualiseras för att erhålla större kunskap om passande dataanalysmetoder. För det andra visar den på hur den linjär AR-modeller skulle kunna användas för icke-linjär modellering. Bättre prediktering erhålls vid användning av de mer avancerade metoderna. Trots detta kan ifrågasättas om resultaten är tillräckligt bra för att kunna motivera användningen av dessa modeller. Det bör dock noteras att pilotprojektet visar på att existerande analysmetoder går att applicera på data som inte är insamlad med detta syfte. Dessutom visar kartläggningen på att prediktering av koldioxidhalter kan vara ett givande område eftersom många aktörer redan samlar in denna data. En effektiv metod för prediktering av denna data skulle därför möjliggöra både energieffektivisering och förbättring av inomhusklimatet, vilket är något som efterfrågas på marknaden.

Referenser

Källförteckning litteratur

Abdi, H. & Williams, L.J. 2010, "Principal component analysis", Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, vol. 2, no. 4, pp. 433-459.

Anderson. P and Tushman M., 1990, “Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change,” Administrative Science Quarterly 35, pp. 604–34.

Albino, V., Berardi, U. & Dangelico, R.M. 2015, "Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives", *Journal of Urban Technology*, vol. 22, no. 1, pp. 3-21.

ASF 2009:2 Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd om arbetsplatsens utformning. Stockholm: Arbetsmiljöverket

BFS 2011:6 Boverkets byggregler. Stockholm: Boverket

Boverket, 2019, *Underlag till den tredje nationella strategin för energieffektiviserande renovering.* Boverkets rapport: 2019:26, Energimyndigheten: 2019:13, Tillgänglig: https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2019/underlag-till-den-tredje-nationella-strategin-for-energieffektiviserande-renovering.pdf

Clements-Croome, D. 2013, *Intelligent buildings: design, management and operation,* Second edn, ICE Publishing, London.

Dalen, M. 2015, *Intervju som metod,* 2., utök. uppl. edn, Gleerups utbildning, Malmö.

Dincer, I., Colpan, C.O. & Kizilkan O. 2018, *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions,* Academic Press, London; San Diego, CA

Engie, 2019, *The Smart Building eBook.* Facilities Show 2019. Tillgänglig: http://attend.ubm-events.com/Top10_Smart_Buildings_Ebook Hämtad: 2020-03-03

Eriksson, L. T. & Wiedersheim-Paul, F. 2014, *Att utreda, forska och rapportera,* 10. uppl. edn, Liber, Stockholm.

Granath, M. 2018. *Ett smart uppkopplat samhälle* [online] UR Samtiden

Hastie, T., Tibshirani, R. & Friedman, J.H. 2009, The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction, 2nd edn, Springer, New York, NY.

Kroner, W. 1997, “An intelligent and responsive architecture”, *Automation in Construction,* vol 6, no. 5-6, pp. 381-393

Ljung, L. & Glad, T. 2004, Modellbygge och simulering, 2., [utvidgade och modifierade] uppl. edn, Studentlitteratur, Lund.

Magnusson, E. & Marecek, J. 2015, Doing interview-based qualitative research: a learner's guide, Cambridge University Press, Cambridge.

Pal, A. & Prakash, P.K.S. 2017, Practical Time Series Analysis, 1st edn, Packt Publishing, Limited, Birmingham.

Persson, A. 2002, *Energianvändning i bebyggelsen.* IVA Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademin: Eskilstuna

Schilling, M.A. 2015, Strategic management of technological innovation, Sixth, international student edn, McGraw Hill Education, New York, NY.

SFS 1970:994. Jordabalken. Stockholm: Justitiedepartimentet

SFS 2010:900. Plan och bygglag. Stockholm: Finansdepartimentet

Sinopoli, J. 2010, *Smart building systems for architects, owners, and builders,* Elsevier/Butterworth-Heinemann, Amsterdam;Boston

Strauss, A.L. & Corbin, J. 1990, *Basics of qualitative research: grounded theory procedures and techniques*, Sage, Newbury Park, Calif.

Schwarz, C., Schwarz, C., Ackert, P., Ackert, P., Mauermann, R. & Mauermann, R. 2018, Principal component analysis and singular value decomposition used for a numerical sensitivity analysis of a complex drawn part, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 94, no. 5, pp. 2255-2265.

Talon, C., Nicholson, R. & Jaffe, S. 2011, *IDC MarketScape: Worldwide Smart Building Energy Analytics 2011 Vendor Assessment.* IDC Energy Insights.

Trost, J. 2010, *Kvalitativa intervjuer,* 4, [omarb.] uppl. edn, Studentlitteratur, Lund.

Wong, J.K.W, Li, H. & Wang, S.W. 2005, “Intelligent Building Research: a review”, *Automation in Construction,* vol 14, no. 1, pp. 143-159

Källförteckning internetkällor

Arbetsförmedlingen, 2020, *Fastighetsförvaltare,* Tillgänglig: https://arbetsformedlingen.se/for-arbetssokande/yrken-och-studier/hitta-yrken/yrkesgrupper/1143 Hämtad: 2020-04-24

Arbetsmiljöverket, 2018, *Allmänventilation.* Tillgänglig: https://www.av.se/inomhusmiljo/luft-och-ventilation/allmanventilation/ Hämtad: 2020-04-24

Digitaliseringsrådet, 2020, *Sveriges digitalisering*. Tillgänglig: https://digitaliseringsradet.se/sveriges-digitalisering/ Hämtad: 2020-04-27

Globala målen, 2020, *11 - Hållbara städer och samhällen.* Tillgänglig: https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-11-hallbara-stader-och-samhallen/ Hämtad: 2020-05-19

Nordomatic, 2020, *Förbättra direktavkastningen och miljön.* Tillgänglig: https://nordomatic.com/se/fastighetsautomation/ecopilot/ Hämtad: 2020-04-29

Piral, F. 1984, Wiring buildings for intelligence. *New York Times,* 13 maj, Tillgänglig: https://www.nytimes.com/1984/05/13/realestate/wiring-buildings-for-intelligence.html Hämtad: 2020-02-23

Power2U, 2020, *FlexPower.* Tillgänglig: https://www.power2u.se/produkter/flexpower Hämtad: 2020-04-29

Soplop, J. 2015, *A Roadmap to Intelligent Buildings*. Tillgänglig: https://www.phoenixet.com/download-white-paper-a-roadmap-to-intelligent-buildings Hämtad: 2020-06-10

Svanen, 2020, *Svanenmärkta hus.* Tillgänglig: https://www.svanen.se/hus/ Hämtad: 2020-06-10

Sweden Green Building Council, 2020a, *Miljöbyggnad - 3.1 Manual, ny byggnad.* Tillgänglig: https://www.sgbc.se/app/uploads/2020/04/Milj%C3%B6byggnad-3.1-Ny-byggnad.pdf. Hämtad: 2020-04-27

Sweden Green Building Council, 2020b, *Statistik.* Tillgänglig: https://www.sgbc.se/statistik/. Hämtad: 2020-04-27

Sweden Green Building Council, 2020c, *Kurser om hälsa och välbefinnande i byggnader.* Tillgänglig: https://www.sgbc.se/utbildning/kurser-om-halsa-och-valbefinnande-i-byggnader/ Hämtad: 2020-04-28

Vattenfall, 2020, *Smarta elnät.* Tillgänglig: https://www.vattenfalleldistribution.se/vart-arbete/smarta-elnat/ Hämtad:2020-05-07

Vinnova, 2019, *Fastighetsdatalabbet*. Tillgänglig: https://www.vinnova.se/p/fastighetsdatalabbet/. Hämtad: 2020-05-24

Yanzi, 2020, *Smart buildings.* Tillgänglig: https://www.yanzi.se/smart-buildings/ Hämtad: 2020-04-29

Wilhelmsson, M. 2019, *Värdering av "smarta byggnader",* Tillgänglig: https://www.liveinlab.kth.se/nyheter/kronikan/vardering-av-smarta-byggnader-1.894953 Hämtad: 2020-03-02

Appendix I: Intervjuade aktörer

Aktör	Datum	Längd på intervju
Privat fastighetsförvaltare	13 februari 2020	30 min
Privat fastighetsförvaltare	17 februari 2020	60 min
Privat fastighetsförvaltare	11 mars 2020	80 min
Leverantör av smarta lösningar, väletablerat bolag	16 mars 2020	50 min
Forskare inom smarta städer	17 mars 2020	30 min
Leverantör av smarta lösningar, start-up	17 mars 2020	40 min
Fastighetsförvaltare inom allmännyttan	19 mars 2020	40 min