Examensarbete inom Teknik

Grundnivå, 15 hp

Industrialisering av AI i fastighetssektorn

Abboud Gawria

KTH Industrial Engineering and Management

Bachelor of Science Thesis EGI-2024

TRITA-ITM-EX 2024:203

Industrialization of AI in the Real Estate sector

Abboud Gawria

Examiner	Supervisors
Per Lundqvist	Jonas Anund Vogel & Per Lundqvist

Abstract

This report explores the industrialization of artificial intelligence (AI) within the real estate sector to enhance operational optimization, energy efficiency, and business opportunities. The focus is on the use of standardized ontologies such as BrickSchema and RealEstateCore, and graph databases to facilitate effective AI integration.

The methodology involves a systematic literature review and qualitative interviews with key industry stakeholders. A specific case study of AI implementation in HVAC systems in school buildings in Stockholm is included to demonstrate practical applications and results.

Findings indicate that AI can significantly improve building operations through optimized energy use and enhanced fault detection. The study highlights the importance of standardized ontologies and graph databases for achieving efficient and scalable AI implementation in the real estate sector. Additionally, the transition to cloud-based solutions is emphasized for greater flexibility and scalability. The conclusion is that AI holds substantial potential to revolutionize property management by increasing energy efficiency, reducing costs, and enhancing user experience. Standardized ontologies and graph databases are crucial for successful AI deployment. However, achieving full potential requires increased openness and collaboration among sector stakeholders, as well as careful management of security and privacy concerns as more cloud-based solutions are adopted.

Keywords: *Artificial Intelligence (AI), Real Estate Sector, Energy Efficiency, Building Management Systems (BMS), Standardized Ontologies, Graph Database*

Kandidatexamensarbete EGI-2024

TRITA-ITM-EX 2024:203

Industrialisering av AI i fastighetssektor

KTH Industrial Engineering and Management

Abboud Gawria

Examinator	Handledare
Per Lundqvist	Jonas Anund Vogel & Per Lundqvist

Sammanfattning

Denna rapport undersöker industrialiseringen av artificiell intelligens (AI) inom fastighetssektorn för att förbättra driftoptimering, energieffektivitet och affärsmöjligheter. Fokus ligger på användningen av standardiserade ontologier som BrickSchema och RealEstateCore samt grafdatabaser för att möjliggöra en effektiv AI-integration.

Metoden innefattar en systematisk litteraturstudie och kvalitativa intervjuer med nyckelpersoner inom fastighetssektorn. En specifik fallstudie av AI-implementering i VVS-system i skolbyggnader i Stockholm används för att illustrera praktiska tillämpningar och resultat.

Resultaten visar att AI kan avsevärt förbättra byggnadsdriften genom optimerad energianvändning och förbättrad felupptäckt. Studien understryker vikten av standardiserade ontologier och grafdatabaser för att uppnå en effektiv och skalbar AI-implementation inom fastighetssektorn. Vidare framhävs att övergången till molnbaserade lösningar kan erbjuda större flexibilitet och skalbarhet. Slutsatsen är att AI har stor potential att revolutionera fastighetsförvaltningen genom att öka energieffektiviteten, minska kostnaderna och förbättra användarupplevelsen. Standardiserade ontologier och grafdatabaser är avgörande för en framgångsrik AI-implementation. För att uppnå full potential krävs dock en ökad öppenhet och samarbete mellan olika aktörer inom sektorn, samt att säkerhets- och integritetsaspekter hanteras noggrant i takt med att fler molnbaserade lösningar införs.

Nyckelord: *Artificiell Intelligens (AI), Fastighetssektorn, Energieffektivitet, Byggnadsstyrsystem (BMS), Standardiserade Ontologier, Grafdatabas*

Förord

Detta Kandidatexamensarbete har utförts vid Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) och har fått stöd från Dig-IT Lab:s samarbetspartners SISAB och Schneider Electric. Jag vill uttrycka mitt djupa tack till följande personer som deltog i mina intervjuer och delade med sig av sin värdefulla kunskap och erfarenhet:

- Mats Carlqvist (Skolfastigheter i Stockholm AB (SISAB))
- Roger Larsson (Schneider Electric)
- Marcus Gilbert (Schneider Electric)

Jag vill också tacka mina handledare, Per Lundqvist och Jonas Anund Vogel, för deras vägledning och stöd under arbetets gång.

Innehållsförteckning

1 Inledning **2**
1.1 Bakgrund 2
1.2 Problemformulering 3
1.3 Syfte 3
1.4 Frågeställningar 3
1.5 Avgränsningar 3
1.6 Disposition 4
2 Litteraturstudie **5**
2.1 Smarta Byggnader 5
2.2 Building Information Modeling (BIM) 5
2.3 Building Management System (BMS) 6
2.4 Digital Tvilling teknologi i fastighetssektorn 7
2.4.1 Digitala tvillingar i fastigheter 7
2.5 Grafdatabaser 7
2.6 Ontologier 8
2.7 BrickSchema och RealEstateCore Onotologier 9
2.8 Artificiell intelligens (AI) och Machine Learning (ML) 9
2.9 BIM, Digital-Tvilling, BMS 10
3. Fallstudie **12**
3.1 Fas I: Onboarding 12
3.2 Fas II: AI-inlärning 13
3.3 Fas III: AI-kontroll 13
3.4 Projektets utfall 13
4. Metod **14**
4.1 Systematisk litteraturstudie 14
4.2 Intervju med företag 14
4.3 Respondenterna 15
4.4 Intervjuer 15
5. Resultat **16**
5.1 AIs driftoptimering i fastighetssektorn idag 16
5.2 AI implementering utan standardiserade ontologier eller grafdatabaser 17
5.3 AI implementering med standariserade Ontologier eller grafdatabaser 18
5.3.1 Förbättrad resonemangsförmåga 18
5.3.2 Högre datakvalitet och integration 18

5.3.3 Skalbarhet och anpassningsbarhet 19
5.4 Hur digitalisering och industrialisering av AI förändrar spelplanen 19
6. Analys och Diskussion **22**
6.1 Aktuella läget för AIs driftoptimering samt dess potential 22
6.2 Standardiserade ontologier och grafdatabaser är en del av industrialiseringen av AI 23
6.3 Förändringar i aktörsrelationer och affärsmöjligheter med industrialiseringen av AI 24
6.4 Studiens begränsningar och framtida arbete 25
7. Slutsats **27**
Referenslista **28**
Bilaga A - Intervjuguide **34**

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Fastighetssektorn, som är en grundpelare i den globala ekonomin, har länge kämpat med att integrera digitala lösningar (Roland Berger, 2015). Detta trots att dessa teknologier revolutionerat andra industrier genom att effektivisera processer och förbättra användarupplevelser. Fördröjningen i adoption av digitalisering inom fastighetssektorn framhäver ett tydligt behov av innovativa tillvägagångssätt för att hantera dagens utmaningar.

Byggnader står för ungefär 40 % av världens koldioxidutsläpp (Architecture 2030, 2017), vilket understryker ett akut behov av hållbara metoder inom sektorn. Ytterligare komplexitet tillförs av det faktum att upp till 30 % av energin i byggnader går förlorad på grund av ineffektiva system och processer (Internationella energiorganet, 2020). Dessutom tillbringar människor omkring 90 % av sin tid inomhus, vilket gör kvaliteten och effektiviteten i dessa miljöer kritisk för både hälsa och produktivitet (Världshälsoorganisationen, 2021).

Mot denna bakgrund erbjuder digitaliseringen av fastighetssektorn betydande möjligheter för transformation. Genom integrering av avancerade teknologier såsom artificiell intelligens (AI), maskininlärning (ML), Building Information Modeling (BIM), grafdatabaser, digitala tvillingar och standardiserade ontologier som RealEstateCore och BrickSchema, kan sektorn förbättras avsevärt. Dessa teknologier innebär bättre underhållstrategier och optimerad energianvändning, vilket höjer inomhusmiljöns kvalitet samt minskar energislöseriet och koldioxidutsläppen.

BIM spelar en central roll i detta sammanhang genom att möjliggöra digital representation och hantering av byggnaders fysiska och funktionella egenskaper, vilket förbättrar samarbetet mellan alla intressenter genom bygg- och drifts skeden (Eastman et al., 2011). Digitala tvillingar kompletterar BIM genom att erbjuda detaljerade virtuella modeller av fysiska byggnader, vilket underlättar mer exakt övervakning och förvaltning (Boschert och Rosen, 2016). Kombinationen av dessa teknologier med AI och ML förstärker förmågan att utföra prediktivt underhåll och energioptimering, vilket leder till smartare beslutsprocesser baserade på realtidsdata och prognoser.

Ontologier som RealEstateCore och BrickSchema samt grafdatabaser är särskilt viktiga för att skapa ett enhetligt språk och datastruktur, vilket möjliggör effektivare dataintegration och -hantering (Robinson et al., 2013; Balaji et al., 2016). Dessa teknologier stärker fastighetsbranschens förmåga att analysera stora datamängder från olika källor, vilket är avgörande för att optimera drift och underhåll samt för att genomföra energieffektiva åtgärder.

1.2 Problemformulering

Fastighetssektorn står inför stora utmaningar med att effektivisera drift och minska miljöpåverkan. Trots potentialen hos AI, är dess kapacitet inom sektorn fortfarande i sin startfas (Chauhan, 2024). För att fullt ut dra nytta av AI krävs en bredare och mer strukturerad användning, det vill säga en industrialisering av teknologin.

Denna rapport undersöker dagens kapacitet för AI driftoptimering inom fastighetssektorn och hur standardiserade ontologier som BrickSchema och RealEstateCore samt grafdatabaser kan stödja denna utveckling. Rapporten utforskar även hur industrialisering av AI kan förändra relationer och affärsmöjligheter inom fastighetssektorn. Genom att möjliggöra nya samarbetsformer och tjänster kan AI bidra till att omforma affärsmodeller, vilket leder till en mer effektiv, hållbar och lönsam fastighetssektor.

1.3 Syfte

Syftet är att utforska samt analysera potentialen och tillämpningen av artificiell intelligens (AI) för driftoptimering inom fastighetssektorn. Studien syftar till att kartlägga det aktuella läget för AI i denna bransch, särskilt i termer av hur AI kan förbättra driftseffektiviteten. Arbetet kommer även att undersöka huruvida införandet av standardiserade ontologier som RealEstateCore och BrickSchema samt användningen av grafdatabaser är nödvändiga för att framgångsrikt industrialisera AI inom sektorn. Vidare kommer det att belysas hur dessa teknologier och standarder kan påverka affärsrelationer samt medföra nya affärsmöjligheter inom fastighetssektorn.

1.4 Frågeställningar

- Vad är det aktuella läget för driftoptimering genom AI?
- Hur kan AI bidra till att förbättra drifteffektiviteten i fastighetssektorn?
- Är ontologier som RealEstateCore och BrickSchema ontologier samt grafdatabaser nödvändiga för att industrialisera AI i fastighetssektorn?
- Förändras relationerna och affärsmöjligheterna i branschen till följd av industrialiseringen av AI?

1.5 Avgränsningar

Denna rapport är begränsad till att undersöka fastighetssektorn i Sverige, med fokus på användningen av standardiserade ontologier, BrickSchema och RealEstateCore samt

grafdatabaser. Rapportens applikationsområde är specifikt inriktat på driftoptimering av fastighetssystem (BMS) med hjälp av AI, och andra potentiella användningsområden för AI inom fastighetssektorn inkluderas inte.

1.6 Disposition

Denna rapport är strukturerad för att förmedla en tydlig och sammanhängande översikt över hur AI och digitala lösningar kan transformera fastighetssektorn.

Inledningsvis ges en introduktion som beskriver bakgrunden och problemställningen, vilket ger en grundläggande förståelse för sektorns utmaningar och möjligheter. Därefter följer en teoridel som utforskar viktiga koncept och teknologier såsom smarta byggnader, BIM, BMS, digitala tvillingar, grafdatabaser samt standardiserade ontologier som RealEstateCore och BrickSchema.

Teoridelen följs med en fallstudie baserad på ett verkligt projekt i Stockholm, som illustrerar praktiska tillämpningar av AI för att optimera driften av fastighetssystem.

Metod delen beskriver tillvägagångssättet för hur data samlats in och datainsamlingen presenteras därefter i resultatavsnittet. Med hjälp av resultaten diskuteras sedan det aktuella läget för AI, vikten av standardisering och dess påverkan på affärsmöjligheter. Avslutningsvis presenteras slutsatserna från arbetet och förslag på framtida forskningsområden.

2 Litteraturstudie

2.1 Smarta Byggnader

Smarta byggnader är det senaste exemplet på digital transformation inom fastighetsbranschen, både vad gäller byggnaders utformning och drift. Dessa byggnader använder sig av den senaste tekniken för att skapa miljöer som är mer energieffektiva, hållbara och anpassade till människors behov. Genom ett nätverk av olika sensorer, ställdon och mikrochips samlar smarta byggnader in och analyserar data om allt från temperatur och ljusnivåer till hur byggnaden används, luftkvalitet och hur olika system presterar, hur mycket data presenteras beror på vilka utrustning som smartbyggnaden har (Buckman, Mayfield & Beck, 2014). Detta datadrivna tillvägagångssätt möjliggör dynamisk optimering av byggnadsdriften, vilket leder till betydande minskningar i energiförbrukning och förbättringar av hyresgästernas komfort (GhaffarianHoseini et al., 2016).

Grunden för smarta byggnaders funktionalitet är automationsprincipen. VVS-system (värme, ventilation och luftkonditionering) anpassar sig automatiskt till förändringar i beläggning och yttre väderförhållanden, vilket ger optimal komfort samtidigt som energislöseri minimeras (Kolokotsa et al., 2011). På samma sätt integrerar intelligenta belysningssystem rörelsesensorer, närvaroavkänning och dagsljusreglering. Dessa system prioriterar naturligt ljus och dimrar eller stänger av artificiella ljuskällor automatiskt beroende på omgivande förhållanden (Tzempelikos & Athienitis, 2007).

Smarta byggnader är utformade för att höja boendes välbefinnande och produktivitet. Genom att upprätthålla en optimal inomhusmiljö, bidrar dessa system direkt till förbättrad hälsa och kognitiv prestation (Frontczak & Wargocki, 2011). Dessutom möjliggörs bättre anpassning efter användare då användaren själv kan justera temperatur, belysning eller luftkvalitetsparametrar i sin omedelbara omgivning (Newsham et al., 2009). Detta leder tillökad tillfredsställelse och en känsla av kontroll.

2.2 Building Information Modeling (BIM)

Building Information Modeling (BIM) är en revolutionerande teknik inom byggindustrin som erbjuder ett helt nytt sätt att hantera design, konstruktion och förvaltning av byggnader. Till skillnad från traditionella 3D-ritningar, använder BIM en intelligent datamodell som delas mellan alla projektintressenter. Denna modell inkluderar inte bara geometriska data utan även omfattande information om byggnadskomponenter såsom specifikationer, prestandamått, kostnadsberäkningar och schemaläggningsdata (Eastman et al., 2011). Genom att främja samarbete och interoperabilitet mellan arkitekter, ingenjörer och entreprenörer minskar BIM risken för misstag och misskommunikation under hela byggprocessen.

BIM utvecklingen har gått igenom flera stadier– från tidiga 3D-modelleringsverktyg under 1970- och 80-talen, till mer avancerade system som integrerar intelligenta objekt och parametrisk modellering. Dessa utvecklingssteg är dokumenterade i verk av bland annat Jernigan (2008), som diskuterar den tidiga utvecklingen och övergången till program som ArchiCAD och Revit. På 2000-talet har användningen av BIM accelererat, delvis tack vare regeringsmandat och industristandarder som IFC, vilket har bidragit till att förbättra interoperabilitet och effektivitet i byggprojekt (Azhar, 2011).

2.3 Building Management System (BMS)

Byggnadsstyrsystem (BMS) är avgörande för moderna byggnaders drift och fungerar som det centrala nervsystemet. BMS integrerar hårdvara och mjukvara för att ge en centraliserad övervakning och kontroll av viktiga byggnadssystem såsom VVS, belysning och säkerhet (Sinopoli, 2010). Teknologin förbättrar avsevärt drifteffektiviteten, hyresgästernas komfort och byggnadens totala prestanda. Nyckelkomponenterna i ett BMS inkluderar nätverk av sensorer, styrenheter, kommunikationsprotokoll och centraliserad hanteringsprogramvara. Sensorer samlar in realtidsdata om driftparametrar, styrenheter bearbetar data, kommunikationsprotokoll säkerställer sömlöst utbyte av data mellan komponenter och centrala hanteringsprogramvara tillhandahåller ett användargränssnitt för byggnadsoperatörer .

Utvecklingen av BMS-teknologi har drivits av framsteg inom dator- och kontrollsystem. Tidiga styrsystem var lokaliserade och ofta baserade på mekaniska, pneumatiska eller elektromekaniska teknologier (Kastner et al., 2005). Introduktionen av minidatorer på 1960-talet möjliggjorde större precision genom Direct Digital Control (DDC), även om systemen förblev leverantörsspecifika. Framväxten av öppna kommunikationsprotokoll som BACnet och LonWorks på 1990- och 2000-talen främjade interoperabilitet mellan utrustning från olika tillverkare, vilket mildrade leverantörslåsning (Kastner et al., 2005). Traditionellt har BMS varit placerad på plats i datorer som finns i fastigheter, men moderna BMS-arkitekturer utnyttjar i allt högre grad Internet Protocol (IP) för anslutning och molnbaserade lösningar för förbättrad skalbarhet, fjärrhantering och avancerade analysfunktioner (Granderson & Lin, 2016).

I fastighetssektorn erbjuder implementeringen av BMS-teknologi transformativa fördelar. En primär fördel är betydande energioptimering som uppnås genom datadriven utrustningsschemaläggning, efterfrågestyrning och kontinuerlig övervakning av energianvändning (ibid). Dessutom har BMS-system en avgörande roll för att upprätthålla bekväma inomhusmiljöer, med exakt kontroll av temperatur, luftkvalitet och belysning, vilket positivt påverkar hyresgästernas välbefinnande och produktivitet (Al horr et al., 2016).

2.4 Digital Tvilling teknologi i fastighetssektorn

Digital tvillingteknologi innebär att skapa noggranna, dynamiska virtuella representationer av fysiska tillgångar, system eller processer (Tao et al., 2018). Dessa tvillingar inkluderar detaljerad modellering, datasynkronisering i realtid genom sensorer och IoT-enheter och kraftfulla simulerings- och analysmöjligheter. I avancerade implementeringar kan digitala tvillingar interagera med sina fysiska följeslagare och skapa en återkopplingsslinga för kontroll och optimering(Ibid).

Idén bakom den digitala tvillingen går långt tillbaka i tiden. Tidiga versioner uppstod på 1960-talet, med NASA:s användning av spegelsystem för att övervaka rymdfarkoster under uppdrag (Rosen et al., 2015). Under decennierna som följde avancerade Product Lifecycle Management (PLM) och 3D-modellering, vilket var starten för mer komplexa digitala representationer (Tao et al., 2018). Dr. Michael Grieves introducerade formellt termen *digital tvilling* år 2002 inom PLM-sammanhang, och lyfte fram sambandet mellan en produkts hela livscykel och dess virtuella motsvarighet (Ibid). Framväxten av IoT, big data samt cloud computing har bidragit till senaste utvecklingen av sofistikerade digitala tvillingar i realtid inom tillverkningsindustrin och, därefter fastighetsbranschen.

2.4.1 Digitala tvillingar i fastigheter

Inom fastighetssektorn tillämpas digitala tvillingar över olika stadier av fastighetens livscykel. Under design- och konstruktionsfaserna hjälper digitala tvillingar arkitekter, ingenjörer och byggare att visualisera komplexa projekt, upptäcka potentiella sammandrabbningar tidigt och effektivisera samarbetet (Rafsanjani et al., 2023).

Inom området för anläggningsförvaltning tillhandahåller digitala tvillingar centraliserad övervakning av byggnadssystem (till exempel VVS), vilket möjliggör förutsägande underhåll för att minimera stilleståndstiden och optimera energiförbrukningen (Xie et al., 2023).

Digitala tvillingar sträcker sig bortom enskilda byggnader och kan modellera hela stadsdelar. Stadsplanerare utnyttjar dessa för att simulera effekterna av infrastrukturförändringar, bedöma trafikmönster, optimera resursallokering och testa hållbarhetsinitiativ i stadsomfattande skala (Weil et al., 2020).

2.5 Grafdatabaser

Grafdatabaser är en typ av databassystem som är utformade till att hantera samt lagra data vilka är starkt sammanlänkade och bäst representerade som grafer. Till skillnad från traditionella relationsdatabaser som organiserar data i tabeller, använder grafdatabaser noder, kanter och egenskaper för att representera samt lagra data. Denna struktur gör det möjligt att modellera och

fråga efter komplexa relationer mellan dataelement på ett effektivt sätt. Grafdatabaser är särskilt värdefulla i sammanhang där relationer mellan data är centrala, såsom inom sociala nätverk, rekommendationssystem, och fastighetsförvaltning. Inom fastighetssektorn är de effektiva för att hantera och analysera de komplexa relationerna mellan olika byggnadskomponenter och system (Robinson et al., 2015).

Genom att utnyttja grafdatabaser kan fastighetsförvaltare och ingenjörer enkelt modellera och analysera komplexa byggsystem och deras interaktioner. Detta möjliggör mer sofistikerade analyser och förbättrar beslutsfattandet genom att tillhandahålla en djupare insikt i hur olika byggnadselement påverkar varandra. Detta kan i sin tur förbättra effektiviteten och noggrannheten i datahanteringsuppgifter (Angles & Gutierrez, 2008; Miller, 2013).

2.6 Ontologier

Ontologi är inom informationsvetenskapen en formell och maskinläsbar representation av en specifik kunskapsdomän. Det definierar nyckelbegrepp inom ett ämnesområde, relationerna mellan dem samt huvudreglerna (axiomen) (Uschold & Gruninger, 1996). Ursprungligen utvecklades konceptet för att stödja artificiell intelligens och kunskapsrepresentation, men har nu ett brett tillämpningsområde som även sträcker sig till fastighetssektorn (Guarino, 1998). Inom fastighetssektorn används ontologier för att systematiskt strukturera komplexa och omfattande data som är associerade med fastighetsdrift, såsom byggnadskomponenter, underhållsscheman och energiförbrukning (Butzin et al., 2021).

Huvudsyften med fastighetsontologier kan sammanfattas i följande fyra delar:

Semantisk interoperabilitet: Ontologier har ett delat språk och begreppsramverk, vilket underlättar sömlöst datautbyte och förståelse mellan olika programvarusystem och databaser. Detta är avgörande i fastighetsbranschen där segmentering av data mellan intressenter är vanligt (ibid; Bergman et al., 2020).
Dataintegration och anrikning: Ontologier hjälper till att harmonisera data från flera källor, både strukturerade och ostrukturerade. Genom att länka och kontextualisera datapunkter hjälper ontologier till att extrahera värdefulla insikter om egendomsattribut och marknadsmönster (ibid).
Intelligent sökning och resonemang: Ontologier möjliggör avancerade sökningar utöver sökordsmatchning. De ger sökmotorer möjlighet att förstå de semantiska sambanden mellan begrepp, vilket gör det möjligt för användare att göra komplexa frågor (ibid).
Kunskapshantering och beslutsstöd: Fastighetsontologier fungerar som strukturerade kunskapsbaser. De kodifierar expertkunskap, regleringsriktlinjer och branschpraxis, vilket visat sig vara värdefullt för processer som fastighetsvärdering, investeringsanalys och stadsplanering (ibid).

2.7 BrickSchema och RealEstateCore ontologier

BrickSchema (Brick) och RealEstateCore är ontologier med öppen källkod designade för att effektivisera och förbättra datahantering inom den byggda miljön och den bredare fastighetsbranschen. BrickSchema riktar sig specifikt till standardiseringen av byggnadssystem och deras tillhörande data (Balaji et al., 2016; BrickSchema, 2024). Med ett välstrukturerat ordförråd beskriver den fysisk utrustning, logiska anslutningar, sensormetadata och tidsseriedata. Omvänt fokuserar RealEstateCore på att modellera de centrala delarna av fastighetsdomänen, inklusive byggnader, transaktioner och marknadsdeltagare (Balaji et al., 2016; RealEstateCore, 2024).

BrickSchema och RealEstateCore uppstod som svar på den genomgripande frågan om semantisk heterogenitet inom den byggda miljösektorn. Bricks utveckling påbörjades år 2016 genom ett samarbete mellan forskare och industrispecialister (Balaji et al., 2016). Viktigt att notera att det krävdes en stor del arbete för att samordna BrickSchema och RealEstateCore, vilket har möjliggjort en holistisk modellering av byggnader, driftsdata och affärsrelaterade transaktioner inom fastighetsbranschen(Hammar et al., 2019; BrickSchema, 2024; RealEstateCore, 2024).

Den praktiska användningen av dessa ontologier är omfattande. I samband med byggnadsautomation och smarta byggnadsinitiativ är BrickSchema avgörande för att integrera data från olika byggnadssystem. Denna enhetliga datavy möjliggör avancerad övervakning, analys för optimering och feldetektering (Balaji et al., 2016). Dessutom underlättar Brick identifieringen av energieffektivitet, vilket leder till mer hållbara byggnader. Både Brick och RealEstateCore gynnar anläggningsförvaltare genom att tillhandahålla strukturerade kunskapsbaser som omfattar byggnadskomponenter, rumslig information, underhållsscheman och tillhörande garantier, vilket i sin tur främjar effektivisering av verksamheten (RealEstateCore, 2024; BrickSchema, 2024)

2.8 Artificiell Intelligens (AI) och Machine Learning (ML)

Artificiell intelligens (AI) är ett brett område inom datavetenskap som fokuserar på att skapa intelligenta agenter – system som kan spegla människans kognitiva förmåga. Detta inkluderar resonemang, lärande, anpassning, problemlösning, perception samt språkförståelse (Russell & Norvig, 2016). AI hämtar inspiration från tvärvetenskapliga områden som filosofi, neurovetenskap och kognitionsvetenskap för att bättre förstå intelligensens natur och hur den kan implementeras beräkningsmässigt (Russell & Norvig, 2016).

Machine Learning (ML) är ett centralt delområde av AI som handlar om utvecklingen av algoritmer som gör det möjligt för system att automatiskt lära sig och förbättras genom exponering för data, snarare än att kräva explicit programmering för varje uppgift (Bishop, 2006). ML-algoritmer delas in i tre breda kategorier: övervakat lärande, oövervakat lärande samt förstärkt lärande. Vid övervakat lärande lär sig algoritmer från märkta datamängder medan det vid

oövervakat lärande är omärkt data som analyseras för att hitta mönster. Förstärkt lärande innebär att system interagerar med en miljö och lärandet maximeras beroende på belöningen för vidtagna åtgärder (Bishop, 2006).

De filosofiska och matematiska grunderna för intelligens går före 1950-talet. *Dartmouth Summer Research Project* på 1950-talet anses ofta vara den formella födelsen av AI, med betoning på symboliska resonemang (Russell & Norvig, 2016). På 1970- och 80-talen uppstod ett expertsystem, som försökte förkroppsliga domänspecifik kunskap i regelbaserade system . En återväxt av statistiska metoder, i kombination med ökad datorkraft, drev tillväxten av ML-tekniker som neurala nätverk från 1980-talet och framåt . Slutligen har revolutionen för djupinlärning, som möjliggörs av big data och avancerade GPU:er, drivit fram anmärkningsvärda AI-framsteg under 2000-talet (Goodfellow et al., 2016; Russell & Norvig, 2016).

AI och ML samarbetar på så sätt att AI ger det övergripande målet att bygga intelligenta system, medan ML erbjuder de algoritmiska verktygen för att förverkliga dessa ambitioner. Detta samarbete exemplifieras inom områden som smarta kundtjänst chatbotar, där naturlig språkbehandling (ett AI-fält) hanterar språkuppgifter, medan ML-algoritmer kontinuerligt lär sig att förstå användarens avsikt och förbättra svaren (Russell & Norvig, 2016). På liknande sätt, i applikationer som självkörande bilar, adresserar AI beslutsfattande på hög nivå medan ML-driven datorseende är avgörande för objektdetektering och förståelse av den dynamiska miljön (Russell & Norvig, 2016).

2.9 BIM, Digital-Tvilling, BMS

Integrationen av Building Management Systems (BMS), Building Information Modeling (BIM) och Digital Tvilling-teknologier är avgörande för att förbättra effektiviteten, hållbarheten och driftbarheten av byggnader. Denna konvergens underlättar en mer holistisk förvaltningsmetod och utnyttjar styrkorna i varje system för att optimera byggnadens prestanda.

BMS är system som styr och övervakar de olika delsystemen i en byggnad, inklusive värme, ventilation, luftkonditionering (VVS), belysning och säkerhetssystem (Sinopoli, 2010). De är väsentliga för den dagliga driften av en byggnads energianvändning och miljöförhållanden. BIM, å andra sidan, ger en digital representation av en byggnads fysiska och funktionella egenskaper. Den fungerar som en delad kunskapsresurs för information om en byggnad och utgör ett tillförlitligt beslutsunderlag under dess livscykel, från första idé till rivning (Eastman et al., 2011). Digitala tvillingar representerar nästa steg i denna integrationsprocess. De skapar en dynamisk digital kopia av fysiska tillgångar, processer och system vilket möjliggör simulering, analys och optimering av byggnadsdrift i realtid (El-Din et al., 2022). Digitala tvillingar använder data från BMS och BIM för att simulera verkliga förhållanden, förutsäga framtida prestanda och ge insikter om potentiella förbättringar.

När dessa teknologier kombineras möjliggör dem ett kontinuerligt flöde av data mellan den digitala och fysiska världen. BIM tillhandahåller geometriska och fysiska data, BMS bidrar med driftsdata och digital-tvilling använder denna information för att simulera och analysera byggnadens prestanda (Bagheri et al, 2024;Bortolini et al., 2022). Denna integration möjliggör övervakning i realtid och förutsägande underhåll, vilket kan förbättra effektiviteten och livslängden för byggnadsverksamheten avsevärt. Exempelvis kan prediktiv analys optimeras genom att analysera trender från historiska data och realtidsdata till att prognostisera utrustningsfel innan de inträffar (Bortolini et al., 2022).

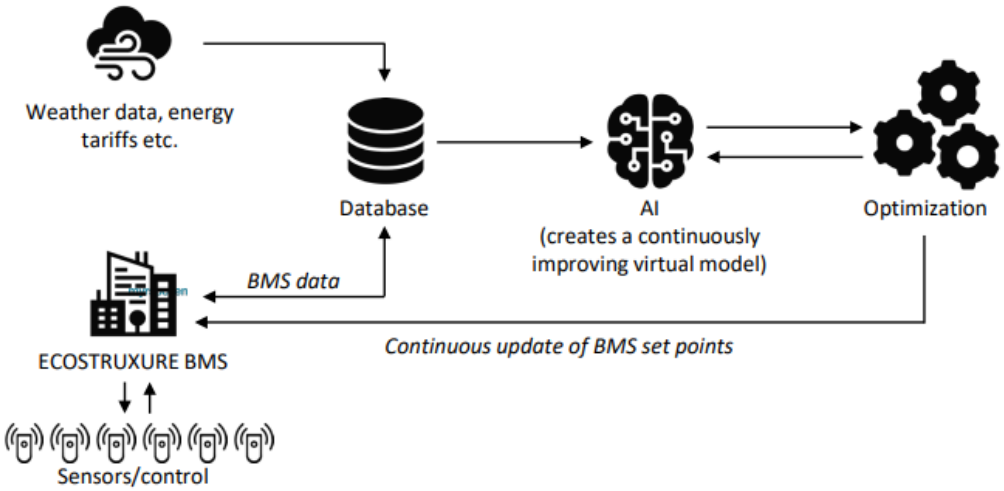
Dessutom stödjer detta integrerade tillvägagångssätt hållbarhet genom att optimera energianvändningen och minska utsläppen (ibid). Möjligheten att simulera byggnadsprestanda under olika scenarier gör det möjligt för anläggningschefer att identifiera de mest effektiva strategierna för energihushållning och att genomföra förbättringar som kan leda till betydande energibesparingar.

3. Fallstudie

I detta avsnitt ges en översiktlig förklaring av ett samarbetsprojekt mellan SISAB, Schneider Electric och Myrspoven (för hela rapporten om samarbetsprojektet, se referenser: Chinnakannan, A., et al. "Using AI to Optimize HVAC Systems in Buildings: A Real-world Example"). Samarbetsprojektet kommer vidare att användas för att stödja denna rapports empiriska metod med att konkretisera och besvara forskningsfrågorna.

Projektet fokuserade på implementeringen av en AI-lösning för att optimera VVS-system i 624 skolbyggnader (Chinnakannan et al., 2022). De viktigaste intressenterna som var involverade i projektet var SISAB (Skolfastigheter i Stockholm AB), Myrspoven och Schneider Electric. SISAB valde Myrspovens AI-lösning som efter implementeringen kallades för SOLIDA (SISAB On-Line Intelligent Data Analysis). Projektet syftade till att förbättra energieffektiviteten, minska koldioxidutsläppen, förbättra hyresgästernas komfort och uppnå kostnadsbesparingar i skolbyggnaderna.

Figur 1 (nedan) illustrerar den AI-drivna optimeringscykeln för Schneiders fastighetstyrsystem (BMS) EcoStruxure Building Operation (EBO). Den visar hur väderdata och energitariffer, tillsammans med data från BMS, samlas in i en databas. Dessa data bearbetas sedan av en AI, som skapar en ständigt förbättrad virtuell modell. Optimeringsprocessen uppdaterar kontinuerligt BMS-inställningar för att optimera byggnadsdriften. Sensordata och kontrollsignaler från EBO BMS-systemet bidrar till att förbättra den övergripande prestandan.



Figur 1: AI-driven optimeringscykel för fastighetsstyrningssystem (BMS)

Projektet var uppdelat i tre huvud faser: Onboarding, AI-inlärning och AI-kontroll.

3.1 Fas I: Onboarding

Upprätta en anslutning till BMS: En *middleware*, brukar också kallas *Smart Connector* underlättade kommunikationen mellan den molnbaserade AI-tjänsten och BMS. *Smart connectorn* är hårdvaran med API är mjukvaran som integrerade tredje part system. Både är Schneiders produker. *Smart connector* samlade in datapunkter och upprätthöll kommunikationen med molnet eftersom det var modiferad av Myrspoven.
Definiera mål och interaktioner: Byggnadsägaren och AI-tjänsteleverantören fastställde mål för AI-lösningen och bestämde hur den skulle interagera med byggnadssystemen.
Datainsamling: *Smart Connectorn* skannade BMS efter tillgängliga datapunkter och kunde säkerställa att känsliga datapunkter var skyddade.

3.2 Fas II: AI-inlärning

Samla in tillgängliga datapunkter: *Middleware* samlade datapunkter från BMS och kategoriserade dem som observerbara (sensoravläsningar) eller handlingsbara (datapunkter som kan ändras).
Interagera med byggnaden: AI-leverantören analyserade data och föreslog åtgärdspunkter inom tillåtna intervall för AI-lösningen att agera på.
Börja skicka realtidsdata: *Middleware* testade och verifierade interaktionen mellan molnet och byggnaden, vilket säkerställde korrekt datautbyte och kontroll över systeminställningar.

3.3 Fas III: AI-kontroll

Optimering: AI-lösningen uppdaterade kontinuerligt BMS-värden baserat på dataanalys och återkoppling var femtonde minut.

3.4 Projektets utfall

AI-lösningen implementerades fullt ut i 624 skolbyggnader i november år 2020 och har varit i drift under vintersäsongerna. För att utvärdera effekten av AI-implementeringen, genomförde SISAB en jämförelse av energiräkningar mellan två distinkta perioder: 1 november 2019 till 31 mars 2020 (före AI-implementering) och 1 november 2020 till 31 mars 2021 (med AI implementerad i alla byggnader).

Jämförelse mellan perioderna visade dessa resultat efter AI-implementeringen:

- Värmeenergiförbrukningen minskade med 4 %
- Elanvändningen minskade med 15 %
- Växthusgas utsläpp (GHG) minskades med 205 ton
- Hyresgästernas klagomål om termisk komfort minskades med 23 %.
- Återbetalningstid på två år (jämfört med beräknad tre år i början av projektet).

4. Metod

Studiens metod består av en litteraturstudie samt en kvalitativ empirisk studie.

4.1 Systematisk litteraturstudie

Metodiken för denna rapport strukturerades för att systematiskt utforska specifika ämnesområden, som bland annat Digital Tvilling-teknologi, Ontologi, BrickSchema, RealEstateCore och tillämpningen av artificiell intelligens i fastighetsbranschen. Denna metod delades upp i tre distinkta steg, var och en designad för att säkerställa en grundlig analys av relevant litteratur och data. Detta gjordes för att ge en omfattande förståelse av forskningsämnena. De tre stegen redovisades som följer:

Steg 1: Identifiering av ämnesområden samt Utveckling av en sökstrategi:

- Den inledande fasen innebar att identifiera de specifika ämnesområden som skulle undersökas i studien. Detta grundläggande steg angav riktningen för den efterföljande forskningsprocessen.
- En detaljerad plan för informationssökning utarbetades, med användning av databaser och plattformar som Google Scholar och DiVA. Denna sökstrategi syftade till att säkerställa en heltäckande och relevant litteratursökning, som inkluderade avancerade söktekniker och användning av specifika nyckelord som var anpassade till de identifierade ämnesområdena, såsom *Digital-Twin, AI, Ontology* och *Graphdatabase*.

Steg 2: Litteratursamling

- Denna fas innebar insamling av studier och publikationer av betydelse för arbetet. Processen använde nyckelordssökningar bland andra metoder för att samla in relevant material. Ett första urval följdes av en rigorös screeningprocess för att identifiera och särskilja de mest relevanta källorna som skulle inkluderas i studien.

Steg 3: Extrahering av nyckelinformation

- En djupgående granskning av de utvalda studierna genomfördes för att tillhandahålla viktig information såsom metoder, huvudsakliga resultat och slutsatser relaterade till de undersökta ämnesområdena.

4.2 Intervju med företag

Med tanke på att arbetet berör industrialiseringen av AI i fastighetssektorn, med ett djupare fokus på ontologiernas roll i denna process, valdes företagen utifrån den fallstudie som presenterades, nämligen Schneider Electric och SISAB. Dessa två företag har arbetat inom digitaliseringen av fastighetssektorn i flera år och besitter omfattande kunskaper om de innovationer som nyligen har introducerats i branschen. Dessutom har de förmågan att påverka hur framtiden för fastighetssektorn kan komma att se ut.

4.3 Respondenterna

De respondenter som deltog i studien har djupgående kunskaper om både fallstudien och fastighetssektorn. De har arbetat i branschen och på respektive företag under en längre tid, vilket gett dem en gedigen förståelse för digitalisering och AI inom fastighetssektorn samt för det specifika projektexemplet som behandlas i fallstudien. Några av respondenterna har till och med direkt koppling till samarbetsprojektet, vilket ytterligare höjer kvaliteten på de insikter som erhålls. I Tabell 1 nedan listas de respondenter som ingick i studien.

Tabell 1: Benämning av respektive respondent och yrkesroll.

Benämning	**Yrkesroll**
Respondent 1 (SISAB)	SOLIDA Project Owner
Respondent 2 (Schneider Electric)	Design Solutions Leader
Respondent 3 (Schneider Electric)	Sales Manager

4.4 Intervjuer

En semistrukturerad ram skapades (se Bilaga A) med hjälp av forskningsfrågorna i arbetet samt fallstudien som nämndes. Detta för att säkerställa att intervjuerna gav genomgående och utvecklade diskussioner. Ramen bestod av några huvudpunkter som skulle ligga till grund för intervjuerna och därefter möjliggöra en öppen dialog med ytterligare frågor och funderingar. Intervjuerna genomfördes på distans via plattformen Zoom. Zoom-mötena flöt på bra utan några internetproblem eller andra störningsmoment som påverkade intervjuerna negativt. Medan respondenterna svarade på frågor och gav insikter, antecknades alla intressanta punkter i detalj. Mer information om vardera intervjun presenteras i Tabell 2 nedan.

Tabell 2: Detaljerad information om vardera intervjun.

Benämning	**Yrkesroll**	**Längd på intervju**	**Datum**
Respondent 1 (SISAB)	SOLIDA Project Owner	60 min	2024-04-04
Respondent 2 (Schneider Electric)	Sales Manager	80 min	2024-04-18
Respondent 3 (Schneider Electric)	Design Solutions Leader		

5. Resultat

5.1 AIs driftoptimering i fastighetssektorn idag

Alla respondenter enades om att Artificiell intelligens (AI) snabbt genomsyrar fastighetssektorn, driver innovation och omformar traditionella metoder för fastighetsdrift. Integrationen av AI är möjlig eftersom Building Information Modeling (BIM), Building Management Systems (BMS) och digital tvillings finns. Detta presenterar ett evolutionärt steg som förbättrar byggnadsdrift, beslutsfattande samt användarupplevelser.

"AI håller på att revolutionera fastighetssektorn……implikationen av AI är en revolution som har bidragit till att uppnå bättre energibesparingar med mindre kostsamma projekt" Respondent 2, Sales Manager

Inom BIM-landskapet möjliggör AI-algoritmer generativ design, vilket underlättar utforskningen av stora designiterationer styrda av parametrar som energieffektivitet, strukturell integritet och rumslig optimering (Wortmann & Tuncer, 2017). Genom att analysera historiska data i samband med BIM-modeller kan AI förutsäga potentiella byggförseningar eller budgetöverskridanden, vilket underlättar riskreducering i de tidiga projektfaserna (Bilal et al., 2016).

När det gäller sammanslagningen av AI med BMS betonade både respondent 1 och 2 hur denna integration omvandlar byggnadsdrift i realtid. De förklarade att AI-driven analys av BMS-sensordata optimerar VVS- och belysningssystem som svar på dynamiska beläggningsmönster och miljöförhållanden, vilket förbättrar energieffektiviteten och minskar koldioxidavtrycket. Dessutom påpekade respondent 1 att AI utmärker sig i feldetektering och diagnostik (FDD). Här analyserar maskininlärningsmodeller historiska BMS-data för att fastställa baslinjer för driftprestation, vilket möjliggör proaktiv identifiering av utrustningsavvikelser eller förestående fel och därmed minimerar driftstopp samt driftstörningar.

"AI är inte bara en energioptimerare utan den blir en signalspanare som hittar fel i fastigheterna. Exempelvis radiatorer som inte fungerar eller fönster som läcker, då flaggar AI dessa fel och begär åtgärder" Respondent 1, SOLIDA Project Owner

Integrationen av AI med digital tvilling-teknologi revolutionerar prediktiv analys genom att förbättra både noggrannheten och effektiviteten. Denna teknologi använder realtidsdata för att identifiera avvikelser och förutsäga framtida systembeteenden (Rathore et al., 2021). Den bidrar även till realtidsövervakning och prediktivt underhåll, som är avgörande för att optimera drift, minska kostnader och höja tillförlitligheten i systemen (Mazhar Rathore et al., 2021). Respondent 1 har understrukit vikten av dessa förmågor, speciellt hur AI-algoritmerna har utvecklats för att kunna analysera och förutsäga beteenden flera dagar eller veckor framåt. Denna förmåga att se in

i framtiden är en viktig aspekt i förbättringen av fastighetsdriften, vilket ger en strategisk fördel i planering och riskhantering.

"När vi började med AI så kunde AI-algoritmerna bara se 6 timmar framåt…men nu är vi uppe i 48 timmar framåt om vad en förändring får för en konsekvens, det är det vi ser med uppdateringar av algoritmerna där AI tränar sig bättre och kan se längre framåt. Den digitala tvillingen blir bättre och bättre och kan se längre fram. Det är där jag ser att AI börjar bli mer revolutionerande" Respondent 1, SOLIDA Project Owner

För att ytterligare illustrera användningen av AI i fastighetssektorn har alla respondenter delat insikter från projektet de hade, som också nämndes i avsnitt 3 i denna rapport. Dessa resultat understryker att AIs potential handlar inte bara om att förbättra byggnaders driftseffektivitet och miljöpåverkan, utan också att öka hyresgästernas tillfredsställelse samt ekonomisk återvinning för investeringarna.

5.2 AI implementering utan standardiserade ontologier eller grafdatabaser

Implementeringen av AI i byggnadsdrift är inte strikt beroende av standardiserade ontologier och grafdatabaser, även om att dessa erbjuder strukturerade metoder för kunskapsrepresentation (Balaji et al., 2016). Istället kan *Smart Connectors* från företag som Schneider Electric, som nämnts i fallstudien, fungera som ett alternativ genom att underlätta integrationen mellan heterogena system. Respondent 1 och 2 framförde hur dessa anslutningar spelar en avgörande roll i att hantera och förbereda dataflöden, vilket möjliggör för AI att utföra funktioner som prediktivt underhåll och energioptimering.

"I samarbetet mellan SISAB och Myrspoven idag så används inga ontologier. I stället är det smart connectorn som fungerar som vårt API för att skapa en koppling mellan externa system och vårt system. Denna connector är unik då den innehåller logik för att både hämta och skicka data, fungerande som en middleware." Respondent 3,Design Solutions Leader

En typisk byggnad kan inkludera separata system för VVS, belysning och säkerhet, var och en med sina egna protokoll. Respondent 2 belyste hur en *smart connector* minskar dessa skillnader genom att erbjuda ett enhetligt gränssnitt som tolkar och integrerar dataströmmar, vilket gör dem tillgängliga för AI-drivna tillämpningar. Denna integrationsfunktion är kritisk för att AI-algoritmer ska kunna utföra detaljerade dataanalyser och fatta välgrundade beslut för att förbättra byggnadens övergripande effektivitet.

Respondent 1 påpekade även utmaningen med att engagera flera AI-företag i samma projekt på grund av användningen av Smart Connectors och bristen på en gemensam ontologi och grafdatabas, vilket kan begränsa samarbetets omfattning. Detta diskuteras vidare i avsnitt 5.4.

5.3 AI implementering med standardiserade ontologier eller grafdatabaser

Implementeringen av artificiell intelligens (AI) med hjälp av ontologier och grafdatabaser ger en strukturerad kunskapsrepresentation, underlättar semantisk förståelse och förbättrar resonemangsmöjligheter för AI-system (Delgoshaei et al., 2022). Detta ger betydande fördelar för hantering av komplexa data och härledning av handlingsbara insikter inom byggnadsförvaltningen. Respondenterna hade en positiv och bestämd inställning till användningen av ontologier i fastighetssektorn för att utnyttja AIs fulla potential. Respondent 1 och 2 betonade att BrickSchema och RealEstateCore, särskilt efter deras samarbete, framträder som de två ontologier som kommer att spela en avgörande roll i AI-implementeringar inom sektorn.

5.3.1 Förbättrad resonemangsförmåga

Kombinationen av BrickSchema och RealEstateCore förbättrar AI:s förmåga att förstå byggsystem och deras relation till affärsmål på ett djupare plan. Denna avancerade integration möjliggör för AI att dra mer nyanserade slutsatser, bortom grundläggande mönsterigenkänning. Detta leder i sin tur till mer specifika optimeringar och tillämpbara insikter. Respondent 2 understryker hur denna kontextualisering och semantiska benämning kan revolutionera styrsystemindustrin. När dessa tekniker väl är etablerade, kommer det att förenkla processen att ansluta olika system och byggnadsinformationsmodeller (BIM), vilket bidrar till en mer integrerad och effektiv infrastruktur inom byggsektorn.

”Hur en sådan här kontextualisering, semantisk benämning och modeller, alltså BrickSchema, kommer att revolutionera hela styrsystem i branschen när den får fäste och är väl etablerad, hur enkelt det kommer att vara att koppla upp olika system och/eller kunna koppla BIM modellen” Respondent 3, Design Solutions Leader

5.3.2 Högre datakvalitet och integration

Ontologier fungerar som ett valideringslager för att säkerställa konsistens genom byggnaders system. Genom att minska fel och förbättra datakvaliteten bidrar ontologier till en smidig integration, vilket är avgörande för effektiv AI-analys. Respondent 1 påpekar att användningen av BrickSchema och RealEstateCore eliminerar behovet av att utveckla separata API mellan systemen. Istället erbjuder ontologin direkt den nödvändiga integrationen, vilket förenklar processen och ökar systemens samverkan.

“Idag stödjer Schneiders styrsystem EcoStruxure Building Operation Software (EBO) BrickSchema och RealEstateCore och i sin tur stödjer Myrspoven också dessa ontologier vilket betyder att man slipper bygga APIer emellan utan man har ontologin i stället” Respondent 3, Design Solutions Leader

5.3.3 Skalbarhet och anpassningsbarhet

Ontologier kan enkelt skalas och anpassas när nya system eller komponenter introduceras i byggnaden. Detta standardiserade tillvägagångssätt underlättar för AI-modeller att snabbt anpassa sig till nya eller förändrade förhållanden. Respondent 2 förklarade att BrickSchema och RealEstateCore kommer att täcka en större helhet, vilket är avgörande för framtida utveckling och integration.

”I vår EBO plattform kör vi brickschema, den vi kommer att satsa på, den vi ser bäst anpassad definiera och kontextualisera det som vi jobbar med. När Brick och RealEstate har slagit ihop sig så kommer vi kunna täcka mer av helheten…” Respondent 3, Design Solutions Leader

5.4 Hur digitalisering och industrialisering av AI förändrar spelplanen

Respondenterna berättade hur affärsplanerna och möjligheterna inom fastighetssektorn håller på att "öppna upp sig". Aktörer börjar inse hur gynnsamt det är med öppenhet när det kommer till deras fastighetsdata för att möjliggöra digitalisering och effektivisering av byggnader. Denna öppenhet i datadelning är avgörande eftersom den driver på digitaliseringen och industrialiseringen av AI inom sektorn. Detta resulterar i betydande effektivitetsvinster, både ekonomiskt och miljömässigt.

“Öppenheten gör det enkelt att implementera AI, utan att man behöver sätta mycket hårdvara och sådant. Det visas i samarbetet där SISAB enkelt ska kunna utropa integration för att sedan fixa det på någon dag. Öppenheten är nyckeln i den här integrationen samt generellt för styrsystem i fastigheter. Tittar man tillbaka på 80-/90-talet så var sektorn otroligt stängd. Det var egna protokoll och kommunikationsmetoder som gällde. Allt var nedlåst. Men ifrån 20-talet och framåt så har det börjat sakta men säkert att låsas upp, som till exempel standardiserade kommunikationsprotokoll. Man öppnar upp allting och då får kunden en bättre integration mellan de olika systemen i fastigheten” Respondent 3, Design Solutions Leader

I samarbetsprojektet mellan SISAB, Schneider Electric och Myrspoven valde SISAB att ha grafdatabaserna och styrsystemen på sina lokala servrar (on-premise). Enligt respondent 1 är den främsta anledningen till detta att SISAB är ett kommunalt bolag, vilket gör det viktigt att de själva äger data och att den finns på deras egna servrar. Detta tillvägagångssätt ökar säkerheten och hjälper till att undvika potentiella komplikationer med GDPR-regler som kan uppstå om data lagras på molnbaserade servrar utanför Sverige.

“SISAB har köpt EBO som Schneider Electric erbjuder som en av sina produkter och det har vi on-premise (på plats), alltså all data är installerad i våra servicehallar…så är det inom kommunala verksamheter där man måste ha grafdatabaserna on-premise på grund av säkerhetsaspekten men det är mycket lättare att jobba och utveckla grafdatabaser om man lägger det på molntjänster, så länge de är säkra tjänster” Respondent 1, SOLIDA Project Owner

Medan respondent 1 betonade att det är avgörande att behålla data på egna servrar för att säkerställa datasäkerhet och regelefterlevnad bekräftade alla respondenter den växande trenden mot molnbaserade lösningar och prenumerationstjänster, som de tror representerar framtiden. Tabell 3 nedan sammanfattar för- respektive nackdelar med on-premise och molnbaserade lösningar, enligt respondenterna.

Tabell 3: Respondenternas insikter om för- respektive nackdelar med on-premise och molnbaserade lösningar.

	On-premise	**Molnbaserad**
Fördelar	- **Kontroll över data på plats:** Full kontroll över data då den lagras lokalt. - **Säkerhet:** Förbättrad säkerhet eftersom data inte exponeras för internet. - **Skräddarsydd:** Anpassningsbar efter specifika behov och integration med andra system på plats.	- **Inga kapitalkostnader:** Inga kapitalutgifter för infrastruktur då den hanteras av leverantören. - **Öppenhet:** Enklare integration och tillgänglighet från flera platser. - **Skalbar:** Lätt att skala upp för att möta tillväxt. - **Mindre IT- personalkostnader:** Lägre kostnader för IT-personal eftersom leverantörer hanterar infrastrukturen. - **Automatiska uppdateringar:** Automatiska uppdateringar och underhåll.
Nackdelar	- **Stora kapitalkostnader:** Betydande kapitalutgifter för hårdvara och infrastruktur. - **Högre IT-personal kostnader:** Högre kostnader för IT-personal att hantera och underhålla systemet. - **Inte lika skalbar:** Begränsad skalbarhet jämfört med molnlösningar. - **Längre implementeringstid:** Längre drifttider och mer fysiskt utrymme krävs.	**-Säkerhet:** Potentiella säkerhetsproblem på grund av att data överförs och lagras externt. - **Internetberoende:** Beroende av tillförlitlig internetanslutning. - **Datasekretess:** Potentiella problem med datasekretess på grund av regleringar.

Respondent 1 framhäver säkerhet som en avgörande faktor som påverkar beslutsfattandet hos aktörer som SISAB, vilka föredrar att behålla sina styrsystem på plats. Respondent 2 och 3 noterar likaså att även om majoriteten av fastighetsägare historiskt sett har valt lokala lösningar, börjar allt fler aktörer inse fördelarna med molnbaserade system, särskilt eftersom säkerhetsåtgärderna har förbättrats avsevärt under de senaste åren.

"Det är ganska vanligt att kunder kör på on-premise lösningar, alltså att majoriteten idag kör på det. Men sedan märker jag att trenden för att skaffa molnbaserat servrar har ökat, fler kunder som kommer in varje dag och kör på molnbaserade tjänster "Respondent 3, Design Solutions Leader

Respondent 1 uttryckte en särskild positiv inställning till molnbaserade lösningar och föreslog att om projektet skulle designas om, skulle det idealt sett implementeras på en molnplattform, förutsatt att säkerheten och datasekretessen upprätthålls på hög nivå. Anledningen till detta förslag är att undvika de betydande initiala kostnaderna för serverinfrastruktur samt att förbättra AI:s kapacitet tack vare den större beräkningskraften som finns tillgänglig i molnmiljöer. Denna förbättring skulle potentiellt kunna minska AI:s optimeringsintervall från var femtonde minut till varje minut, vilket i sin tur avsevärt skulle öka verksamhetens effektivitet.

"Om vi hade gjort om projektet nu, skulle vi ha gjort det molnbaserat om det är möjligt med tanke på aspekterna vi tog upp innan. Nästa gång vi gör ett AI-projekt då känner jag att man gör det utan smart connector, API, man använder sig av RealEstateCore och Brickschema, data-lake (lagring plats för data) som är molnbaserat. Då kan flera företag bygga sina implikationer på datan och detta gör att det blir lite som en app-store." Respondent 1, SOLIDA Project Owner

Genom att använda en molnplattform med RealEstateCore och BrickSchema, tillsammans med en *data-lake*, skulle flera företag kunna utveckla sina applikationer baserade på den gemensamma data, berättar respondent 1. Detta skulle skapa ett ekosystem liknande en *app-store*, där olika applikationer kan interagera och dra nytta av den delade infrastrukturen, vilket ytterligare skulle främja innovation och effektivitet inom fastighetssektorn.

6. Analys och Diskussion

6.1 Aktuella läget för AIs driftoptimering samt dess potential

Implementeringen av artificiell intelligens (AI) inom fastighetssektorn har redan börjat resultera i betydande förändringar i drift och underhåll av byggnader, trots att fastighetssektorn traditionellt sett är en trög bransch när det gäller att anamma ny teknik. Respondenterna betonar hur AI, i samband med bland annat Building Management Systems (BMS), har transformerat fastighetsförvaltning genom att optimera energianvändning och förbättra systemets effektivitet i realtid. Denna teknik har inte bara minskat energiförbrukning och koldioxidutsläpp utan även förbättrat felupptäckt och diagnostik, vilket minimerar driftstopp och driftstörningar.

AI används för att förutspå underhållsbehov och effektivt hantera energiförbrukning i byggnader, vilket leder till förbättrad feldetektering och diagnostik. Detta minimerar driftstopp och avbrott, vilket Respondent 1 betonar genom att beskriva AI:s förmåga att agera som en "felspanare" Den kan identifiera problem såsom icke fungerande radiatorer eller läckande fönster. AI:s felspanings förmåga förbättrar samarbetet mellan aktörer i fastighetssektorn och detta kan också användas i BIM för att få ett ännu närmare samspel mellan de olika aktörerna genom att erbjuda gemensamma datamodeller för byggnader (Eastman et al. 2011).

Konceptet med digitala tvillingar, utforskat av bland annat Boschert och Rosen (2016), stödjer implementeringen av AI i fastighetsförvaltning genom att använda realtidsdata för att skapa dynamiska modeller som förutsäger framtida byggnadsbeteenden. Detta stämmer överens med exempelvis fallstudiens resultat där AI-optimeringar har lett till förbättrad systempålitlighet och effektivitet. Respondent 1 berättade om att utvecklingen av AI-algoritmer nu tillåter dem att förutspå upp till 48 timmar framåt, vilket kraftigt förbättrar prediktiva förmågor och strategisk planering.

I fallstudien har AI tillämpats för att optimera bland annat VVS- och belysningssystem baserat på dynamiska beläggningsmönster och miljöförhållanden, vilket väsentligt förbättrar energieffektiviteten och minskar koldioxidutsläppen. Respondenterna 1 och 2 betonade hur AI-driven analys av BMS-sensordata optimerar dessa system. Resultaten som delas av alla respondenter belyser AI:s effektivitet i att minska energianvändningen, med konkreta siffror som en 4% minskning av värmeförbrukningen och en 15% minskning av elanvändningen, vilket bekräftar AI:s roll i att förbättra operationell effektivitet.

Respondenterna är entusiastiska och ser en ljus framtid för AI inom byggsektorn. De anser att AI har potential att fortsätta driva innovation och förbättringar i fastighetsförvaltningen vilket i sin tur kommer att förbättra hållbarhetsstatistiken som nämndes i avsnitt *1.1 Bakgrund*. Ett av hindren är

däremot avsaknaden av en standardiserad ontologi och grafdatabas, vilket skulle underlätta integration och datahantering. Mer om detta diskuteras i avsnitt 6.2 nedan.

6.2 Standardiserade ontologier och grafdatabaser är en del av industrialiseringen av AI

I avsnitt *5 Resultat* framhävs hur fundamentalt viktiga standardiserade ontologier och grafdatabaser är för att effektivt kunna industrialisera AI inom fastighetssektorn. Dessa teknologier skapar inte bara en robust infrastruktur för datahantering men är också en förutsättning för att AI ska kunna integreras och fungera på en bred skala inom branschen.

Standardiserade ontologier som RealEstateCore och BrickSchema spelar en kritisk roll i att möjliggöra effektiv AI-industrialisering inom fastighetssektorn. Genom att erbjuda en gemensam datamodell säkerställer dessa ontologier att data från olika källor kan integreras sömlöst, vilket är avgörande för att upprätthålla datakvalitet och konsistens (Balaj, et al., 2016). Respondent 1 påpekar att användningen av dessa ontologier eliminerar behovet av att utveckla separata API mellan systemen. Istället erbjuder ontologin direkt den nödvändiga integrationen, vilket förenklar processen och ökar systemens samverkan.

Grafdatabaser kompletterar denna struktur genom att hantera de omfattande och komplexa relationerna mellan data, vilket är typiskt inom fastighetsförvaltning där allt från sensordata till underhållshistorik måste analyseras. Dessa databaser optimerar hur frågor ställs och besvaras, vilket möjliggör effektivare dataanalys och snabbare insikter. Detta är nödvändigt för realtidsdriftoptimering och prediktivt underhåll (Angles & Gutierrez, 2008; Miller, 2013).

Resterande respondenter understryker också att genom att använda standardiserade ontologier och grafdatabaser kan företagen undvika att använda separata *smart connectors* eller *middleware*. Dessa lösningar, som ofta kräver ytterligare underhåll och kan komplicera systemintegrationen, blir överflödiga när data redan är harmoniserade och lättillgängliga genom ontologier och grafdatabaser. Detta minskar teknisk komplexitet och underlättar skalbarheten av AI-lösningar över olika plattformar och enheter. Utöver det berättar respondent 2 hur denna kontextualisering och semantiska benämning kan revolutionera styrsystemsindustrin. När dessa tekniker är väl etablerade, kommer det att förenkla processen att ansluta olika system och byggnadsinformationsmodeller (BIM), vilket bidrar till en mer integrerad och effektiv infrastruktur inom byggsektorn.

Ett praktiskt exempel på tillämpningen av ontologier, som respondent 2 berättade, är Schneider Electrics implementering av BrickSchema och RealEstateCore som standardontologier i deras välkända fastighetsstyrningssystem, EcoStruxure Building Operation Software (EBO). Genom att integrera dessa ontologier i EBO skapar Schneider en kraftfull grund för AI-tillämpningar, där

systemet kan dra nytta av strukturerade och standardiserade data för att effektivisera byggnadsoperationer. Detta tillvägagångssätt förenklar inte bara systemintegrationen, utan främjar också utvecklingen av nya AI-funktioner som kan bidra till ytterligare optimeringar och effektivitetsförbättringar.

6.3 Förändringar i aktörsrelationer och affärsmöjligheter med industrialiseringen av AI

Industrialiseringen av AI inom fastighetssektorn förändrar inte bara tekniska aspekter utan även affärsrelationer och skapar nya möjligheter i branschen. Denna transformation är starkt kopplad till övergången från lokala (on-premise) datahanteringssystem till molnbaserade tjänster, vilket möjliggör en större tillgänglighet och applicering av AI-teknologier.

Skiftet mot molnbaserade tjänster inom fastighetssektorn är en viktig trend som påverkar både aktörsrelationer och affärsmöjligheter. Som framgår i resultatdelen av rapporten, pekar respondenterna på att framtiden ligger i molnbaserade lösningar trots att majoriteten av fastighetsägare idag väljer att behålla sina data on-premise.

Molnbaserade system erbjuder flera fördelar jämfört med traditionella on-premise lösningar, som inkluderar minskade initiala kapitalkostnader, bättre skalbarhet samt minskade IT-personalkostnader. Dessa aspekter gör molnbaserade tjänster särskilt attraktiva för fastighetssektorn, där behovet av flexibilitet och effektiv datahantering växer. Övergången till molnet anses vara kritisk för att kunna utnyttja full potential av AI. Detta eftersom molnplattformar kan hantera stora datamängder effektivt och säkert, vilket är nödvändigt för avancerad dataanalys och AI-drivna optimeringsverktyg.

Respondent 2 uttrycker tydligt att deras företag är inställda på att satsa på molnbaserade lösningar, eftersom de ser det som framtiden för fastighetsförvaltning. Denna övertygelse delas av Respondent 1, som också ser stora möjligheter i molntjänster. De framhåller båda att molnbaserade system kan erbjuda en mer effektiv, skalbar och kostnadseffektiv lösning jämfört med traditionella on-premise system. Molnbaserade lösningar möjliggör enklare integration och hantering av de stora datamängder som modern fastighetsförvaltning genererar, vilket är avgörande för att kunna utnyttja avancerade AI-driven analys och driftsoptimering.

Med den pågående övergången till molnbaserade tjänster och införandet av standardiserade ontologier och grafdatabaser, omformas affärsmiljön inom fastighetssektorn. Denna tekniska evolution, som respondent 1 belyser, skapar en miljö som liknar en app-store där ett brett spektrum av företag kan tävla och erbjuda sina produkter. Detta nya landskap öppnar upp för ökad innovation och ger fastighetsägare möjlighet att enkelt välja mellan olika AI-drivna verktyg och tjänster.

Denna app-store liknande plattform, till följd av standardiseringen av datamodeller som BrickSchema och RealEstateCore, gör det möjligt för även mindre och nyare aktörer att snabbt etablera sig på marknaden. Dessa aktörer kan erbjuda specialiserade lösningar som kan anpassas för specifika fastighetsbehov, vilket ökar produktinnovation och kvaliteten på de tillgängliga tjänsterna. För fastighetsägare innebär detta en förmåga att välja och implementera olika lösningar som optimerar drift, energianvändning och underhåll av deras fastigheter på ett kostnadseffektivt sätt.

Trots entusiasmen kring molnteknologiens potential, lyfter Respondent 1 fram att många fastighetsägare fortfarande är försiktiga med att flytta sin data till molnet. Deras tvekan är främst drivet av oro för säkerhet och datasekretess. Risken för dataintrång och otillräckligt skydd av känslig information är några av de betänkligheter som hindrar snabbare adoption av molnbaserade tjänster. Detta är en utmaning som kräver att teknologileverantörer och fastighetsägare samarbetar nära för att utveckla robusta säkerhetsprotokoll som kan adressera dessa farhågor. Endast genom att säkerställa höga säkerhetsstandarder kan branschen öka förtroendet för molnbaserade plattformar och därmed påskynda övergången.

6.4 Studiens begränsningar och framtida arbete

Denna studie lyfter fram viktiga begränsningar som påverkar dess tillämpbarhet och pekar på områden för framtida forskning inom fastighetssektorn och AI. En av de största utmaningarna är den tekniska komplexiteten kring digitala tvillingar och AI, vilket kan vara svårt för icke-tekniska intressenter att begripa. Detta kan leda till begränsad acceptans och implementering av dessa teknologier. Dessutom är fastighetsmarknadens mångfald och specifika behov en utmaning då det kräver skräddarsydda lösningar, vilket gör det svårt att generalisera resultat och rekommendationer från denna studie.

Kulturella och organisatoriska hinder, såsom motstånd mot förändring och bristande digital kompetens, identifieras också som betydande barriärer som kan fördröja eller hindra effektiv implementering av nya teknologier. Dessutom utgör den snabba takten i teknikutvecklingen en utmaning eftersom forskningsresultat snabbt kan bli föråldrade, vilket kräver ständig uppdatering och revision av vetenskapliga data.

För att adressera dessa begränsningar och förbereda för framtida framsteg, bör kommande forskning inriktas på att utveckla bättre förståelse för hur digitala tvillingar och AI kan anpassas till olika fastighetstyper. Det är också avgörande att utforska strategier för att öka digital kompetens och minska kulturella motstånd mot teknik. Slutligen är det viktigt att framtidens studier fokuserar på att stärka säkerhetsprotokollen för molnbaserade lösningar i syfte att öka förtroendet och främja bredare adoption av dessa teknologier i fastighetssektorn.

7. Slutsats

Detta arbete har undersökt hur AI kan industrialiseras inom fastighetssektorn för att driva på effektivisering och innovation. Genom att använda standardiserade ontologier som BrickSchema och RealEstateCore, samt grafdatabaser, har det visat sig att AI kan integreras mer sömlöst och effektivt för att hantera komplexa data och systemintegrationer. Dessa teknologier möjliggör en förbättrad semantisk förståelse och datakonsistens, vilket är avgörande för att AI ska kunna utföra avancerade analyser och optimeringar.

Studiens resultat bekräftar att införandet av AI har potential att revolutionera fastighetsförvaltningen genom att förbättra energieffektiviteten, minska driftkostnaderna och förbättra användarupplevelsen genom proaktivt underhåll och förstärkt beslutsstöd. Respondenternas erfarenheter och synpunkter understryker AI potential att omforma branschen, men belyser också betydande utmaningar och begränsningar. Dessa inkluderar bristen på standardisering och ett ökat behov av högre datakvalitet, vilket kräver bättre standardisering, kontextualisering och tillgänglighet av data.

Det är dock tydligt att för en fullständig och framgångsrik implementering av AI inom sektorn krävs det en starkare betoning på öppenhet och samarbete mellan olika aktörer. Öppenhet i datadelning och standardiserade kommunikationsprotokollen framstår som avgörande faktorer för att möjliggöra detta teknologiska skift. Samtidigt måste säkerhets- och integritetsaspekter vägas noggrant, särskilt i ljuset av den växande trenden mot molnbaserade lösningar.

Slutligen framhäver studien att framtiden för fastighetssektorn är djupt förbunden med dess förmåga att adaptivt integrera ny teknik såsom AI. För att fullt ut dra nytta av AIs möjligheter måste sektorn inte bara vara öppen för förändring och innovation, utan även effektivt hantera tekniska, organisatoriska och etiska utmaningar. Framtida forskningsinsatser bör fokusera på att skapa omfattande ramverk för datahantering, säkerhet och dataskydd som är kritiska för att säkerställa en hållbar och effektiv användning av AI inom fastighetsbranschen.

Referenslista

Al horr, Y., Arif, M., Katafygiotou, M., Mazroei, A., Kaushik, A., & Elsarrag, E. (2016). Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature. International Journal of Sustainable Built Environment, 5(1), 1-11. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212609016300140

Angles, R., & Gutierrez, C. (2008). Survey of graph database models. ACM Computing Surveys (CSUR), 40(1), 1-39. https://www.researchgate.net/publication/40884504_Survey_of_graph_database_models

Architecture 2030 (n.d.) Why the Built Environment?. https://www.architecture2030.org/why-the-built-environment/

Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. Leadership and Management in Engineering, 11(3), 241-252. https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29LM.1943-5630.0000127

Bagheri, I., Anganeh, P. (2024). Integration of Building Information Modeling (BIM) And Building Management Systems (BMS) Based on the Internet of Things. https://www.researchgate.net/publication/380001305_Integration_of_Building_Information_Modeling_BIM_And_Building_Management_Systems_BMS_Based_on_the_Internet_of_Things.

Balaji, Bharathan, et al. (2016). Brick: Towards a unified metadata schema for buildings. Proceedings of the 3rd ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Built Environments. https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2993422.2993577.

Bergmann, H., Mosiman, C., Saha, A., Haile, S., Livingood, W., Bushby, S., Fierro, G., Bender, J., Poplawski, M., Granderson, J., & Pritoni, M. (2020). Semantic Interoperability to Enable Smart, Grid-Interactive Efficient Buildings. Lawrence Berkeley National Laboratory. https://escholarship.org/uc/item/1325d5j3.

Bilal, M., Oyedele, L. O., Qadir, J., Munir, K., Ajayi, S. O., Akinade, O. O., ... & Pasha, M. (2016). Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends. Advanced Engineering Informatics, 30(3), 500-521. https://uwe-repository.worktribe.com/output/909586/big-data-in-the-construction-industry-a-review-of-present-status-opportunities-and-future-trends

Bishop, Christopher M. (2006). Pattern recognition and machine learning. Springer. https://www.microsoft.com/en-us/research/uploads/prod/2006/01/Bishop-Pattern-Recognition-and-Machine-Learning-2006.pdf.

Boschert, S., & Rosen, R. (2016). Digital twin—the simulation aspect. In Mechatronic Futures: Challenges and Solutions for Mechatronic Systems and their Designers (pp. 50–74). Springer, Cham. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-32156-1_5

Bortolini, R., Rodrigues, R., Alavi, H., Vecchia, L. F. D., & Forcada, N. (2022). Digital Twins' Applications for Building Energy Efficiency: A Review. Energies. https://doi.org/10.3390/en15197002.

Bowman, J., Megede, C., & Torell, W. (2021). Smart Buildings: A Framework for Assessing the 'Openness' of a Building Management System (BMS). Schneider Electric – Buildings Research Center, White Paper 501, Version 1. https://www.se.com/ww/en/download/document/Buildings_WP500_EN/.

BrickSchema. (2024). https://brickschema.org/

Buckman, A. H., Mayfield, M., & Beck, S. B. (2014). What is a smart building?. Smart and Sustainable Built Environment, 3(2), 92-109. https://eprints.whiterose.ac.uk/80714/7/Published%20PDF.pdf

Butzin, B., Golatowski, F., & Timmermann, D. (2017). A survey on information modeling and ontologies in building automation. https://www.researchgate.net/publication/321983944_A_survey_on_information_modeling_and_ontologies_in_building_automation.

Chinnakannan, A., Nilsson, O., Hussain, K., & Avelar, V. (2022). Using AI to Optimize HVAC Systems in Buildings: A Real-world Example. White Paper 508, Version 1. Schneider Electric – Energy Management Research Center. https://go.schneider-electric.com/WW_202207_WP508_EA-LP.html?source=Content&sDetail=WP508_WW

Delgoshaei, P., Heidarinejad, M., & Austin, M. A. (2022, May 11). A Semantic Approach for Building System Operations: Knowledge Representation and Reasoning. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su14105810.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. Wiley, Hoboken.

https://books.google.hr/books?hl=en&lr=&id=-GjrBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP7&dq=Eastman,+C.,+Teicholz,+P.,+Sacks,+R.,+%26+Liston,+K.+(2011).+BIM+Handbook:+A+Guide+to+Building+Information+Modeling+for+Owners,+Managers,+Designers,+Engineers,+and+Contractors.+Wiley.&ots=PhjIcX3ols&sig=00DazZcLb3CYZloUttYi5j_0BFY&redir_esc…

El-Din, M. N., Pereira, P. F., Martins, J. P., & Ramos, N. M. M. (2022, December 7). Digital Twins for Construction Assets Using BIM Standard Specifications. Buildings. https://doi.org/10.3390/buildings12122155.

Frontczak, M., & Wargocki, P. (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. Building and Environment, 46(4), 922-937. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310003136

GhaffarianHoseini, A., Dahlan, N. D., Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., Makaremi, N., & GhaffarianHoseini, M. (2016). Sustainable energy performances of green buildings: A review of current theories, implementations and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25, 1-17. https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v25y2013icp1-17.html

Goodfellow, Ian, Yoshua Bengio, and Aaron Courville. (2016). Deep learning. MIT press. https://books.google.hr/books?hl=en&lr=&id=omivDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=Goodfellow,+Ian,+Yoshua+Bengio,+and+Aaron+Courville.+Deep+learning.+MIT+press,+2016.&ots=MON3bmlEOS&sig=IT9yPykDgrzCxtczii3c3ech3kM&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.

Granderson, J., & Lin, G. (2016). Building Energy Information Systems: Synthesis of Costs, Savings, and Best-Practice Uses. Lawrence Berkeley National Laboratory. https://www.osti.gov/servlets/purl/1363638

Guarino, N. (1998). Formal ontology and information systems. In N. Guarino (Ed.), Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy, Amsterdam, IOS Press, pp. 3-15. https://books.google.hr/books?hl=en&lr=&id=Wf5p3_fUxacC&oi=fnd&pg=PA19&dq=Guarino,+N.+(1998).+Formal+ontology+and+information+systems.+In+N.+Guarino+(Ed.),+Proceedings+of+FOIS%2798,+Trento,+Italy,+Amsterdam,+IOS+Press,+pp.+3-15.&ots=npRGZSmDIG&sig=FyzMRiN0vGS-gf3TWEwliXX-S9s&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.

Hammar, K., Wallin, E. O., Karlberg, P., & Hälleberg, D. (2019). The RealEstateCore Ontology. In C. Ghidini et al. (Eds.), The Semantic Web – ISWC 2019: 18th International Semantic Web Conference, Auckland, New Zealand, October 26–30, 2019, Proceedings, Part I (pp. 130-145).

https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1362356&dswid=-8878

Internationella energiorganet (2020). Energy Efficiency 2020. IEA, Paris.
https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020

Jernigan, F. E. (2008). BIG BIM little bim: The practical approach to building information modeling.

Kastner, W., Neugschwandtner, G., Soucek, S., & Newmann, H. M. (2005). Communication Systems for Building Automation and Control. Proceedings of the IEEE, 93(6), 1178-1203.
https://www.semanticscholar.org/paper/Communication-systems-for-building-automation-and-Kastner-Neugschwandtner/6a8c4d4edb2d3fe76f58a0286699573b471577e6

Kolokotsa, D., Rovas, D., Kosmatopoulos, E., & Kalaitzakis, K. (2011). A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings. Solar Energy, 85(12), 3067-3084.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X10002847

Miller, M. (2013). Graph Database Applications and Concepts with Neo4j. Proceedings of the Southern Association for Information Systems Conference.
https://www.semanticscholar.org/paper/Graph-Database-Applications-and-Concepts-with-Neo4j-Miller/322a6e1f464330751dea2eb6beecac24466322ad

Newsham, G. R., Brand, J. I., Donnelly, C. L., Veitch, J. A., Aries, M. B., & Charles, K. E. (2009). Linking indoor environment conditions to job satisfaction: a field study. Building Research & Information, 37(2), 129-147.
https://www.researchgate.net/publication/211391864_Linking_indoor_environment_conditions_to_job_satisfaction_A_field_study

Rafsanjani, H.N. & Nabizadeh, A.H. (2023). Towards digital architecture, engineering, and construction (AEC) industry through virtual design and construction (VDC) and digital twin. Energy and Built Environment.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266612332100060X.

Rathore, M. M., Ahmad, A., Paul, A., Wan, J., Zhang, D., & Hong, W. H. (2021). The Role of AI, Machine Learning, and Big Data in Digital Twinning: A Systematic Literature Review, Challenges, and Opportunities. IEEE Access, 9, 32030-32044.
https://www.researchgate.net/publication/349508978_The_Role_of_AI_Machine_Learning_and_Big_Data_in_Digital_Twinning_A_Systematic_Literature_Review_Challenges_and_Opportunities

RealEstateCore. (2024). https://www.realestatecore.io/

Robinson, I., Webber, J., & Eifrem, E. (2015). Graph Databases: New Opportunities for Connected Data. 2nd ed. O'Reilly Media.
https://web4.ensiie.fr/~stefania.dumbrava/OReilly_Graph_Databases.pdf
Rosen, R., Von Wichert, G., Lo, G., & Bettenhausen, K. D. (2015). About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing. IFAC-PapersOnLine. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.141

Russell, Stuart J., and Peter Norvig. (2016). Artificial intelligence: a modern approach. Malaysia; Pearson Education Limited. https://thuvienso.hoasen.edu.vn/handle/123456789/8967

Sinopoli, J. (2010). Smart Buildings Systems for Architects, Owners, and Builders. Butterworth-Heinemann.
https://www.hzu.edu.in/architecture/9781856176538_Smart_Buildings_Systems_for_Architects_Owners_and_Builders.pdf

Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction, 18(3), 357-375.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580508001568

Tao, Fei, et al. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 94(9), 3563-3576. https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-017-0233-1.

Tzempelikos, A., & Athienitis, A. K. (2007). The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. Solar Energy, 81(3), 369-382.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X06001897

Uschold, M., & Gruninger, M. (1996). Ontologies: Principles, methods, and applications. Knowledge Engineering Review, 11(2), 93-136. https://www.researchgate.net/publication/302937543_Ontologies_Principles_methods_and_applications.

Världshälsoorganisationen (2021). Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. WHO, Geneva.
https://www.who.int/publications/i/item/9789289002134

Weil, C., Bibri, S.E., Longchamp, R., & Golay, F. (2023). Urban digital twin challenges: A systematic review and perspectives for sustainable smart cities. Sustainable Cities and Society. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670723004730.

Wang, S. et al. (2007). A middleware for web service-enabled integration and interoperation of intelligent building systems. Automation in Construction, 16(1), 112–121. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.03.004.

Wortmann, T., & Tuncer, B. (2017). Differentiating parametric design from generative design. In Design Computing and Cognition '16, (pp. 749-765). Springer, Cham. https://www.researchgate.net/publication/317639017_Differentiating_parametric_design_Digital_workflows_in_contemporary_architecture_and_construction

Xie, X., Merino, J., Moretti, N. & Pauwels, P. (2023). Digital twin enabled fault detection and diagnosis process for building HVAC systems. Automation in Construction, 146(3), Article 104 695. https://www.researchgate.net/publication/366166541_Digital_twin_enabled_fault_detection_and_diagnosis_process_for_building_HVAC_systems.

Bilaga A - Intervjuguide

Inledning

● Kort presentation om mig själv och mitt arbete.
● Fråga om det är okej att anteckna för att sedan använda en del av intervjun i rapporten i form av citat.
● Informera om att intervjun beräknas pågå i ungefär en timme.

Respondentens yrkesposition

● Vad innebär din yrkesroll på företaget?
● Hur länge har du arbetat på företaget?
● Hur länge har du arbetat i branschen?

Intervjuns stödpunkter

● Företagets perspektiv på industrialiseringen av AI inom fastighetssektorn.
● De specifika målen för samarbetsprojektet (Fallstudien).
● Insikter om den AI-teknik som används i projektet (Fallstudien).
● Standardiserade Ontologier, Brickschema och RealEstateCore.
● Viktiga resultat och lärdomar från projektet (fallstudien) hittills.

Avslut

● Något du vill tillägga?
● Är det okej om jag hör av om jag har fler frågor/funderingar?
● Informerar också om att jag kommer att skicka en första version av rapporten för feedback innan jag skickar in den slutgiltiga versionen.

TRITA – ITM-EX 2024:302

Stockholm, Sweden 2024

www.kth.se